ГИДРОЛОГИЯ
Научная статья
УДК 504.4.054
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-84-94
EDN: PJTRFV

ОЦЕНКА УРОВНЯ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АНГРАПЫ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Юрий Александрович Спирин[1, 2] ✉, Сергей Игоревич Зотов[3], Вероника Сергеевна Таран[3]
[1] Институт географии Российской академии наук, г. Москва, Россия;
[2] Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия
[3] Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия
✉ spirin.yuriy@rambler.ru, ORCID: 0000-0003-3481-9666, eLibrary AuthorID: 887382

Аннотация. Бассейн реки Анграпы в Калининградской области представляет собой трансграничный водный объект, потенциально испытывающий значительную антропогенную нагрузку. Несмотря на экологическую значимость территории, включая Национальный парк «Виштынецкий», систематических исследований химического загрязнения водотоков не проводится. Цель работы – комплексная оценка уровня загрязнения вод бассейна с выявлением пространственных закономерностей и ключевых факторов влияния. В 2023–2024 годах проведен мониторинг четырех рек бассейна (Анграпа, Писса, Красная, Русская) с отбором 63 проб воды в разные гидрологические сезоны. На основе лабораторного анализа проб рассчитаны индексы загрязнения воды (ИЗВ) и удельные комбинаторные индексы (УКИЗВ), значения которых затем были распространены на соответствующие участки водотоков. Состояние вод бассейна реки Анграпы, согласно УКИЗВ без учета критических показателей загрязнения (КПЗ), характеризуется как 3б очень загрязненная, а с учетом КПЗ как 4а грязная. Установлено, что наиболее загрязненной является р. Русская – 4,82 (4а грязная) со средним количеством КПЗ = 4, где 70 % водосбора занято сельхозугодьями. Наименьшее загрязнение выявлено в реке Красной – 2,88 (3а загрязненная) со средним количеством КПЗ = 1, характеризующейся высокой лесистостью (60 %). Уровень загрязнения воды увеличивается по мере движения от истока к устью реки: участки с высоким процентом лесного покрова отличаются более чистой водой по сравнению с зонами, где преобладают сельскохозяйственные земли и городские территории. Согласно ИЗВ, осенью качество воды достигает наихудших значений (средний ИЗВ 5,53 – V класс, грязная), тогда как зимой состояние воды улучшается (1,74 – III класс, умеренно загрязненная). Основные превышения ПДК зафиксированы по железу (97 % проб), нефтепродуктам (70 % проб), химическому потреблению кислорода – ХПК (71 % проб), биохимическому потреблению кислорода – $БПК_5$ (60 % проб), растворенному кислороду (48 % проб), фосфатам (35 % проб), нитритам (22 % проб), аммонию (19 % проб). Основные факторы, влияющие на качество воды: сельскохозяйственная деятельность, воздействие урбанизированных территорий, поступление подземных вод с высоким содержанием железа, сезонная водность и естественные циклы развития водной и прибрежной растительности.

Ключевые слова: Калининградская область, бассейн реки Анграпы, трансграничные воды, загрязнение вод, индексы загрязнения вод, гидрохимический мониторинг

Финансирование. Картографирование и работа с ГИС выполнены в рамках Госзадания Института географии Российской академии наук FMWS-2026-0003.

Для цитирования: Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С. Оценка уровня химической загрязненности воды в бассейне реки Анграпы Калининградской области // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 84–94. EDN: PJTRFV DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-84-94

© Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Гидрология
Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С.

HYDROLOGY
Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-84-94
EDN: PJTRFV

ASSESSING THE LEVEL OF CHEMICAL WATER POLLUTION IN THE ANGRAPA RIVER BASIN, KALININGRAD REGION

Yuri A. Spirin[1, 2]✉, Sergey I. Zotov[3], Veronika S. Taran[3]
[1] Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2,] RUDN University, Moscow, Russia
[3] Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia
✉ spirin.yuriy@rambler.ru, ORCID: 0000-0003-3481-9666, eLibrary AuthorID: 887382

Abstract. The Angrapa River basin in the Kaliningrad Region is a transboundary water body that is potentially subject to significant anthropogenic stress. Despite the ecological significance of the area, including the Vishtynetsky National Park, there have been no systematic studies of the chemical pollution in the watercourses. The purpose of this work is to provide a comprehensive assessment of the water pollution levels in the basin, identifying spatial patterns and key influencing factors. In 2023–2024, four rivers of the basin (Angrapa, Pissa, Krasnaya, and Russkaya) were monitored, with 63 water samples collected in different hydrological seasons. Based on laboratory analysis of the samples, water pollution indices (WPI) and specific combinatorial indices (SCI) were calculated, which were then extended to the corresponding sections of the watercourses. According to the specific combinatorial water pollution index (SCWPI), the water quality of the Angrapa River basin is classified as 3b *very polluted*, and as 4a *dirty* when taking into account the critical pollution indicators (CPI). The study has found that the most polluted is the Russkaya River – 4.82 (4a *dirty*) with an average number of CPI = 4, with 70 % of the catchment area occupied by agricultural land. The least pollution has been found in the Krasnaya River – 2.88 (3a *polluted*) with an average number of CPI = 1, the area of which is characterized by high forest cover (60 %). The level of water pollution increases from the source to the mouth of the river: areas with a high percentage of forest cover have cleaner water compared to areas dominated by agricultural land and urban areas. According to the WPI, water quality is at its worst in autumn (average WPI is 5.53 – V class, dirty), while it improves in winter (1.74 – III class, moderately polluted). Major MPC exceedances were registered for iron (97 % of the samples), petroleum products (70 % of the samples), chemical oxygen consumption (71 % of the samples), biochemical oxygen consumption (60 % of the samples), dissolved oxygen (48 % of the samples), phosphates (35 % of the samples), nitrites (22 % of the samples), and ammonium (19 % of the samples). The main factors affecting water quality include agricultural activities, urbanization, high iron content in groundwater, seasonal water availability, and natural cycles of aquatic and riparian vegetation

Keywords: Kaliningrad Region, Angrapa River basin, transboundary waters, water pollution, water pollution indices, hydrochemical monitoring

Funding. Mapping and work with GIS were carried out within the framework of the State Assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences FMWS-2026-0003.

