

УДК: 504.4.054

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-2-31-221-234

Ю. А. Спирин<sup>1</sup>, С. И. Зотов<sup>2</sup>, В. С. Таран<sup>3</sup>

## АНАЛИЗ МЕЖГОДОВОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ КРАСНОЙ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

### АННОТАЦИЯ

Цель данной работы — оценить пространственно-временную динамику загрязнения р. Красной по 4 гидрологическим сезонам 2023–2024 гг. посредством сравнительного анализа с 2022–2023 гг. Исследование базируется на комплексном подходе, включающем измерение гидрологических параметров и лабораторных химических анализов проб воды по 16 показателям. Мониторинг осуществлялся в четырех ключевых точках, отражающих различные типы антропогенной и природной нагрузки: верховье, границы лесных и сельскохозяйственных угодий, зоны интенсивного земледелия и урбанизированные территории. Пространственный анализ проводится с использованием ГИС-технологий и специализированных массивов данных. Среднее значение удельного комбинаторного индекса загрязнения воды (УКИЗВ) за 2023–2024 гг. составило 2,88, что соответствует категории «очень загрязненная». Это на 25 % ниже, чем в 2022–2023 гг. Основные загрязнители: нефтепродукты, железо и кислородные показатели. Загрязнение реки усиливается по мере движения от истока к устью, что, вероятно, обусловлено увеличением антропогенной нагрузки, сокращением площади лесных массивов и накоплением загрязняющих веществ. В этих процессах значительную роль играют подземные воды, насыщенные соединениями железа, однако их влияние пока не имеет четкой пространственно-временной характеристики. Исследование индекса загрязнения воды (ИЗВ) показало наличие сезонных колебаний уровня загрязнения, что, вероятно, связано с многочисленными циклами как природного, так и антропогенного воздействия. В соответствии с нашими предыдущими исследованиями особое внимание уделяется фазам водного режима. Это связано с тем, что для точной оценки и прогнозирования изменений химического состава воды необходимо принимать во внимание не только антропогенные, но и гидрологические аспекты. Если рассматривать ситуацию в бассейне в целом, то ее можно назвать благоприятной. Этому способствует наличие на территории большого количества лесов, часть из которых относится к особо охраняемым природным территориям, и низкий уровень антропогенной активности на большей части водосбора. В дальнейшем исследование будет дополнено заключительным периодом 2024–2025 гг.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** динамика загрязнения водотоков, антропогенные воздействия, бассейн реки Красной

<sup>1</sup> Институт географии РАН, лаборатория гидрологии, ул. Вавилова, д. 37, Москва, Россия, 117312, *e-mail: spirin.yuriy@rambler.ru*

<sup>2</sup> Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Высшая школа живых систем, ул. Университетская, д. 2, Калининград, Россия, 236041, *e-mail: zotov.prof@gmail.com*

<sup>3</sup> Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Высшая школа живых систем, ул. Университетская, д. 2, Калининград, Россия, 236041, *e-mail: ronya.volkova@yandex.ru*

**Yuri A. Spirin<sup>1</sup>, Sergey I. Zотов<sup>2</sup>, Veronika S. Taran<sup>3</sup>**

## **ANALYSIS OF INTERANNUAL SPATIAL-TEMPORAL VARIABILITY OF WATER QUALITY OF THE KRASNAYA RIVER IN THE KALININGRAD REGION**

### **ABSTRACT**

The aim of the work is to assess the spatiotemporal dynamics of pollution of the Krasnaya River for 4 hydrological seasons of 2023–2024 by means of comparative analysis from 2022–2023. The study is based on an integrated approach, including measurement of hydrological parameters and laboratory chemical analyses of water samples for 16 indicators. Monitoring was carried out at four key points reflecting different types of anthropogenic and natural loads: the upper reaches, the boundaries of forest and agricultural lands, intensive farming zones and urbanized areas. Spatial analysis is carried out using GIS technologies and specialized data arrays. The average value of the specific combinatorial water pollution index (SCWPI) for 2023–2024 was 2.88, which corresponds to the “very polluted” category. This is 25 % lower than in 2022–2023. The main pollutants are oil products, iron, and oxygen indicators. River pollution increases as it moves from the source to the mouth, which is probably due to an increase in anthropogenic load, a reduction in the area of forests, and the accumulation of pollutants. Groundwater saturated with iron compounds also plays a significant role, but their influence does not yet have a clear spatio-temporal characteristic. The study of the water pollution index (WPI) showed the presence of seasonal fluctuations in the pollution level, which is probably due to numerous cycles of both natural and anthropogenic impacts. In accordance with our previous studies, special attention is paid to the phases of the water regime. This is due to the fact that in order to accurately assess and predict changes in the chemical composition of water, it is necessary to take into account not only anthropogenic but also hydrological aspects. If we consider the situation in the basin as a whole, it can be called favorable. This is facilitated by the presence of a large number of forests in the territory, some of which are specially protected natural areas, and low anthropogenic activity in most of the catchment area. In the future, the study will be supplemented by the final period of 2024–2025.

**KEYWORDS:** dynamics of watercourse pollution, anthropogenic impacts, Krasnaya River basin

### **ВВЕДЕНИЕ**

Калининградская область, обладающая уникальным географическим положением и высокой плотностью речной сети, сталкивается с необходимостью постоянного контроля состояния своих водных ресурсов. Одним из приоритетных направлений экологических исследований в регионе является мониторинг качества поверхностных пресных вод [Ахмедова и др., 2015; Эйдельман и др., 2020; Валл, Ахмедова, 2021; Домнин и др., 2021; Зотов, Спирин, 2022]. Эта задача приобрела особую актуальность в последние три десятилетия, когда регион оказался отделен от основной территории России сухопутными границами. В условиях растущей геополитической напряженности и усиления антропогенной нагрузки на экосистемы контроль качества воды становится не просто важным, а жизненно необходимым. Без систематического анализа химического состава воды в реках

<sup>1</sup> Institute of Geography, Russian Academy of Science, Laboratory of Hydrology, 37, Vavilova str., Moscow, 117312, Russia, e-mail: [spirin.yuri@rambler.ru](mailto:spirin.yuri@rambler.ru)

<sup>2</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Institute of Living Systems, 2, Universitetskaya str., Kaliningrad, 236041, Russia, e-mail: [zotov.prof@gmail.com](mailto:zotov.prof@gmail.com)

<sup>3</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Institute of Living Systems, 2, Universitetskaya str., Kaliningrad, 236041, Russia, e-mail: [ronya.volkova@yandex.ru](mailto:ronya.volkova@yandex.ru)

и озерах невозможно эффективно противостоять негативным последствиям урбанизации, промышленного развития и сельскохозяйственной деятельности. Игнорирование этих вопросов может привести к деградации водных ресурсов, что в свою очередь вызовет ухудшение здоровья населения и экономические проблемы.

