

Экология и природопользование
Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Филимонова А.А.

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Научная статья

УДК 504.4.054

doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-113-124

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ КРАСНОЙ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Юрий Александрович Спирин¹, Сергей Игоревич Зотов², Вероника Сергеевна Таран³,
Анна Алексеевна Филимонова⁴

¹ Институт географии РАН, г. Москва, Россия

^{2,3,4} Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

¹ spirin.yuriy@rambler.ru, РИНЦ AuthorID: 887382

² zotov.prof@gmail.com, РИНЦ AuthorID: 60753

³ ronya.volkova@yandex.ru РИНЦ AuthorID: 1168912

⁴ anna23.01.2002@mail.ru

Аннотация. Калининградская область на сегодняшний день имеет важное стратегическое значение для Российской Федерации. Вследствие того, что регион отделен от основной части страны, для его экономического благополучия немаловажным фактором считается качество водных ресурсов. Одним из основных инструментов в этом направлении является гидрохимический и гидрологический мониторинг поверхностных водотоков. Цель работы – оценка пространственно-временной динамики загрязнения реки Красной по 4 гидрологическим сезонам 2022–2023 гг. Мониторинг проводился в осенний (15.10.22), зимний (15.01.23), весенний (23.04.23) и летний (19.07.23) гидрологические сезоны, в результате чего были отобраны пробы воды в 4 гидростворах и измерены гидрометрические характеристики для расчета расхода воды. Пробы воды были исследованы на необходимый перечень химических показателей, на основе которого определены интегральные показатели качества воды. Также определена и картографически выражена их пространственно-временная изменчивость. Результат исследования представлен информацией о состоянии водотоков и влиянии на них антропогенных и природных факторов. Удельный комбинаторный индекс загрязнения воды показал, что река загрязняется от истока к устью. Внутригодовая изменчивость рассмотрена по средствам ИЗВ и имеет схожую пространственную интерпретацию, качество воды снижается от истока к устью с небольшими отклонениями. Временная изменчивость сложилась таким образом, что осень – самый загрязненный сезон, а остальные сезоны имеют почти одинаковый средний индекс загрязнения воды. Основные загрязнители можно разделить на систематические (нефтепродукты, железо, БПК₅, ХПК) и несистематические (сульфаты фосфаты, аммоний и низкий уровень растворенного кислорода). Обнаружена корреляция химических загрязнений с количественными характеристиками речного стока, природными циклами водной и береговой растительности, помывкой автотранспорта. Эмиссия железа и нефтепродуктов не вписывается в какую-то определенную закономерную систему, так как источники первого это подземные воды, а второго – антропогенная деятельность. В целом ситуация с качеством воды р. Красной оценивается как удовлетворительная.

Ключевые слова: загрязнение воды, трансграничные водотоки, пространственная дифференциация загрязнений, ландшафтно-бассейновый подход, река Красная, Калининградская область

Сведения о финансировании: 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., Филимонова А.А. Оценка пространственно-временной динамики загрязнения реки Красной в Калининградской области // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 3 (70). С. 113–125. doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-113-124

ECOLOGY AND NATURE USE

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-113-124

ASSESSMENT OF THE SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF POLLUTION OF THE KRASNAYA RIVER IN THE KALININGRAD REGION

Yuriy A. Spirin¹, Sergej I. Zotov², Veronika S. Taran³, Anna A. Filimonova⁴

¹ Institute of Geography, RAS, Moscow, Russia

^{2,3,4} Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

¹ spirin.yuriy@rambler.ru, Author ID: 887382

² zotov.prof@gmail.com, Author ID: 60753

³ ronya.volkova@yandex.ru, Author ID: 1168912

⁴ anna23.01.2002@mail.ru



Экология и природопользование
Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Филимонова А.А.

Abstract. Today, the Kaliningrad region has considerable strategic significance for the Russian Federation. Due to the fact that the region is separated from the main part of the country, the quality of water resources is considered a substantial factor for its economic well-being. One of the main tools in this area is hydrochemical and hydrological monitoring of surface watercourses. The purpose of the work is to assess the spatio-temporal dynamics of the Krasnaya River pollution for 4 hydrological seasons in 2022-2023. Monitoring was carried out during the autumn (10/15/22), winter (01/15/23), spring (04/23/23), and summer (07/19/23) hydrological seasons, during which water samples were taken at 4 hydraulic stations, and hydrometric characteristics were measured to calculate water flow rates. Water samples were examined for the relevant chemical indicators, on the basis of which integral indicators of water quality were determined. In turn, their spatio-temporal variability was determined and cartographically expressed. As a result of the study, the paper provides information about the state of the watercourses and the influence of anthropogenic and natural factors on them. The specific combinatorial index of water pollution showed that the river is polluted from source to mouth. Intra-annual variability was studied using the WPI and has a similar spatial interpretation, water quality decreases from source to mouth with slight deviations. Temporal variability has developed in such a way that autumn is the most polluted season, while the remaining seasons have nearly equal average water pollution indices. The main pollutants can be divided into systematic (petroleum products, iron, BOD5, COD) and non-systematic (sulfate phosphates, ammonium, and low dissolved oxygen). A correlation was discovered between chemical pollution and the quantitative characteristics of river flow, natural cycles of aquatic and shore vegetation, and vehicle washing. The emissions of iron and petroleum products do not fit into any specific regular system: the sources of the former are groundwater, of the latter – anthropogenic activities. In general, the situation with water quality on the Krasnaya River is rated as satisfactory.

Keywords: water pollution, transboundary watercourses, spatial differentiation of pollution, landscape-basin approach, Krasnaya River, Kaliningrad region

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

For citation: Spirin, Yu.A., Zotov, S.I., Taran, V.S., Filimonova, A.A. (2024). Assessment of the spatio-temporal dynamics of pollution of the Krasnaya River in the Kaliningrad region. *Geographical Bulletin*. No. 3(70). Pp. 113–125. doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-113-124

Введение

Одно из приоритетных направлений геоэкологических исследований в Калининградской области – мониторинг качества поверхностных пресноводных ресурсов [1; 4; 9; 26]. Особую значимость такой вид наблюдений получил в последние 30 лет, когда регион потерял сухопутную границу с основной частью Российской Федерации, а с ростом геополитической обострённости в мире актуальность таких мероприятий только растёт. Если не следить за качественными характеристиками воды (химическим составом) в водотоках и водоемах, то не получится эффективно бороться с негативными последствиями урбанизации, индустриализации и развития сельского хозяйства, а это, в свою очередь, может привести регион к положению, в котором люди не будут обеспечены качественными водными ресурсами, что может повлечь за собой болезни и экономический спад.

В области, обладающей высокой плотностью речной сети, почти не осталось водных объектов, не поменявших свои свойства под воздействием антропогенной деятельности, но даже в таких условиях находятся водотоки, которые можно по ряду показателей считать условно неизменёнными. Река Красная едва ли не единственный эталон ненарушенной экосистемы малой реки. В ней обитают занесенные в Красную книгу Российской Федерации кумжа и форель ручьевая, что является одним из показателей чистоты воды. Поэтому 18-километровый участок р. Красной и её долина, расположенные в пределах хвойного лесного массива (Красный лес) и холмисто-грядового рельефа от государственной границы до п. Токаревка, в 1974 г. были объявлены особо охраняемой природной территорией – региональным памятником природы гидрологического профиля. Вдоль этого участка реки установлена охранная зона шириной 0,5 км по обоим берегам. Для сохранения природных и культурных достопримечательностей Красного леса и озера Виштынецкого организован природный парк «Виштынецкий», внутри которого река Красная включена в особую охраняемую зону [13].

Что касается географического положения: р. Красная трансграничная, относится к бассейну р. Анграпы и берет своё начало на Вармийско-Мазурской возвышенности с территории Польши. Устье реки находится на территории Российской Федерации, где река Красная впадает в реку Писса вблизи г. Гусева. Такое трансграничное расположение может вносить свои коррективы в уровень загрязнения воды. Помимо этого, на участке, следующем после п. Токаревка, активно ведется хозяйственная деятельность человека, что потенциально может стать источником загрязнения водотока. Да и естественные процессы, такие как жизненные циклы растительности, активно происходящие в лесной зоне, тоже могут воздействовать на химический состав воды, и не всегда это благоприятно влияет на ее качество [29; 30].

В связи со всем сказанным, река представляет интерес для систематического гидрохимического мониторинга, который по известным нам данным сейчас не проводится как государством, так и частными лицами. Основные актуальные исследования посвящены в большинстве физико-географическим и гидрологическим свойствам реки [3; 17; 24], а исследования химического состояния и загрязненности

Экология и природопользование
Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Филимонова А.А.

прибора двухлучевой спектрофотометрии UV-1800 Shimadzu и системы капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105М».

На основе собранных данных рассчитаны кратности превышения предельной допустимой концентрации (ПДК). Далее получен удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) с учетом и без учета критических показателей загрязнения (КПЗ) для каждого пункта мониторинга за гидрологический год [19], а также индекс загрязнения воды (ИЗВ) для каждого пункта мониторинга в соответствующий сезон [5]. После расчета этих индексов пунктам присвоен соответствующий класс качества воды.

В работе использовались совмещенные списки ПДК загрязняющих веществ: ПДК₁[18] и ПДК₂[20] (табл. 1). Расчеты проводятся, исходя из самого строгого показателя в представленном списке.

Таблица 1

Совмещенный список ПДК
Combined list of maximum permissible concentrations

Наименование показателя	ПДК ₁	ПДК ₂	Наименование показателя	ПДК ₁	ПДК ₂
Цветность, градусы	-	20	Аммоний, мг/л	0,5	1,5
Запах, баллы	-	2	Фосфаты, мг/л	0,05	3,5
Мутность, ЕМФ	-	2	Хлориды, мг/л	300	350
Температура воды, °С	-	-	Сульфаты, мг/л	100	500
рН, ед	фон	6-9	Натрий, мг/л	120	200
Взвеш. вещества, мг/л	-	-	Магний, мг/л	40	-
Растворенный О ₂ , мг/л	≥ 6	-	Железо общее, мг/л	0,1	0,3
ХПК, мг/л	-	15	Нефтепродукты, мг/л	0,05	0,1
БПК ₅ , мг/л	2,1	-	Соленость, мг/л	-	-
Нитраты, мг/л	40	45	Калий, мг/л	50	-
Нитриты, мг/л	0,08	3	Кальций, мг/л	180	-

Скорость течения воды, глубина и ширина русел измерены при помощи «Гидрологической микровертушки ГМЦМ-1» и измерительной строительной рулетки по принципу, описанному в своде правил [12]. Далее методом скорость – площадь были рассчитаны расходы в точках наблюдения.

Граница бассейна р. Красной построена на базе SRTM снимков в программном пакете SAGA GIS с использованием стандартного встроенного инструментария [2; 10; 25; 28]. При помощи ландшафтно-бассейнового подхода были построены схемы пространственной дифференциации ИЗВ и УКИЗВ [8; 14; 27]. Бассейн р. Красной был разделен на 4 участка, что соответствует количеству выбранных пунктов мониторинга. При формировании границ участков соблюдалась та же логика, что при выборе точек мониторинга. 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. Процентное распределение урбанизированных, сельскохозяйственных, лесных и других территорий представлено в табл. 2.

Таблица 2

Процентное распределение различных видов территорий в бассейне
Percentage distribution of different types of areas in the basin

Наименование участка	Площадь участка, км ²	Урбанизированная территория, %	Сельскохозяйственная территория, %	Лесная территория, %	Другое, %
Весь бассейн	508	1,97	15,02	74,61	8,40
К1	360	0,00	0,00	91,67	8,33
К2	67	0,00	25,37	67,16	7,47
К3	52	4,81	80,38	5,19	9,62
К4	29	25,86	60,34	6,90	6,90

Результаты и их обсуждения

Результаты полевых и лабораторных химических анализов представлены в табл. 3, точки маркированы в соответствии с картосхемой на рис. 1. В расчет УКИЗВ легли все вещества, по которым отмечены превышения ПДК с учетом их повторяемости. В расчете ИЗВ участвовали 6 наибольших кратностей ПДК в воде за сезон с обязательным включением растворенного кислорода и БПК₅ (используемые показатели выделены полужирным). Исходя из выявленных индексов, каждой точке был присвоен соответствующий класс качества воды.

