

УДК 504.4.054
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-6
EDN KUWEQA

Исследование химического состояния малых водотоков юго-востока Калининградской области и факторы влияющие на него

¹Спирин Ю.А., ²Зотов С.И., ²Таран В.С., ²Платоненко Г.О.

¹Институт географии РАН,

Россия, 117312, г. Москва, ул. Вавилова, 37

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта,
Россия, 236040, г. Калининград, ул. Университетская, 2

spirin.yuriy@rambler.ru, zotov.prof@gmail.com, ronya.volkova@yandex.ru, mitruwenkova@mail.ru

Аннотация. Бассейн реки Анграпы в Калининградской области является важным трансграничным водным объектом, подверженным существенному антропогенному воздействию. Цель работы – комплексная оценка уровня загрязнения вод бассейна с выявлением пространственно-временных закономерностей и ключевых факторов влияния. В рамках исследования проведен мониторинг качества воды в четырех реках бассейна (Анграпа, Писса, Красная, Русская) за 2022–2024 гг., во время которого отобрано 126 проб в различные гидрологические сезоны. Результаты анализа показали, что состояние водных ресурсов оценивается как 4а грязная по УКИЗВ без учета критических показателей загрязнения и 4б грязная с их учетом. Пространственный анализ выявил, что степень загрязнения связана с характером землепользования. Участки с преобладанием лесных массивов демонстрируют более благоприятные показатели, тогда как зоны активной сельскохозяйственной деятельности и урбанизированные территории характеризуются значительным ухудшением качества воды. Сезонная динамика загрязнения выражена ярко: осенью средний ИЗВ достигает 8,21 (VI класс, очень грязные), тогда как зимой этот показатель снижается до 2,40 (IV класс, загрязненные). Основными загрязняющими веществами, концентрации которых превышают ПДК, выступают нефтепродукты, железо, фосфаты, аммоний, нитриты, а также показатели БПК₅ и ХПК. Дефицит растворенного кислорода в отдельные периоды ухудшает экологическое состояние водотоков. Ключевыми факторами, определяющими качество воды, являются интенсивное ведение сельского хозяйства, сбросы с урбанизированных территорий, поступление железа с подземными водами, а также естественные гидрологические и биологические процессы. Сезонные колебания водности и вегетационные циклы водной растительности вносят дополнительную вариативность в уровень загрязнения. Полученные данные подчеркивают необходимость разработки адресных природоохранных мер с учетом пространственно-временной неоднородности антропогенного воздействия.

Ключевые слова: Калининградская область, бассейн реки Анграпы, индексы загрязнения вод, качество вод, антропогенные факторы, природные факторы, гидрохимический мониторинг

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

Для цитирования: Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Платоненко Г.О. 2025. Исследование химического состояния малых водотоков юго-востока Калининградской области и факторы влияющие на него. Региональные геосистемы, 49(4): 723–734. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-6 EDN: KUWEQA

Study of the Chemical State of Small Watercourses in the South-East of the Kaliningrad Region and Factors Influencing It

¹ Yuriy A. Spirin, ² Sergey I. Zотов, ²Veronika S. Taran, ²Galina.O. Platonenko

¹Institute of Geography RAS,

37 Vavilov St., Moscow, 117312, Russia,

²Immanuel Kant Baltic Federal University,

2 Universitetskaya St., Kaliningrad, 236040, Russia,

spirin.yuriy@rambler.ru, zotov.prof@gmail.com, ronya.volkova@yandex.ru, mitruwenkova@mail.ru

Abstract. The Angrapa River basin in the Kaliningrad region is an important transboundary water body that is subject to a significant anthropogenic impact. The purpose of the work is to provide a comprehensive assessment of the basin waters pollution level, as well as to identify the spatio-temporal patterns and key influencing factors. As part of the study, water quality monitoring was carried out in four rivers of the basin (the Angrapa, the Pissa, the Krasnaya, and the Russkaya) from 2022 to 2024, during which 126 samples were taken in different hydrological seasons. The analysis allowed us to assess the state of water resources as 4a dirty according to the SCIWP without taking into account critical pollution indicators, and as 4b dirty when these indicators are taken into consideration. Spatial analysis revealed the association between the pollution degree and the type of land use. Areas with a predominance of forests demonstrate more favorable indicators, while areas of active agricultural activity and urbanized territories are characterized by a significant deterioration in water quality. Seasonal pollution dynamics are clearly expressed: in autumn, the average WPI reaches 8.21 (class VI, very dirty), while in winter this indicator decreases to 2.40 (class IV, polluted). MACs are mainly exceeded by oil products, iron, phosphates, ammonium, nitrites, with BOD₅ and COD indicators also higher than normal. A deficiency of dissolved oxygen in certain periods worsens the ecological state of watercourses. The key factors determining the water quality include intensive agriculture, discharges from urbanized areas, the influx of iron with groundwater, as well as natural hydrological and biological processes. Seasonal fluctuations in the water content and vegetation cycles of aquatic vegetation introduce additional variability in the pollution level. The data obtained emphasize the need to develop targeted environmental protection measures taking into account the spatiotemporal heterogeneity of anthropogenic impact.