Калининградская область, несмотря на высокую степень антропогенного воздействия на окружающую среду, сохранила несколько относительно нетронутых водных объектов. Среди них особое место занимает река Красная, которая является практически единственным примером малой реки с ненарушенной экосистемой. Этот водоток имеет важное значение для региона, т. к. в его водах обитают редкие виды рыб, занесенные в Красную книгу Российской Федерации (такие как кумжа и ручьевая форель). Наличие этих видов свидетельствует о высокой степени чистоты воды и благополучии экосистемы.

В 1974 г. 18-километровый участок р. Красной, протекающий через хвойный лесной массив (Красный лес) и холмисто-грядовый рельеф от государственной границы до пос. Токаревки, был объявлен особо охраняемой природной территорией. Этот участок получил статус регионального памятника природы гидрологического профиля. Для защиты экосистемы вдоль реки установлена охранная зона шириной 500 м по обоим берегам. Кроме того, р. Красная входит в состав национального парка «Виштынецкий», созданного для сохранения уникальных природных и культурных объектов, включая Красный лес и оз. Виштынецкое<sup>1</sup>.

Река Красная имеет трансграничный характер: ее исток находится на Вармийско-Мазурской возвышенности в Польше, а устье — на территории России, где она впадает в р. Писсу недалеко от г. Гусева. Такое географическое положение делает реку уязвимой к различным источникам загрязнения, как природного, так и антропогенного характера. Например, на участке ниже пос. Токаревки активно ведется хозяйственная деятельность, что может негативно влиять на качество воды. Кроме того, естественные процессы, такие как жизненные циклы растительности в лесной зоне, также могут изменять химический состав воды, что не всегда благоприятно оказывается на ее качестве [Tang et al., 2013; Xiong, 2019].

Несмотря на экологическую значимость р. Красной, систематический гидрохимический мониторинг ее вод в настоящее время не проводится ни государственными, ни частными организациями. Большинство современных исследований сосредоточено на изучении физико-географических и гидрологических характеристик реки [Наумов, Ахмедова, 2017; Берникова и др., 2019; Тылик, 2021], в то время как данные о ее химическом состоянии и уровне загрязнения либо устарели, либо отсутствуют [Нагорнова, 2012]. Это создает пробел в понимании текущего состояния экосистемы и затрудняет разработку мер по ее защите.

В нашем прошлом исследовании [Спирин и др., 2024] проведена оценка пространственно-временной динамики загрязнения р. Красной по четырем гидрологическим сезонам 2022–2023 гг. Цель настоящего исследования — дать аналогичную характеристику за 2023–2024 гг. через призму сравнительного анализа с прошлым периодом.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объективная оценка качества воды и выявление потенциальных загрязнителей строится на двух ключевых аспектах: временном и пространственном. Многие природно-хозяйственные факторы воздействия на качество воды представлены циклами, которые связаны с теми или иными сезонами, при этом они могут по-разному проявляться из года в год. По данным причинам исследование водотоков проведены посезонно в течение двух

<sup>1</sup> Исток. Некоммерческий фонд. Электронный ресурс: <https://istok39.ru> (дата обращения 29.12.24)

гидрологических лет, начиная с осени 2022 г. и заканчивая летом 2024 г. В сумме совершено 8 выездов и отобрано 32 пробы воды.

Пространственный подход формируется на территориальных факторах, способных влиять на качество воды, поэтому здесь в основу лег принцип дифференциации преобладающих в бассейне природно-антропогенных ландшафтов. Исходя из этого пункты мониторинга для измерения гидрологических параметров и отбора проб воды для химических анализов выбраны следующим образом: верховье на территории РФ (1), граница лесных и сельскохозяйственных угодий (2), граница сельскохозяйственных угодий и крупных населенных пунктов (3), устье водотока (4). Данные пункты мониторинга в свою очередь отождествляют участки лесной зоны, переходной от лесной к сельскохозяйственной зоне, сельскохозяйственную и урбанизированную зоны.

Граница бассейна реки выделена на основе SRTM снимков в программном пакете SAGA GIS с использованием стандартного встроенного инструментария. Природно-хозяйственные условия исследуемой территории ранжированы на категории, которые, вероятнее всего, в наибольшей степени влияют на качество воды, а в частности:

- сельское хозяйство,
- лесистость,
- урбанизация,
- озерность [Дмитриева, Нефедова, 2015; Кирейчева, Лентяева, 2020].

Данные об использовании земель получены путем синтеза информации из различный атласов и баз данных<sup>1,2,3</sup> [Dominin et al., 2015]. Для построения слоя лесов использовалась глобальная карта лесного покрова ЕС JRC 2020, V2 с пространственным разрешением в 10 м. Количество человек, проживающих на территории бассейна, получено из Global Human Settlement Layer с пространственным разрешением в 100 м. Наиболее значимые характеристики спроектированы на карту-схему бассейна реки и в дальнейшем распределены по участкам.

На базе вышеизложенного была сформирована опорная схема исследования, на которой отображено распределение природно-хозяйственных условий, а также расположение пунктов гидрохимического и гидрологического мониторинга (рис. 1).

В процессе полевых выездов составлены описания русла реки и прилегающих территорий в пунктах мониторинга и измерены гидрометрические характеристики: скорости течения, ширины и глубины реки. Использовалась «Гидрологическая микровертушка ГМЦМ-1» и измерительная строительная рулетка в соответствии с принципом, изложенным в своде правил<sup>4</sup>. После этого рассчитаны расходы в пунктах мониторинга. Определены цветность, запах, мутность (ЕМФ — единица мутности по формазину), температура, кислотный остаток воды; отобраны пробы воды для химических анализов.