For citation: Spirin Yu. A., Zotov S. I., Taran V. S. Assessing the level of chemical water pollution in the Angrapa River basin, Kaliningrad Region. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 84–94. EDN: PJTRFV DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-84-94

Введение

Загрязнение водных объектов продолжает оставаться одной из наиболее острых экологических проблем XXI в. Интенсивное промышленное развитие, расширение сельхозугодий и рост городских территорий способствуют деградации водных экосистем, создавая серьезные риски для биоразнообразия и населения. Особую актуальность эта проблема приобретает в Калининградской области – российском эксклаве на побережье Балтики, который сталкивается с уникальными экологическими вызовами [17–19]. В их числе трансграничное положение региона, стремительная интенсификация сельского хозяйства в последние 10 лет, активная урбанизация.

В качестве объекта исследования выбран бассейн р. Анграпы, расположенный в юго-восточной части Калининградской области (рис. 1). Этот район отличается уникальными природными и географическими условиями. Часть бассейна находится на территории Польши и Литвы, что делает его трансграничным. Рельеф местности разнообразен, с перепадами высот от 0 до 287 м. Для бассейна характерен интенсивный водообмен между подземными и поверхностными водами (модуль стока подземных вод составляет 1,5–3,0 л/(с×км²), а также высокая густота речной сети (0,92 км/км²) с преобладанием малых водотоков. Здесь также расположен Национальный парк «Виштынецкий», что подчеркивает экологическую значимость территории.

Для мониторинга было отобрано четыре характерные реки бассейна: Анграпа, Писса, Красная, Русская. Несмотря на их значимость, гидрохимические данные по этим водотокам остаются недостаточно систематизированными. Большинство существующих работ посвящено физико-географическим и

гидрологическим исследованиям [2; 4; 20–21], тогда как сведения о химическом составе воды и загрязнении крайне ограничены [13]. На Анграпе (д. Берестово) и Писсе (д. Зеленый Бор) организован регулярный мониторинг. По его результатам в течение 2019–2023 гг. в реках Анграпе и Писсе фиксируется качество воды 3а загрязненная, а в 2024 г. 3б очень загрязненная [7]. Этих двух точек явно недостаточно для всесторонней оценки состояния всего бассейна и идентификации источников загрязнения. В связи с этим данное исследование направлено на анализ пространственной и сезонной динамики загрязнения водных объектов бассейна Анграпы.

Материалы и методы

Оценке качества воды в исследуемых водотоках сопутствовал выбор четырех пунктов мониторинга на каждой из них, охватывающих участки от верховьев до приустьевой зоны. Исключением стала река Анграпа, где первая точка мониторинга располагалась не в верховьях, а вблизи государственной границы.

Наблюдения проводились в течение 2023–2024 гг. гидрологического года с учетом сезонных колебаний природных и антропогенных факторов. По данным «Росгидромета», период характеризуется как маловодный. Такой подход позволил выявить динамику загрязнения и определить основные источники воздействия на качество воды. Всего выполнено 4 полевых выезда, в ходе которых отобрано 63 пробы воды. Единственным исключением стала точка «Р1» на р. Русской, где летом 2024 г. отбор проб оказался невозможен из-за пересыхания русла (рис. 1).

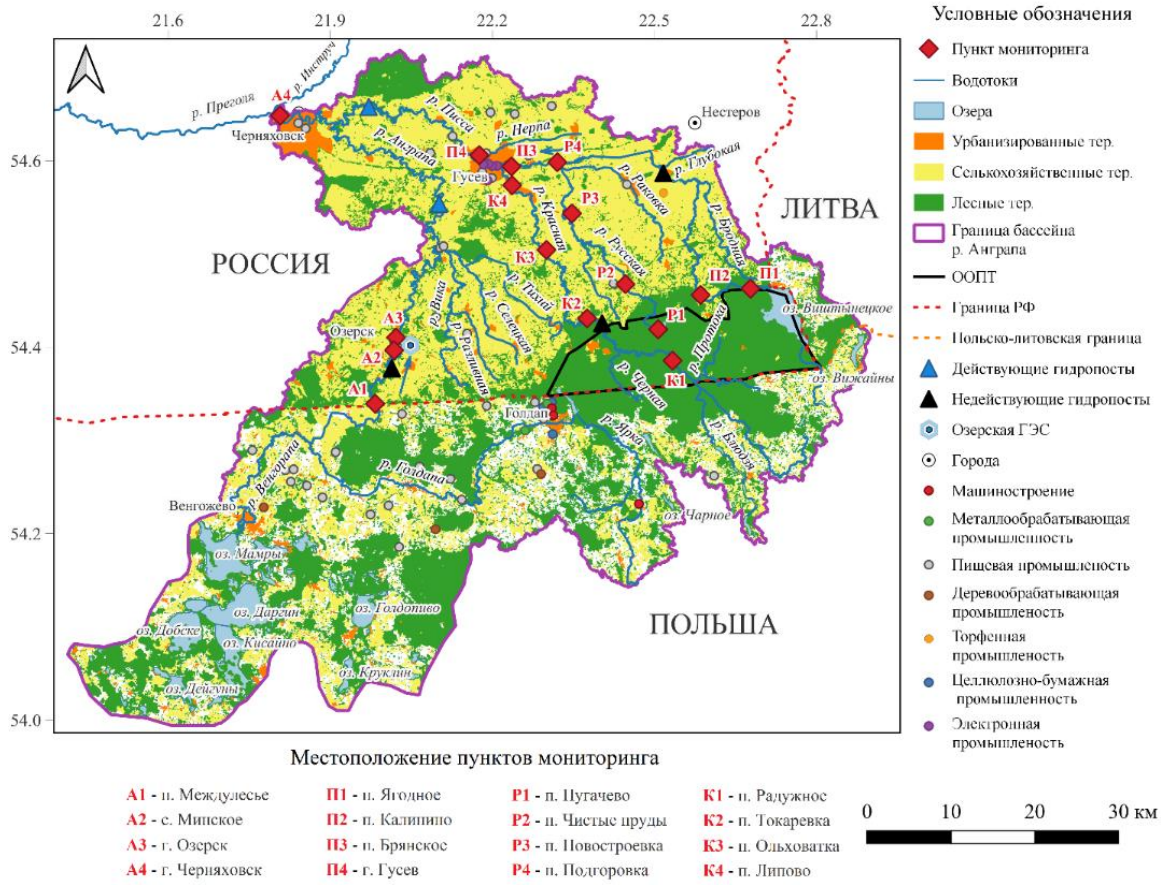


Рис. 1. Схема пространственного распределения природно-хозяйственных условий и местоположение пунктов мониторинга в бассейне р. Анграпы
Fig. 1. Scheme of spatial distribution of natural and economic conditions and the location of monitoring points in the Angrapa River basin

Во время полевых работ фиксировались морфометрические и гидрологические параметры рек (ширина, глубина, скорость течения), а также описывались особенности прилегающих территорий. Для измерений применялись гидрологическая микровертушка ГМЦМ-1 и строительная рулетка в соответствии с методикой, изложенной в нормативных документах [11]. На основе полученных данных рассчитаны расходы воды в каждом пункте мониторинга. Определены цветность, запах, мутность (ЕМФ – единицы 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 соответствии с РД 52.24.468–2019, *химическое потребление*

кислорода (*ХПК)* – ПНД Ф 14.1:2:4.190–2003, *биологическое потребление кислорода за 5 суток* (*БПК$_5$)* – 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».

