

## ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И КАЧЕСТВА ВОД РЕК ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. С. И. Зотов<sup>1</sup>, Ю. А. Спирин<sup>2,\*</sup>, В. С. Таран<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

<sup>2</sup>Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

\*e-mail: spirin.yuriy@rambler.ru

Поступила в редакцию 29.05.2024 г.

После доработки 12.07.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

В статье рассмотрены результаты исследований химического загрязнения и качества вод рр. Анграпы, Писсы, Красной и Русской, относящихся к бассейну р. Преголи и формирующих основу речной сети юго-востока Калининградской области. Спланирован и осуществлен мониторинг этих водотоков по 16 пунктам в разрезе гидрологических сезонов 2022–2023 гг. Гидрологические измерения и отбор проб для последующих химических анализов проведены 15.10.2022, 15.01.2023, 23.04.2023, 19.07.2023 гг. Выявлены основные загрязняющие вещества в реках: нефтепродукты, железо, сульфаты, аммоний, нитриты, фосфаты и несоответствие нормам ПДК по показателям биологического и химического потребления кислорода, а также растворенного кислорода. Рассчитаны и картографически отображены удельный комбинаторный индекс загрязнения вод и индекс загрязнения вод. Пространственная дифференциация качества вод в исследуемых реках отображает закономерное ухудшение от верховьев к устьевым частям в связи с увеличением аккумуляции реками стоков с сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов и индивидуальных домохозяйств. В период исследований отмечены следующие фазы водного режима: осенняя межень, зимние паводки, весеннее половодье и отсутствие летней межени. Наряду с антропогенными воздействиями этот фактор оказал существенное влияние на качество вод, которое варьирует от загрязненных до чрезвычайно грязных. Можно констатировать неблагоприятное экологическое состояние как самих исследуемых водотоков, так и их речных бассейнов.

**Ключевые слова:** динамика загрязнения водотоков, бассейн р. Анграпы, гидрохимический анализ, качество вод, картографирование загрязнения рек, сравнительный анализ загрязнений, антропогенные воздействия

DOI: 10.31857/S2587556624040086 EDN: RPLLO

### ВВЕДЕНИЕ

Калининградская область, занимающая площадь в 15100 км<sup>2</sup>, обладает разнообразием географических условий, формирующих геоэкологическое состояние рек и их бассейнов. Юго-восточная часть Калининградской области относится к бассейну р. Анграпы. В качестве объектов исследования рассматриваются сама р. Анграпа и ее притоки: Писса, Красная и Русская. Эти водотоки относятся к бассейну р. Преголи, которая впадает в Вислинскую лагуну и в значительной степени влияет на ее экологическое состояние. Район исследования выделяется трансграничным расположением (рис. 1), расчлененным рельефом, интенсивным водообменом между подземными и поверхностными водами, высокой густотой речной сети, ландшафтным разнообразием, наличием особо

охраняемых природных объектов, сельскохозяйственной специализацией. Можно констатировать природную уникальность изучаемых речных систем и их региональную значимость. Мониторинг гидрологического и гидрохимического состояния отмеченных рек не отвечает современным требованиям, в особенности пространственным и временным критериям, что приводит к отсутствию высококачественного информационного обеспечения оценок их состояния и рационального использования. Эти обстоятельства формируют актуальность проводимых нами исследований.

В качестве цели исследования рассматривается выявление пространственной дифференциации (по 4 пунктам мониторинга в каждой реке) и временной изменчивости (по гидрологическим сезонам) химического загрязнения и качества вод рр. Анграпы, Писсы, Русской



Рис. 1. Карта-схема водосборного бассейна р. Анграпы.

и Красной. Задачи исследования заключаются в определении оптимального расположения пунктов мониторинга, выявлении гидрохимических параметров, вносящих наибольший вклад в загрязнение, обосновании причин пространственных и временных изменений химического загрязнения и качества речных вод (Белякова, Зуева, 2021; Валиев и др., 2018; Кирейчева, Лентяева, 2020; Кирпичникова и др., 2021; Полухин и др., 2021).

Площадь водосбора р. Анграпы составляет 3960 км<sup>2</sup>, из них на российской территории — 1800 км<sup>2</sup>. Длина реки — 169 км (в пределах России — 95 км), средний уклон русла — 0.63‰. Густота речной сети на водосборе составляет около 0.9 км на 1 км<sup>2</sup>, что является одним из наименьших показателей в Калининградской области. Модуль годового стока в бассейне — 5.8 л/с км<sup>2</sup>. Элементы водного баланса в бассейне р. Анграпы представлены в (табл. 1).

Скорости течения р. Анграпы и ее притоков находятся в интервале 0.4–0.8 м/с. Для рек характерно смешанное питание. Весеннее половодье в среднем продолжается 40–50 сут. Паводки связаны с выпадением атмосферных осадков и отмечаются в осенний период и в меньшей

степени в летний. Меженные явления на реках выражены нечетко. Ледостав продолжается в среднем 2.5–3.5 месяца. В последние годы продолжительность ледостава сильно сократилась. Воды относятся к гидрокарбонатному классу<sup>1</sup>. В г. Озёрске располагается плотина, изменяющая уровенный режим и другие гидрологические и гидрометрические параметры, влияющие на качество речных вод.

Подземные водоносные горизонты распространены в кайнозойских песчано-гравелистых и суглинистых отложениях и характеризуются повышенной водообильностью. Здесь аккумулируются большие естественные ресурсы подземных вод. Меженный сток в реке происходит за счет зоны интенсивного водообмена. Модуль стока подземных вод уменьшается от 3.0 л/(с км<sup>2</sup>) на Виштынецкой холмисто-моренной возвышенности до 1.5 л/с км<sup>2</sup> на Прегольской озерно-ледниковой равнине. Химический состав подземных вод, питающих реки отмечается низкой минерализацией в пределах 0.3–0.6 мг/дм<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Основные гидрологические характеристики (за 1976–1985 гг. и весь период наблюдений). Т. 4. Прибалтийский район. Вып. 3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР. Л.: Гидрометеиздат, 1988.

**Таблица 1.** Элементы водного баланса в бассейне р. Анграпы (средние многолетние значения)

| Площадь водосбора, км <sup>2</sup> | Годовой расход, м <sup>3</sup> /сек | Осадки, мм | Испарение, мм | Поверхностный сток, мм | Подземный сток, мм |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------|---------------|------------------------|--------------------|
| 3960                               | 25.45                               | 723        | 530           | 159                    | 44                 |

Источник: (Зотов, 2001).

и относится к гидрокарбонатному типу<sup>2</sup>. Подземные воды, имеющие гидравлические связи с поверхностными водотоками, в существенной степени формируют химический состав и качество речных вод.

Климат исследуемой территории определяет как переходный от морского к умеренно-континентальному. Характерны следующие средние многолетние климатические показатели. Годовое количество суммарной солнечной радиации колеблется в пределах 3400–3450 МДж/м<sup>2</sup>, средняя годовая температура воздуха от 6.2 до 6.5°C, средняя температура воздуха июля и января соответственно от 17.0 до 17.5°C и от –4.5 до –5.0°C. Среднегодовое количество атмосферных осадков находится в интервале 680–730 мм, испарение 500–550 мм, что приводит к избыточному увлажнению территории (Барина, 2002). В последние десятилетия отклонение метеорологических параметров от средних многолетних значений приводит к нарушению стандартного протекания фаз гидрологического режима рек, что также оказывает сильное влияние на гидрохимические параметры.