Химические анализы проб проводились в лаборатории Высшей школы живых систем БФУ им. И. Канта по перечню важнейших показателей. *Органолептические показатели* определены в соответствии с ГОСТ Р 57164-2016, *взвешенные вещества* — в

<sup>1</sup> Open Street Map. Электронный ресурс: <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения 20.12.2024)

<sup>2</sup> Атлас Варминско-Мазурского воеводства. Электронный ресурс: <https://atlas.warmia.mazury.pl/> (дата обращения 20.12.2024)

<sup>3</sup> Генеральные планы муниципальных образований. Электронный ресурс: <https://mingrad.gov39.ru/> (дата обращения 20.12.2024)

<sup>4</sup> Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. СП 11-103-97: Одобрен Департаментом развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России (письмо от 10.07.97 № 9-1-1/69). Электронный ресурс: <http://docs.cntd.ru/document/901704792> (дата обращения 10.03.24)

соответствии с РД 52.24.468-2019, химическое потребление кислорода (*ХПК*) — ПНД Ф 14.1:2:4.190-2003, биологическому потреблению кислорода за 5 суток (*БПК<sub>5</sub>*) — ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97, нитраты — ПНД Ф 14.1:2.4-95, нитриты — ПНДФ 14.1:2:4.3-95, аммоний и аммонийный азот — ПНД Ф 14.1:2.1-95, фосфаты — ПНД Ф 14.1:2.1-95, сухой остаток — ПНД Ф 14.1:2:4.261-2010, хлориды — ГОСТ 4245-72, сульфаты — ПНД Ф 14.1:2.159-2000, натрий, магний, калий, кальций — ПНД Ф 14.1:2.159-2000, железо — ПНД Ф 14.1:2.159-2000, нефтепродукты — ПНД Ф 14.1:2.116-97. Химические анализы проведены с помощью прибора двухлучевой спектрофотометрии UV-1800 Shimadzu и системы капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105М».

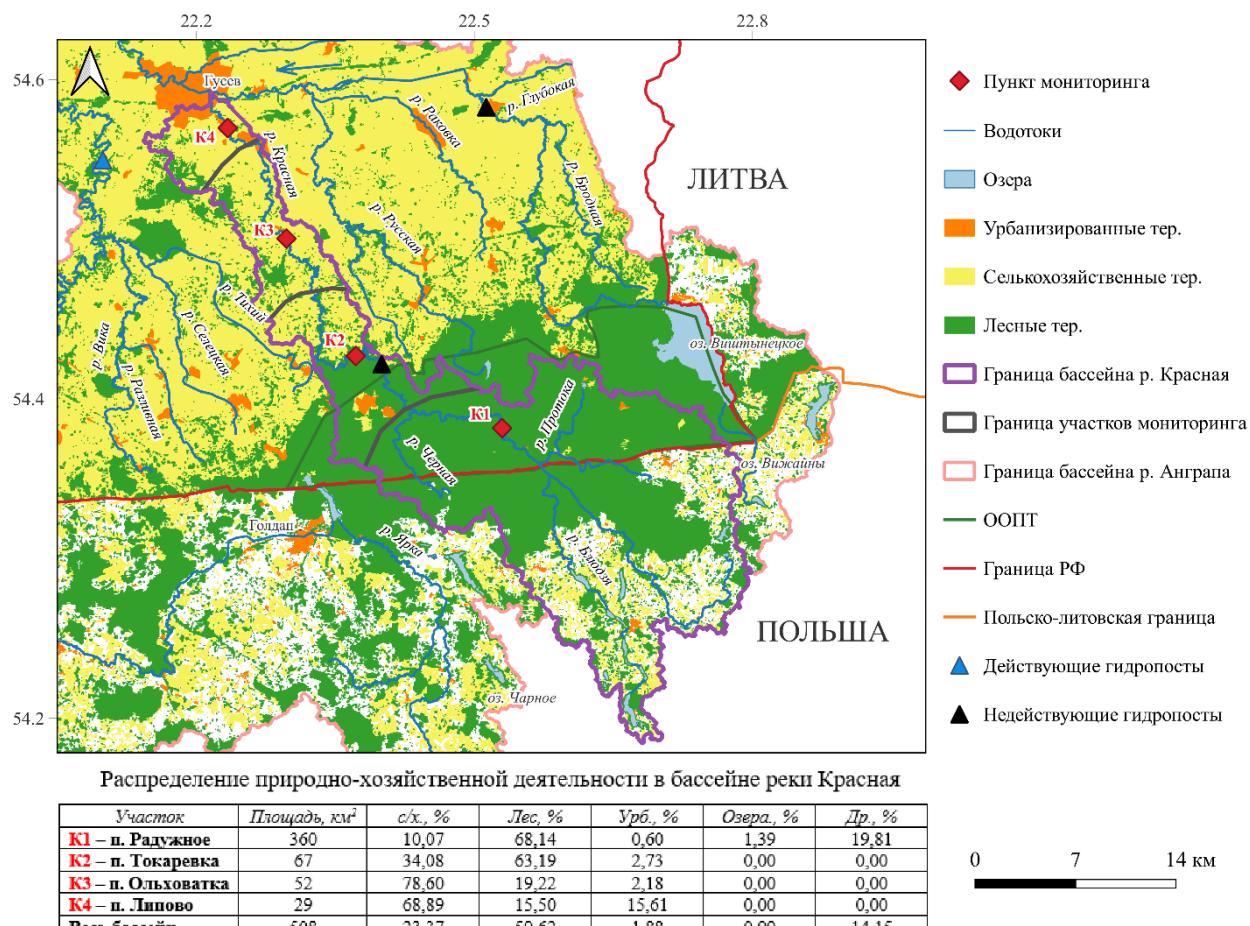


Рис. 1. Схема природно-хозяйственных условий и местоположение пунктов мониторинга в бассейне р. Красной

Fig. 1. Scheme of natural and economic conditions and location of monitoring points in the Krasnaya River basin

В качестве предельно допустимых концентраций (ПДК) использовался рыбохозяйственный норматив<sup>1</sup>. Рассчитаны кратности превышения ПДК гидрохимических показателей, удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) с учетом критичес-

<sup>1</sup> Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. СП 11-103-97: Одобрен Департаментом развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России (письмо от 10.07.97 № 9-1-1/69). Электронный ресурс: <http://docs.cntd.ru/document/901704792> (дата обращения 10.12.24)

ких показателей загрязнения (КПЗ) за гидрологический год и индекс загрязнения воды (ИЗВ) по гидрологическим сезонам, а также дана классификация уровней загрязнения воды, исходя из полученных индексов<sup>1,2</sup>.