В качестве предельно допустимых концентраций (ПДК) использовался рыбохозяйственный норматив [14]. Рассчитаны кратности превышения ПДК гидрохимических показателей, удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) с учетом и без учета критических показателей загрязнения (КПЗ) за гидрологический год и индекс загрязнения воды (ИЗВ) по гидрологическим сезонам [15].

Границы бассейнов изучаемых рек выделены на основе SRTM-снимков в программном пакете SAGA GIS с использованием стандартного встроенного инструментария. Исходя из того, что качество воды в реках можно рассматривать как интегральный показатель экологической обстановки на их водосборах, с учетом этого допущения и при помощи бассейново-ландшафтного подхода были построены схемы пространственной дифференциации УКИЗВ [3; 8; 19; 23]. Бассейн реки Анграпы был разделен на четыре суббассейна, а они, в свою очередь, поделены на четыре участка, что соответствует количеству выбранных пунктов мониторинга. При формировании границ участков соблюдалась та же логика, что при выборе точек отбора проб. Стоит учесть, что из-за небольшого количества пунктов мониторинга относительно площади объекта исследования, а также сложности описания и расчета процесса пространственного переноса химических веществ визуализация имеет ориентировочный характер. При этом, на наш взгляд, она достаточна для анализа распространения загрязнений в пространстве и выявления потенциального вектора возможных закономерностей относительно антропогенных и природных факторов для дальнейшей характеристики сложившейся ситуации в бассейне.

В рамках исследования выполнена комплексная оценка факторов, значимо влияющих на состояние водных ресурсов. Анализ сосредоточен на четырех основных категориях: сельскохозяйственное использование земель, доля лесного покрова, степень урбанизации, озерность водосборных бассейнов [9; 12]. Дополнительно изучены типы и локализация промышленных предприятий в качестве возможных источников точечных загрязнений. Для точной интерпретации структуры землепользования проведен синтез данных из разнородных источников, включая тематические атласы и открытые геоинформационные ресурсы [1; 5; 22; 24]. Лесной покров картировался на основе глобального набора данных EC JRC 2020 (версия V2) с детализацией 10 м.

Все пространственные данные объединены в единую геоинформационную систему, где ключевые характеристики территории отображены в границах водосборов. Такой метод позволил наглядно проанализировать распределение природных и антропогенных факторов, а также их возможное воздействие на качество воды в разных участках речной сети (рис. 1).

Результаты и их обсуждение

В бассейне реки Анграпы сложились следующие территориальные соотношения природно-хозяйственных факторов (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Распределение природно-хозяйственных условий в бассейне реки Анграпы
Distribution of natural and economic conditions in the Angrapa River basin

Наименование бассейна	*Fбас., км^2*	*с/х тер., %*	*Лес. тер., %*	*Урб. тер., %*	*Озера, %*	*Другое, %*	*Плот. насел., чел/км^2*
Река Анграпа, весь бассейн	3960	39,85	36,38	3,07	5,13	15,57	39,43
Река Анграпа без реки Писсы	2520	35,36	34,67	3,17	7,02	19,78	43,84
Река Писса, весь бассейн	1440	47,71	39,37	2,89	1,82	8,21	31,69
Река Писса без реки Русской и реки Красной	746	58,81	28,11	4,02	2,84	6,22	46,34
Река Красная, весь бассейн	508	23,37	59,62	1,88	0,99	14,15	20,16
Река Русская, весь бассейн	186	69,72	29,20	1,09	0,00	0,00	4,44

Как видно из таблицы 1, бассейн реки Анграпы характеризуется значительным влиянием сельского хозяйства, которое занимает почти 40 % его площади и рассматривается нами как основной источник диффузного загрязнения. В аграрном секторе преобладают животноводство (разведение крупного рогатого скота, свиней), растениеводство (выращивание пшеницы, ржи, ячменя, овса, рапса), овощеводство (выращивание картофеля, капусты, моркови, свеклы).

Здесь сразу стоит отметить ключевое различие в административном зонировании сельскохозяйственных угодий в российской практике по отношению к подходам, применяемым Польшей и Литвой. В России, в соответствии с генпланами муниципалитетов, земли сельхозназначения, как правило, объединяются в целостные, неразрывные массивы. В то же время на территориях Польши и Литвы (что хорошо видно на примере Варминско-Мазурского воеводства по данным регионального атласа и OpenStreetMap) агроландшафт имеет мозаичную структуру: участки пашни и угодий раздроблены на множество фрагментов с высокой плотностью, а промежутки между ними часто обозначаются как «не классифицируемые» земли. Отсюда и вытекает такое различие между странами в рамках категории земель «другое». По большей части эти земли можно также считать задействованными в сельскохозяйственном производстве.

Урбанизированные территории покрывают лишь 3 % площади бассейна, но их воздействие на водные объекты существенно из-за высокой локальной концентрации населения. Крупнейшие населенные пункты на российской стороне включают Гусев (37725 жителей), Озерск (4321 жителей), часть Черняховска (35705 жителей). На польской территории выделяются Голдап (19877 жителей), Венгожево (12186 жителей), часть Гижицко (28597 жителей). Плотность населения варьируется: в бассейне Анграпы она составляет 39,43 чел/км² (156126 чел.), Писсы – 31,69 чел/км² (45638 чел.), Красной – 20,16 чел/км² (10239 чел.), Русской – 4,44 чел/км² (826 чел.).

Промышленные предприятия, хотя и относятся к точечным источникам загрязнения, играют второстепенную роль. Основные отрасли – пищевая, деревообрабатывающая, электронная. Их влияние усложняется тесной интеграцией с городской и сельскохозяйственной инфраструктурой.