Keywords: Kaliningrad region, the Angrapa river basin, water pollution indices, water quality, anthropogenic factors, natural factors, hydrochemical monitoring

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

For citation: Spirin Yu.A., Zотов S.I., Taran V.S., Platonenko G.O. 2025. Study of the Chemical State of Small Watercourses in the South-East of the Kaliningrad Region and Factors Influencing It. Regional Geosystems, 49(4): 723–734 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-0-6 EDN: KUWEQA

Введение

Водные ресурсы Калининградской области, являясь ключевым элементом природной системы, испытывают значительную антропогенную нагрузку из-за интенсивного сельскохозяйственного освоения, урбанизации и трансграничного характера водопользования [Спирин и др., 2021а]. Особую экологическую значимость имеет бассейн реки Анграпы – важной водной артерии, входящей в систему реки Преголи и оказывающей прямое влияние на состояние Вислинской лагуны Балтийского моря. Несмотря на особый природоохранный статус части территории (ООПТ Национальный парк «Виштынецкий»), водные объекты бассейна подвержены загрязнению, что подтверждается данными мониторинга 2024 года, фиксирующими класс качества воды 3б очень загрязненная в реках Анграпе и Писсе [Государственный доклад..., 2024]. Стоит

отметить, что это первое с 2015 года ухудшение класса качества воды на один пункт, с За загрязненная до 3б очень загрязненная.

Бассейн реки Анграпы занимает обширную территорию площадью 3960 км², из которых 45 % (1800 км²) расположены в пределах Калининградской области. Река протяженностью 169 км (в российской части – 95 км) характеризуется плавным течением со средним уклоном русла 0,63 %. Гидрографическая сеть бассейна отличается относительно низкой плотностью – 0,9 км/км², что является одним из минимальных показателей в регионе. Гидрологический режим реки формируется под влиянием нескольких факторов. Анграпа имеет смешанное питание с преобладанием снегового и дождевого компонентов. Весенне-половодье продолжается в среднем 40–50 дней, тогда как меженные периоды выражены слабо. Зимой река покрывается льдом на срок от 2,5 до 3,5 месяцев. Средняя скорость течения колеблется в пределах 0,4–0,8 м/с, а модуль годового стока достигает 5,8 л/(с·км²). Водный баланс бассейна характеризуется годовым стоком 25,45 м³/с при осадках 723 мм и испарении 530 мм, из которых 159 мм приходится на поверхностный сток и 44 мм – на подземный [Основные гидрологические..., 1988; Зотов 2001].

Современные научные работы, посвященные бассейну реки Анграпы, преимущественно сосредоточены на изучении физико-географических и гидрологических характеристик водных объектов [Шамонина, Нелюбина, 2017; Берникова и др., 2019; Тылик, 2021; Ахмедова, Наумов, 2022]. В то же время вопросы химического состава вод и уровня их загрязнения остаются недостаточно изученными, при этом имеющиеся данные требуют актуализации [Нагорнова и др., 2011]. Существующая сеть мониторинга Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, включающая лишь два стационарных пункта наблюдений на реке Анграпе (д. Берестово) и реке Писсе (д. Зеленый Бор), не позволяет получить полное представление о пространственном распределении гидрохимических показателей по всему бассейну. В данном контексте актуальным представляется проведение комплексного исследования, направленного на выявление пространственно-временных закономерностей загрязнения водных объектов в бассейне реки Анграпы.

Объекты и методы исследования

Для комплексной оценки состояния водных объектов была разработана система мониторинга, включающая четыре контрольных створа на реках Анграпе, Писсе, Красной и Русской. Эти пункты наблюдений охватывают различные по своим природно-хозяйственным условиям участки рек от верховьев до приусадебной зоны, за исключением реки Анграпы, где первая точка была установлена в районе государственной границы, а не в верховьях.

Границы водосборов рек определены по *SRTM*-данным в *SAGA GIS* с последующим разделением бассейна Анграпы на суббассейны и участки, соответствующие пунктам мониторинга [Балдаков, Кудишин, 2019; Джамалов и др., 2019; Спирин и др., 2021; Lämmchen et al., 2021]. Комплексный анализ факторов воздействия включал оценку сельхозугодий, лесистости, уровня урбанизированности территории и озерности водосборов, а также локализацию промышленных объектов. Данные интегрировались из атласов и ГИС-ресурсов [Domin et al, 2015; Генеральные планы..., 2023; Атлас Варминско-Мазурского..., 2024; Open Street..., 2024]. Пространственное моделирование, несмотря на ограниченность мониторинговых точек, позволило отождествить качество воды с доминирующими территориями.