Исходя из того, что качество воды в реках можно рассматривать как интегральный показатель экологической обстановки на их водосборах, то с учетом этого допущения и при помощи бассейново-ландшафтного подхода были построены схемы пространственной дифференциации УКИЗВ [Балдаков, Кудишин, 2019; Джамалов и др., 2019; Спирин и др., 2023; *Lämmchen et al.*, 2021]. Стоит учесть, что в этом процессе более важна четкая визуализация распространения загрязнений в пространстве и выявление потенциального вектора возможных закономерностей относительно антропогенных и природных факторов для дальнейшего анализа сложившейся ситуации в бассейне, нежели высокая точность.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из рис. 1, основной вид антропогенной деятельности связан с сельским хозяйством и почти равномерно занимает 23,37 % от всей территории бассейна, выступая главным потенциальным источником загрязнения. Направленность сельскохозяйственной деятельности подразделяется на:

- животноводство (разведение крупного рогатого скота, свиней);
- растениеводство (выращивание пшеницы, ржи, ячменя, овса, рапса);
- овощеводство (выращивание картофеля, капусты, моркови, свеклы).

Категория «другое», составляющая 14,45 % с большой вероятностью также задействована в сельскохозяйственном производстве, но из-за особенностей административного межевания сельскохозяйственных земель на территории Польши, которая может не всегда коррелировать с реальным использованием, часть земель проходит как «неклассифицируемые». Учитывая это, реальная сельскохозяйственная деятельность на водосборе может достигать 37,82 %.

Урбанизация в районе исследования слабовыраженная и составляет 1,88 %. Населенные пункты представлены небольшими городами и деревнями с малоэтажной застройкой и обильным количеством частных землевладений. Город Гусев с населением в 37 725 чел. — самый крупный населенный пункт на рассматриваемой территории, но в исследуемый бассейн попадает лишь малая его часть. Суммарно в бассейне р. Красной проживает 10 239 чел. (20,16 чел/км<sup>2</sup>). Несмотря на то, что процент застройки небольшой, он почти полностью сосредоточен в устьевой части и поэтому может оказывать существенное влияние на уровень загрязнения реки.

Такие природные свойства ландшафта, как лесистость и озерность, оказывают влияние на химический состав воды. Лесистость достигает 59,62 %, основные массивы лесов сосредоточены в верховье бассейна, часть из них относится к ООПТ. По большей части леса состоят из хвойных (сосна, ель, пихта) и лиственных (береза, дуб, бук, ольха, ясень, клен) пород. Озера присутствует в бассейне не повсеместно, озерность составляет 0,99 %.

<sup>1</sup> РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/120003>

9667 (дата обращения 10.05.24)

<sup>2</sup> Временные методические указания, по комплексной оценке, качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09 1986 г. № 250-1163. 5 с.

Таким образом, для того чтобы выдвинуть гипотезы о влиянии природно-хозяйственных факторов на загрязнение воды, был рассчитан УКИЗВ за 2023–2024 гг. по каждому пункту мониторинга и получившийся результат сравнен с 2022–2023 гг. (рис. 2).

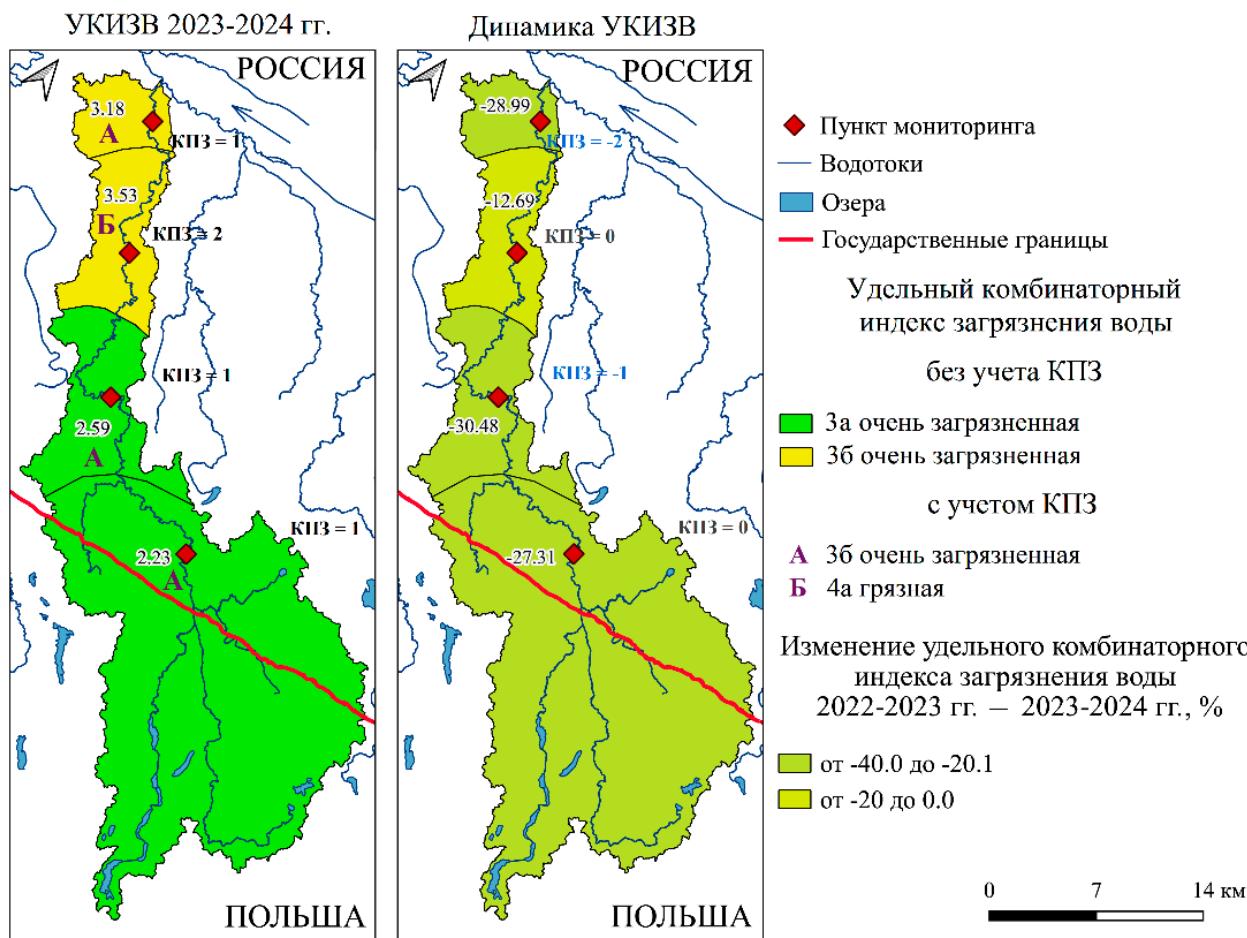


Рис. 2. Пространственно-временная изменчивость УКИЗВ в бассейне р. Красной 2023–2024 гг. по отношению к 2022–2023 гг.  
 Fig. 2. Spatio-temporal variability of the SCWPI in the Krasnaya River basin in 2023–2024 in relation to 2022–2023

В 2022–2023 гг. средний УКИЗВ составил 3,83, а класс качества воды варьировался без учета КПЗ от 3б (очень загрязненная) до 4а (грязная) и с учетом КПЗ от 3б (очень загрязненная) до 4б (грязная) [Спирин и др., 2024]. В 2023–2024 гг. ситуация улучшилась, и средний УКИЗВ стал равен 2,88, что меньше на 24,8 % по отношению к прошлому периоду; диапазон класса качества сместился на один пункт, и теперь он варьируется без учета КПЗ от 3а (очень загрязненная) до 3б (очень загрязненная) и с учетом КПЗ от 3б (очень загрязненная) до 4а (грязная).