Геоморфологические особенности района исследования обусловлены расположением водосбора р. Анграпы в пределах Виштынецкой холмисто-моренной возвышенности и Прегольской озерно-ледниковой равнины. В границах Виштынецкой холмисто-моренной возвышенности выделяются три гипсографических уровня, имеющих различные высоты. Первый уровень — юго-восточная часть с высотами более 200 м, представленная крупными моренными массивами с глубокими понижениями между ними. Второй уровень — озерный пояс с высотами 150–200 м, для которого характерен расчлененный моренный рельеф, понижения заняты озерами и болотами. Третий уровень — северный внешний пояс возвышенности с высотами до 150 м и сильной расчлененностью речными долинами. Северная и северо-западная части района исследования находятся в пределах Прегольской озерно-ледниковой равнины с преобладающими высотами 40–70 м, представлены холмами с пологими склонами и плоскими речными долинами (Литвин, 1999). Верховья водосборов рек располагаются на территориях с рас-

члененным холмисто-моренным рельефом, что определяет более высокие модули стока и скорости течения рек. Этот фактор рассматривается как одна из составляющих формирования особенностей химического состава речных вод.

Расположение территории исследования в пределах двух геоморфологических районов: Виштынецкой холмисто-моренной возвышенности и Прегольской озерно-ледниковой равнины, отражается на структуре почвообразующих пород и почв. Происхождение почвообразующих пород обусловлено деятельностью ледника и процессами переработки моренного материала. В границах Виштынецкой холмисто-моренной возвышенности характерны разновидности дерново-подзолистых почв супесчаного и легкосуглинистого гранулометрического состава. В пределах Прегольской озерно-ледниковой равнины преобладают среднесуглинистые и тяжелосуглинистые дерново-подзолистые почвы. В долинах рек представлены аллювиально-дерновые почвы (Лазарева, 2002). Средние и нижние части водосборов изучаемых рек занимают сельскохозяйственные угодья с почвами среднесуглинистого и тяжелосуглинистого гранулометрического состава, что снижает инфильтрацию, увеличивает поверхностный смыв вносимых минеральных удобрений и оказывает влияние на качество речных вод.

Растительный покров в юго-восточной части района исследования представлен лесным массивом “Красный лес”. Преобладают хвойные леса: еловые (*Picea abies*) южнотаежные травянисто-кустарничковые (*Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-ideae*) зеленомошные (*Hylocomium proliferum*, *Pleurozium Schreberi* и др.), в меньшей степени сосновые (*Pinus sylvestris*) кустарничково (*Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-ideae*) — зеленомошные, местами с участием лишайников (*Cladonia*). Также представлены широколиственные леса с незначительной примесью ели, с преобладанием дуба, липы, граба, ясеня, бука (Сухов, 2002). Сельскохозяйственные угодья, занимающие наибольшую часть объекта исследования, заняты пахотными землями и окультуренными лугами на месте лесов, что сказывается на химическом составе речных вод.

Ландшафты исследуемой территории относятся к бореальному подтаежному (смешанно-лесному) типу равнинного класса и представлены возвышенными, приподнятыми

<sup>2</sup> Гидрогеология СССР. Т. XLV. Калининградская область РСФСР. М.: Недра, 1970. 158 с.

и низменными подклассами. Возвышенные ландшафты — разновидности холмисто-моренных озерных равнин. Приподнятые ландшафты — разновидности моренных равнин разной степени дренированности. Низменные ландшафты — разновидности приледниково-озерных слабодренированных равнин и речные долины (Сухова, Козлов, 2002).

Лесной массив “Красный лес” с оз. Виштынецким имеет статус особо охраняемой природной территории и называется природный парк “Виштынецкий”. Постановлением правительства Российской Федерации 2024 г. этой территории придан статус национального парка. Река Красная в пределах этой особо охраняемой природной территории объявлена региональным памятником природы гидрологического профиля и вдоль этого участка водотока установлена охранный зона шириной по 0,5 км по обоим берегам<sup>3</sup>. Нами впервые поставлена задача системного мониторинга химического загрязнения и качества вод этой реки.

Район исследования располагается в Гусевском, Нестеровском, Озёрском Черняховском муниципальных округах, основной отраслью экономической специализации которых является сельское хозяйство. Площади сельскохозяйственных угодий в абсолютных цифрах и в относительных значениях к площади округов соответственно составляют: Гусевский — 34000 га (53%), Нестеровский — 66900 га (63%), Озёрский — 62024 га (71%), Черняховский — 65576 га (51%). Основой сельского хозяйства являются разведение крупного рогатого скота и растениеводство, представленное выращиванием зерновых и кормовых культур. Города Черняховск и Гусев с численностью населения соответственно более 35000 и около 28000 чел. являются промышленными центрами с предприятиями машиностроительного комплекса и переработки сельскохозяйственной продукции. Сельскохозяйственные, промышленные, коммунально-бытовые стоки рассматриваются нами как основные источники антропогенного воздействия на качество вод исследуемых рек.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основные актуальные исследования бассейна посвящены в большинстве физико-географическим и гидрологическим свойствам рек (Ахмедова, Наумов, 2022; Берникова и др., 2019; Тылик, 2021; Шамонина, Нелюбина, 2017), а исследования химического состояния и загрязнённости рек (Нагорнова и др., 2011) недостаточны и отчасти устарели. Имеются пункты длительного систематического мониторинга р. Анграпы

(д. Берестово) и р. Писсы (д. Зеленый Бор)<sup>4</sup>, но по двум точкам в разных реках сложно характеризовать бассейн, а также выявлять причины возникновения загрязнений. Поэтому мы решили расширить в несколько раз наблюдательную сеть до 16 пунктов.

По каждому исследуемому водотоку были определены географическое расположение и координаты четырех пунктов мониторинга, начиная с верховьев и завершая приустьевыми частями, за исключением р. Анграпы, где первый пункт мониторинга располагается на удалении от верховьев рядом с государственной границей (рис. 2).

Исследования водотоков проведены в течение гидрологического года (2022–2023) в следующие сезоны: осенняя межень (15.10.2022), зимний паводок (15.01.2023), весеннее половодье (23.04.2023), период летней высокой водности (15.07.2023). В процессе полевых выездов составлены описания русел рек и прилегающих территорий в пунктах мониторинга; измерены гидрометрические характеристики: скорости течения, ширина и глубины рек. Использовалась “Гидрологическая микровертушка ГМЦМ-1” и измерительная строительная рулетка в соответствии с принципом изложенном в своде правил<sup>5</sup>. После этого рассчитаны расходы в пунктах 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 имени Иммануила Канта на перечень 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, *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* — ПНД Ф 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 ана-

<sup>4</sup> Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области). <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (дата обращения 10.03.2024).

<sup>5</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). <http://docs.cntd.ru/document/901704792> (дата обращения 10.03.2024).

<sup>3</sup> Исток. <https://istok39.ru> (дата обращения 10.05.2024).





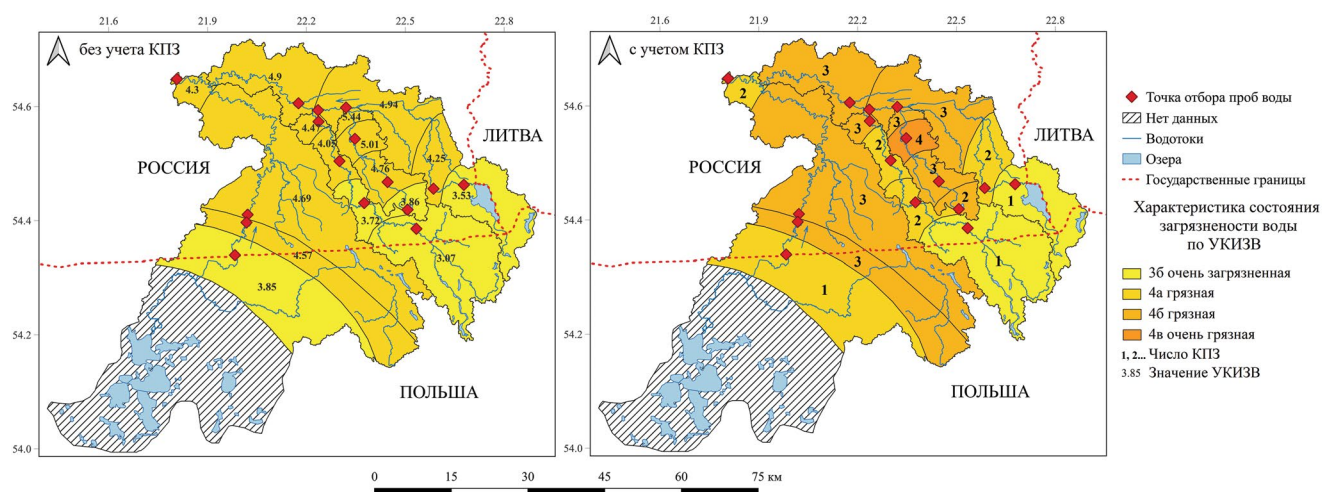


Рис. 3. Пространственное распределение удельного комбинаторного индекса загрязнения воды в бассейне р. Анграпы по четырем гидрологическим сезонам в 2022–2023 гг.