Таблица 3

Гидрохимические показатели р. Красной
Hydrochemical indicators of the Krasnaya River

Сезон	Осень				Зима				Весна				Лето			
	К1	К2	К3	К4	К1	К2	К3	К4	К1	К2	К3	К4	К1	К2	К3	К4
Пункты мониторинга	К1	К2	К3	К4	К1	К2	К3	К4	К1	К2	К3	К4	К1	К2	К3	К4
Цветность, градусы	10	10	5	10	5	5	5	10	5	5	5	5	5	5	5	5
Запах, баллы	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Мутность, мг/л	15	5	6	10	15	10	15	25	5	5	5	5	5	5	5	5
t воды, °С	9,0	11,9	11,5	11,8	2,4	3,1	1,8	3,4	8,2	14,0	12,7	13,6	21,0	22,9	22,6	21,9
pH, ед	8,0	8,0	8,1	7,8	7,7	7,7	7,6	7,9	8,0	8,6	8,4	7,9	7,3	7,1	8,0	7,5
Взвеш. вещ., мг/л	12,05	13,17	10,85	13,82	0,19	0,22	0,12	0,11	0,06	0,16	0,10	0,08	5,81	17,28	16,47	14,54
Раств. О ₂ , мг/л	7,52	6,98	6,81	8,09	7,51	5,82	5,81	5,41	4,37	4,24	3,52	3,87	44,8	28,1	23,5	18,6
ХПК, мг/л	6,32	8,37	5,13	18,83	27,33	23,62	16,61	21,82	25,8	24,4	25,3	33,8	53,2	48,1	57,6	58,8
БПК ₅ , мг/л	3,83	4,36	2,80	9,37	0,7	1,3	6,7	3,1	2,0	2,0	4,8	0,6	2,8	2,5	4,2	4,8
Нитраты, мг/л	0,415	0,418	1,568	0,451	5,900	2,500	3,100	5,340	2,920	1,590	2,080	0,800	2,59	2,88	4,08	1,21
Нитриты, мг/л	0,11	0,01	0,01	0,32	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,006	0,005	0,001
Аммоний, мг/л	1,06	0,24	0,76	1,38	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,25	0,14	0,30	0,01	0,04	0,01	0,09
Фосфаты, мг/л	0,012	0,252	0,068	0,109	0,029	0,033	0,016	0,024	0,006	0,040	0,010	0,071	0,015	0,117	0,133	0,101
Сухой остаток, мг/л	0,57	0,45	1,32	0,63	0,31	0,28	0,27	0,40	0,01	0,11	0,06	0,02	0,16	1,34	0,18	2,01
Хлориды, мг/л	69,61	53,02	90,01	60,11	76,40	92,90	60,80	89,00	22,68	58,81	48,45	26,50	13,2	69,5	57,4	54,7
Сульфаты, мг/л	84,5	126,0	130,1	113,1	133,0	90,5	128,0	161,0	42,9	78,5	67,3	29,16	41,9	88,9	84,3	52,1
Натрий, мг/л	4,40	5,45	4,13	5,59	5,19	9,96	5,94	6,50	3,17	5,31	6,66	5,07	0,69	5,81	6,13	6,43
Магний, мг/л	8,41	9,03	7,91	10,33	12,10	15,18	13,34	13,89	7,66	8,32	9,15	9,59	5,39	12,71	9,55	11,82
Железо, мг/л	0,996	0,745	0,849	0,815	0,025	1,115	0,768	0,123	0,026	0,416	0,125	0,048	0,125	0,519	0,117	0,269
Нефтепродукты, мг/л	0,14	0,65	0,18	0,85	0,06	0,08	0,12	0,04	0,05	0,11	0,02	0,01	0,14	0,08	0,05	0,08
Соленость, мг/л	0,41	0,44	0,44	0,42	0,31	0,44	0,43	0,44	0,05	0,23	0,23	0,21	0,21	0,45	0,53	0,52
Калий, мг/л	1,10	2,02	5,16	1,99	3,74	2,60	2,34	2,49	2,36	2,52	2,47	1,99	1,38	1,64	1,71	1,7
Кальций, мг/л	51,5	44,96	48,37	61,67	76,40	83,90	80,20	91,40	38,63	46,41	46,33	59,86	25,83	71,84	52,21	63,31

*используемые показатели для расчета ИЗВ выделены полужирным

Экология и природопользование
Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Филимонова А.А.

На основе полученных гидрохимических характеристик рассчитан и выражен в пространстве УКИЗВ за 2022–2023 гг. (рис. 2).

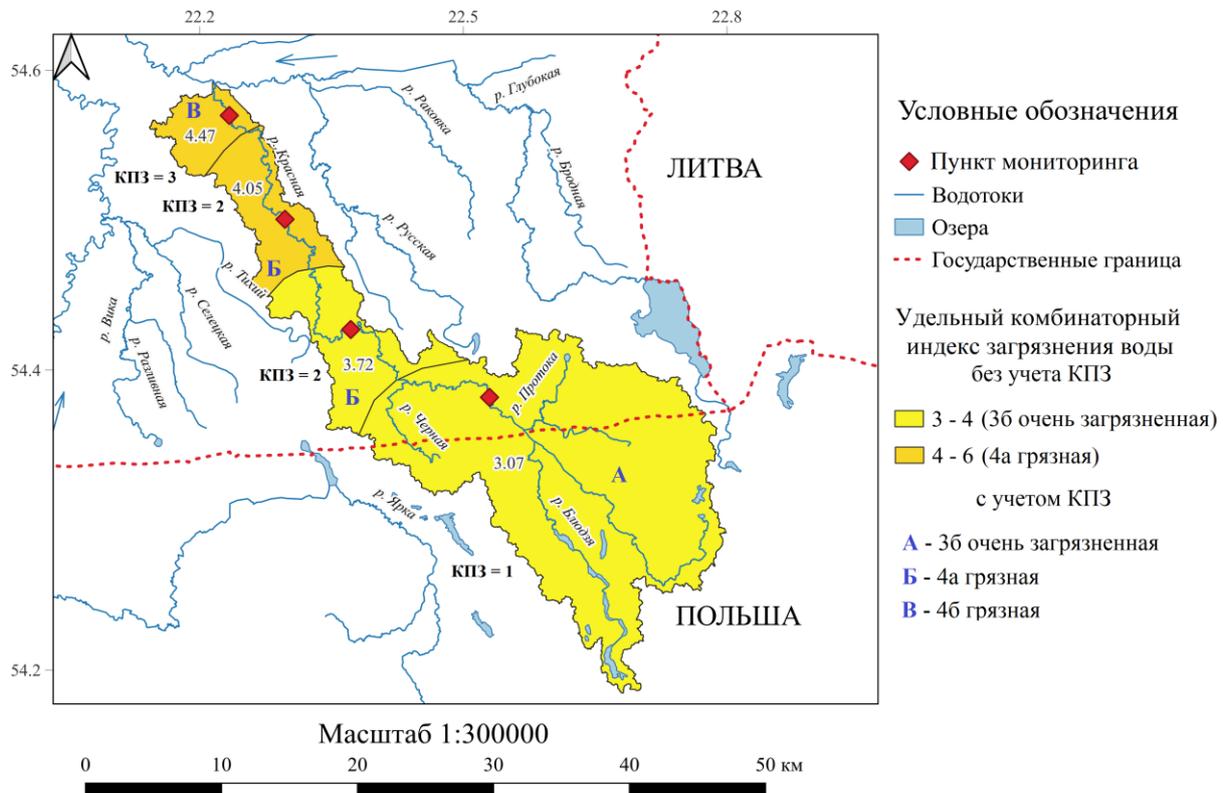


Рис. 2. Пространственная дифференциация УКИЗВ в бассейне р. Красной 2022–2023 гг.

Fig. 2. Spatial differentiation of the Specific Combinatory Water Pollution Index in the Krasnaya River basin in 2022–2023.

Исходя из рис 2., фиксируется классическая картина загрязнения водотоков от истока к устью, где урбанизация вместе с сельскохозяйственными землями выступают основными потенциальными источниками загрязнения, т.к. именно после пересечения зон их расположения качество воды ухудшается. Класс качества воды вниз по течению падает от 3б очень грязная до 4а грязная, а количество КПЗ увеличивается с 1 до 3. С учетом КПЗ класс качества воды хуже: от 3б очень грязная до 4б грязная. В целом состояние бассейна можно считать относительно хорошим, особенно в лесной зоне, где выполняются природоохранные мероприятия. Для более детального изучения сложившейся ситуации рассмотрим сезонную пространственно-временную изменчивость ИЗВ в бассейне р. Красной (рис. 3).

На рис. 3 пространственная тенденция изменчивости степени загрязненности сохраняется с небольшими отличиями. После выхода реки из лесной зоны качество воды всегда ухудшается, но тренд местами сменяется на улучшения по мере течения реки, что странно, потому что на этом участке нет впадений более чистых рек, а природно-хозяйственная обстановка становится более неблагоприятной для качества воды. С другой стороны, ИЗВ хоть и изменяется без явных причин в большую или меньшую сторону, но в небольших пределах, что наводит на мысли об однородном и равномерном (в какой-то мере) химическом загрязнении воды после п. Токаревка. Как видно из табл. 3, после выхода реки из лесной зоны показатели, отвечающие за рост ИЗВ в пунктах К2-К4, особо не изменяются, исключая некоторые частные случаи, такие как, например, показатели железа, превышения которых в регионе зачастую связывают с подземными водами, обогащенными этим веществом [6–7], и тогда пространственная привязка будет формироваться относительно глубины залегания таких вод по длине реки, а не хозяйственной деятельности человека. Также можно фиксировать несколько скачков концентраций фосфатов и нитритов, но это уже единичные случаи. Именно эти обстоятельства и закладывают большую неоднородность ИЗВ от точки К2 до К4.

Что касается временной изменчивости, здесь уже есть свои особенности. Самый загрязненный сезон – осень, у которой среднее значение ИЗВ 4,29 (класс качества воды – грязная), а максимальное – 6,19 (класс качества воды – очень грязная). Остальные сезоны имеют почти одинаковый средний ИЗВ

Экология и природопользование
 Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Филимонова А.А.

– в диапазоне от 1,9 до 2,2 (класс качества воды – умеренно-загрязненные по верхней границе и загрязненные по нижней), но зимой в точках К1 и К4 отмечены самые низкие ИЗВ – 0,96 и 1,50 (класс качества воды – чистые по верхней границе и умерено загрязненные по нижней), поэтому этот сезон можно считать самым благоприятным. Если не брать в расчет осенний сезон, вода достаточно чистая на всем протяжении реки, что оправдывает статус памятника природы гидрологического профиля.