Природные особенности бассейна также оказывают влияние на формирования химического состава воды. Леса покрывают 36 % территории и представлены хвойными (сосна, ель, пихта) и лиственными (береза, дуб, бук, ольха, ясень, клен) породами. Озера занимают около 5 % площади, но распределены неравномерно: наибольшая их концентрация наблюдается в районе истока р. Анграпы и в зоне пункта П1 (10 %).

Таким образом, геоэкологическое состояние водотоков определяется сочетанием антропогенных и природных факторов. Динамика загрязнения отражена в данных УКИЗВ за 2023–2024 гг., демонстрируя пространственную изменчивость уровня воздействия (рис. 2).

В 2023–2024 годы средний УКИЗВ без учета КПЗ распределился следующим образом: в р. Анграпе – 3,64 (3б очень загрязненная); в р. Писсе – 3,67 (3б очень загрязненная); в р. Русской – 4,82 (4а грязная); в р. Красной – 2,88 (3а загрязненная). Суммарно по пунктам мониторинга случаи КПЗ имеют следующую градацию по рекам: Анграпа – 3 случая; Писса – 7 случаев; Русская – 15 случаев; Красная – 5 случаев. С их учетом по 7 пунктам мониторинга вода имеет класс качества 3б очень загрязненная, по 7 пунктам – 4а грязная, по 2 пунктам – 4б грязная и 4в очень грязная.

Среди водотоков бассейна Анграпы наиболее выраженный контраст в степени загрязнения демонстрируют реки Русская и Красная, при этом первая по полученным результатам самая загрязненная в исследовании, а вторая – самая чистая. Такое различие особенно интересно, учитывая географическую близость и сходные гидрологические условия водотоков. Ключевое различие кроется в структуре землепользования: водосбор Русской на 70 % занят сельхозугодьями при лишь 29 % лесного покрова, тогда как бассейн Красной имеет принципиально иное соотношение – 60 % лесов против 23 % сельскохозяйственных земель. Такая выраженная диспропорция полностью соответствует нашей гипотезе о преобладающем влиянии антропогенного фактора на качество водных ресурсов.

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 имеет среднюю тенденцию 21,55 %. В то же время прирост КПЗ присутствует только у р. Писсы, по остальным водотокам данная характеристика почти неизменна.

С целью получения более дифференцированной информации о качестве воды рассмотрим сезонную динамику ИЗВ (рис. 3).

По данным рисунка 3 можно дать характеристику сезонам на основе ИЗВ. Осень: р. Анграпа – средний ИЗВ = 1,85 (III умеренно загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 4,90 (V грязные); р. Русская – средний ИЗВ = 13,08 (VII чрезвычайно грязные); р. Красная – средний ИЗВ = 2,28 (IV загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 5,53 (V грязные). Зима: р. Анграпа – средний ИЗВ = 1,33 (III умеренно загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 1,46 (III умеренно загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 2,94 (IV загрязненные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,22 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 1,74 (III умеренно загрязненные). Весна: р. Анграпа – средний ИЗВ = 3,47 (IV загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 3,59 (IV загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 7,56 (VI очень грязные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,42 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 4,01 (IV загрязненные). Лето: р. Анграпа – средний ИЗВ = 2,02 (III умеренно загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 1,69 (III умеренно загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 3,42 (IV загрязненные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,96 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 2,27 (IV загрязненные).

Наибольший уровень загрязнения водотоков отмечается в осенний период, тогда как зимой фиксируются самые благоприятные показатели качества воды. Осеннее ухудшение ситуации с загрязнением обусловлено

совокупностью факторов: снижением водности рек из-за осенней межени, процессами разложения отмершей растительности, а также миграцией в водные объекты химических веществ из минеральных удобрений, внесенных под озимые культуры. В противоположность этому зимний период характеризуется существенным снижением как биологической активности, так и интенсивности антропогенного воздействия. Дополнительным очищающим фактором выступает разбавление загрязняющих веществ паводковыми водами и временное формирование ледового покрова, ограничивающее поступление вредных компонентов. Однако следует отметить, что повышенная водность в отдельных случаях может усугублять ситуацию, способствуя активному выносу загрязняющих веществ с прилегающих территорий в водные объекты.

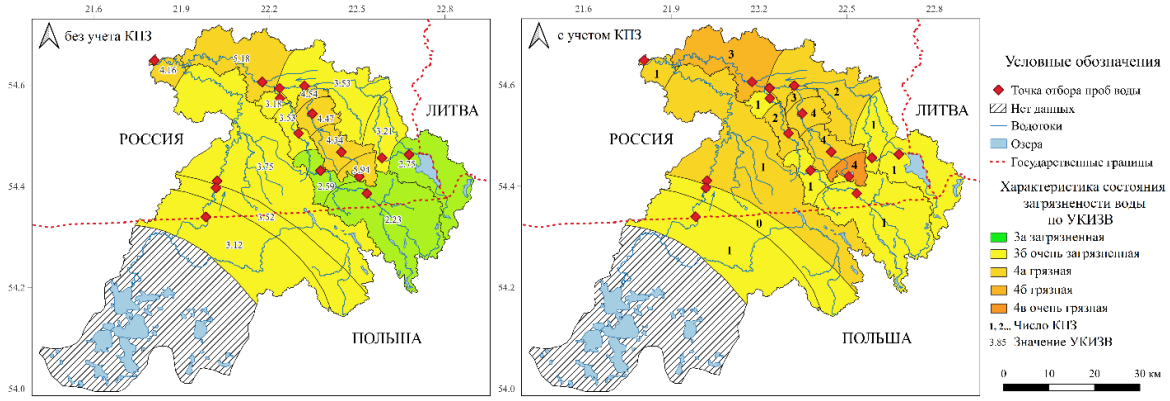


Рис. 2. Пространственная дифференциация УКИЗВ в бассейне р. Анграпы за период с 2023 по 2024 г.
Fig. 2. Spatial differentiation of SCWPI in the Angrapa River basin for the period from 2023 to 2024

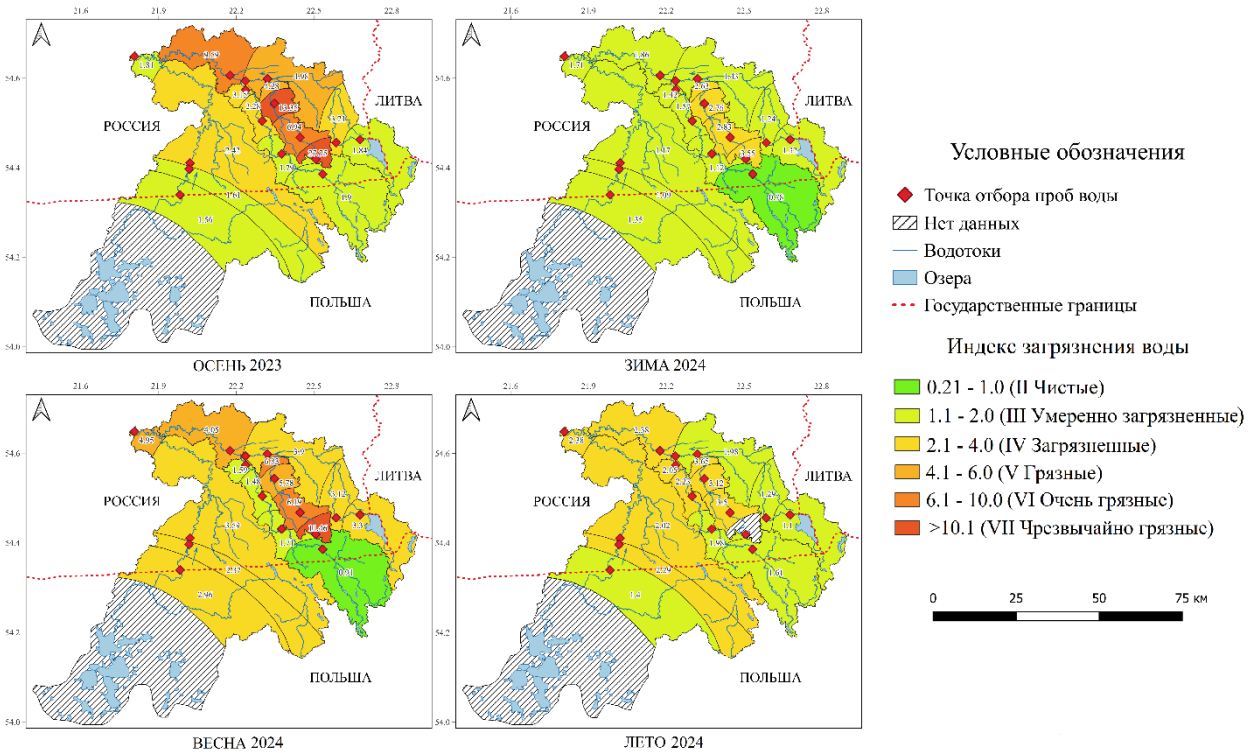


Рис. 3. Внутригодовая пространственная и сезонная изменчивость ИЗВ в бассейне р. Анграпы в 2023–2024 гг.
Fig. 3. Intra-annual spatial and seasonal variability of WPI in the Angrapa River basin in 2023–2024

Динамика загрязнения рек в исследуемом регионе тесно связана с изменениями водности в течение различных гидрологических сезонов, которые, в свою очередь, определяются климатическими особенностями Калининградской области. Анализ состояния водных объектов показал, что концентрация вредных веществ в воде значительно варьируется в зависимости от колебаний речного стока [10].

Чтобы выяснить, как водность влияет на уровень загрязнения воды 2023–2024 гг. построены графики, на которых сопоставлены осредненные сезонные ИЗВ и расходы воды по каждой из рек (рис. 4).

В рамках исследования были проанализированы данные разовых измерений расхода воды, выполненных в разные сезоны. Поскольку более точная информация в открытых источниках отсутствует, оценка базируется на обобщенном показателе водности как причине, влияющей на химический состав воды.

Осенью 2023 года на большинстве водотоков (за исключением р. Красной) начался предпаводковый период, сопровождавшийся ростом ИЗВ. Однако зимний паводок 2024 года привел к резкому снижению ИЗВ, тогда как уменьшение стока весной и в начале лета спровоцировало сначала увеличение концентрации загрязняющих веществ, а затем их постепенное снижение (исключением осталась р. Красная, где летнего улучшения не наблюдалось). Такая динамика типична для регионов с избыточным увлажнением, где устойчивый снежный и ледовый покров зимой формируется редко, что вносит значительные колебания в сезонные изменения стока и концентрации загрязнений.

В целом связь между изменением расхода воды и ИЗВ носит, скорее, стохастический, чем закономерный характер. Важно учитывать, что химический состав речных вод формируется под комплексным воздействием множества факторов. Например, сельскохозяйственная деятельность, состояние растительности, антропогенные нагрузки имеют собственные циклы, которые не всегда совпадают с гидрологическими фазами, особенно в условиях нестабильного водного режима без четко выраженных сезонных закономерностей. Кроме того, влияние водности может варьироваться в зависимости от специфики конкретного водосборного бассейна. В периоды интенсивных осадков в каких-то случаях может происходить активное вымывание удобрений с сельскохозяйственных полей, что повышает ИЗВ, а в других случаях это приводит к увеличение водности, что, напротив, будет способствовать разбавлению загрязняющих веществ.

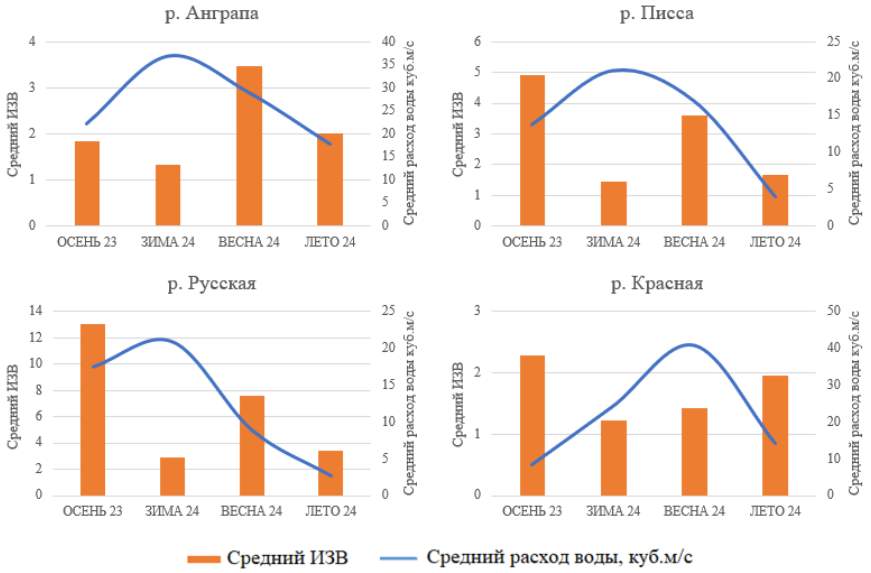


Рис. 4. Средние за сезон индексы загрязнения воды и средние по четырем пунктам расходы воды в реках во время пробоотбора