2001; Нагорнова 2012; Lämmchen et al., 2021). Бассейн р. Анграпы был разделен на 4 суббассейна, а они, в свою очередь, поделены на 4 участка, что соответствует количеству выбранных пунктов мониторинга. При формировании границ участков соблюдалась та же логика, что при выборе точек отбора проб. 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 И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Отмечены превышения ПДК по аммонии, нитритам, фосфатам, сульфатам, нефтепродуктам, железу и несоответствие нормам по БПК<sub>5</sub>, ХПК, растворенному кислороду.

Расчет УКИЗВ, основанный на учете кратностей превышений ПДК гидрохимических показателей и их повторяемости, показал следующее пространственное распределение загрязнения речных вод (рис. 3).

Пространственная дифференциация загрязнения выражена слабо, качество воды ухудшается от верховьев к устьям. Показатели УКИЗВ в верховьях рек, а также в средней части бассейна р. Красной, варьируют в интервале 3.07–3.86 (очень загрязненная вода) и в остальных частях в интервале 4.05–4.94 (грязная вода). То же можно сказать и про случаи КПЗ, которые по течению реки постепенно увеличиваются от одного до трех, а иногда и до четырех, как например в бассейне р. Русская. Если учитывать этот параметр, то качество воды по пунктам мониторинга распределится следующим образом: 3б очень за-

грязненная (П1, К1); 4а грязная (А1, А4, П2, К2, К3); 4б грязная (А2, А3, П3, П4, К4, Р1, Р2, Р4) и 4в очень грязная (Р3).

Более детальную картину пространственной дифференциации загрязнения речных вод удастся получить посредством расчета ИЗВ (рис. 4).

Качество речных вод закономерно ухудшается от верховьев к устьевым частям в связи с увеличением аккумуляции реками стоков с сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов и индивидуальных домохозяйств. Показатели ИЗВ и качество вод изучаемых рек изменяются: в бассейне р. Анграпы от 2.95 до 6.31 (классы качества вод: загрязненные–грязные–очень грязные), в бассейне р. Писсы от 2.46 до 8.89 (классы качества вод: загрязненные–очень грязные), в бассейне р. Красной от 1.82 до 3.17 (классы качества вод: умеренно загрязненные–грязные), в бассейне р. Русской от 4.94 до 15.93 (классы качества вод: грязные–очень грязные–чрезвычайно грязные). Наибольший вклад в значения ИЗВ вносят кислородные показатели и, особенно, высокие концентрации железа и нефтепродуктов, повышенные концентрации сульфатов, в меньшей степени биогенные элементы: фосфаты и аммоний (рис. 5).

В р. Анграпе концентрации железа превышают ПДК в 100% измерений, нефтепродуктов в 93.75% измерений, БПК в 93.75% измерений, сульфатов в 81.25% измерений, ХПК в 68.75% измерений, растворенного кислорода в 37.50% измерений, фосфатов в 31.25% измерений, аммония в 25.00% измерений. Кратности превышений ПДК имеют следующие осредненные распределения и годовые интервалы: железо 22% (1.51–11.34), нефтепродукты 38% (2.40–73.00), БПК<sub>5</sub> 7% (1.05–3.29), сульфаты 5% (1.04–2.00), ХПК 7% (1.56–3.65), растворенный кислород 9% (3.81–3.87), фосфаты 3% (1.34–2.82), аммоний 2% (2.24–3.22).



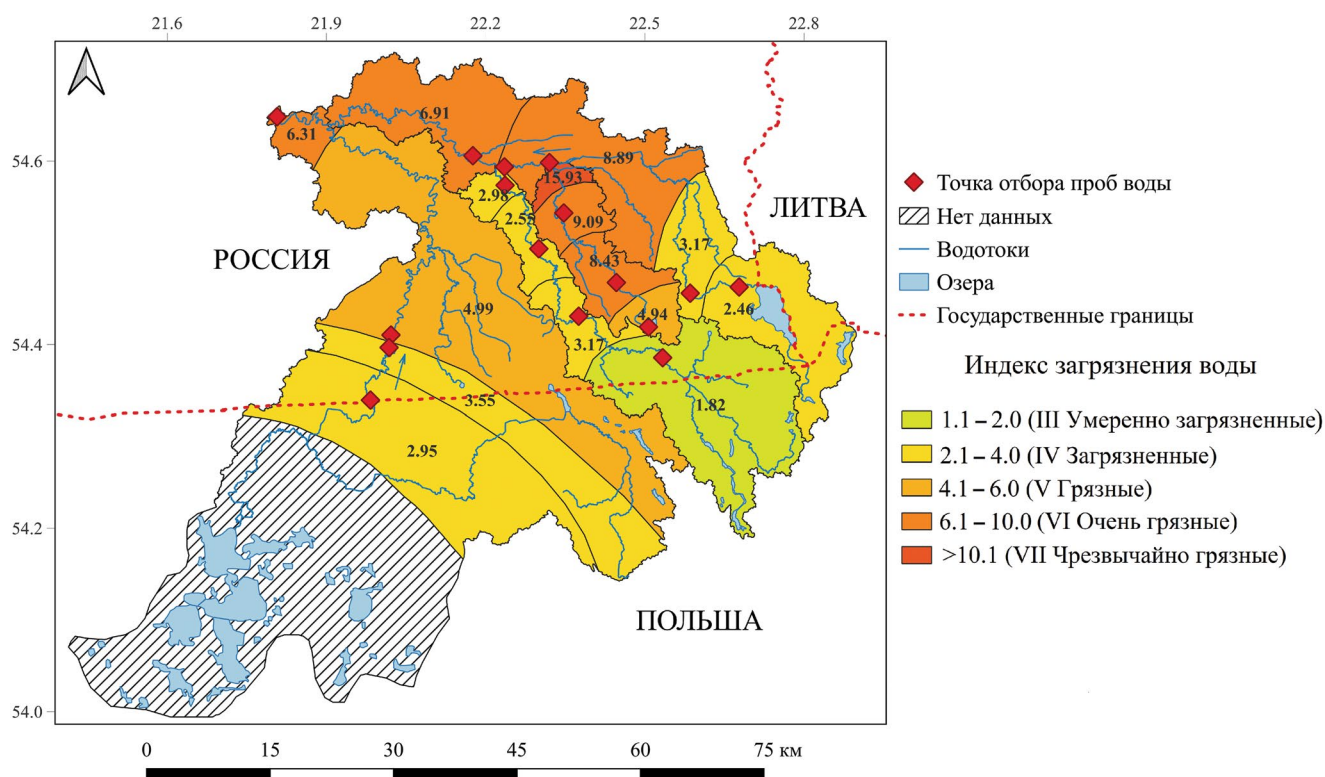


Рис. 4. Схема пространственной изменчивости осредненного по четырем гидрологическим сезонам индекса загрязнения воды в бассейне р. Ангапы за 2022–2023 гг.