На этой основе создана картографическая схема исследования с наглядным представлением о распределении природно-хозяйственных параметров (рис. 1).

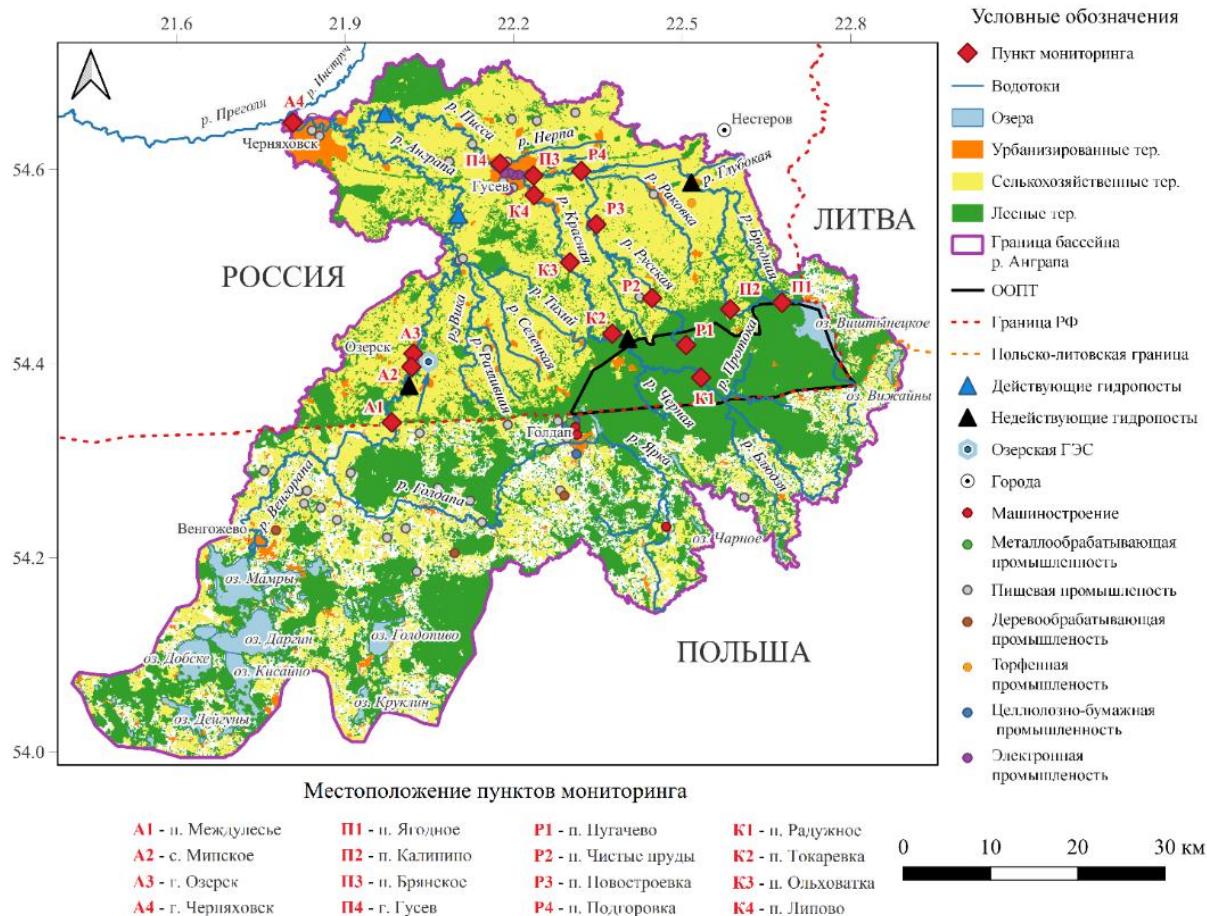


Рис. 1. Схема пространственного распределения природно-хозяйственных условий и местоположение пунктов мониторинга в бассейне р. Анграпы

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

Исследовательские работы проводились на протяжении двух гидрологических лет с осени 2022 по лето 2024 года с учетом сезонной динамики природных процессов и антропогенной нагрузки. Такой подход позволил выявить динамику загрязнения и определить основные источники воздействия на качество воды. В ходе восьми полевых выездов было отобрано 126 проб воды, при этом на участке «Р1» реки Русской в осенний период 2022 года и летом 2024 года отбор проб оказался невозможен из-за сезонного пересыхания русла.

Во время отбора проб 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. На основе полученных данных рассчитаны расходы воды в каждом пункте мониторинга.

Химические анализы проб проводились в лаборатории высшей школы живых систем БФУ им. И. Канта по перечню важнейших показателей. Химическое потребление кислорода (ХПК) – ПНД Ф 14.1:2:4. 190-2003, биологическому потреблению кислорода за 5 суток (БПК₅) – 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, 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 [Об утверждении..., 2020]. 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 (табл. 1) [РД 52.24.643-2002..., 2002].