Fig. 4. Average WPI for the seasons and average water flow rates in rivers registered at four points during sampling

В таблице 2 представлены основные загрязняющие вещества и различные статистические характеристики кратности превышения ПДК. По данным таблицы 2, к систематическим загрязнителям можно отнести нефтепродукты, железо, кислородные показатели, биогенные соединения. Больше трети всех загрязнений – это железо (21,71 %) и нефтепродукты (15,23 %). Кислородные показатели занимают больше 40 % от всех превышений нормированных значений: растворенный кислород (30,62 %), ХПК (8,91 %), БПК5 (5,05 %). Биогенных соединений, представленных фосфатами (9,01 %), аммонием (2,23 %), нитритами (2,27 %), в сумме около 14 %.

Если принять во внимание описанные ранее природно-хозяйственные условия и пространственную и сезонную изменчивость интегральных показателей загрязнения, а также сопоставить их с химическими веществами, которые не соответствуют ПДК, то можно предположить, какие факторы влияют на качество воды в бассейне. В составе промышленных и коммунально-бытовых стоков можно выделить поверхностно-активные вещества, которые включают углеводороды и входят в массовую концентрацию нефтепродуктов, что обеспечивает превалирующее поступление нефтепродуктов в реки от этих видов стоков. Гидрохимический режим рек Калининградской области характеризуется повышенной концентрацией общего железа, что обусловлено гидрогеологическими особенностями региона, способствующими обогащению подземных вод этим элементом [6–7]. Источник загрязнения биогенными веществами и превышения ПДК кислородных показателей в верховьях рек может свидетельствовать о процессах, связанных с отмиранием и разложением растительности, а ниже по течению – с сельскохозяйственными землями.

Представленные показатели по отдельности не имеют четкой привязки к сезонам. Это обусловлено переменчивыми фазами водного режима в регионе, которые ко всему прочему могут по-разному влиять на химический состав воды тех или иных речных систем (смыв с территорий и разбавление вод). В свою очередь, это усложняет отслеживание четких периодов других источников загрязнения сезонного характера, таких как сельское хозяйство и циклы жизнедеятельности растительности.

Таблица 2
Table 2

Различные статистические характеристики кратности превышения ПДК химических веществ в бассейне р. Анграпы в период с 2023 по 2024 г.
Various statistical characteristics of the exceedance factor for the MPC of chemical substances in the Angrapa River basin in the period from 2023 to 2024

Показатель	*Макс. крат. превыш. ПДК*	*Сред. крат. превыш. ПДК*	*Сумма крат. превыш. ПДК*	*Распред. крат. превыш. ПДК, %*	*Число проб несоответ. ПДК (из 63)*
pH	1,05	0,98	16	1,27	16
Раств O_2	117,65	6,54	388	30,62	30
ХПК	6,82	1,94	113	8,91	45
$БПК_5$	5,19	1,27	64	5,05	38
Нитраты	0,47	0,08	0	0,00	0
Нитриты	3,31	0,47	27	2,16	14
Аммоний	10,18	0,67	28	2,23	12
Фосфаты	31,60	2,03	114	9,01	22
Хлориды	12,34	0,55	26	2,09	5
Сульфаты	2,02	0,50	21	1,64	13
Натрий	1,18	0,14	1	0,09	1
Магний	0,65	0,24	0	0,00	0
Железо	12,16	4,39	275	21,71	61
Нефтепродукты	22,80	3,18	193	15,23	44
Калий	0,48	0,07	0	0,00	0
Кальций	0,88	0,30	0	0,00	0

Выводы

В 2023–2024 годы состояние вод бассейна р. Анграпы, согласно УКИЗВ без учета КПЗ, характеризуется как 3б очень загрязненная, а с учетом КПЗ – как 4а грязная. Наибольший уровень загрязнения зафиксирован в р. Русская – 4,82 (4а грязная) со средним количеством КПЗ = 4, тогда как наименьший в р. Красная – 2,88 (3а загрязненная) со средним количеством КПЗ = 1. Загрязнение нарастает по направлению от истока к устью: в зонах с высокой лесистостью вода чище, чем на территориях с преобладанием сельхозугодий и урбанизированных ландшафтов. По данным ИЗВ, наиболее неблагоприятным сезоном оказалась осень (средний показатель 5,53 – V класс, грязные), а наиболее чистым – зима (1,74 – III класс, умеренно загрязненные). Ключевые нарушения ПДК зафиксированы по следующим показателям: железо (61 из 63 проб), нефтепродукты (44 из 63 проб), ХПК (45 из 63), $БПК_5$ (38 из 63 проб), растворенный кислород (30 из 63 проб), фосфаты (22 из 63 проб), нитриты (14 из 63 проб), аммоний (12 из 63 проб).

Выделен ряд несоответствий нормам ПДК со следующими средними кратностями превышения: растворенный кислород (6,54 раз), железо (4,39 раз), нефтепродукты (3,18 раз), ХПК (1,94 раз), фосфаты (2,03 раз), $БПК_5$ (1,27 раз), аммоний (0,67 раз), нитриты (0,47 раз).

Комплексный анализ сезонной изменчивости ИЗВ, пространственного распределения УКИЗВ, зафиксированных превышений ПДК, а также природно-хозяйственных характеристик бассейна с учетом межгодовых колебаний показателей позволяет выделить следующие основные факторы, влияющие на качество воды: сельскохозяйственная деятельность, урбанизированные территории, поступление подземных вод с высоким содержанием железа, сезонная водность, естественные циклы развития водной и прибрежной растительности.

Библиографический список

1. Атлас Варминско-Мазурского воеводства : сайт. URL: https://atlas.warmia.mazury.pl/ (дата обращения: 20.12.2024)

2. *Ахмедова Н. Р., Наумов В. А.* Динамика модуля годового стока в бассейне реки Писса // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 2(51). С. 105–111. DOI: 10.24866/2227-6858/2022-2/105-111

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

4. *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.

5. Генеральные планы муниципальных образований : сайт. URL: https://mingrad.gov39.ru/ (дата обращения: 20.12.2024)

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

7. Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2024 году». Калининград: ООО «ВИА Калининград», 2025. С. 45–46.

8. *Джамалов Р. Г., Мироненко А. А., Мягкова К. Г., Решетняк О. С., Сафронова Т. И.* Пространственно-временной анализ гидрохимического состава и загрязнения вод в бассейне Северной Двины // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, № 2. С. 149–160. DOI: 10.31857/S0321-0596462149-160

9. *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

10. *Зотов С. И., Спирин Ю. А., Таран В. С.* Оценка химического загрязнения и качества вод рек Юго-Восточной части Калининградской области // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2024. Т. 88, № 4. С. 554–567. DOI: 10.31857/S2587556624040086

11. 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) : сайт. URL: http://docs.cntd.ru/document/901704792 (дата обращения: 10.03.2025)

12. *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

13. *Нагорнова Н. Н., Берникова Т. А., Цупикова Н. А.* Гидрогеохимическая характеристика малых рек Калининградской области // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2011. № 7. С. 160–166.

14. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 10 марта 2020 года): Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 13 января 2017 года, регистрационный № 45203 : сайт. URL: http://docs.cntd.ru/document/420389120 (дата обращения: 10.05.2025)

15. РД 52.24.643–2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям : сайт. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200039667. (дата обращения: 10.05.2025)

16. *Саускан В. И., Уманский С. А.* Качество жизни и экологическая безопасность как цели устойчивого развития Калининградской области // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2010. № 1. С. 70–77.

17. *Севостьянова Е. А., Меньшенин А. С., Никрашевская А. Э., Глинская А. С., Цупикова Н. А.* Современное экологическое состояние водоемов рекреационного назначения Калининграда // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: мат. XIII нац. (всерос.) науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 29–30 марта 2022 г.). Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2022. С. 193–197.

18. *Спирин Ю. А., Зотов С. И.* Проблемы геоэкологического состояния и использования поверхностных вод Калининградской области // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29, № 2. С. 221–230. DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-221-230

19. *Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С., Королева Ю. В.* Оценка геоэкологического состояния поверхностных водотоков Славского района Калининградской области // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2021. Т. 7, № 1. С. 183–202.

20. *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

21. *Шамонина Т. В., Нелюбина Е. А.* Анализ водного использования бассейна реки Писсы // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2017. № 2. С. 1–8.

22. *Domnin D., Chubarenko B., Lewandowski A.* Vistula Lagoon catchment: Atlas of water use. M.: Exlibris Press, 2015. 105 p.

23. *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. Vol. 8. P. 973–992. DOI: 10.1007/s40710-021-00530-2

24. Open Street Map: website. URL: www.openstreetmap.org (дата обращения: 20.12.2024)

References

1. *Atlas Varminsko-Mazurskogo voevodstva* [Atlas of the Warmia-Masuria Voivodeship]. Atlas: website (In Russ.) URL: https://atlas.warmia.mazury.pl/ (Assessed 20 December 2024).

2. Akhmedova N. R., Naumov V.A. Dynamics of the annual runoff module in the basin of the Pissa River. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2022, no. 2(51), pp. 105–111. (In Russ.) DOI: 10.24866/2227-6858/2022-2/105-111

3. Baldakov N. A., Kudishin A. V. Automated calculation of characteristics of the catchment basin as a tool of runoff modelling. *Interexpo Geo-Siberia*, 2019, vol. 1, no. 1, pp. 83–89. (In Russ.) DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89.

4. Bernikova T. A., Tylik K. V., Tsvetkova N. N. Fiziko-geograficheskaya kharakteristika reki Krasnoi – pamyatnika prirody gidrologicheskogo profilya Kaliningradskoi oblasti [Physico-geographical characteristics of the Red River – natural monument of the hydrological profile of the Kaliningrad region]. *Izvestia KSTU*, 2019, no. 52, pp. 11–23. (In Russ.)

5. *General'nye plany munitsipal'nykh obrazovanii* [General plans of municipalities]. General plans: website. (In Russ.) URL: https://mingrad.gov39.ru/ (Assessed 20 December 2024).

6. Glushchenko A. I. Ekologicheskoe sostoyanie i kachestvo podzemnykh vod Kaliningradskogo skvazhinnogo vodozabora [Environmental conditions and quality of groundwater at the Kaliningrad well water intake]. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta imeni I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki*, 2008, no. 1, 28 p. (In Russ.)

7. *Gosudarstvennyi doklad "Ob ekologicheskoi obstanovke v Kaliningradskoi oblasti v 2024 godu"* [State Report on the Environmental Situation in the Kaliningrad Region in 2024]. Kaliningrad: OOO "VIA Kaliningrad", 2025, pp. 45–46. (In Russ.)

8. Dzhamalov R. G., Mironenko A. A., Myagkova K. G., Reshetnyak O. S., Safronova T. I. Space–Time Analysis of the Hydrochemical Composition and Pollution of Water in the Northern Dvina Basin. *Water Resources*, 2019, vol. 46, no. 2, pp. 149–160. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0321-0596462149-160

9. Dmitrieva V. A., Nefedova E. G. Hydroecological role of forest in formation of regime of water resources. *Forestry Engineering Journal*, 2015, vol. 5, no. 3(19), pp. 22–33. (In Russ.) DOI: 10.12737/14150

10. Zotov S. I., Spirin Yu. A., Taran V. S. Assessment of chemical pollution and water quality of rivers in the southeastern part of Kaliningrad oblast. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2024, vol. 88, no. 4, pp. 554–567. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2587556624040086

11. *Inzhenerno-gidrometeorologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva: SP 11-103-97: Odobren Departamentom razvitiya nauchno-tekhnicheskoi politiki i proektno-izyskatel'skikh rabot Gosstroya Rossii (pis'mo ot 10.07.97 № 9-1-1/69)* [Engineering and Hydrometeorological Surveys for Construction: SP 11-103-97: Approved by the Department of Scientific and Technical Policy Development and Design and Survey Work of the State Construction Committee of Russia (letter dated 10.07.97 No. 9-1-1/69)]. Inzhenerno-gidrometeorologicheskie izyskaniya: website. (In Russ.) URL: http://docs.cntd.ru/document/901704792 (Assessed 10 March 2025).