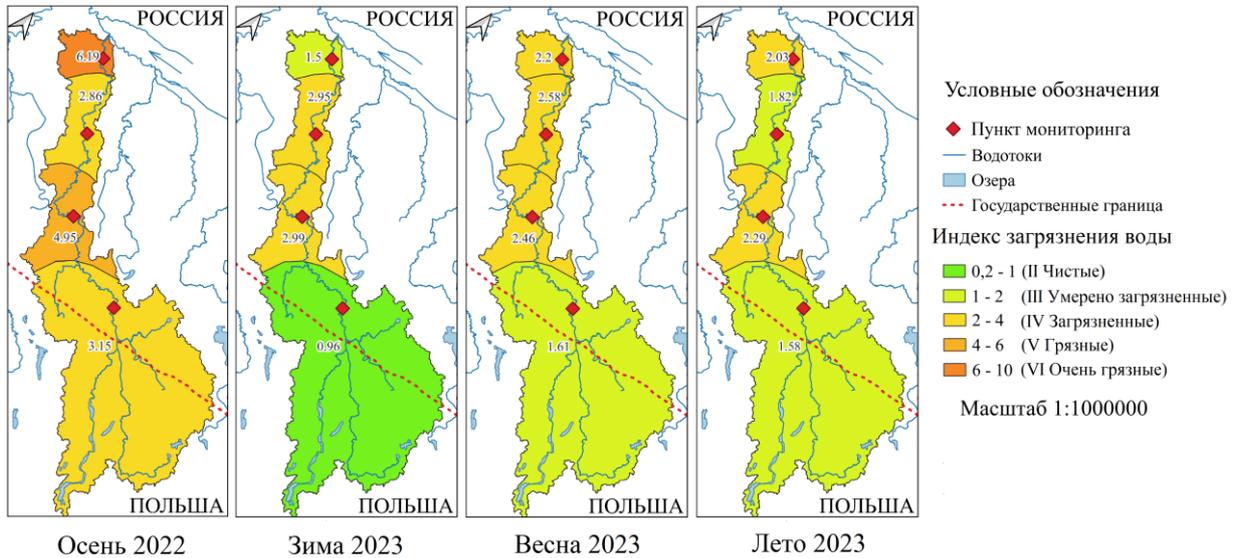
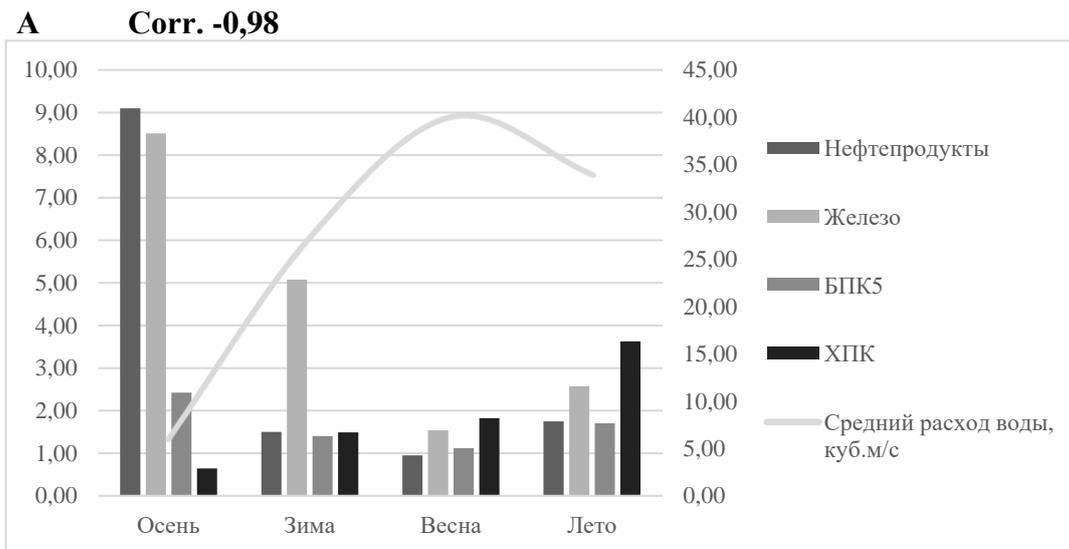


Рис. 3. Сезонная пространственно-временная изменчивость ИЗВ в бассейне р. Красной 2022–2023 гг.
 Fig. 3. Seasonal spatio-temporal variability of the WPI in the Krasnaya River basin in 2022–2023.

Какая-то явная привязка уровня загрязнения к сельскохозяйственным циклам отсутствует, хотя нередко случаи для региона, когда она отчетливо прослеживается [11; 23]. Наблюдаются связи качества воды с количественными характеристиками речного стока, с природными циклами водной и береговой растительности, помывкой автотранспорта. Для обоснования этих предположений проанализируем сезонную динамику ключевых загрязняющих веществ, воздействующих на качество воды и их взаимосвязь с характеристиками стока (рис. 4).



Экология и природопользование
Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Филимонова А.А.

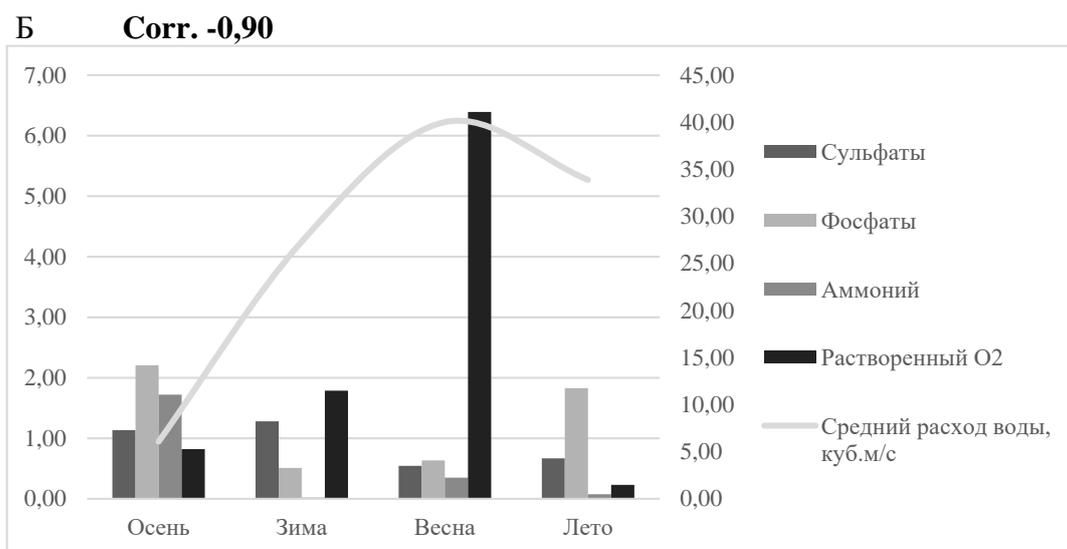


Рис. 4. Средние кратности превышения ПДК загрязняющих веществ (левая ось, раз) и средние расходы воды в реке во время пробоотбора (правая ось, м³/с) по всем точкам: А – систематические загрязнители; Б – несистематические загрязнители
Fig. 4. Average multiples of exceeding the maximum permissible concentration of pollutants (left axis, times) and average water flow rates in the river during sampling (right axis, m³/s) at all points: А – systematic pollutants; Б – non-systematic pollutants

Характеристикам стока необходимо уделять особое внимание, потому что этот показатель сильно влияет на концентрацию вещества [22]. В данном случае из рис. 4 видно, как расход воды напрямую влияет на кратность превышения ПДК по различным показателям. Коэффициент парной корреляции Пирсона между расходом воды и кратностью превышения стремится к -1 как для систематических, так и для несистематических загрязнений (с ростом расхода падает концентрация веществ). Это одна из причин, почему осенью качество воды было наихудшее, так как расход воды был очень низкий. В регионе очень сложно выделить классические гидрологические фазы водного режима, в целом внутригодовое распределение стока имеет следующую структуру [22; 21]. Порой даже она может не всегда соблюдаться из-за погодных условий, особенно в отношении малых водотоков, что и наблюдалось во время исследования. Наименьший расход воды (фактически межень) был измерен осенью, зимой он вырос до паводкового уровня, поскольку заморозки сменялись оттепелью, весной зимний паводок плавно перешел в небольшое половодье, но при этом летом оно не сменилось на явную межень, и расход воды остался в границах половодья. В Калининградской области летние паводки хоть и встречаются регулярно, но зачастую обладают куда меньшими показателями расхода, а величина стока осеней межени была очень низкой (тем более для середины осени, когда намного чаще наблюдается начало осенне-зимнего паводка), вплоть до почти полного пересыхания некоторых участков водотоков.

Осенью обнаружен небольшой выброс биогенных веществ вкуче с превышением показателей по БПК₅. Ориентировочно такая ситуация сложилась вследствие гибели растительности, которая активно развивалась летом. На протяжении всей реки имеется богатая флора, что подтверждается визуальным осмотром. Циклы развития большого количества береговой и водной растительности могут вносить серьезный вклад в качество воды, как положительный, так и отрицательный. Данных о химическом составе воды за лето, предшествующее осени, у нас нет, но если он похож на тот, что мы фиксировали летом 2023, то отчасти сложившуюся ситуацию с загрязнениями осенью можно объяснить процессами, связанными с разложением и окислением органики. Этим летом были отмечены огромные концентрации растворенного кислорода, что является численным выражением наличия большого количества водных растений, и это, безусловно, положительный фактор. Предположение об источнике растворенного кислорода хорошо ложится на динамику этого показателя: осенью средняя концентрация равняется 7,35 мг/л (остаточный кислород от деятельности растительности летом); зимой средняя концентрация уменьшается и равняется 6,1 мг/л (уменьшение кислорода вследствие отсутствия большого количества растений и сокращение интенсификации выделения ими кислорода, а также образование ледовой корки); весной средняя концентрация уменьшается еще сильнее – до 4,0 мг/л (конечный результат процессов описанных зимой); летом средняя концентрация существенно увеличивается до 28,8 мг/л

Экология и природопользование
Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Филимонова А.А.

(развитие большего количества водной растительности, которое продуцирует кислород в воде). Если принять во внимание, что от осени к лету увеличивается расход воды в реке, то описанная градиация по этому показателю будет более явная. Дальнейшая гибель растительности приводит к тому, что большое количество биомассы во время разложения выбрасывает в воду аккумулярованные в ней вещества, что можно считать отрицательным фактором.

Интересная ситуация прослеживается и с показателями ХПК – оно повышается несмотря на тренд роста растворенного кислорода, снижающийся показатель БПК₅ и увеличение расхода воды от осени к лету. Пик ХПК достигается летом, и у нас есть на этот счет рабочая гипотеза. Во время отбора проб были отмечены неоднократные случаи мойки автотранспорта у реки. Моющие средства и содержащиеся в них жиры могут провоцировать рост ХПК. Летом потребность в этом действии возрастает, поскольку люди больше ездят на автомобилях, и они сильнее загрязняются из-за пыли, также меньше дождей, которые могли бы смывать грязь с машин и уменьшить количество взвеси в воздухе, плюс комфортная погода для мойки. Такие процессы могут дополнительно влиять и на прирост нефтепродуктов в воде.

Стоит сказать и про основные загрязнители: нефтепродукты и железо. Они фиксируются весь год, и привязка их количества есть только с характеристиками стока. Как говорилось ранее, железо, скорее всего, поступает из подземных вод, а нефтепродукты – постоянный загрязнитель, который почти всегда фиксируется в зонах с антропогенной деятельностью и не имеет какого-либо явного цикла.

Заключение

Вода в р. Красной загрязняется от истока к устью, согласно УКИЗВ. Класс качества воды по этому показателю в 2022–2023 гг. характеризуется в диапазоне от 3б очень грязная до 4а грязная, а с учетом КПЗ класс качества воды ниже, от 3б очень грязная до 4б грязная. Внутригодовая изменчивость рассмотрена посредством ИЗВ и имеет схожую пространственную интерпретацию, качество воды снижается от истока к устью с небольшими нюансами. Уровень загрязнения в точках К2-К4 очень схож, его разброс и несоответствие указанной ранее тенденции по большей части связан с показателями железа, которое не имеет привязки к антропогенной деятельности, вокруг которой и строилась пространственная изменчивость химического состава воды.

Временная изменчивость сложилась таким образом, что осень – самый загрязненный сезон со средним значением ИЗВ 4,29 (класс качества воды грязная), а максимальным – 6,19 (класс качества воды очень грязная). Остальные сезоны имеют почти одинаковый средний ИЗВ в диапазоне от 1,9 до 2,2 (класс качества воды умеренно-загрязненные по верхней границе и загрязненные по нижней), но зимой в точках К1 и К4 отмечены самые низкие ИЗВ – 0,96 и 1,50 (класс качества воды чистые по верхней границе и умеренно загрязненные по нижней), поэтому этот сезон можно считать самым благоприятным.

Основные загрязнители можно разделить на систематические (нефтепродукты, железо, БПК₅, ХПК) и несистематические (сульфаты фосфаты, аммоний и низкий уровень растворенного кислорода). Средние по 4 пунктам мониторинга кратности превышения ПДК систематических загрязнений колеблются в следующих диапазонах: нефтепродукты (от 0,95 до 9,10); железо (от 1,54 до 8,51); БПК₅ (от 1,12 до 2,42) и ХПК (от 0,64 до 3,63).

Обнаружена корреляция химических загрязнений с количественными характеристиками речного стока, природными циклами водной и береговой растительности, помывкой автотранспорта. Но эти связи пока несут гипотетический характер. Эмиссия железа и нефтепродуктов не вписываются в какую-то определенную закономерную систему. Источники первого – подземные воды, а второго – антропогенная деятельность.

Исходя из того, что качество воды в реках можно рассматривать как интегральный показатель экологической обстановки на их водосборах, то, с учётом этого допущения, ситуация в бассейне р. Красной оценивается как относительно удовлетворительная.

Библиографический список

1. Ахмедова Н.Р., Великанов Н.Л., Наумов В.А. Оценка качества воды малых водотоков Калининградской области // Вода: химия и экология. 2015. № 10. С. 19–24.
2. 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.
3. 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.
4. Валл Е.В., Ахмедова Н.Р. Эколого-гидрохимические исследования малых водотоков Калининградской области // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2021. Т. 7, № 4. С. 33–37.