Таблица 1
Table 1

Классы качества воды в зависимости от значения индекса загрязнения воды Water quality classes depending on the value of the water pollution index

Классификация	Значения ИЗВ	Классы качества воды
Очень чистые	$\leq 0,2$	I
Чистые	0,2–1,0	II
Умеренно загрязненные	1,0–2,0	III
Загрязненные	2,0–4,0	IV
Грязные	4,0–6,0	V
Очень грязные	6,0–10,0	VI
Чрезвычайно грязные	$> 10,0$	VII

Результаты и их обсуждение

Как видно из рис. 1, геоэкологическое состояние водотоков определяется сочетанием антропогенных и природных факторов. Для сопоставления уровня загрязнения воды выразим показатель УКИЗВ и число КПЗ за 2022–2024 гг. в пространстве (рис. 2).

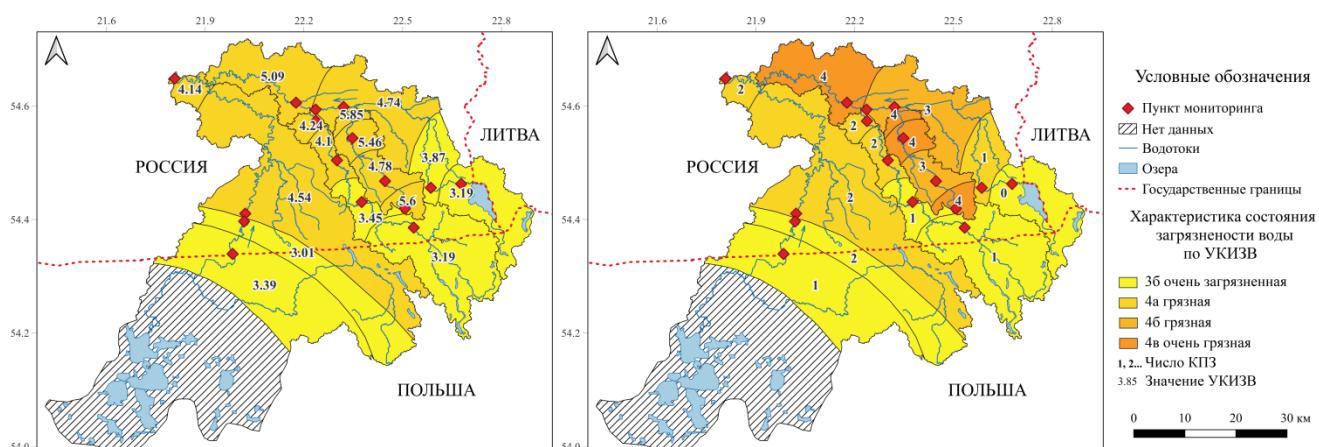


Рис. 2. Пространственно-временная дифференциация УКИЗВ в бассейне реки Анграпы за период с 2022 по 2024 гг.

Fig. 2. Spatio-temporal differentiation of the SCIWP in the Angrapa River basin for the period from 2022 to 2024.

В 2022–2024 гг. средний УКИЗВ без учета КПЗ распределился следующим образом: в р. Анграпе – 3,77 (3б очень загрязненная); в р. Писсе – 4,22 (4а грязная); в р. Русской – 5,42 (4а грязная); в р. Красной – 3,75 (3б очень загрязненная). Суммарно по пунктам мониторинга случаи КПЗ имеют следующую градацию по рекам: Анграпа – 7

случаев; Писса – 8 случаев; Русская – 15 случаев; Красная – 6 случаев. С их учетом по 5 пунктам мониторинга вода имеет класс качества 3б очень загрязненная, по 5 пунктам 4а грязная, по 2 пунктам 4б грязная и по 4 пунктам 4в очень грязная.

Сравнение рек Русской и Красной, расположенных в бассейне Анграпы, выявило наибольший контраст в уровне загрязнения. Русская оказалась наиболее загрязненной среди исследуемых водотоков, тогда как Красная – наименее. Это особенно примечательно, поскольку обе реки находятся в схожих гидрологических условиях. Основное различие заключается в структуре землепользования их водосборов: в бассейне Русской 70 % занимают сельскохозяйственные угодья и лишь 29 % – леса, а у Красной, напротив, 60 % территории покрыто лесами и только 23 % отведено под сельское хозяйство. Эта диспропорция подтверждает гипотезу о ведущей роли антропогенного фактора в загрязнении водных ресурсов.

Загрязнение воды увеличивается по направлению от истока к устью, то есть при переходе от лесных массивов к зонам активного земледелия и урбанизации. В пространственном отношении рост загрязнения в среднем составил 29,5 %. При этом также происходит увеличение частоты случаев КПЗ в 2–3 раза, за исключением реки Русской, где этот показатель остается почти стабильно высоким на всем протяжении водотока.