12. Kireycheva L. V., Lentyaeva E. A. The influence of agricultural production on pollution of water bodies. *Prirodoobustrojstvo» (Environmental Engineering)*, 2020, no. 5, pp. 18–26. (In Russ.) DOI: 10.26897/1997-6011/2020-5-18-27

13. Nagornova N. N., Bernikova T. A., Tsupikova N. A. Gidrogeokhimicheskaya kharakteristika malykh rek Kaliningradskoi oblasti [Hydrogeochemical Characteristics of Small Rivers in the Kaliningrad Region].*Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*, 2011, no. 7, pp. 160–166. (In Russ.)

14. *Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob"ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya (s izmeneniyami na 10 marta 2020 goda): Zaregistrirovano v Ministerstve yustitsii Rossiiskoi Federatsii 13 yanvarya 2017 goda, registratsionnyi no. 45203* [On Approval of Water Quality Standards for Water Bodies of Fisheries Importance, Including Standards for Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances in the Waters of Water Bodies of Fisheries Importance (as amended on March 10, 2020): Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on January 13, 2017, registration number 45203]. (In Russ.) URL: http://docs.cntd.ru/document/420389120 (Assessed 10 May 2025).

15. RD 52.24.643–2002 Metodicheskie ukazaniya. Metod kompleksnoi otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam [RD 52.24.643–2002 Methodological guidelines. Method for a comprehensive assessment of the degree of surface water pollution based on hydrochemical indicators]. RD 52.24.643–2002 Metodicheskie ukazaniya: website. (In Russ.) URL: https://docs.cntd.ru/document/1200039667. (Assessed 10 May 2025).

16. Sauskan V. I., Umanskii S. A. Kachestvo zhizni i ekologicheskaya bezopasnost' kak tseli ustoichivogo razvitiya Kaliningradskoi oblasti [Quality of life and environmental safety as goals of sustainable development in the Kaliningrad Region]. *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta*, 2010, no. 1, pp. 70–77. (In Russ.)

17. Sevost'yanova E. A., Men'shenin A. S., Nikrashevskaya A. E., Glinskaya A. S., Tsupikova N. A. Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie vodoemov rekreatsionnogo naznacheniya Kaliningrada [The current ecological state of Kaliningrad's recreational water bodies]. In *Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie: Materialy XIII Nats. (vseros.) nauch.-prakt. konf. (Petropavlovsk-Kamchatskii, 29–30 marta 2022 g.)*. Petropavlovsk-Kamchatskii: Kamchatskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2022, pp. 193–197. (In Russ.)

18. Spirin Yu. A., Zotov S. I. Problems of geoecological condition and use of surface waters in the Kaliningrad region. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 2019, vol. 29, no. 2, pp. 221–230. (In Russ.) DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-221-230

19. Spirin Yu. A., Zotov S. I., Taran V. S., Koroleva Yu. V. Otsenka geoekologicheskogo sostoyaniya poverkhnostnykh vodotokov Slavskogo raiona Kaliningradskoi oblasti [Assessment of the geoecological state of surface watercourses in the Slavsky District of the Kaliningrad Region]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*, 2021, vol. 7, no. 1, pp. 183–202. (In Russ.)

20. Tylik K. V. Hydroecological features of the Krasnaya River – nature landmark of the Kaliningrad Region hydrological profile. *Izvestiya KSTU*, 2021, no. 61, pp. 39–50. (In Russ.) DOI: 10.46845/1997-3071-2021-61-39-50

21. Shamonina T. V., Nelyubina E. A. Analiz vodnogo ispol'zovaniya basseina reki Pissy [Analysis of water use in the Pissa River basin]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 2017, no. 2, pp. 1–8. (In Russ.)

22. Domnin D., Chubarenko B., Lewandowski A. Vistula Lagoon catchment: Atlas of water use. Moscow: Exlibris Press, 2015. 105 p.

23. 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, vol. 8, pp. 973–992. DOI: 10.1007/s40710-021-00530-2

24. Open Street Map: website. URL: www.openstreetmap.org (Assessed 20 December 2024).

Статья поступила в редакцию: 20.01.26, одобрена после рецензирования: 13.02.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 20 January 2026; approved after review: 13 February 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах
Юрий Александрович Спирин
Кандидат географических наук,
научный сотрудник лаборатории гидрологии,
Институт географии Российской академии наук
117312, г. Москва, ул. Вавилова, д. 37.
Старший преподаватель
департамента рационального природопользования,
Российский университет дружбы народов;
117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6
ORCID: 0000-0003-3481-9666,
eLibrary AuthorID: 887382

Information about the authors
Yuri A. Spirin
Candidate of Geographical Sciences,
Researcher, Hydrology Laboratory,
Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences;
37, Vavilova st., Moscow, 117312, Russia
Senior Lecturer, Department of Rational Nature Management, RUDN University;
6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russia
ORCID: 0000-0003-3481-9666,
eLibrary AuthorID: 887382

e-mail: spirin.yuriy@rambler.ru

Сергей Игоревич Зотов
Доктор географических наук, профессор,
профессор Высшей школы живых систем,
Балтийский федеральный университет им. И. Канта;
236041, г. Калининград, ул. Университетская, д. 2
ORCID: 0000-0002-6509-7398,
eLibrary AuthorID: 60753

Sergey I. Zotov
Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Higher School of Living Systems,
Immanuel Kant Baltic Federal University;
2, Universitetskaya st., Kaliningrad, 236041, Russia
ORCID: 0000-0002-6509-7398,
eLibrary AuthorID: 60753

e-mail: zotov.prof@gmail.com

Вероника Сергеевна Таран
Аспирант Высшей школы живых систем,
Балтийский федеральный университет им. И. Канта;
236041, г. Калининград, ул. Университетская, д. 2

Veronika S. Taran
Postgraduate Student, Higher School of Living Systems,
Immanuel Kant Baltic Federal University;
2, Universitetskaya st., Kaliningrad, 236041, Russia

e-mail: ronya.volkova@yandex.ru

Вклад авторов

Спирин Ю. А. – расчет интегральных показателей, создание графического материала, анализ результатов, написание статьи.

Зотов С. И. – обработка материала, анализ результатов, структурирование материала, научное редактирование.

Таран В. С. – отбор проб воды и гидрологические измерения, гидрологические расчеты, проведение химических анализов, обработка материала, анализ результатов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Yuri A. Spirin – calculation of integral indicators; creation of the graphic material; analysis of the results; writing of the article.

Sergey I. Zotov – material processing and structuring; analysis of the results; scientific editing.

Veronika S. Taran – water sampling and hydrological measurements; hydrological calculations; chemical analyses; material processing; analysis of the results.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.