Качество воды почти равномерно изменилось в пространстве по отношению к прошлому периоду. Падение УКИЗВ составило от 27,31 % до 30,48 %. Исключением стала точка К3 — здесь уменьшение УКИЗВ составило 12,69 %. Распространение уровня загрязнения сохранило свою природу от истока к устью, или, другими словами, из лесной зоны к области с преобладанием сельскохозяйственных земель и урбанизированных территорий. Рост загрязнения в пространственном отношении почти идентичен для обоих периодов: 45,6 % в 2022–2023 гг. и 42,6 % в 2023–2024 гг. Различия наблюдаются лишь в

приросте КПЗ от 1 до 3 в 2022–2023 гг. и без изменений в 2023–2024 гг. В 2023–2024 гг. зафиксированы следующие несоответствия нормам:

- растворенный кислород (6 из 16 проб, средние кратности превышения ПДК = 2,26);
- ХПК (7 из 16 проб, средние кратности превышения ПДК = 1,13);
- БПК<sub>5</sub> (12 из 16 проб, средние кратности превышения ПДК = 1,20); нитриты (2 из 16 проб, средние кратности превышения ПДК = 0,36);
- аммоний (3 из 16 проб, средние кратности превышения ПДК = 0,52);
- фосфаты (1 из 16 проб, средние кратности превышения ПДК = 0,39);
- железо (14 из 16 проб, средние кратности превышения ПДК = 3,55);
- нефтепродукты (8 из 16 проб, средние кратности превышения ПДК = 1,08).

Перечень основных загрязнителей не претерпел сильных изменений по отношению к прошлому периоду. К систематическим все также относятся нефтепродукты, железо и сезонно-кислородные показатели. Явных превышений показателей биогенных элементов, которые бессистемно отмечались ранее, выявлено не было. Улучшение качества воды в текущем году связано с равномерным снижением концентрации загрязнителей, выявленных за время исследования.

Рассмотрим межсезонную изменчивость качества воды в 2023–2024 гг. (рис. 3).

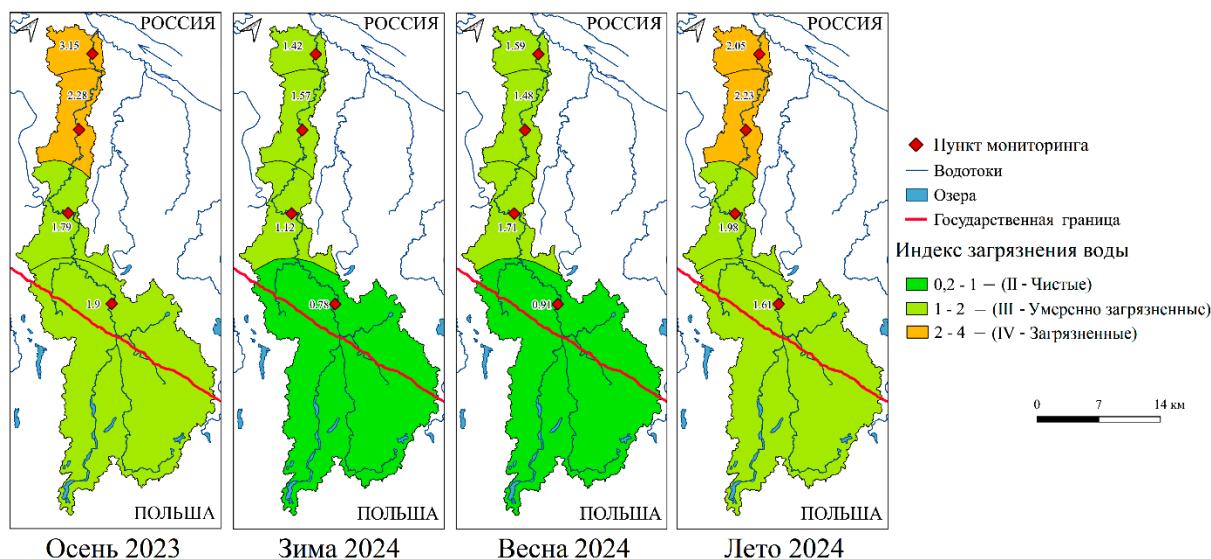


Рис. 3. Внутригодовая пространственно-временная изменчивость ИЗВ в бассейне р. Красной 2023–2024 гг.

Fig. 3. Intra-annual spatio-temporal variability of WPI  
in the Krasnaya River basin in 2023–2024

Как видно из рис. 3, в бассейне присутствует характерная сезонная изменчивость качества воды. В среднем от сезона к сезону ИЗВ распределен следующим образом:

- осенью — 2,28 (IV, загрязненные);
- зимой — 1,22 (III, умеренно загрязненные);
- весной — 1,42 (III, умеренно загрязненные);
- летом — 1,97 (III, умеренно загрязненные).

Если комплексно проанализировать сезонную и пространственную изменчивость ИЗВ и отмеченные несоответствия нормам ПДК, то можно выделить следующие факторы,

влияющие на качество воды: сельское хозяйство, урбанизация, подземные воды с высоким содержанием железа [Глушенко, 2008], сезонная водность, природные циклы водной и береговой растительности.

Пространственное распределение ИЗВ за 2023–2024 гг. аналогично УКИЗВ, поэтому дополнительных комментариев не требует. По сравнению с 2022–2023 гг. загрязнение в отдельные сезоны изменилось незначительно. Ранее увеличение ИЗВ от истока к устью проходило не так плавно. Различия ИЗВ между аналогичными сезонами 2022–2023 гг. и 2023–2024 гг. представлены на рис. 4.