Наблюдаются статистически значимые ($p < 0,05$) корреляционные отношения различной силы между показателями УКИЗВ и площадью земельных угодий различного назначения. Установленные коэффициенты свидетельствуют о следующем уровне связи: с сельскохозяйственными угодьями показатель корреляции составляет 0,70, коэффициент детерминации равен 0,49; с лесными участками наблюдается обратная корреляционная зависимость – 0,81 при коэффициенте детерминации 0,66 соответственно. Несмотря на высокую степень взаимосвязи, остаются нерешенными некоторые ключевые вопросы относительно природы выявленных зависимостей. Например, является ли снижение значений УКИЗВ следствием увеличения объема лесопосадок либо результатом сокращения площадей сельхозугодий. Какова роль накопления загрязняющих веществ ниже по водному потоку в формировании взаимосвязи между уровнем загрязнения и территорией аграрного использования. Следует учитывать возможные ограничения исследования, включая потенциально недостаточное количество выборочных точек наблюдения, погрешности при определении зон измерения, а также игнорирование показателя активности земледелия на единице исследуемого участка.

С целью получения более дифференцированной информации о качестве воды рассмотрим сезонную динамику ИЗВ за период 2022–2024 (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Сезонная динамика ИЗВ в бассейне реки Анграпы в 2022–2024 гг.
Seasonal dynamics of WPI in the Angrapa River basin in 2022–2024

Период	A1	A2	A3	A4	П1	П2	П3	П4	Р1	Р2	Р3	Р4	K1	K2	K3	K4
Осень 22	3,5	3,9	6,8	14	2,7	4,3	23	15	–	18	23	27	3,1	4,9	2,9	6,2
Зима 23	2,2	2,6	3,6	2,6	2,3	2,4	3,9	4,5	3,0	3,6	2,1	7,6	1,0	3,0	3,0	1,5
Весна 23	4,5	3,9	5,4	4,0	2,5	3,5	4,6	4,3	4,7	5,6	6,7	23	1,6	2,5	2,6	2,2
Лето 23	1,6	3,8	4,2	4,0	2,4	2,4	3,6	3,8	7,1	6,1	4,0	5,6	1,6	2,3	1,8	2,0
Осень 23	1,6	1,6	2,4	1,8	1,8	3,2	5,0	9,6	27	6,9	13	4,3	1,9	1,8	2,3	3,2
Зима 24	1,4	1,1	1,2	1,7	1,3	1,2	1,4	1,9	3,6	2,8	2,8	2,6	0,8	1,1	1,6	1,4
Весна 24	3,0	2,4	3,6	4,9	3,3	3,1	3,9	4,0	11	6,2	5,8	6,8	0,9	1,7	1,5	1,6
Лето 24	1,4	2,3	2,0	2,4	1,1	1,3	2,0	2,4	–	3,5	3,1	3,6	1,6	2,0	2,2	2,0

По данным табл. 2 можно дать среднюю за 2022–2024 характеристику сезонам на основе ИЗВ. Осень: р. Анграпа – средний ИЗВ = 4,45 (IV загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 8,08 (VI очень грязные); р. Русская – средний ИЗВ = 17,03 (VII чрезвычайно грязные); р. Красная – средний ИЗВ = 3,29 (IV загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 8,21 (VI очень грязные). Зима: р. Анграпа – средний ИЗВ = 2,05 (IV загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 2,36 (IV загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 3,51 (IV загрязненные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,68 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 2,40 (IV загрязненные). Весна: р. Анграпа – средний ИЗВ = 3,96 (IV загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 3,65 (IV загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 8,73 (VI очень грязные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,83 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 4,54 (V грязные). Лето: р. Анграпа – средний ИЗВ = 2,71 (IV загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 2,38 (IV загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 4,71 (V грязные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,94 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 2,93 (IV загрязненные).

Наибольшее загрязнение водотоков наблюдается осенью, что подтверждается высокими значениями (ИЗВ). В этот период река Русская демонстрирует критический уровень загрязнения, а Писса остается в категории очень грязных. Даже относительно благополучные реки Анграпа и Красная попадают в IV класс, а общий показатель по бассейну достигает VI класса. Такое ухудшение связано с естественными и антропогенными факторами: снижением водности, разложением органики и поступлением в воду минеральных удобрений, внесенных под озимые культуры. Зимой качество воды улучшается – средний ИЗВ по бассейну снижается до 2,40 (IV класс). Это объясняется сокращением биологической активности, уменьшением антропогенной нагрузки и частичным изолирующим эффектом ледового покрова. Однако весной ситуация вновь ухудшается до V класса, что может быть связано с таянием снега и выносом накопленных загрязнений поверхностным и подземным стоком. Летом показатели стабилизируются, но остаются на повышенном уровне – средний ИЗВ = 2,93 (IV класс), что указывает на устойчивое антропогенное воздействие в течение всего года.