В р. Писсе концентрации железа превышают ПДК в 100% измерений, нефтепродуктов в 100% измерений, БПК в 87.50% измерений, сульфатов в 81.25% измерений, ХПК в 68.75% измерений, растворенного кислорода в 37.50% измерений, фосфатов в 37.50% измерений, аммония в 25.00% измерений. Кратности превышений ПДК имеют следующие осредненные распределения и годовые интервалы: железо 20% (1.36–12.14), нефтепродукты 47% (2.60–124.60), БПК5 7% (1.19–5.84), сульфаты 4% (1.08–2.51), ХПК 6% (1.05–4.33), растворенный кислород 6% (2.17–8.43), фосфаты 3% (1.14–3.18), аммоний 2% (2.18–2.88).

В р. Русской концентрации железа превышают ПДК в 93.33% измерений, нефтепродуктов в 100% измерений, БПК в 60.00% измерений, сульфатов в 53.33% измерений, ХПК в 86.67% измерений, растворенного кислорода в 80.00% измерений, фосфатов в 46.67% измерений, аммония в 20.00% измерений. Кратности превышений ПДК имеют следующие осредненные распределения и годовые интервалы: железо 25% (8.18–48.49), нефтепродукты 37% (2.80–111.80), БПК5 3% (1.05–9.11), сульфаты 2% (1.12–3.26), ХПК 3% (1.05–5.15), растворенный кислород 20% (1.02–107.14), фосфаты 2% (1.16–6.68), аммоний 3% (6.60–11.28).

В р. Красной концентрации железа превышают ПДК в 81.25% измерений, нефтепродуктов

в 68.75% измерений, БПК в 75.00% измерений, сульфатов в 37.50% измерений, ХПК в 75.00% измерений, растворенного кислорода в 43.75% измерений, фосфатов в 43.75% измерений, аммония в 18.75% измерений. Кратности превышений ПДК имеют следующие осредненные распределения и годовые интервалы: железо 25% (1.17–11.15), нефтепродукты 19% (1.20–13.00), БПК5 10% (1.19–4.46), сульфаты 5% (1.13–1.61), ХПК 11% (1.11–3.92), растворенный кислород 13% (2.06–7.75), фосфаты 7% (1.14–3.18), аммоний 3% (1.52–2.76).

Значения отмеченных показателей определяются комплексом факторов природного и антропогенного происхождения. Превышения концентраций железа в водах изучаемых рек обусловлены высоким содержанием этого элемента в подземных водах, которые гидравлически связаны с поверхностными водотоками<sup>8</sup> (Глушенко, 2008). Высокие концентрации железа в подземных водах Калининградской области отмечаются повсеместно, что позволяет рассматривать их как диффузный источник поступления железа в поверхностные воды. Подземные воды также оказывают влияние на повышение концентраций сульфатов в речных водах. При-

<sup>8</sup> Государственный доклад "Об экологической обстановке в Калининградской области в 2021 году". Калининград: ООО "ВИА Калининград", 2022. С. 6–80.

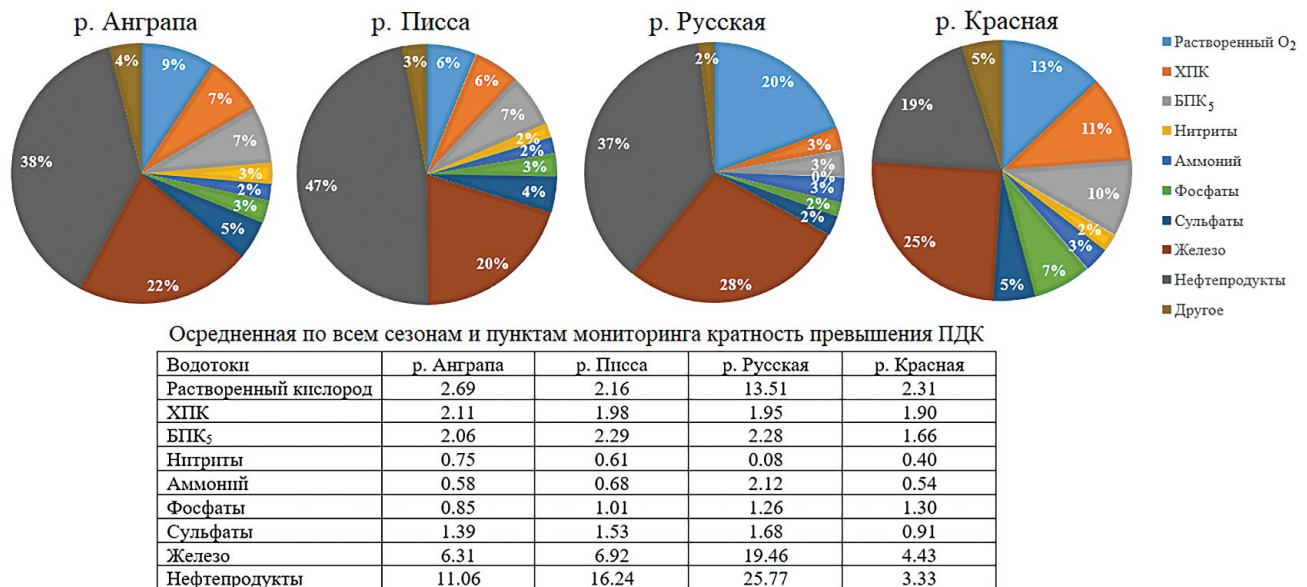


Рис. 5. Процентное распределение осредненной по всем сезонам и пунктам мониторинга кратности превышения ПДК в бассейне р. Ангара за 2022–2023 гг.

родные факторы в существенной степени определяют повышенные значения БПК и ХПК, которые рассматриваются как индикаторы содержания органических веществ в водах. В районе исследования реки протекают в межморенных понижениях, которые заболочены и являются источниками поступления органического вещества. Важную роль в поступлении органических веществ, а также сульфатов, играют жизненные циклы водной и береговой растительности, бактерий и живых организмов. Антропогенное поступление органического вещества в изучаемые реки связано с промышленными и коммунально-бытовыми стоками от населенных пунктов и индивидуальных домохозяйств. Процессы БПК и ХПК в определяющей степени влияют на концентрации растворенного кислорода в изучаемых реках. С большой вероятностью антропогенные факторы (поступление в водотоки отработанного топлива во время сельскохозяйственных работ, мойка автотранспорта, стоки с предприятий промышленности, коммунального хозяйства, индивидуальных домохозяйств) является основной причиной нефтяного загрязнения речных вод. В связи с тем, что в исследуемом районе отсутствуют разрабатываемые нефтяные месторождения и нефтеперерабатывающие предприятия, необходим дополнительный поиск источников возможного поступления нефтепродуктов в окружающую среду. Наиболее вероятной причиной превышений по фосфатам и аммонии в речных водах можно рассматривать вынос этих элементов с сельскохозяйственных угодий, которые занимают наибольшие площади в бассейнах рек за исключением их верховьев.

Динамика загрязнения речных вод по гидрологическим сезонам представлена на (рис. 6).

Временная изменчивость загрязнения рек в районе исследования в значительной мере определяется водностью гидрологических сезонов, на которую влияют климатические особенности Калининградской области. Результаты исследований рек Калининградской области показывают, что характеристики стока сильно влияют на концентрации вещества в речных водах (Зотов и др., 2021). Поскольку исследование опирается на произведенные нами разовые измерения расходов воды в каждом из рассматриваемых сезонов, а более точных данных в открытом доступе пока не появилось, мы оперируем водностью как таковой, с точки зрения разбавления концентраций химических веществ. Ее привязка к тем или иным фазам водного режима пока гипотетическая из-за недостаточности данных наблюдений. Влияние характеристик стока исследуемых рек на значения ИЗВ показано на рис. 7.

Коэффициент Пирсона показывает высокую отрицательную корреляцию (от  $-0.91$  до  $-0.50$ ) между этими параметрами для рр. Красной, Ангара и Писсы. Исключение составляет р. Русская, для которой коэффициент составляет:  $-0.38$ .

В связи с изменениями региональных климатических условий (Двоеглазова, 2019) имеются предпосылки к изменению протекания фаз водного режима, проявляемое в увеличении продолжительности половодья и уменьшении его пиковых значений, что можно считать следствием уменьшения периодов устойчивого ледостава и аккумулярованием снежно-ледовых масс. Данная ситуация отмечена нами в предыдущих исследованиях (Спирин, 2020, 2021),



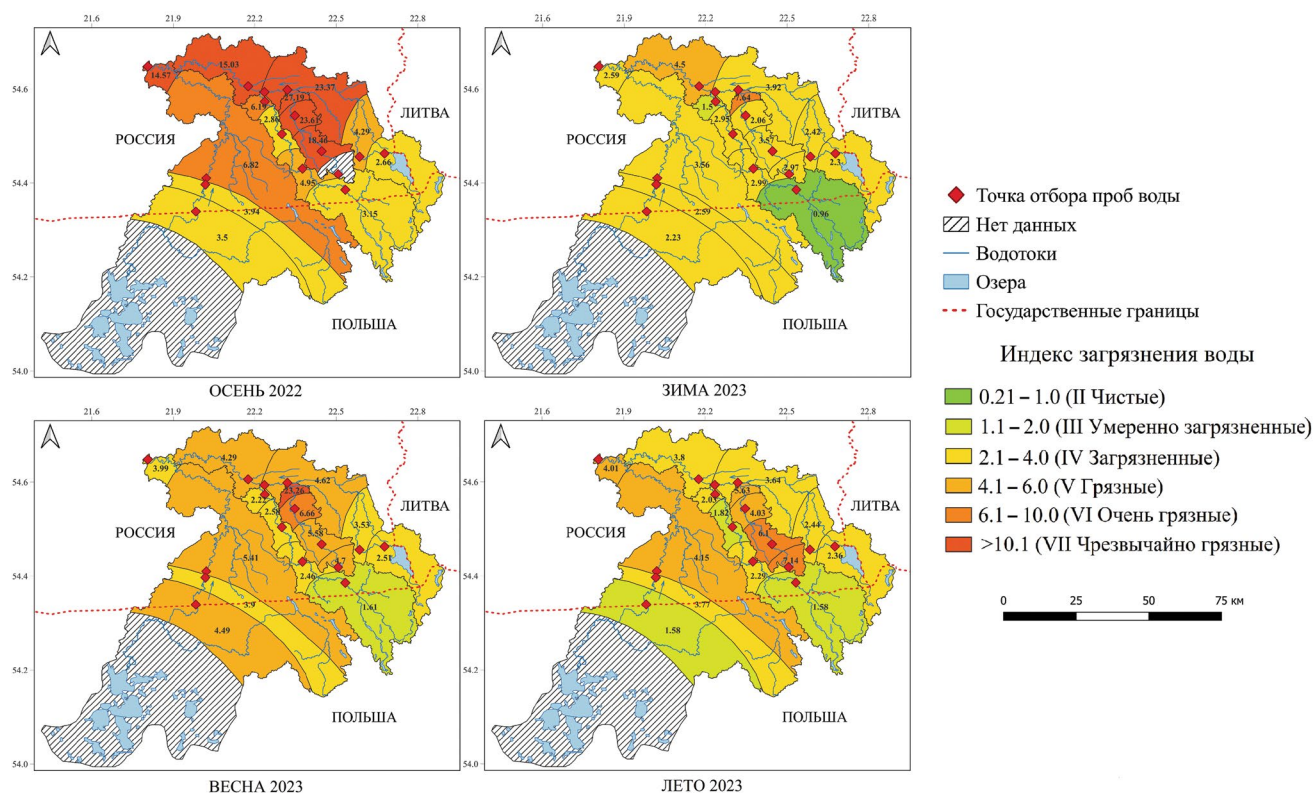


Рис. 6. Динамика загрязнения речных вод по четырем гидрологическим сезонам в бассейне р. Анграпы за 2022–2023 гг.

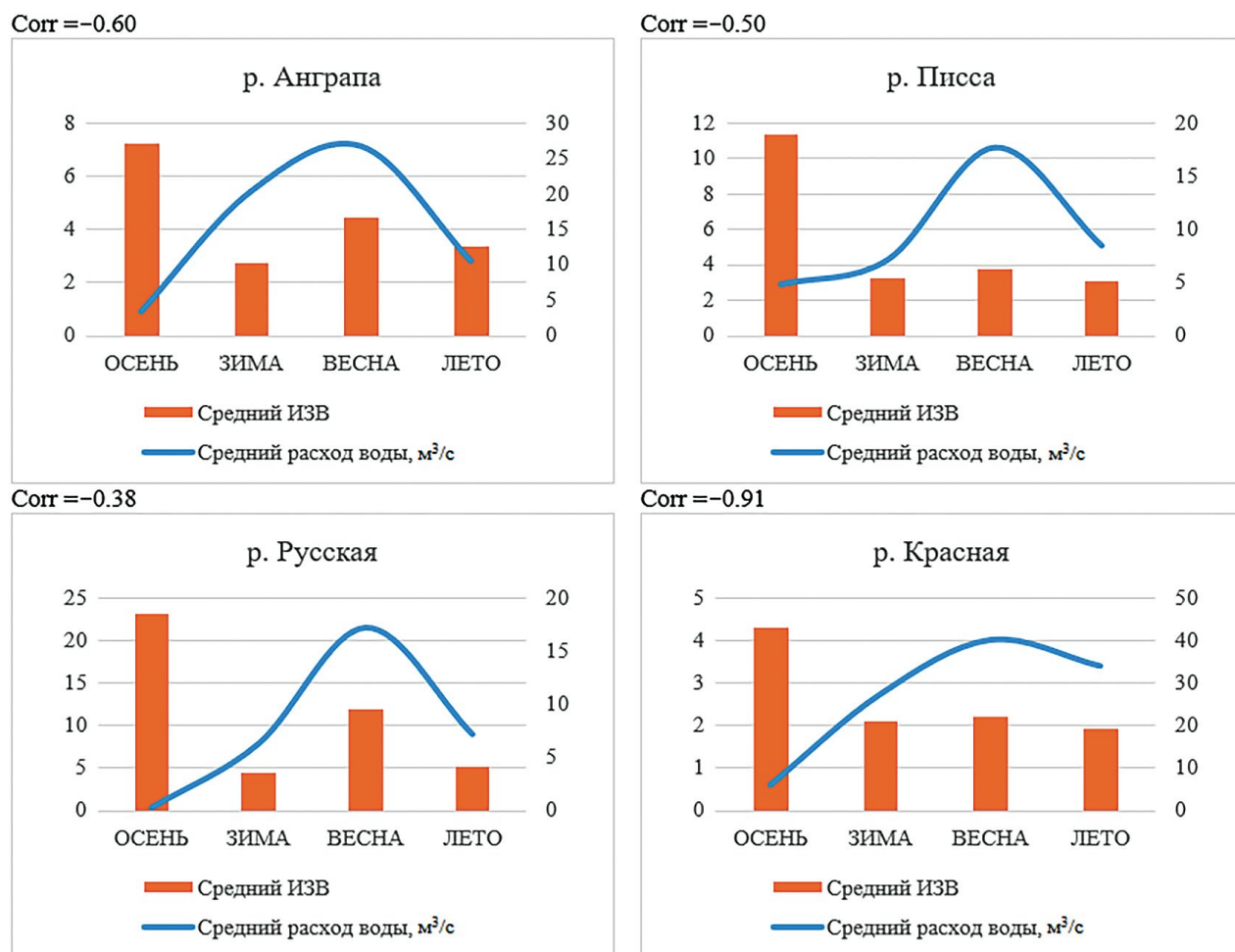


Рис. 7. Средние за сезон индексы загрязнения воды (левая ось) и средние по четырем пунктам расходы воды в реке во время пробоотбора (правая ось, м³/с).