Сезонная пространственно-временная динамика ИЗВ, представленная на рис. 4, имеет более дифференцированный характер по сравнению с межгодовым УКИЗВ. Если рассмотреть, как в среднем изменилось качество воды текущего периода по отношению к прошлому, то осенью 2023 г. оно стало выше на 41,68 %, зимой 2024 г. — на 33,09 %, весной 2024 г. — на 36,33 %. Исключением стал летний сезон 2024 г. — здесь наблюдается незначительное ухудшение (на 2,83 %). С учетом достаточно равномерной изменчивости по другим сезонам оно в первую очередь связано с сильным уменьшением водности (в 2,37 р.).

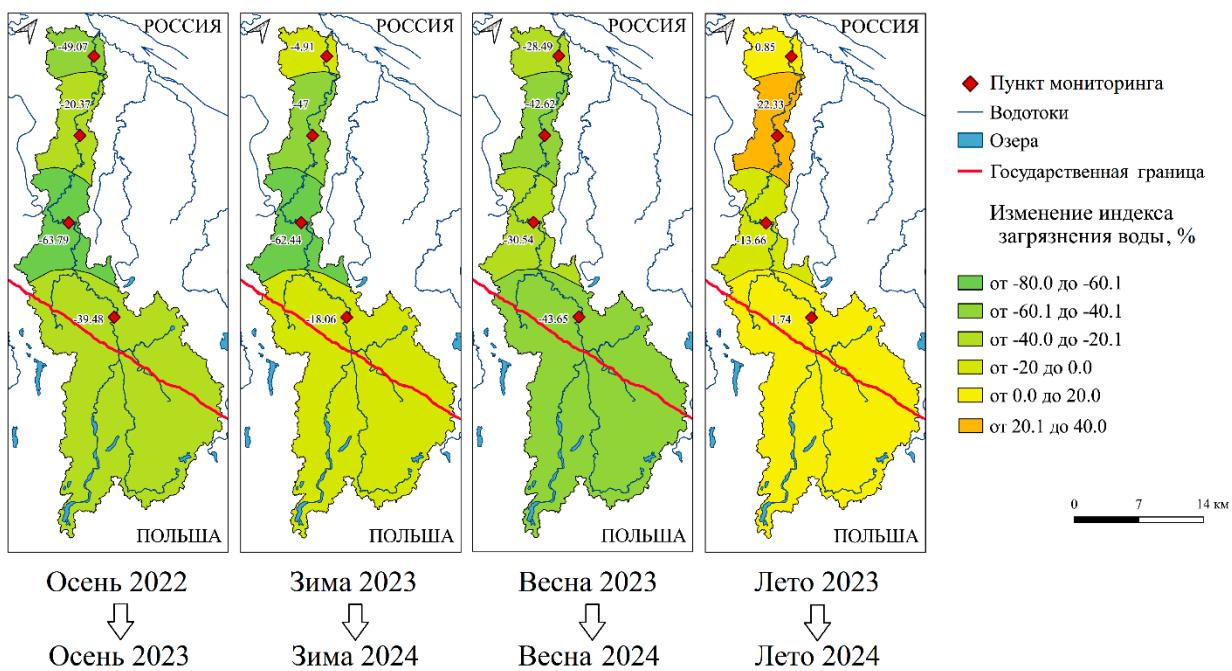


Рис. 4. Динамика ИЗВ между аналогичными сезонами 2022–2023 гг. и 2023–2024 гг. в бассейне р. Красной

Fig. 4. Dynamics of WPI between similar seasons of 2022–2023 and 2023–2024 in the Krasnaya River basin

Полученные результаты указывают на то, что в бассейн в период с 2023 по 2024 гг. количественно поступило на 30 % меньше загрязнений относительно периода с 2022 по 2023 гг. При этом стоит учитывать, что представленная относительная характеристика от сезона к сезону и от точки к точке в пространстве и времени изменяется неравномерно. Более детальная оценка вклада водности в ИЗВ приведена на рис. 5.

Проанализировав данный рисунок, можно заключить, что сезонная изменчивость водности реки может оказывать влияние на ИЗВ. Продолжительную осеннюю межень 2022 г. можно рассматривать как одну из причин высоких значений ИЗВ и неблагоприятного

качества вод в осенний сезон. В зимний сезон 2023 г. с увеличением водности рек классы качества воды улучшились. В весенний сезон 2023 г. отмечено половодье, в летний период 2023 г. высокая водность сохранилась, а качество вод незначительно изменилось по сравнению с зимним сезоном. Осенью 2023 г. начался спад стока, во время него качество воды немного ухудшилось. Зимний паводок, переходящий в весенне половодье в 2024 г., вызвал значительное снижение ИЗВ. Падение стока летом 2024 г. сначала способствовало росту загрязнения.

Зачастую за периодом низкой водности следует повышение ИЗВ и наоборот, но такой процесс не повсеместен. Химический состав воды формируется под воздействием множества процессов, что объясняет недостаточно высокие коэффициенты корреляции между сезонной водностью и ИЗВ. Одним из ключевых элементов, влияющих на качество воды, является сельскохозяйственная деятельность и растительность. Однако их циклы активности далеко не всегда синхронизируются с периодами высокой или низкой водности, особенно в условиях изменчивого гидрологического режима, где отсутствуют четко выраженные временные фазы. Более того, воздействие водности на качество воды может варьироваться в зависимости от специфики гидрологических и природно-хозяйственных условий конкретного водосборного бассейна или его участка.

Как пример — поступление железа в воду из подземных источников не подчиняется явным сезонным или циклическим закономерностям. Это связано с тем, что концентрация железа зависит от геохимических процессов в почве и горных породах, которые могут происходить независимо от поверхностного стока или уровня осадков. Таким образом, даже в периоды высокой водности уровень железа может оставаться стабильным или изменяться непредсказуемо.

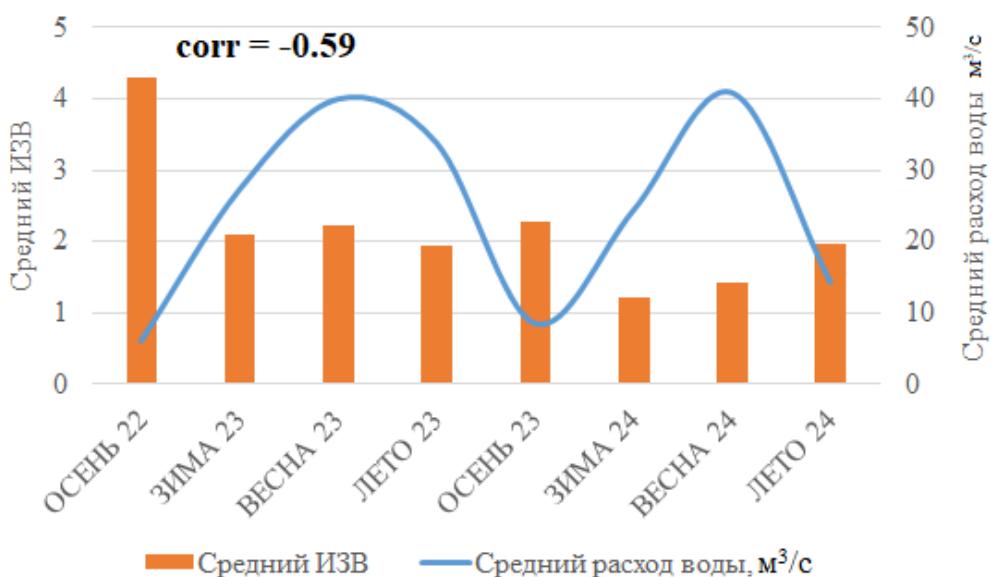


Рис. 5. Средние за сезон индексы загрязнения воды и средние по четырем пунктам расходы воды в р. Красной во время пробоотбора  
Fig. 5. Average water pollution indices for the season and average water flow rates at four points in the Krasnaya River during sampling

В некоторых случаях увеличение водности может приводить к разбавлению загрязняющих веществ, снижая их концентрацию. В других ситуациях, напротив, интенсивный сток может способствовать вымыванию загрязнений с поверхности почвы,

что, наоборот, повышает уровень загрязнения воды. Это особенно характерно для бассейнов с интенсивной сельскохозяйственной деятельностью, где в воду могут попадать удобрения, пестициды и другие химические вещества.

Учитывая сложность и многогранность этих процессов, системно отследить вклад водности в величину ИЗВ бывает затруднительно. Тем не менее, важно принимать во внимание, что водность остается одной из ключевых причин, влияющих на качество воды, даже если ее воздействие не всегда очевидно.

## ВЫВОДЫ

С 2023 по 2024 гг. наблюдаются улучшения качества воды в р. Красной по отношению к прошлому периоду. УКИЗВ почти равномерно уменьшился на 25 % и стал равен 2,88, что без учета КПЗ соответствуют классу За (очень загрязненная). Перечень главных загрязнителей остался тем же: нефтепродукты, железо и кислородные показатели. Характер загрязнения от истока к устью предположительно связан с возрастанием антропогенной деятельности и уменьшением лесонасаждений, а также с аккумуляцией вещества. Свой вклад в загрязнения вносят подземные воды, обогащенные железом, но пока данный показатель не получил пространственно-временной привязки.

Анализ ИЗВ выявил сезонность загрязнений, которая может быть обусловлена достаточно большим количеством циклов природной и антропогенной нагрузки. Как и в более ранних наших работах, мы большое внимание уделяем фазам водного режима. При оценке и прогнозировании изменений химического состава воды необходимо учитывать не только антропогенные, но и гидрологические факторы. Стоит отметить, что в условиях регионального изменения климата, вследствие которого также изменяется и водный режим рек, влияние водности на качество воды может приобретать новые особенности. Например, учащение экстремальных погодных явлений, таких как засухи или наводнения, может усиливать нестабильность поступления загрязняющих веществ. Это делает актуальным дальнейшее изучение взаимосвязей между водностью, антропогенной нагрузкой и качеством воды для разработки более эффективных мер по управлению водными ресурсами. Таким образом, хотя связь между водностью и ИЗВ не всегда прямолинейна, ее учет остается важным элементом при анализе и прогнозировании состояния водных объектов.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Картографирование и работа с ГИС выполнены в Институте географии РАН в рамках государственного задания № FMWS-2024-0007.

## ACKNOWLEDGMENTS

Mapping and work with GIS were carried out at the Institute of Geography, Russian Academy of Sciences within the framework of state assignment No. FMWS-2024-0007.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ахмедова Н. Р., Великанов Н. Л., Наумов В. А. Оценка качества воды малых водотоков Калининградской области. Вода: химия и экология, 2015. № 10. С. 19–24.

Балдаков Н. А., Кудишин А. В. Автоматизация расчета характеристик водосборного бассейна для решения задач моделирования поверхностного стока. Интерэспо Гео-Сибирь, 2019. Т. 4. № 1. С. 83–89. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89.

Берникова Т. А., Тылик К. В., Цветкова Н. Н. Физико-географическая характеристика реки Красной — памятника природы гидрологического профиля Калининградской области. Известия КГТУ, 2019. № 52. С. 11–23.

*Валл Е. В., Ахмедова Н. Р.* Эколого-гидрохимические исследования малых водотоков Калининградской области. Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2021. Т. 7. № 4. С. 33–37.

*Глущенко А. И.* Экологическое состояние и качество подземных вод Калининградского скважинного водозабора. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки, 2008. № 1. С. 28.

*Джамалов Р. Г., Мироненко А. А., Мягкова К. Г., Решетняк О. С., Сафонова Т. И.* Пространственно-временной анализ гидрохимического состава и загрязнения вод в бассейне Северной Двины. Водные ресурсы, 2019. Т. 46. № 2. С. 149–160.

*Дмитриева В. А., Нефедова Е. Г.* Гидроэкологическая роль лесных насаждений в формировании режима водных ресурсов. Лесотехнический журнал, 2015. Т. 5. № 3(19). С. 22–33. DOI: 10.12737/14150.

*Домнин Д. А., Домнина А. Ю., Попова И. Ю.* Анализ состояния биогенной нагрузки в бассейнах рек муниципального уровня с учетом удерживающей роли прудов. Астраханский вестник экологического образования, 2021. № 1(61). С. 160–168. DOI: 10.36698/2304-5957-2021-20-1-160-168.

*Зотов С. И., Спирин Ю. А.* Оценка геоэкологического состояния малых водотоков польдерных земель: методический подход и картографическое обеспечение. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 2022. Т. 28. № 2. С. 597–613. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-597-613.

*Кирейчева Л. В., Лентяева Е. А.* Влияние сельскохозяйственного производства на загрязнение водных объектов. Природообустройство, 2020. № 5. С. 18–26. DOI: 10.26897/1997-6011/2020-5-18-27.

*Нагорнова Н. Н.* Геоэкологическая оценка состояния малых водотоков Калининградской области: диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. Калининград, 2012. С. 8–19.

*Наумов В. А., Ахмедова Н. Р.* Инженерные изыскания в бассейне реки Преголи. Калининградский государственный технический университет. Калининград, 2017. 183 с.

*Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С., Королева Ю. В.* Оценка пространственных особенностей загрязнения рек юго-восточной части Калининградской области. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 2023. Т. 29. Ч. 1. С. 186–200. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-186-200.

*Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С., Филимонова А. А.* Оценка пространственно-временной динамики загрязнения реки Красной в Калининградской области. Географический вестник, 2024. № 3(70). С. 113–124. DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-113-124.

*Тылик К. В.* Гидроэкологические особенности реки Красной — памятника природы гидрологического профиля Калининградской области. Известия КГТУ, 2021. № 61. С. 39–50. DOI: 10.46845/1997-3071-2021-61-39-50.

*Эйдельман Я. В., Королева Ю. В., Голубева Ю. В.* Комплексная оценка загрязнения реки Преголи и акватории Калининградского залива. Международный научно-исследовательский журнал, 2020. № 6-2(96). С. 74–78. DOI: 10.23670/IRJ.2020.96.6.051.

*Domin D., Chubarenko B., Lewandowski A.* Vistula Lagoon catchment: Atlas of water use. Moscow: Exlibris Press, 2015.

*Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J.* Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment. Environmental Processes, 2021. V. 8. P. 973–992.

*Tang J. Y., Cao P. P., Xu C., Liu M.S.* Effects of aquatic plants during their decay and decomposition on water quality. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 2013. V. 24(1). P. 83–90.

*Xiong H.* Study on the release of carbon, nitrogen and phosphorus from the decomposition of aquatic plants. *IOP Conference Series: Earth Environmental Sciences*, 2019. V. 384. P. 1–4.

## REFERENCES

- Akhmedova N. R., Velikanov N. L., Naumov V. A.* Water quality assessment of small watercourses in the Kaliningrad Region. *Water: chemistry and ecology*, 2015. No. 10. P. 19–24 (in Russian).
- Baldakov N. A., Kudishin A. V.* Automation of calculation of catchment basin characteristics for solving surface runoff modeling problems. *Interexpo GEO-Siberia*, 2019. V. 4. No. 1. P. 83–89 (in Russian). DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89.
- Bernikova T. A., Tylik K. V., Tsvetkova N. N.* Physical and geographical characteristics of the Krasnaya River — a natural monument of the hydrological profile of the Kaliningrad Region. *KSTU News*, 2019. No. 52. P. 11–23 (in Russian).
- Dmitrieva V. A., Nefedova E. G.* Hydroecological role of forest plantations in the formation of the water resources regime. *Lesotekhnicheskiy zhurnal (Forestry Engineering Journal)*, 2015. V. 5. No. 3(19). P. 22–33 (in Russian). DOI: 10.12737/14150.
- Domnin D., Chubarenko B., Lewandowski A.* Vistula Lagoon catchment: Atlas of water use. Moscow: Exlibris Press, 2015.
- Domnin D. A., Domnina A. Yu., Popova I. Yu.* Analysis of the state of biogenic load in municipal river basins taking into account the retaining role of ponds. *Astrakhan Bulletin of Ecological Education*, 2021. No. 1(61). P. 160–168 (in Russian). DOI: 10.36698/2304-5957-2021-20-1-160-168.
- Dzhamalov R. G., Mironenko A. A., Myagkova K. G., Reshetnyak O. S., Safronova T. I.* Spatio-temporal analysis of the hydrochemical composition and pollution of waters in the Northern Dvina basin. *Water Resources*, 2019. V. 46. No. 2. P. 149–160 (in Russian).
- Eidelman Ya. V., Korolyova Yu. V., Golubeva Yu. V.* Comprehensive assessment of pollution of the Pregolya River and the Kaliningrad Bay. *International Research Journal*, 2020. No. 6-2(96). P. 74–78 (in Russian). DOI: 10.23670/IRJ.2020.96.6.051.
- Glushchenko A. I.* Ecological state and quality of groundwater in the Kaliningrad well water intake. *IKBFU's Vestnik. Natural and Medical Sciences*, 2008. No. 1. P. 28 (in Russian).
- Kireycheva L. V., Lentiaeva E. A.* The impact of agricultural production on the pollution of water bodies. *Prirodoobustrojstvo (Environmental Engineering)*, 2020. No. 5. P. 18–26 (in Russian). DOI: 10.26897/1997-6011/2020-5-18-27.
- Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J.* Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment. *Environmental Processes*, 2021. V. 8. P. 973–992.
- Nagornova N. N.* Geoecological assessment of the state of small watercourses in the Kaliningrad region: dissertation for a PhD of geographical sciences. Kaliningrad, 2012. P. 8–19 (in Russian).
- Naumov V. A., Akhmedova N. R.* Engineering surveys in the Pregolya River basin. Kaliningrad State Technical University. Kaliningrad, 2017. P. 183 (in Russian).
- Spirin Yu. A., Zotov S. I., Taran V. S., Filimonova A. A.* Assessment of spatio-temporal dynamics of pollution of the Krasnaya River in the Kaliningrad Region. *Geographical Bulletin*, 2024. No. 3(70). P. 113–124 (in Russian). DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-113-124.

*Spirin Yu. A., Zotov S. I., Taran V. S., Korolyova Yu. V.* Assessment of spatial features of pollution of rivers in the southeastern part of the Kaliningrad Region. InterCarto. InterGIS, 2023. V. 29. Part 1. P. 186–200 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-186-200.

*Tang J. Y., Cao P. P., Xu C., Liu M. S.* Effects of aquatic plants during their decay and decomposition on water quality. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao, 2013. V. 24(1). P. 83–90.

*Tyl'lik K. V.* Hydroecological features of the Krasnaya River — a natural monument of the hydrological profile of the Kaliningrad Region. KSTU News, 2021. No. 61. P. 39–50 (in Russian). DOI: 10.46845/1997-3071-2021-61-39-50.

*Vall E. V., Akhmedova N. R.* Ecological and hydrochemical studies of small watercourses in the Kaliningrad Region. Journal of Science and Education of North-West Russia, 2021. V. 7. No. 4. P. 33–37 (in Russian).

*Xiong H.* Study on the release of carbon, nitrogen and phosphorus from the decomposition of aquatic plants. IOP Conference Series: Earth Environmental Sciences, 2019. V. 384. P. 1–4.

*Zotov S. I., Spirin Yu. A.* Assessment of the geoecological state of small watercourses in polder lands: a methodological approach and cartographic support. InterCarto. InterGIS, 2022. V. 28. No. 2. P. 597–613 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-597-613.

---