Наибольшие различия в качестве воды отмечаются между осенними периодами, что обусловлено значительным загрязнением водоемов осенью 2022 года, вызванным крайне низким уровнем воды в реках, особенно в р. Русской. Весенние сезоны напротив, демонстрируют наименьшую изменчивость показателей относительно друг друга. Например, в р. Писсе качество воды весной 2024 осталось неизменным, тогда как в р. Русской оно в среднем снизилось, вероятно, из-за меньшей водности по сравнению с весной 2023 года. Если сравнивать зимние и летние месяцы 2024 года с 2023 годом, то наблюдается устойчивая тенденция к улучшению качества воды: в целом по бассейну зимой оно повысилось на 36 %, а летом – на 28 %. Однако в р. Русской зимой и в р. Красной летом фиксируется высокая неоднородность из-за резких колебаний уровня загрязнения на отдельных участках, что нарушает общую положительную динамику.

В табл. 3 представлены основные загрязняющие вещества и различные статистические характеристики кратности превышения ПДК.

Таблица 3
Table 3

Различные статистические характеристики кратности превышения ПДК химических веществ в бассейне р. Анграпы в период с 2022 по 2024 годы
Various statistical characteristics of the frequency of exceeding the MAC of chemical substances in the Angrapa River basin in the period from 2022 to 2024

Показатель	Максимальная кратность превышения ПДК	Средняя кратность превышения ПДК	Сумма кратностей превышения ПДК	Распределение кратностей превышения ПДК, %	Число проб несоответствующих ПДК (из 126)
pH	1,08	0,97	37	1,09	36
Раств. O ₂	117,65	5,51	651	19,34	61
ХПК	6,82	2,01	233	6,92	93
БПК ₅	9,11	1,64	183	5,43	86
Нитраты	1,36	0,09	1	0,04	1
Нитриты	7,38	0,47	52	1,55	22
Аммоний	11,28	0,77	78	2,33	26
Фосфаты	31,60	1,60	174	5,17	47
Хлориды	12,34	0,40	26	0,78	5
Сульфаты	3,26	0,91	89	2,66	54
Натрий	1,18	0,10	1	0,04	1
Магний	0,67	0,26	0	0,00	0
Железо	48,49	6,57	825	24,51	120
Нефтепрод.	124,60	8,12	1014	30,15	103
Калий	0,48	0,07	0	0,00	0
Кальций	0,88	0,32	0	0,00	0

По данным табл. 3 к систематическим загрязнителям можно отнести нефтепродукты, железо, биогенные соединения и кислородные показатели. Больше половины всех загрязнений это нефтепродукты (30,15 %) и железо (24,51 %). Кислородные показатели занимают чуть больше трети от всех превышений нормированных значений: растворенный кислород (19,34 %), ХПК (6,92 %), БПК₅ (5,43 %). Биогенов, представленных фосфатами (5,17 %), аммонием (2,33 %) и нитритами (1,55 %), в сумме около 10 %.

Качество воды в бассейнах рек Калининградской области формируется под влиянием сложного взаимодействия природных и антропогенных факторов, причем их вклад варьируется в зависимости от пространственно-временных условий. Одним из источников загрязнения являются промышленные и коммунально-бытовые стоки, содержащие поверхностно-активные вещества, включая углеводороды. Эти соединения входят в состав нефтепродуктов, что объясняет их значительное поступление в водные объекты через сточные системы. Гидрогеологические особенности региона также играют важную роль, поскольку они способствуют повышенному содержанию общего железа в подземных водах, что отражается на гидрохимическом режиме рек [Глущенко, 2008; Государственный доклад..., 2024].

Биогенные вещества и несоответствие нормам концентраций по кислородным показателям в верховьях рек могут быть связаны с естественными процессами разложения растительности, тогда как в нижнем течении основным источником таких загрязнений становятся сельскохозяйственные территории. Однако сезонная динамика этих показателей выражена слабо из-за особенностей водного режима региона. Переменчивость фаз водности рек влияет на химический состав воды, затрудняя

выделение четких временных закономерностей. Например, в периоды повышенного стока может происходить как интенсивный смыв загрязняющих веществ с прилегающих территорий, так и присутствовать эффект разбавления. Эта неоднозначность осложняет идентификацию сезонных источников загрязнения, таких как сельскохозяйственная деятельность или естественные биологические циклы растительности.