а также другими исследователями (Наумов, 2022). По данным наших наблюдений за стоком рек в исследуемом бассейне для 2022–2023 гидрологического года зафиксированы следующие фазы водного режима: осенняя межень, зимние паводки, весеннее половодье и отсутствие летней межени. Несмотря на стандартные для региона фазы, внутри них тоже можно выделить некоторые особенности. Расход осенней межени был очень низкий (тем более для середины осени, когда намного чаще наблюдается начало осенне-зимнего паводка), вплоть до почти полного пересыхания некоторых участков водотоков (например, пункт Р1). То же можно сказать и про существенную величину летнего паводка, особенно в случае р. Красной, когда сток почти такой же, как и в весеннее половодье. Несмотря на сказанное, вопрос требует дополнительной изученности в этом направлении с привлечением большего количества данных многолетних наблюдений (за историческую и оперативную климатические нормы) и последующим их сравнительным анализом.

Продолжительную осеннюю межень можно рассматривать как одну из причин высоких значений ИЗВ (см. рис. 6) и неблагоприятного качества вод в осенний сезон: в р. Анграпе — очень грязные, в р. Писсе — чрезвычайно грязные, в р. Русской — чрезвычайно грязные, в р. Красной — загрязненные. В зимний сезон с увеличением водности рек классы качества воды улучшились: в р. Анграпе — загрязненные, в р. Писсе — загрязненные, в р. Русской — грязные, в р. Красной — загрязненные. В весенний сезон отмечено половодье, высокая водность сохранилась и в летний период, качество вод незначительно изменилось по сравнению с зимним сезоном, за исключением р. Русской. В р. Анграпе: в весенний период — грязные, в летний период — загрязненные; в р. Писсе: в весенний период — загрязненные, в летний период — загрязненные; в р. Русской: в весенний период — чрезвычайно грязные, в летний период — грязные; в р. Красной: в весенний период — загрязненные, в летний период — умеренно-загрязненные. Наиболее загрязнена р. Русская, что отмечается во все гидрологические сезоны (классы качества вод — грязные и чрезвычайно грязные). Проведенные измерения показали, что для р. Русской характерны наименьшие глубины и скорости течения. Фактор изменения водности этой реки не имеет такого большого влияния на загрязнение и качество вод по сравнению с другими изучаемыми реками.

В разрезе гидрологических сезонов динамика веществ, на основе которых рассчитывался ИЗВ, имеет свою специфику. Наибольший вклад в повышение ИЗВ во все гидрологические сезоны внесли высокие концентрации нефте-

продуктов и железа, что свидетельствует о постоянных источниках поступления этих веществ в реки. В случае с нефтепродуктами в качестве основного источника рассматривается антропогенная деятельность, высокие концентрации железа связаны с поступлением его из подземных вод, имеющих гидравлическую связь с реками. Фактор подземных вод также является основным для повышенных концентраций сульфатов в водотоках во все гидрологические сезоны. Зафиксировано повсеместное превышение ПДК по БПК<sub>5</sub>, что можно рассматривать как индикатор постоянно идущих процессов биологического разложения в реках. Наибольшие значения БПК<sub>5</sub> характерны для осени. В этот же период отмечены значения ХПК ниже ПДК в отличие от других гидрологических сезонов. Эта ситуация осенью объясняется наличием в речных водах легко окисляемых органических веществ, поступающих с нефтепродуктами с низким октановым числом (дизельное топливо), а также гибелью водной и береговой растительности, которой богата исследуемая территория. Максимальные значения концентраций растворенного кислорода в реках отмечены в летний период, что обусловлено активизацией процессов фотосинтеза водной и околоводной растительности. Превышение ПДК по азотным соединениям (аммонию и нитритам) характерно для осеннего периода. Основная причина — разложение отмирающей водной и околоводной растительности и поступление этих веществ со стоком с сельскохозяйственных угодий. С этими же факторами связаны повышенные концентрации фосфора в осенний и летний гидрологические сезоны.

## ВЫВОДЫ

Качество вод рек юго-восточной части Калининградской области по удельному комбинаторному индексу загрязнения вод изменяется от очень загрязненной до грязной (с учетом КПЗ от очень загрязненной до очень грязной), по индексу загрязнения вод от загрязненной до чрезвычайно загрязненной. В соответствии с обоими индексами качество речных вод закономерно ухудшается от верховьев, которые находятся в лесных угодьях, к средним и устьевым частям в связи с увеличением аккумуляции реками стоков с сельскохозяйственных земель, населенных пунктов и индивидуальных домохозяйств. Наибольший вклад в значения индексов загрязнения вод и, соответственно, качества вод вносят высокие концентрации нефтепродуктов и железа, повышенные значения ХПК и БПК, сульфатов, аммония, нитритов, фосфатов. Показатели ИЗВ и качество вод изучаемых рек изменяются: в бассейне р. Анграпы от 2.95 до 6.31 (классы качества вод: загрязненные—грязные—

очень грязные), в бассейне р. Писсы от 2.46 до 8.89 (классы качества вод: загрязненные—очень грязные), в бассейне р. Красной от 1.82 до 3.17 (классы качества вод: умеренно загрязненные—грязные), в бассейне р. Русской от 4.94 до 15.93 (классы качества вод: грязные—очень грязные—чрезвычайно грязные).

Высокие концентрации железа и повышенные значения сульфатов связаны с поступлением из подземных вод, имеющих гидравлическую связь с реками. Превышение ПДК по нефтепродуктам, в том числе аномально высокое, обусловлено, с большой вероятностью, антропогенной деятельностью: поступлением в водотоки отработанного топлива во время сельскохозяйственных работ, мойкой автотранспорта, стоками с предприятий промышленности, коммунального хозяйства, индивидуальных домохозяйств. Несоответствие нормативным требованиям по показателям БПК, ХПК, растворенному кислороду связано с избыточным поступлением в речные воды органических веществ как природного происхождения (жизненные циклы водной и около водной растительности, заболоченные межморенные понижения), так и антропогенного генезиса (стоки различных видов хозяйственной деятельности). Повышенные концентрации биогенных веществ (аммония, нитритов, фосфатов) обусловлены поверхностным смывом с сельскохозяйственных угодий и стоками с индивидуальных домохозяйств, процессами разложения водной и околоводной растительности. Существенное влияние на качество вод оказало протекание гидрологических сезонов для 2022—2023 гидрологического года: отмечены осенняя межень, зимние паводки, весеннее половодье и отсутствие летней межени. Наихудшее качество речных вод отмечено в период межени в осенний гидрологический сезон: в р. Анграпе — очень грязные, в р. Писсе — чрезвычайно грязные, в р. Русской — чрезвычайно грязные, в р. Красной — загрязненные. В зимний, весенний и летний гидрологические сезоны с увеличением водности рек классы качества воды улучшились. Высокие уровни химического загрязнения и неудовлетворительное качество вод исследуемых рек, неблагоприятное экологическое состояние их водосборов определяются комплексом природных и антропогенных факторов. Расположение в бассейнах изучаемых рек особо охраняемой природной территории — национального парка «Виштынецкий» придает более высокую значимость результатам исследований. Рассмотрение параметров водного и химического стока как показателей геоэкологического состояния территории национального парка позволит более квалифицированно оценить негативные антропогенные воздействия и разработать меры по их снижению.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

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

## FUNDING

Mapping and GIS work were carried out in the IGRAS within the framework of the state assignment no. FMWS-2024-0007.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ахмедова Н.Р., Наумов В.А.* Динамика модуля годового стока в бассейне реки Писса // Вестн. ИШ ДВФУ. 2022. № 2 (51). С. 105—111.  
<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/105-111>
- 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.  
<https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89>
- Барина Г.М.* Калининградская область. Климат. Калининград: Изд-во Янтарный сказ, 2002. 196 с.
- Белякова А.М., Зуева Н.В.* Оценка качества воды городской реки по гидрохимическим индексам (река Охта, Санкт-Петербург) // Тр. Карельского научного центра РАН. 2021. № 9. С. 72—84.  
<https://doi.org/10.17076/lim1458>
- Берникова Т.А., Тылик К.В., Цветкова Н.Н.* Физико-географическая характеристика реки Красной — памятника природы гидрологического профиля Калининградской области // Изв. КГТУ. 2019. № 52. С. 11—23.
- Валиев В.С., Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р. и др.* Оценка вклада загрязняющих веществ в формирование класса загрязненности поверхностных вод // Рос. журн. прикладной экологии. 2018. № 3 (15). С. 57—64.
- Глуценко А.И.* Экологическое состояние и качество подземных вод Калининградского скважинного водозабора // Вестн. Балтийского федерального ун-та им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2008. № 1. 28 с.
- Двоеглазова Н.В.* Современное состояние климатической системы Калининградской области на фоне глобального потепления // Вестн. Балтийского федерального ун-та им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2019. № 1. С. 35—45.
- Джамалов Р.Г., Мироненко А.А., Мягкова К.Г. и др.* Пространственно-временной анализ гидрохимического состава и загрязнения вод в бассейне Северной Двины // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 2. С. 149—160.  
<https://doi.org/10.31857/S0321-0596462149-160>

- Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Мухарамова С.С. и др. Картографическая модель бассейновых геосистем малых рек водосбора реки Лены // Ученые записки Казанского ун-та. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 160. № 1. С. 126–144.
- Зотов С.И. Моделирование состояния геосистем. Калининград: Изд-во Калининград. гос. ун-та, 2001. 237 с.
- Зотов С.И. Бассейново-ландшафтная концепция природопользования // Изв. РАН. Сер. геогр. 1992. № 6. С. 55–56.
- Зотов С.И., Спиринов Ю.А., Таран В.С., Королева Ю.В. Гидрологические особенности и геоэкологическое состояние малых водотоков пойменных территорий Калининградской области // Географический вестн. 2021. № 3 (58). С. 92–106. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-3-137-152>
- Кирейчева Л.В., Лентяева Е.А. Влияние сельскохозяйственного производства на загрязнение водных объектов // Природообустройство. 2020. № 5. С. 18–26. <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2020-5-18-27>
- Кирпичникова Н.В., Полянин В.О., Курбатова И.Е., Черненко Ю.Д. Критерии оценки экологического состояния водосборов малых рек и выноса биогенных веществ в Иваньковское водохранилище // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 6. С. 81–105. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2021-6-5>
- Лазарева Н.Н. Почвенная карта // Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. С. 56–57.
- Литвин В.М. Рельеф и геоморфологическое районирование // Калининградская область. Очерки природы / сост. Д.Я. Беренбейм; науч. ред. В.М. Литвин. Калининград: Янтарный сказ, 1999. С. 36–53.
- Нагорнова Н.Н. Геоэкологическая оценка состояния малых водотоков Калининградской области. Дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 2012. С. 8–19.
- Нагорнова Н.Н., Берникова Т.А., Цупикова Н.А. Гидрогеохимическая характеристика малых рек Калининградской области // Вестн. Балтийского федерального ун-та им. И. Канта. 2011. № 7. С. 160–166.
- Наумов В.А. Внутригодовое распределение стока рек Калининградской области в 2020 году // Вестн. науки и образования Северо-Запада России. 2022. Т. 8. № 3. С. 35–44.
- Наумов В.А., Ахмедова Н.Р. Инженерные изыскания в бассейне реки Преголи. Калининград: Изд-во Калининград. гос. технический ун-т, 2017. 183 с.
- Полухин А.А., Заговенкова А.Д., Хлебонашев П.В. и др. Гидрохимический состав стока рек Абхазии и особенности его трансформации в прибрежной зоне // Океанология. 2021. Т. 61. № 1. С. 21–31. <https://doi.org/10.31857/S0030157420060118>
- Спиринов Ю.А. Гидрологические характеристики речного стока в геоэкологических исследованиях поверхностных вод Славского района Калининградской области // Вестн. Удмуртского ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31. № 2. С. 185–197. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-2-185-197>
- Спиринов Ю.А. Анализ внутригодового распределения стока рек Славского района Калининградской области // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44. № 2. С. 231–242. <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-2-231-242>
- Сухова А.А. Растительность // Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. С. 58–59.
- Сухова А.А., Козлов И.И. Ландшафтная карта // Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. С. 62–63.
- Тылик К.В. Гидроэкологические особенности реки Красной — памятника природы гидрологического профиля Калининградской области // Изв. КГТУ. 2021. № 61. С. 39–50. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-61-39-50>
- Чумаченко А.Н., Хворостухин Д.П., Морозова В.А. Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) // Изв. Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 18. № 2. С. 104–109. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-2-104-109>
- Шамонина Т.В., Нелюбина Е.А. Анализ водного использования бассейна реки Писсы // Вестн. науки и образования Северо-Запада России. 2017. № 2. С. 1–8.
- 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.
- Lata I. Catchment Delineation for Vjosa River WEAP Model, using QGIS Software // J. of Int. Environ. Application and Science. 2020. Vol. 15 (4). P. 203–215.



## Assessment of Chemical Pollution and Water Quality of Rivers in the Southeastern Part of Kaliningrad Oblast

S. I. Zotov<sup>a</sup>, Yu. A. Spirin<sup>b, \*</sup>, and V. S. Taran<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

<sup>b</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

\*e-mail: spirin.yuriy@rambler.ru

The article discusses the results of researches on chemical pollution and water quality of the Angrapa, Pissa, Krasnaya and Russkaya rivers, which belong to the Pregolya River basin and form the basis of the river network of the southeastern part of Kaliningrad oblast. Monitoring of these watercourses was planned and carried out at 16 sites during the 2022–2023 hydrological seasons. Hydrological measurements and sampling for subsequent chemical analysis were carried out on October 15, 2022, January 15, 2023, April 23, 2023, and July 19, 2023. The main pollutants in the rivers were identified: petroleum products, iron, sulfates, ammonium, nitrites, phosphates and non-compliance with MPC standards in terms of BOD, COD and dissolved oxygen. The specific combinatorial index of water pollution and the water pollution index were calculated and presented cartographically. The spatial differentiation of water quality in the studied rivers reflects a natural deterioration from the headwaters to the estuaries due to the increased accumulation of river runoff from agricultural lands, settlements and individual households. During the study period, the following phases of the water regime were observed: autumn low water, winter floods, spring high water, and the absence of summer low water. This factor, together with anthropogenic impacts, has a significant impact on the water quality, which varies from polluted to extremely polluted. It can be said that the ecological state of the studied watercourses and their river basins is unfavorable.

**Keywords:** dynamics of watercourse pollution, Angrapa River basin, hydrochemical analysis, water quality, mapping of river pollution, comparative analysis of pollution, anthropogenic impacts

### REFERENCES

- Akhmedova N.R., Naumov V.A. Dynamics of the annual runoff module in the Pissa River basin. *Vestn. ISH DVFU*, 2022, no. 2, pp. 105–111. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/105-111>
- Baldakov N.A., Kudishin A.V. Automation of calculation of watershed characteristics for solving surface runoff modeling problems. *Interesko Geo-Sibir'*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 83–89. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89>
- Barinova G.M. *Kaliningradsкая область. Климат* [Kaliningrad Region. Climate.]. Kaliningrad: Yantarny Skaz Publ., 2002. 196 p.
- Belyakova A.M., Zueva N.V. Assessment of the water quality of an urban river by hydrochemical indices (Okhta River, St. Petersburg). *Tr. Karel. Nauch. Tsentra RAN*, 2021, no. 9, pp. 72–84. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.17076/lim1458>
- Bernikova T.A., Tylik K.V., Tsvetkova N.N. Physiographic characteristics of the Krasnaya River – a natural monument of hydrological profile of the Kaliningrad region. *Izv. KGTU*, 2019, no. 52, pp. 11–23. (In Russ.).
- Chumachenko A.N., Khvorostukhin D.P., Morozova V.A. Construction of a hydrologically correct digital relief model (using the example of the Saratov region). *Izv. Saratov. Univ. Nov. Ser.: Nauki Zemle*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 104–109. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-2-104-109>
- Dvoeglazova N.V. The current state of the climate system of the Kaliningrad region against the background of global warming. *Vestn. Balt. Fed. Univ. Kanta. Ser.: Estest. Med. Nauki*, 2019, no. 1, pp. 35–45. (In Russ.).
- Dzhamalov R.G., Mironenko A.A., Myagkova K.G., et al. Space–time analysis of hydrochemical composition and pollution of water in the Northern Dvina basin. *Water Resour.*, 2019, vol. 46, pp. 188–198.  
<https://doi.org/10.1134/S0097807819020040>
- Ermolaev O.P., Maltsev K.A., Mukharamova S.S., et al. Cartographic model of basin geosystems of small rivers in the Lena River catchment. *Uchen. Zapisi. Kazan. Univ. Ser.: Estest. Nauki*, 2018, vol. 160, no. 1, pp. 126–144. (In Russ.).
- Glushchenko A.I. Ecological state and quality of groundwater in the Kaliningrad borehole water intake. *Vestn. Balt. Fed. Univ. Kanta. Ser.: Estest. Med. Nauki*, 2008, no. 1, pp. 25–31. (In Russ.).
- Kireicheva L.V., Lentyaeva E.A. The influence of agricultural production on water pollution. *Prirodoobust.*, 2020, no. 5, pp. 18–26. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.26897/1997-6011/2020-5-18-27>
- Kirpichnikova N.V., Polyanin V.O., Kurbatova I.E., Chernenko Yu.D. Criteria for assessing the ecological state of small river catchments and the removal of nutrients into the Ivankovo Reservoir. *Vodn. Khoz. Ross.: Probl., Tekhnol., Upravl.*, 2021, no. 6, pp. 81–105. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.35567/1999-4508-2021-6-5>

- Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J. Spatial modeling of micro-pollutants in a strongly regulated cross-border lowland catchment. *Environ. Proc.*, 2021, vol. 8, pp. 973–992.
- Lata I. Catchment delineation for Vjosa River WEAP Model, using QGIS software. *J. Int. Environ. Appl. Sci.*, 2020, vol. 15, no. 4, pp. 203–215.
- Lazareva N.N. Soil Map. In *Geograficheskii atlas Kaliningradskoi oblasti* [Geographical Atlas of the Kaliningrad Region]. Orlov V.V., Ed. Kaliningrad: KSU Publ.; TsNIT, 2002, pp. 56–57. (In Russ.).
- Litvin V.M. Relief and Geomorphological Zoning. In *Kaliningradsкая область. Oчерki prirody* [Kaliningrad Region. Essays on Nature]. Litvin V.M., Ed. Kaliningrad: Yantarny Skaz Publ., 1999, pp. 36–53. (In Russ.).
- Nagornova N.N. Geoecological assessment of the state of small watercourses in the Kaliningrad region. *Cand. Sci. (Geogr) Dissertation*. Kaliningrad: Kaliningrad. Gos. Tekh. Univ., 2012. 203 p.
- Nagornova N.N., Bernikova T.A., Tsupikova N.A. Hydrogeochemical characteristics of small rivers of the Kaliningrad region. *Vestn. Balt. Fed. Univ. Kanta*, 2011, no. 7, pp. 160–166. (In Russ.).
- Naumov V.A. Intra-annual distribution of river flow in the Kaliningrad region in 2020. *Vestn. Nauki Obrazov. Severo-Zapada Ross.*, 2022, vol. 8, no. 3, pp. 35–44. (In Russ.).
- Naumov V.A., Akhmedova N.R. *Inzhenernye izyskaniya v basseine reki Pregoli* [Engineering Surveys in the Pregolya River Basin]. Kaliningrad: Izd-vo Kaliningrad. Gos. Tekh. Univ., 2017. 183 p.
- Polukhin A.A., Zagovenkova A.D., Khlebopashev P.V., et al. Hydrochemical composition of the runoff of Abkhazian rivers and the distinctive features of its transformation in the coastal zone. *Oceanology*, 2021, vol. 61, pp. 15–24.  
<https://doi.org/10.1134/S0001437020060090>
- Shamonina T.V., Nelyubina E.A. Analysis of water use of the Pissa River basin. *Vestn. Nauki Obrazov. Severo-Zapada Ross.*, 2017, no. 2, pp. 1–8. (In Russ.).
- Spirin Yu.A. Analysis of the intra-annual distribution of river flow in the Slavsky district of the Kaliningrad region. *Reg. Geosist.*, 2020, vol. 44, no. 2, pp. 231–242. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-2-231-242>
- Spirin Yu.A. Hydrological characteristics of river flow in geoecological studies of surface waters of the Slavsky district of the Kaliningrad region. *Vestn. Udmurt. Univ. Ser.: Biol. Nauki Zemle*, 2021, vol. 31, no. 2, pp. 185–197. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-2-185-197>
- Sukhova A.A. Vegetation. In *Geograficheskii atlas Kaliningradskoi oblasti* [Geographical Atlas of the Kaliningrad Region]. Eaglet V.V., Ed. Kaliningrad: KSU Publ.; CNIT, 2002, pp. 58–59. (In Russ.).
- Sukhova A.A., Kozlovich I.I. Landscape Map. In *Geograficheskii atlas Kaliningradskoi oblasti* [Geographical Atlas of the Kaliningrad Region]. Eaglet V.V., Ed. Kaliningrad: KSU Publ.; CNIT, 2002, pp. 62–63. (In Russ.).
- Tylik K.V. Hydroecological features of the Krasnaya River – a natural monument of the hydrological profile of the Kaliningrad region. *Izv. KGTU*, 2021, no. 61, pp. 39–50. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-61-39-50>
- Valiev V.S., Ivanov D.V., Shagidullin R.R., et al. Assessment of the contribution of pollutants to the formation of the pollution class of surface waters. *Ros. Zh. Priklad. Ekol.*, 2018, no. 3, pp. 57–64. (In Russ.).
- Zotov S.I. Basin-landscape concept of environmental management. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1992, no. 6, pp. 55–56. (In Russ.).
- Zotov S.I. *Modelirovanie sostoyaniya geosystem* [Modeling the State of Geosystems]. Kaliningrad: Izd-vo Kaliningrad. Gos. Univ., 2001. 237 p.
- Zotov S.I., Spirin Yu.A., Taran V.S., Koroleva Yu.V. Hydrological features and geoecological state of small watercourses in polder territories of the Kaliningrad region. *Geogr. Vestn.*, 2021, no. 3, pp. 92–106. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-3-137-152>