Экология и природопользование

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

5. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г. № 250–1163. 5 с.
6. Глуценко А.И. Экологическое состояние и качество подземных вод Калининградского скважинного водозабора // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2008. № 1. 28 с.
7. Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2021 году». Калининград: ООО «ВИА Калининград», 2022. С. 6–80.
8. Джамалов Р.Г., Мироненко А.А., Мяжкова 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.
9. Домнин Д.А., Домнина А.Ю., Попова И.Ю. Анализ состояния биогенной нагрузки в бассейнах рек муниципального уровня с учётом удерживающей роли прудов // Астраханский вестник экологического образования. 2021. № 1 (61). С. 160–168. doi: 10.36698/2304-5957-2021-20-1-160-168.
10. Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Мухарамова С.С. и др. Картографическая модель бассейновых геосистем малых рек водосбора реки Лены // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки, 2018. Т. 160, № 1. С. 126–144.
11. Зотов С.И., Спирин Ю.А., Таран В.С., Королева Ю.В. Гидрологические особенности и геоэкологическое состояние малых водотоков пойменных территорий Калининградской области // Географический вестник. 2021. № 3 (58). С. 92–106. doi: 10.17072/2079-7877-2021-3-92-106.
12. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства: СП 11-103-97: Одобрено Департаментом развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России (письмо от 10.07.97 № 9-1-1/69). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704792> (дата обращения 27.12.2023).
13. URL: <https://istok39.ru>. (дата обращения: 29.12.23).
14. Нагорнова Н.Н. Геоэкологическая оценка состояния малых водотоков Калининградской области: дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 2012. С. 8–19.
15. 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.
16. Наумов В.А. Внутригодовое распределение стока рек Калининградской области в 2020 году // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2022. Т. 8, № 3. С. 35–44.
17. Наумов В.А., Ахмедова Н.Р. Инженерные изыскания в бассейне реки Преголи / Калининградский государственный технический университет. Калининград, 2017. 183 с.
18. «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)». URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120>. (дата обращения: 29.12.23).
19. РД 52.24.643-2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039667>. (дата обращения: 29.12.23).
20. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения». URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042>. (дата обращения: 29.12.23).
21. Спирин Ю.А. Анализ внутригодового распределения стока рек Славского района Калининградской области // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44, № 2. С. 231–242. doi: 10.18413/2712-7443-2020-44-2-231-242.
22. Спирин Ю.А. Гидрологические характеристики речного стока в геоэкологических исследованиях поверхностных вод Славского района Калининградской области // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31, № 2. С. 185–197. doi: 10.35634/2412-9518-2021-31-2-185-197.
23. Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Королева Ю.В. Сравнительный анализ химического состава воды водотоков Славского района Калининградской области по гидрологическим сезонам // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31, № 4. С. 425–436. doi: 10.35634/2412-9518-2021-31-4-425-436.
24. 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.
25. Чумаченко А.Н., Хворостухин Д.П., Морозова В.А. Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 18, № 2. С. 104–109.
26. Эйдельман Я.В., Королева Ю.В., Голубева Ю.В. Комплексная оценка загрязнения реки Преголи и акватории Калининградского залива // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 6-2 (96). С. 74–78. doi: 10.23670/IRJ.2020.96.6.051.
27. Lämmchen M., Klasmeyer 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.
28. Lata I. Catchment Delineation for Vjosa River WEAP Model, using QGIS Software // Journal of International Environmental Application and Science. 2020. Vol. 15 (4). P. 203–215.
29. Tang JY, Cao PP, Xu C, Liu MS. Effects of aquatic plants during their decay and decomposition on water quality // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. 2013 Vol. 24 (1). P. 83–90.
30. Xiong H. Study on the release of carbon, nitrogen and phosphorus from the decomposition of aquatic plants // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2019. Vol. 384. P. 1–4.

References

1. Akhmedova N.R., Velikanov N.L., Naumov V.A. 2015, Assessment of the water quality of small watercourses in the Kaliningrad region, *Water: chemistry and ecology*, No. 10. p. 19–24. (in Russ).
2. Baldakov N.A., Kudishin A.V. 2019, Automation of calculation of watershed characteristics for solving surface runoff modeling problems, *Interexpo Geo-Siberia*, T. 4. No. 1. p. 83–89. (in Russ).

Экология и природопользование
Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Филимонова А.А.

3. Bernikova T.A., Tylik K.V., Tsvetkova N.N. 2019, Physiographic characteristics of the Krasnaya River - a natural monument of hydrological profile of the Kaliningrad region, *News of KSTU*, No. 52. p. 11–23. (in Russ).
4. Wall E.V., Akhmedova N.R. 2021, Ecological and hydrochemical researches of small watercourses in the Kaliningrad region, *Bulletin of science and education of the North-West of Russia*, Vol. 7. No. 4. p. 33–37. (in Russ).
5. Temporary guidelines for a comprehensive assessment of the quality of surface and sea waters based on hydrochemical indicators. Approved State Committee for Hydrometeorology of the USSR 09.22.1986 No. 250-1163. 5 p. (in Russ).
6. Glushchenko A.I. 2008, Ecological state and quality of groundwater in the Kaliningrad borehole water intake, *Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant. Series: Natural and medical sciences*, No. 1. p. 28 (in Russ).
7. State report “On the environmental situation in the Kaliningrad region in 2021.” Kaliningrad: LLC “VIA Kaliningrad”, 2022. p. 6–80. (in Russ).
8. Dzhamalov R.G., Mironenko A.A., Myagkova K.G. and others. 2019, Spatio-temporal analysis of the hydrochemical composition and water pollution in the Northern Dvina basin, *Water Resources*, T. 46. No. 2. p. 149–160. (in Russ).
9. Domnin D.A., Domnina A.Yu., Popova I.Yu. 2021, Analysis of the state of nutrient load in river basins at the municipal level, taking into account the retaining role of ponds, *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*, No. 1(61). p. 160–168. DOI 10.36698/2304-5957-2021-20-1-160-168. (in Russ).
10. Ermolaev O.P., Maltsev K.A., Mukharamova S.S. and others. 2018, Cartographic model of basin geosystems of small rivers in the Lena River catchment, *Scientific notes of Kazan University. Series: Natural Sciences*, T. 160. No. 1. p. 126–144. (in Russ).
11. Zotov S.I., Spirin Yu.A., Taran V.S., Koroleva Yu.V. 2021, Hydrological features and geoeological state of small watercourses in the polder territories of the Kaliningrad region, *Geographical Bulletin*, No. 3(58). p. 92–106. DOI 10.17072/2079-7877-2021-3-92-106. (in Russ).
12. Engineering and hydrometeorological surveys for construction: SP 11-103-97: Approved by the Department for the Development of Scientific and Technical Policy and Design and Survey Work of the State Construction Committee of Russia (letter dated July 10, 1997 No. 9-1-1/69) [Electronic resource]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/901704792> (access date 12/27/2023). (in Russ).
13. Istok [Electronic resource]. URL: <https://istok39.ru>. (access date: 12/29/23). (in Russ).
14. Nagornova N.N. 2012, Geoeological assessment of the state of small watercourses in the Kaliningrad region: dis. ...cand. geogr. Sci. Kaliningrad, p. 8–19. (in Russ).
15. Nagornova N.N., Bernikova T.A., Tsipikova N.A. 2011, Hydrogeochemical characteristics of small rivers of the Kaliningrad region, *Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant*, No. 7. P. 160-166. (in Russ).
16. Naumov V. A. 2022, Intra-annual distribution of river flow in the Kaliningrad region in 2020, *Bulletin of science and education of the North-West of Russia*, T. 8. No. 3. p. 35–44. (in Russ).
17. Naumov V.A., Akhmedova N.R. 2011, Engineering surveys in the Pregolya river basin, *Kaliningrad State Technical University*, Kaliningrad: 2017. p. 183 (in Russ).
18. On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance (as amended as of March 10, 2020)” [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120>. (access date: 12/29/23). (in Russ).
19. RD 52.24.643-2002 Guidelines. Method for a comprehensive assessment of the degree of contamination of surface waters based on hydrochemical indicators [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039667>. (access date: 12/29/23). (in Russ).
20. SanPiN 2.1.4.1074-01 “Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water supply systems” [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042>. (access date: 12/29/23). (in Russ).
21. Spirin Yu. A. 2020, Analysis of the intra-annual distribution of river flow in the Slavsky district of the Kaliningrad region, *Regional geosystems*, T. 44. No. 2. p. 231–242. DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-2-231-242. (in Russ).
22. Spirin Yu. A. 2021, Hydrological characteristics of river flow in geoeological studies of surface waters of the Slavsky district of the Kaliningrad region, *Bulletin of the Udmurt University. Ser. Biology. Geosciences*, Vol. 31, No. 2. p. 185–197. DOI: 10.35634/2412-9518-2021-31-2-185-197. (in Russ).
23. Spirin Yu.A., Zotov S.I., Taran V.S., Koroleva Yu.V. 2021, Comparative analysis of the chemical composition of water in watercourses of the Slavsky district of the Kaliningrad region according to hydrological seasons, *Bulletin of the Udmurt University. Biology series. Geosciences*, T. 31. No. 4. p. 425–436. DOI 10.35634/2412-9518-2021-31-4-425-436. (in Russ).
24. Tylik K.V. 2021, Hydroecological features of the Krasnaya River - a natural monument of the hydrological profile of the Kaliningrad region, *News of KSTU*, No. 61. p. 39-50. DOI 10.46845/1997-3071-2021-61-39-50. (in Russ).
25. Chumachenko A.N., Khvorostukhin D.P., Morozova V.A. 2018, Construction of a hydrologically correct digital relief model (using the example of the Saratov region), *News of Saratov University. New episode. Series: Geosciences*, T. 18. No. 2. p. 104–109. (in Russ).
26. Eidelman Y.V., Koroleva Yu.V., Golubeva Yu.V. 2020, Comprehensive assessment of pollution of the Pregolya River and the waters of the Kaliningrad Bay, *International Scientific Research Journal*, No. 6-2(96). p. 74–78. DOI 10.23670/IRJ.2020.96.6.051. (in Russ).
27. Lämmchen M., Klasmeyer J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J. 2021, Spatial Modeling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment, *Environmental Processes*, Vol. 8. p. 973–992.
28. Lata I. 2020, Catchment Delineation for Vjosa River WEAP Model, using QGIS Software, *Journal of International Environmental Application and Science*, Vol. 15(4). p. 203–215.
29. Tang JY, Cao PP, Xu C, Liu MS. 2013, Effects of aquatic plants during their decay and decomposition on water quality, *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, Vol. 24(1). p. 83–90.
30. Xiong H. 2019, Study on the release of carbon, nitrogen and phosphorus from the decomposition of aquatic plants, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 384. pp. 1–4.

Статья поступила в редакцию: 18.01.2024, одобрена после рецензирования: 18.03.2024, принята к опубликованию: 12.09.2024.

The article was submitted: 18 January 2024; approved after review: 18 March 2024; accepted for publication: 12 September 2024.

*Экология и природопользование**Спирин Ю.А., Зотов С.И., Таран В.С., Филимонова А.А.*

Информация об авторах

Юрий Александрович Спирин

кандидат географических наук,
научный сотрудник лаборатории гидрологии,
Институт географии РАН;
117312, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 37

Information about the authors

Yurij A. Spirin

Candidate of Geographical Sciences, Researcher,
Laboratory of Hydrology, Institute of Geography
of the Russian Academy of Sciences;
37, Vavilova st., Moscow, 117312, Russia

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, Россия, г. Калининград, ул. Универси-
тетская, 2

Sergej I. Zotov

Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Professor at Higher School of Living Systems,
Immanuel Kant Baltic Federal University;

2, Universitetskaya st., Kaliningrad, 236041,
Russia

e-mail: zotov.prof@gmail.com

Вероника Сергеевна Таран

аспирант Высшей школы живых систем,
Балтийский федеральный университет
им. И. Канта;
236041, Россия, г. Калининград, ул. Универси-
тетская, 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

Анна Алексеевна Филимонова

студент Высшей школы живых систем,
Балтийский федеральный университет
им. И. Канта;
236041, Россия, г. Калининград, ул. Универси-
тетская, 2

Anna A. Filimonova

Student, Higher School of Living Systems,
Immanuel Kant Baltic Federal University;

2, Universitetskaya st., Kaliningrad, 236041,
Russia

e-mail: anna23.01.2002@mail.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.

Филимонова А.А. – отбор проб воды, проведение химических анализов, обработка материала.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

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

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

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

Anna A. Filimonova – water sampling; chemical analyses; material processing.

The authors declare no conflict of interest.