Заключение

По данным мониторинга за двухлетний период, воды бассейна Анграпы демонстрируют устойчиво высокий уровень загрязнения. Интегральная оценка по УКИЗВ без учета КПЗ соответствует (4а грязная), а при включении КПЗ показатель ухудшается до (4б грязная). Особую тревогу вызывает состояние реки Русской, где комбинаторный индекс достигает 5,42 (4а грязная) при КПЗ от 3 до 4. В то же время наиболее благополучная ситуация отмечается в реке Красной – 3,75 (3б очень загрязненная) и КПЗ в пределах 1–2.

Пространственный анализ выявил четкую зависимость между характером землепользования и степенью загрязнения водных объектов. Связь между рассматриваемыми характеристиками выражена следующими значениями: УКИЗВ и сельскохозяйственные земли – $corr = 0,70$ и $R^2 = 0,49$; УКИЗВ и лесные земли – $corr = -0,81$ и $R^2 = 0,66$. Наименьшие показатели загрязнения характерны для лесных массивов в верховьях рек, тогда как переход к сельскохозяйственным и урбанизированным территориям сопровождается заметным ухудшением качества воды. Сезонные колебания демонстрируют выраженную динамику: осенний период с средним ИЗВ 8,21 – VI очень грязные резко контрастирует с зимними показателями 2,40 – IV загрязненные.

Лабораторные исследования 126 проб воды выявили систематические превышения ПДК по ключевым показателям. Наибольшую частоту нарушений показало железо (120 случаев), за которым следуют нефтепродукты (103 случая), ХПК (93 случая) и БПК₅ (86 случаев). Кислородный режим нарушался в 61 пробе, тогда как биогенные элементы проявлялись неравномерно: фосфаты превышали норму в 47 случаях из 126, аммоний – в 26 из 126, нитриты – в 22 из 126 проб.

Анализ степени превышения нормативов выявил лидерство нефтепродуктов (8,12 ПДК) и железа (6,57 ПДК). Кислородный режим нарушался в среднем в 5,51 раза, тогда как загрязнители ХПК и БПК₅ превышали норму в 2,01 и 1,64 раза соответственно. Среди биогенов наибольшие отклонения показали фосфаты (1,60 ПДК), тогда как соединения азота демонстрировали меньшие превышения (аммоний – 0,77 ПДК, нитриты – 0,47 ПДК).

Многолетние наблюдения позволили выделить комплекс факторов, определяющих качество вод бассейна. Антропогенное воздействие проявляется через сельскохозяйственный сток с биогенами и органическими веществами, а также через урбанизированные территории, поставляющие нефтепродукты и коммунальные стоки. Природные факторы включают геохимические особенности подземного питания с высоким содержанием железа, а также сезонную динамику водности и естественные биологические процессы в водных экосистемах. Такое сочетание природных и антропогенных воздействий формирует сложную картину загрязнения, требующую дифференцированных подходов к управлению качеством воды.

Список источников

- Атлас Варминско-Мазурского воеводства. Электронный ресурс. URL: <https://atlas.warmia.mazury.pl> (дата обращения: 20.12.2024).
- Генеральные планы муниципальных образований. Электронный ресурс. URL: <https://mingrad.gov39.ru> (дата обращения: 20.12.2024).
- Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2024 году». 2025. Калининград, ООО «ВИА Калининград»: 45–46.
- Зотов С.И. 2001. Моделирование состояния геосистем. Калининград, Калининградский государственный университет, 237 с.
- 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 13 июня 2024 года): Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 года № 2467. Электронный ресурс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 10.07.2025).
- Основные гидрологические характеристики (за 1976–1985 гг. и весь период наблюдений). 1988. Т. 4. Прибалтийский район. Вып. 3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР. Л., Гидрометеоиздат, 416 с.
- РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039667> (дата обращения: 10.05.2025).
- Open Street Map. Electronic resource. URL: <https://www.openstreetmap.org> (date of access: 20.12.2024).

Список литературы

- Ахмедова Н.Р., Наумов В.А. 2022. Динамика модуля годового стока в бассейне реки Писса. Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета, 2(51): 105–111. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/105-111>.
- Балдаков Н.А., Кудишин А.В. 2019. Автоматизация расчета характеристик водосборного бассейна для решения задач моделирования поверхностного стока. Интерэспо Гео-Сибирь, 4(1): 83–89. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89>.
- Берникова Т.А., Тылик К.В., Цветкова Н.Н. 2019. Физико-географическая характеристика реки Красной – памятника природы гидрологического профиля Калининградской области. Известия КГТУ, 52: 11–23.
- Глущенко А.И. 2008. Экологическое состояние и качество подземных вод Калининградского скважинного водозабора. Вестник российского государственного университета им. И. Канта, 1: 25–31.
- Джамалов Р.Г., Мироненко А.А., Мягкова К.Г., Решетняк О.С., Сафонова Т.И. 2019. Пространственно-временной анализ гидрохимического состава и загрязнения вод в бассейне Северной Двины. Водные ресурсы, 46(2): 149–160. <https://doi.org/10.31857/S0321-0596462149-160>
- Нагорнова Н.Н., Берникова Т.А., Цупикова Н.А. 2011. Гидрогеохимическая характеристика малых рек Калининградской области. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта, 7: 160–166.
- Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Королева Ю.В. 2021а. Оценка геоэкологического состояния поверхностных водотоков Славского района Калининградской области. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология, 7(1): 183–202.
- Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Королева Ю.В. 2021б. Сравнительный анализ химического состава воды водотоков Славского района Калининградской области по гидрологическим сезонам. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 31(4): 425–436. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-4-425-436>.
- Тылик К.В. 2021. Гидроэкологические особенности реки Красной – памятника природы гидрологического профиля Калининградской области. Известия КГТУ, 61: 39–50. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-61-39-50>.

- Шамонина Т.В., Нелюбина Е.А. 2017. Анализ водного использования бассейна реки Писсы. *Вестник науки и образования Северо-Запада России*, 3(2): 46–55.
- Dominin D., Chubarenko B., Lewandowski A. 2015. *Vistula Lagoon Catchment: Atlas of water use*. Moscow, Exlibris Press, 106 p.
- Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J. 2021. Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment. *Environmental Processes*, 8: 973–992. <https://doi.org/10.1007/s40710-021-00530-2>

References

- Akhmedova N.R., Naumov V.A. 2022. Dynamics of the Annual Runoff Module in the Basin of the Pissa River. *Far Eastern Federal University: School of Engineering Bulletin*, 2(51): 105–111 (in Russian). <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/105-111>.
- Baldakov N.A., Kudishin A.V. 2019. Automated Calculation of Characteristics of the Catchment Basin as a Tool of Runoff Modelling. *Interexpo GEO-Siberia*, 4(1): 83–89 (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89>.
- Bernikova T.A., Tylik K.V., Tsvetkova N.N. 2019. Physico-Geographical Characteristics of the Red River – Natural Monument of the Hydrological Profile of the Kaliningrad Region. *KSTU News*, 52: 11–23 (in Russian).
- Glushenko A.I. 2008. Quality and Ecological State of Ground Waters in Kaliningrad Wellfield. *Vestnik of I. Kant State University of Russia*, 1: 25–31 (in Russian).
- Dzhamalov R.G., Mironenko A.A., Myagkova K.G., Reshetnyak O.S., Safronova T.I. 2019. Space–Time Analysis of Hydrochemical Composition and Pollution of Water in the Northern Dvina Basin. *Water Resources*, 46(2): 188–198 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0097807819020040>
- Nagornova N.N., Bernikova T.A., Tsupikova N.A. 2011. The Geoecological Description of Minor Rivers of the Kaliningrad Region. *Bulletin of the Immanuel Kant Baltic Federal University*, 7: 160–166 (in Russian).
- Spirin Yu.A., Zotov S.I., Taran V.S., Koroleva Yu.V. 2021a. Assessment of the Geoecological State of Surface Water Currents of the Slavsky District, Kaliningrad Region. *Uchenyye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*, 7(1): 183–202 (in Russian).
- Spirin Yu.A., Zotov S.I., Taran V.S., Koroleva Yu.V. 2021b. Comparative Analysis of the Chemical Composition of Waterwater in the Slavsky District of the Kaliningrad Region by Hydrological Seasons. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 31(4): 425–436 (in Russian). <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-4-425-436>.
- Tylik K.V. 2021. Hydroecological Features of the Krasnaya River – Nature Landmark of the Kaliningrad Region Hydrological Profile. *KSTU News*, 61: 39–50 (in Russian). <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-61-39-50>.
- Shamonina T.V., Nelyubina E.A. 2017. Analysis of the Water Use of the Pissa River Basin. *Bulletin Journal of Science and Education of North-West Russia*, 3(2): 46–55 (in Russian).
- Dominin D., Chubarenko B., Lewandowski A. 2015. *Vistula Lagoon Catchment: Atlas of water use*. Moscow, Exlibris Press, 106 p.
- Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J. 2021. Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment. *Environmental Processes*, 8: 973–992. <https://doi.org/10.1007/s40710-021-00530-2>

Поступила в редакцию 17.07.2025;
поступила после рецензирования 30.08.2025;
принята к публикации 02.10.2025

Received July 17, 2025;
Revised August 30, 2025;
Accepted October 02, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Спирин Юрий Александрович, научный сотрудник лаборатории гидрологии, Институт географии РАН, г. Москва, Россия

Зотов Сергей Игоревич, профессор высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

Таран Вероника Сергеевна, аспирант высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

Платоненко Галина Олеговна, аспирант высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuriy A. Spirin, Researcher, Laboratory of Hydrology, IGRAS, Moscow, Russia

Sergey I. Zотов, Professor, Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Veronika S. Taran, Postgraduate Student, Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Galina O. Platonenko, Postgraduate Student, Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia