

УДК 504.4.054

DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-3-494-506

EDN AXCWVW

Оценка гидрохимического загрязнения малых водотоков урбанизированных территорий Калининградской области

Архипов Е.А., Зотов С.И., Королева Ю.В., Яковчук Т.А.

Балтийский федеральный университет им. И. Канта
Россия, 236040, Калининград, ул. Университетская, 2
egor.arhipov2000@gmail.com, zotov.prof@gmail.com, yu.koroleff@yandex.ru
tayataya010705@gmail.com

Аннотация. Малые водотоки рассматриваются как ключевой и наиболее уязвимый компонент урбозкосистем, испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку. Это актуально для густонаселенных регионов, таких как Калининградская область. Несмотря на существующий массив исследований малых рек региона, комплексные оценки, фокусирующиеся на водотоках ключевых городов с различной структурой антропогенного воздействия, остаются фрагментарными, что создает пробел в системных данных об уровне и пространственной дифференциации загрязнения. Целью данного исследования является комплексная оценка и сравнительный анализ уровня и характера загрязнения малых водотоков городов Светлого и Светлогорска, имеющих соответственно промышленную и рекреационную специализации. В результате исследования выявлено, что воды большинства водотоков не соответствуют нормативам по ключевым показателям. Установлены критические превышения ПДК по биогенным элементам (аммоний-ион, фосфат-ион), органическим загрязнителям (БПК₅, ХПК) и железу, а также сезонная динамика уровня загрязнения, наиболее остро проявляющаяся в летнюю межень. Полученные результаты вносят вклад в развитие методов геоэкологического мониторинга урбанизированных территорий, предоставляя репрезентативные данные о состоянии малых водотоков и имеют практическую значимость для разработки природоохранных мероприятий в Калининградской области.

Ключевые слова: малые водотоки, урбанизированные территории, геоэкологическая оценка, приоритетные загрязнители, индекс загрязнения вод, гидрохимический мониторинг, антропогенная нагрузка

Для цитирования: Архипов Е.А., Зотов С.И., Королева Ю.В., Яковчук Т.А. 2026. Оценка гидрохимического загрязнения малых водотоков урбанизированных территорий Калининградской области. Региональные геосистемы, 50(3): 494–506. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-3-494-506
EDN: AXCWVW

Assessing Hydrochemical Pollution of Small Watercourses in Urbanized Areas of the Kaliningrad Region

Egor A. Arkhipov, Sergey I. Zotov, Yulia V. Koroleva, Taisiya A. Yakovchuk

Immanuel Kant Baltic Federal University,
2 Universitetskaya St., Kaliningrad 236040, Russia
egor.arhipov2000@gmail.com, zotov.prof@gmail.com, yu.koroleff@yandex.ru
tayataya010705@gmail.com

Abstract. Small watercourses are considered as the key and most vulnerable component of urban ecosystems experiencing an intense anthropogenic stress, which is a pressing issue for densely populated areas such as the Kaliningrad Region. Despite the existing array of studies of small rivers in the region, comprehensive

assessments focusing on the watercourses of key cities with different structures of anthropogenic impact remain fragmented, which creates a gap in the system data on the level and spatial differentiation of pollution. The purpose of this study is a comprehensive assessment and comparative analysis of the level and nature of pollution in small watercourses in the towns of Svetly and Svetlogorsk specializing in industrial and recreational spheres, respectively. The study has revealed that the waters of most watercourses do not meet the standards for key indicators. We have established critical exceedances of MPC for biogenic elements (ammonium ion, phosphate ion), organic pollutants (biological oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD)) and iron, as well as seasonal dynamics of pollution levels, which are most acute in the summer. The results obtained contribute to the development of methods for geoecological monitoring of urbanized territories, providing representative data on the state of small watercourses and are of practical importance for the development of environmental protection measures in the Kaliningrad region.

Keywords: small watercourses, urbanized territories, geoecological assessment, priority pollutants, water pollution index, hydrochemical monitoring, anthropogenic load

For citation: Arkhipov E.A., Zotov S.I., Koroleva Yu.V., Yakovchuk T.A. 2026. Assessing Hydrochemical Pollution of Small Watercourses in Urbanized Areas of the Kaliningrad Region. *Regional Geosystems*, 50(3): 494–506 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-3-494-506 EDN: AXCWW

Введение

Малые водотоки в урбанизированных регионах России подвергаются значительной антропогенной нагрузке. Ключевым проявлением этого воздействия является хроническое превышение предельно допустимых концентраций по широкому спектру загрязнителей. В частности, отмечается устойчивое загрязнение вод нефтепродуктами и ионами тяжелых металлов, такими как медь, марганец и железо [Леонтьева и др., 2017; Зотов и др., 2021]. Параллельно фиксируется интенсивное загрязнение биогенными элементами – нитритами, аммонием и фосфатами, что характерно для районов с развитой сельскохозяйственной и промышленной деятельностью [Зотов и др., 2021; Пакурина, Платонова, 2019]. Еще одним критическим следствием антропогенного прессинга является нарушение кислородного режима, выражающееся в снижении содержания растворенного кислорода до критически низких значений в водотоках, принимающих промышленные стоки [Дмитриева, Нефедова, 2016]. Кроме того, для малых рек в урбанизированной среде характерно сильное загрязнение органическими веществами, что подтверждается высокими показателями биологического потребления кислорода (БПК₅) и перманганатной окисляемости [Козлов и др., 2019]

Рекреационная нагрузка служит значимым фактором ухудшения экологического состояния малых водотоков, что подтверждается исследованиями в различных регионах России. Установлено, что она ведет к существенному гидрохимическому загрязнению: рост показателей ХПК и БПК₅, а также концентрации биогенных элементов (азот, фосфор) напрямую коррелирует с интенсивностью посещения береговых зон [Широкова и др., 2017; Севостьянова и др., 2022]. Кроме того, рекреация вызывает прямую физическую деградацию экосистем: разрушение берегов, уничтожение растительности, захламление отходами и активизацию эрозионных процессов, что снижает устойчивость долинно-речных комплексов [Геращенко, 2014]. Даже при формальном соответствии качества воды нормативам, как в случае реки Псёл, методы биоиндикации фиксируют угнетение гидробионтов под воздействием антропогенного пресса [Бузолева и др., 2014; Медведева и др., 2024].

В условиях Калининградской области, обладающей разветвленной гидрографической сетью, большой площадью сельскохозяйственных земель, высокой долей урбанизированных территорий, оценка состояния малых водотоков, как индикаторов антропогенной нагрузки приобретает особую актуальность [Зотов, Спирин 2020]. Высокую значимость эта проблема имеет для водных объектов урбанизированных территорий, имеющих различную экономическую специализацию, к которым относятся

города Светлый (промышленный узел) и Светлогорск (рекреационный центр) в Калининградской области. Согласно данным Государственного доклада о состоянии окружающей среды Калининградской области, водные объекты региона испытывают значительную антропогенную нагрузку, что подтверждается многочисленными случаями высокого и экстремально высокого загрязнения, регистрируемыми в урбанизированных районах [Государственный доклад..., 2025]. Исследования реки Светлогорки и пруда Тихого в г. Светлогорске зафиксировали загрязнение биогенными элементами и органическими веществами [Алферов, Цветкова, 2022]. Работы, посвященные малым рекам Самбийского полуострова, выявили в их экосистемах признаки эвтрофирования и устойчивого «цветения» воды, связав эти процессы с органическим и биогенным загрязнением [Бугранова и др., 2018]. Схожие проблемы, в частности ускоренная эвтрофикация и накопление органики, характерны и для малых городских водоемов, что было показано на примере пруда Поплавок в Калининграде, где даже после проведения очистки наблюдалось быстрое ухудшение качества воды [Цупикова, Севостьянова, 2021]. Однако сравнительные исследования водотоков урбанизированных территорий с различной экономической специализацией (промышленной и рекреационной) остаются фрагментарными, что определяет необходимость проведения настоящего исследования.

Восполнение этого пробела является важной научной задачей, что и определило цель настоящего исследования – провести комплексную оценку уровня гидрохимического загрязнения малых водотоков и сравнительную оценку городов Светлого (промышленный узел) и Светлогорска (рекреационный центр). Для ее достижения предусматривается решение следующих задач: провести сравнительный анализ гидрохимических показателей, выявить приоритетные загрязняющие вещества для каждого типа территорий и оценить степень антропогенной трансформации водных объектов.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились на малых водотоках, расположенных в границах Светловского (промышленная специализация) и Светлогорского (рекреационная специализация) городских округов Калининградской области (рис. 1).

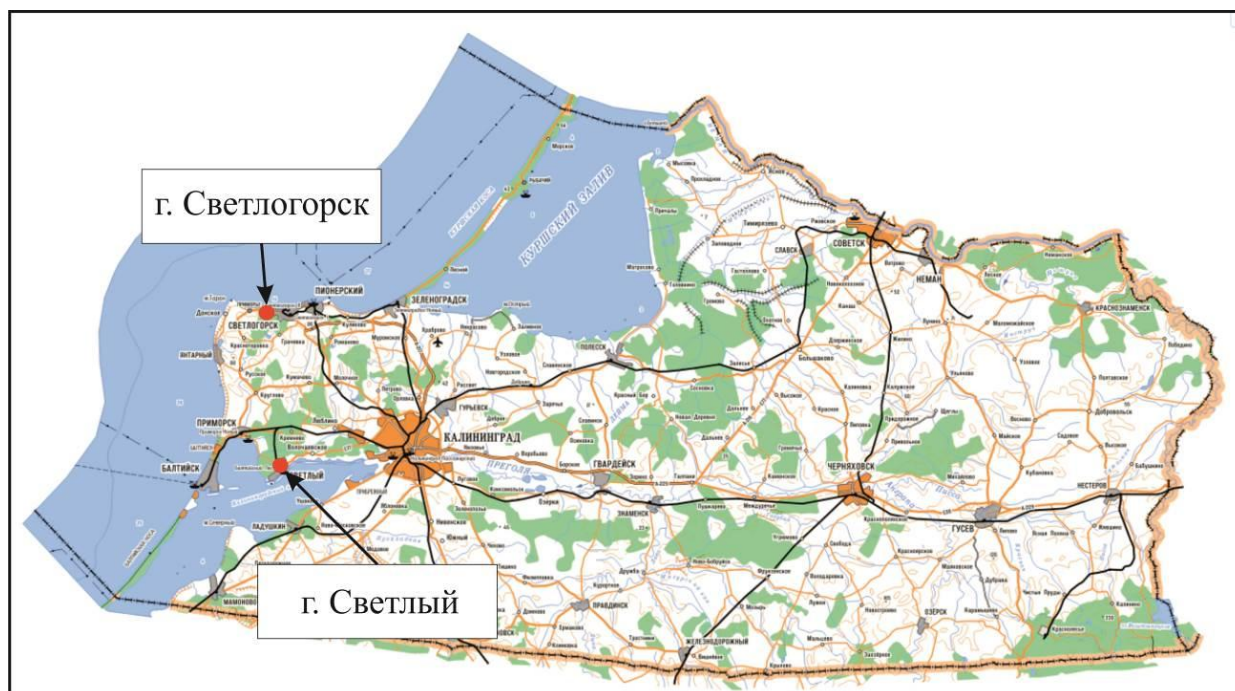


Рис. 1. Исследуемые города на карте Калининградской области
Fig. 1. Towns under study on the map of the Kaliningrad region

Городской округ Светлый представляет собой типичный индустриальный центр приморского типа. Его социально-экономический профиль в основном определяется портово-промышленными функциями, где доминируют предприятия судостроительной и нефтехимической промышленности [Белова, 2017]. Экономике города во многом определяют терминалы, специализирующиеся на перевалке светлых нефтепродуктов. Подобные комплексы, характеризующиеся значительными объемами резервуарного парка и мощностями по отгрузке, являются ключевыми элементами для портовой логистики. Численность населения на 2025 год составляет 21 630 чел. [Инвестиционный паспорт ..., 2025]. Водные объекты – городской ручей без названия (С11), р. Граевка (С12), р. Дие-Видитте (С13).

Город Светлогорск, напротив, характеризуется выраженной рекреационной специализацией, входя в число основных курортных центров Калининградской области [Федоров, 2018]. Территория муниципального образования является курортом федерального значения «Светлогорск – Отрадное». Рекреационная функция здесь как комплекс услуг, связанных с проведением отдыха, восстановлением сил и здоровья людей, использованием свободного времени, формирует основу местной экономики. Большая часть территории отведена под 1 и 2 зону округов санитарной и горно-санитарной охраны лечебно-оздоровительных местностей и курортов федерального значения. На 2025 год численность населения г. Светлогорска – 15 208 чел. [Паспорт муниципального ..., 2025]. Водные объекты – руч. Отрадненка (С14), р. Светлогорка, створ до оз. Тихого (С15), р. Светлогорка, створ после оз. Тихого (С16).

В каждом из округов было заложено по 3 контрольных пункта мониторинга. Полевые исследования выполнялись в течение 2025 года с учетом основных фаз гидрологического режима: вторая декада апреля (весенний сезон), вторая декада июля (летняя межень) и вторая декада октября (осенний период).

Размещение контрольных створов (пунктов мониторинга) определено с учетом расположения потенциальных источников антропогенного воздействия, включая выпуски ливневых стоков, промышленные площадки и жилые зоны, а также особенностей урбанизации водосборных территорий. Отбор проб воды проводили в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб».

Гидрохимические исследования выполнены в лаборатории Высшей школы живых систем БФУ им. И. Канта. Аналитический контроль включал определение комплекса показателей по утвержденным методикам: содержание взвешенных веществ (РД 52.24.468-2019), ХПК (ПНД Ф 14.1:2.4.190-2003), БПК_з (ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97), нитратов (ПНД Ф 14.1:2.4-95), нитритов (ПНД Ф 14.1:2.4.3-95), аммонийного азота (ПНД Ф 14.1:2.1-95), фосфатов (ПНД Ф 14.1:2.1-95), сухого остатка (ПНД Ф 14.1:2.4.261-2010), хлоридов (ГОСТ 4245-72), сульфатов (ПНД Ф 14.1:2.159-2000), общего железа (ПНД Ф 14.1:2.159-2000) и нефтепродуктов (ПНД Ф 14.1:2.4.128-98). Измерения проводили с использованием двухлучевого спектрофотометра UV-1800 Shimadzu и системы капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105М».

Оценка степени загрязнения водной среды выполнена путем сопоставления с предельно допустимыми концентрациями (ПДК_в) согласно СанПиН 1.2.3685-21. Для взвешенных веществ использовали нормативы Приказа Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552. Для интегральной оценки качества вод применяли индекс загрязнения вод (ИЗВ), а для анализа условий трансформации и миграции загрязняющих веществ – коэффициент турбулентной диффузии (КТД) [Караушев, 1946].

Статистическую обработку данных проводили с расчетом стандартных параметров выборок в *Microsoft Excel*. Картографическое обеспечение исследований базировалось на материалах *SAS.Planet* и Государственной информационной системы обеспечения градостроительной деятельности (ГИСОГД) Калининградской области.

Результаты и их обсуждение

Детальный анализ гидрохимических показателей по результатам весеннего пробоотбора (табл. 1) позволяет выявить комплексные различия в структуре загрязнения водотоков промышленного г. Светлого и рекреационного г. Светлогорска.

Таблица 1
Table 1

Содержание загрязняющих веществ весной 2025 года в исследуемых створах
Content of pollutants in the studied river sections in the spring 2025

Показатель	Концентрация загрязняющих веществ мг/л						ПДКв
	г. Светлый			г. Светлогорск			
	С11	С12	С13	С14	С15	С16	
рН	6,6	6,44	7,59	7,55	7,62	7,65	6–9
БПК ₅	6,20	3,60	11,80	14,60	1,70	1,70	4
Р. кислород	6,36	5,72	6,15	5,64	5,65	5,08	4
Взвешенные в-ва	0,20	0,17	0,20	0,25	0,31	0,23	0,75
Сухой остаток	323	556	136	476	220	223	1000
Нефтепродукты	0,025	0,022	0,022	0,025	0,03	0,024	0,1
ХПК	39,5	66,8	36,5	77,5	25,8	7,6	30
Нитраты	0,543	0,143	3,323	0,983	0,705	0,130	50
Нитриты	<0,01	<0,01	0,3295	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
Аммоний-ион	0,815	2,148	2,613	3,339	2,504	1,414	1,5
Сульфаты	16,59	20,41	45,11	5,401	18,08	25,12	100
Хлориды	15,66	14,13	22,65	11,11	12,9	13,05	300
Фосфат-ион	0,12	0,86	0,97	0,06	0,25	<0,01	1
Железо общее	0.197	<0.01	0.826	0.495	<0.01	<0.01	0.3

В водотоках г. Светлого наблюдается значительное химическое загрязнение, о чем свидетельствуют устойчивые превышения ПДКв по ХПК во всех пунктах мониторинга (1,3–2,2 раза). При этом максимальные значения БПК₅ (11,8 мг/л) зафиксированы в пункте мониторинга С13, что указывает на присутствие легкоокисляемой органики. В г. Светлогорске органическая нагрузка имеет более выраженный характер – БПК₅ достигает 14,6 мг/л (3,65 ПДКв) в пункте мониторинга С14, что свидетельствует о значительном поступлении органических веществ, вероятно, коммунально-бытового происхождения.

Анализ азотсодержащих соединений выявляет различные механизмы загрязнения. В г. Светлом отмечается локальное повышение нитритов до 0,33 мг/л (3,3 ПДКв) в пункте С13 при сохранении фоновых значений в других створах. Концентрации аммоний-иона варьируют от 0,82 до 2,61 мг/л, демонстрируя неравномерное распределение свежего органического загрязнения. В г. Светлогорске наблюдается системное превышение ПДКв по аммоний-иону во всех створах (1,41–3,34 мг/л), что указывает на постоянный источник органического загрязнения, характерный для рекреационных территорий с высокой антропогенной нагрузкой.

Содержание фосфат-иона в г. Светлом достигает 0,97 мг/л, приближаясь к ПДКв, тогда как в г. Светлогорске концентрации не превышают 0,25 мг/л.

Значительное превышение ПДКв по общему железу отмечается в г. Светлом (0,826 мг/л в пункте С13, 2,75 ПДКв), что характерно для промышленных территорий.

Наибольшие превышения ПДКв по отдельным показателям зафиксированы в г. Светлогорске (БПК₅ – 3,65 ПДКв, аммоний-ион – 2,2 ПДКв), однако г. Светлый характеризуется более разнообразным спектром загрязняющих веществ.

Результаты летних исследований (табл. 2) демонстрируют значительное ухудшение экологической ситуации на всех водотоках, особенно в условиях г. Светлого. В период летней межени в пункте мониторинга городского ручья (пункт С11) зафиксированы критические превышения ПДКв по ХПК – 179,2 мг/л (6,0 ПДКв) и БПК₅ – 15,4 мг/л (3,9 ПДКв). Наиболее тревожная ситуация сложилась в р. Дие-Видитте (пункт С13), где концентрация общего железа достигла 4,48 мг/л (14,9 ПДКв), а хлоридов – 482,7 мг/л (1,6 ПДКв), что свидетельствует о техногенном воздействии.

Таблица 2
Table 2

Содержание загрязняющих веществ летом 2025 года в исследуемых створах
Content of pollutants in the studied river sections in the summer of 2025

Показатель	Концентрация загрязняющих веществ мг/л						ПДКв
	г. Светлый			г. Светлогорск			
	C11	C12	C13	C14	C15	C16	
рН	7,79	7,55	7,58	7,36	7,44	7,25	6–9
БПК ₅	15,4	23,1	6,2	6,7	6,5	7	4
Р. кислород	2,11	5,5	5,05	5,45	5,42	4,95	4
Взвешенные в-ва	0,019	0,464	0,23	0,058	0,124	0,119	0,75
Сухой остаток	44,33	17,33	116	33,67	31	8,33	1000
Нефтепродукты	0,053	0,028	0,032	0,031	0,033	0,032	0,1
ХПК	179,2	116	111,3	85,2	42,6	78,1	30
Нитраты	1,114	0,27	<0,01	0,218	0,463	0,695	50
Нитриты	0,2646	<0,01	<0,01	0,1094	<0,01	<0,01	0,1
Аммоний-ион	3,732	1,838	1,772	6,515	8,784	0,548	1,5
Сульфаты	28,36	7,2	79,78	43,76	8,98	15,14	100
Хлориды	78,51	20,36	482,7	86,24	47,37	20,34	300
Фосфат-ион	3,38	0,49	1,52	2,05	2,46	0,88	1
Железо общее	0,576	3,005	4,477	1,505	2,039	0,760	0,3

В Светлогорске также отмечается ухудшение качества воды, характерное для летней межени. В руч. Отрадненке (пункт С14) зарегистрированы высокие концентрации аммоний-иона – 6,52 мг/л (4,3 ПДКв), р. Светлогорке (пункт С15) – 8,78 мг/л (5,9 ПДКв), что может быть связано с пиковой рекреационной нагрузкой в курортный сезон. Значительное увеличение фосфат-иона обнаружено во всех створах Светлогорска (0,88–2,46 мг/л), создавая риски эвтрофикации водоемов.

Сравнительный анализ выявляет различную структуру загрязнения: для г. Светлого характерны сверхнормативные концентрации железа и органических веществ вероятно техногенного происхождения, тогда как в г. Светлогорске доминирует азотно-фосфорное загрязнение, связанное с коммунально-бытовыми стоками. Кислородный режим в Светлом существенно нарушен – содержание растворенного кислорода в пункте мониторинга городского ручья (С11) снизилось до 2,11 мг/л при норме 4 мг/л, что создает риски для водных экосистем.

Результаты осенних исследований (табл. 3) свидетельствуют о сохранении комплексного загрязнения водотоков при некотором улучшении показателей по сравнению с летним периодом. В г. Светлом сохраняются значительные превышения ПДКв по ХПК в р. Дие-Видитте (пункт С13) – 82,9 мг/л (2,8 ПДКв) и р. Граевка (пункт С12) – 98,3 мг/л (3,3 ПДКв). Концентрация общего железа продолжает оставаться критически высокой в р. Дие-Видитте – 1,34 мг/л (4,5 ПДКв), подтверждая устойчивый характер техногенного загрязнения.

Таблица 3
Table 3

Содержание загрязняющих веществ осенью 2025 года в исследуемых створах
Content of pollutants in the studied river sections in the autumn 2025

Показатель	Концентрация загрязняющих веществ мг/л						ПДКв
	г. Светлый			г. Светлогорск			
	C11	C12	C13	C14	C15	C16	
pH	7,26	7,54	7,34	7,43	7,46	7,52	6–9
БПК ₅	10,1	6,7	18,2	5,6	3,4	5,3	4
Р. кислород	3,37	3,06	3,11	2,97	3,03	2,98	4
Взвешенные в-ва	1,26	0,35	0,22	0,85	0,06	0,61	0,75
Сухой остаток	400	473	463	520	466	303	1000
Нефтепродукты	0,027	0,015	0,016	0,004	0,012	0,017	0,1
ХПК	67,6	98,3	82,9	67,6	52,2	61,4	30
Нитраты	2,249	1,713	1,145	7,6	1,366	0,648	50
Нитриты	<0,01	<0,01	0,1696	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
Аммоний-ион	0,417	0,817	3,29	2,21	1,54	0,314	1,5
Сульфаты	14,99	23,54	42,13	37,49	18,29	30,19	100
Хлориды	27,83	28,28	29,4	25,22	16,13	18,52	300
Фосфат-ион	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	1,12	1
Железо общее	0.513	0.390	1.335	0.112	0.329	0.822	0.3

В г. Светлогорске наблюдается нормализация азотного режима, однако сохраняются повышенные концентрации органических веществ. В руч. Отрадненке (створ C14) содержание взвешенных веществ достигает 0,85 мг/л при ПДКв 0,75 мг/л, что может быть связано с эрозийными процессами в период осенних паводков. Особого внимания заслуживает значительное повышение концентрации фосфат-иона в р. Светлогорке ниже озера Тихого (створ C16) до 1,12 мг/л, что свидетельствует о продолжающемся поступлении моющих средств и бытовых стоков.

Кислородный режим в обоих городах остается напряженным – содержание растворенного кислорода варьирует в пределах 2,97–3,37 мг/л при норме 4 мг/л. Сравнительный анализ показывает, что осенью профиль загрязнения сохраняет свою специфику: в Светлом преобладают техногенное загрязнение, тогда как в г. Светлогорске – органическое и биогенное.

Данные интегральной оценки качества вод (табл. 4) демонстрируют выраженную пространственно-временную динамику антропогенной нагрузки на водотоки исследуемых территорий.

Таблица 4
Table 4

Значения индекса загрязнения вод и коэффициента турбулентной диффузии
Values of the water pollution index and the turbulent diffusion coefficient

Пункт	Водоток	Весна		Лето		Осень	
		ИЗВ	КТД	ИЗВ	КТД	ИЗВ	КТД
г. Светлый							
C11	руч. без названия	0,84	0,00013	3,70	0,00012	1,63	0,00012
C12	р. Граевка	1,11	0,00188	4,02	0,00091	1,43	0,00183
C13	р. Дие-Видитте	2,10	0,00771	2,78	0,00659	2,82	0,00590
г. Светлогорск							
C14	руч. Отрадненка	1,88	0,00012	3,15	0,00031	1,35	0,00040
C15	р. Светлогорка, створ до оз. Тихого	0,73	0,00172	1,49	0,00239	1,08	0,00494
C16	р. Светлогорка, створ после оз. Тихого	0,50	0,00243	1,85	0,00484	1,57	0,00310

Статистический анализ выявил, что в 34 % случаев повышенным значениям ИЗВ соответствуют пониженные показатели коэффициента турбулентной диффузии, что определяет гидродинамические характеристики как один из важных факторов в процессах загрязнения.

Наибольшие значения ИЗВ зафиксированы в летний период: в г. Светлом в р. Граевке (створ С12) – 4,02 («грязные», класс качества вод 5), в г. Светлогорске в руч. Отраденке (створ С14) – 3,15 («загрязненные», класс качества вода 4). Летнее ухудшение качества воды коррелирует с минимальными значениями КТД (0,00012–0,00091), при этом в 83 % летних наблюдений отмечена обратная зависимость между этими показателями.

Особенно выражена эта закономерность в г. Светлом, где в р. Граевке (створ С12) при КТД = 0,00091 отмечаются максимальные значения ИЗВ = 4,02. Осенний период характеризуется некоторым улучшением качества вод, однако в р. Дие-Видитте (створ С13) сохраняется высокий уровень загрязнения (ИЗВ = 2,82) при относительно более высоком КТД (0,00590).

Проведенный анализ подтверждает, что водотоки г. Светлого характеризуются более высокой и устойчивой антропогенной нагрузкой, тогда как для г. Светлогорска характерна сезонная динамика загрязнения. Выявленные закономерности обосновывают необходимость разработки комплексных водоохранных мероприятий с учетом функциональной специализации урбанизированных территорий и гидродинамических особенностей водотоков.

На основе комплексного анализа выделены два наиболее значимых загрязнителя для каждого города, демонстрирующих устойчивое превышение ПДКв и характерных для специфики антропогенной нагрузки.

Для г. Светлого железо общее превышало норматив в 100 % проб со средней кратностью 7,2 ПДКв, а ХПК – в 100 % проб со средней кратностью 3,8 ПДКв. В г. Светлогорске аммоний-ион превышал ПДКв в 100 % проб со средней кратностью 3,1 ПДКв, фосфат-ион – в 83 % проб со средней кратностью 1,8 ПДКв.

Сезонная динамика приоритетных загрязнителей в г. Светлом (рис. 2) характеризуется выраженным летним пиком по обоим показателям. Концентрация железа общего возрастает от 0,34 мг/л весной до 2,69 мг/л летом (9,0 ПДКв) с последующим снижением до 0,75 мг/л осенью. Аналогичная динамика наблюдается для ХПК: весенние значения 47,6 мг/л (1,6 ПДКв) сменяются летним максимумом 135,5 мг/л (4,5 ПДКв) и осенним показателем 82,9 мг/л (2,8 ПДКв), что свидетельствует о сохранении значительной техногенной нагрузки.

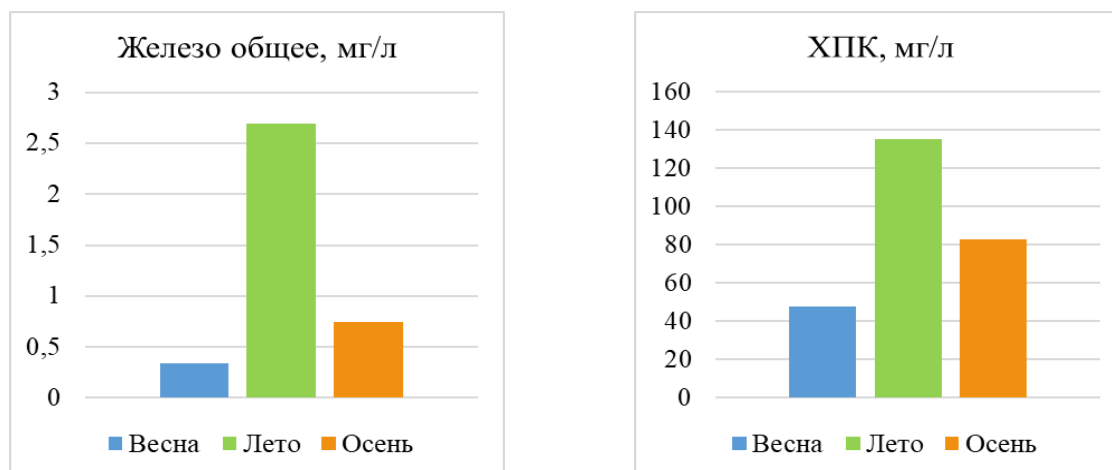


Рис. 2. Сезонная динамика приоритетных загрязнителей в г. Светлом

Fig. 2. Seasonal dynamics of priority pollutants in Svetly

Для г. Светлогорска аналогичная ситуация с летним максимумом (рис. 3). Концентрация аммоний-иона увеличивается с 2,42 мг/л весной до 5,28 мг/л летом (3,5 ПДКв) с последующим снижением до 1,36 мг/л осенью.

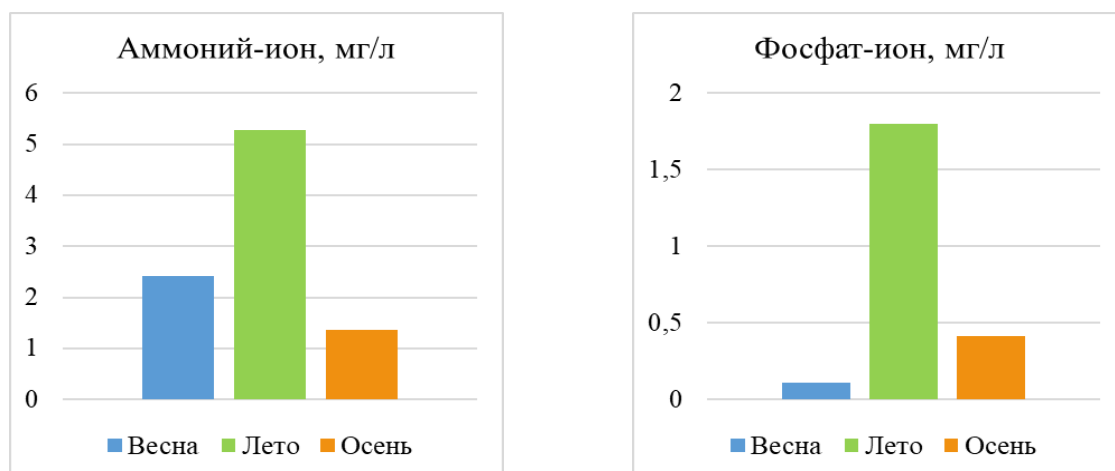


Рис. 3. Сезонная динамика приоритетных загрязнителей в г. Светлогорске
Fig. 3. Seasonal dynamics of priority pollutants in Svetlogorsk

Фосфат-ион демонстрирует наиболее выраженные сезонные колебания: от 0,11 мг/л весной до 1,80 мг/л летом (1,8 ПДКв) и 0,41 мг/л осенью, что отражает прямую зависимость от рекреационной нагрузки и интенсивности использования моющих средств в курортный сезон.

На основе данных мониторинга выявлены пространственные закономерности в распределении загрязнения малых водотоков на территории г. Светлого (рис. 4). Наиболее неблагоприятная геоэкологическая обстановка складывается в северо-восточной, индустриально развитой, части города. Абсолютный максимум загрязнения зафиксирован летом в районе примыкания к промышленной портовой инфраструктуре города (ИЗВ = 4,02).



Рис. 4. Пространственно-временная изменчивость качества вод в г. Светлом
Fig. 4. Spatial and temporal variability of water quality in Svetly

В г. Светлогорске пространственная картина загрязнения имеет иную структуру, обусловленную рекреационной специализацией территории (рис. 5). Максимальное значение загрязнения выявлено в среднем течении руч. Отраденка (створ С14, ИЗВ 1,88–3,15), воздействие на который могут оказывать коммунально-бытовые стоки из зоны интенсивной рекреации и малоэтажной жилой застройки. р. Светлогорка выше озера Тихого (створ С15) характеризуется наилучшими показателями качества вод (ИЗВ 0,73–1,49), тогда как ниже озера (створ С16) наблюдается небольшое ухудшение (ИЗВ 0,50–1,85), связанное с аккумуляцией биогенных элементов в водоеме.

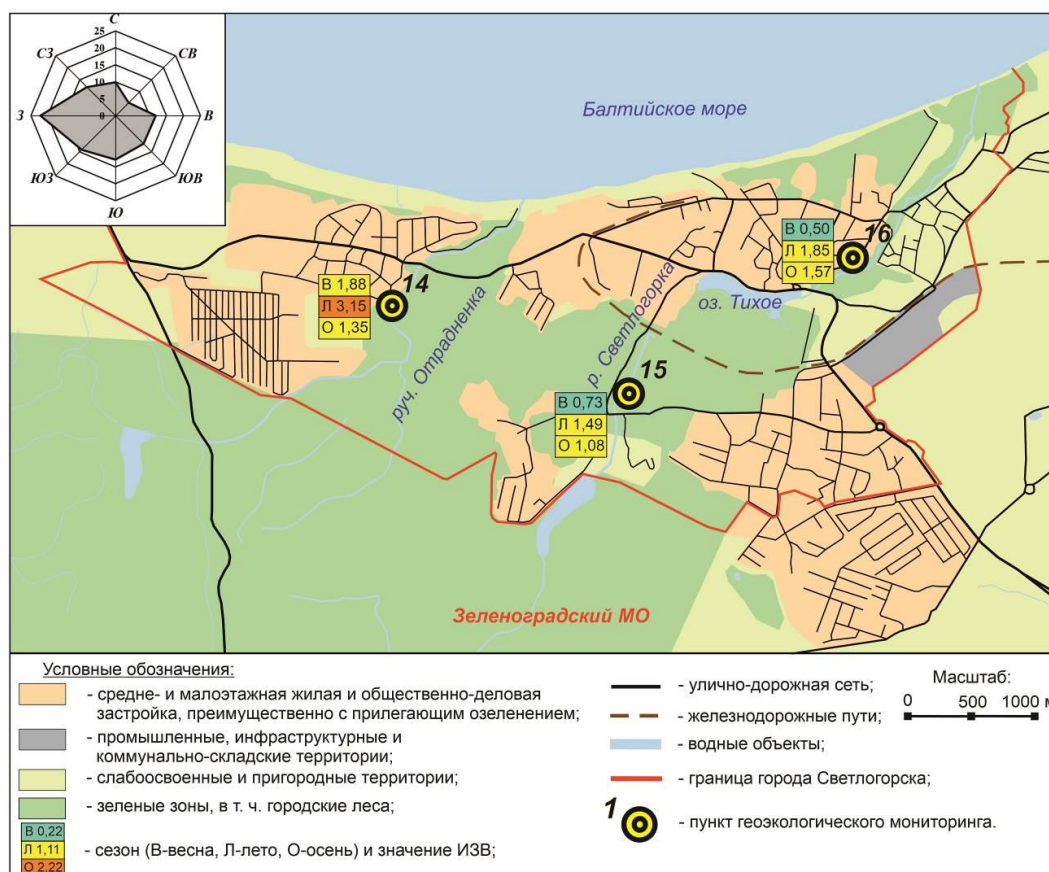


Рис. 5. Пространственно-временная изменчивость качества вод в г. Светлогорске
Fig. 5. Spatial and temporal variability of water quality in Svetlogorsk

Закключение

Проведенные исследования выявили устойчивое химическое загрязнение малых водотоков урбанизированных территорий Калининградской области с выраженной дифференциацией по функциональной специализации. В промышленном г. Светлом установлено критическое превышение ПДКв по железу общему (до 14,9 ПДКв) и ХПК (до 6,0 ПДКв), тогда как в рекреационном г. Светлогорске доминирует азотно-фосфорное загрязнение с максимальными концентрациями аммоний-иона (5,9 ПДКв) и фосфат-иона (2,5 ПДКв). Пространственное распределение загрязнения демонстрирует четкую приуроченность к источникам антропогенного воздействия – промышленным зонам и рекреационным объектам.

Сезонная динамика характеризуется резким ухудшением качества вод в летний период, когда значения ИЗВ достигают 4,02 в г. Светлый и 3,15 в г. Светлогорск. Установлена статистически значимая обратная зависимость между ИЗВ и коэффициентом турбулентной диффузии, подтверждающая определяющую роль гидродинамических

факторов в процессах загрязнения. Летняя межень с минимальными значениями КТД (0,00012–0,00091) создает условия для кумуляции загрязняющих веществ.

Полученные результаты обосновывают необходимость разработки комплекса природоохранных мероприятий с учетом отраслевой специализации территорий. Для промышленных зон приоритетом должно стать внедрение технологий очистки промышленных стоков, для рекреационных территорий – оптимизация системы водоотведения и нормирование рекреационной нагрузки. Последовательный мониторинг приоритетных загрязнителей с учетом сезонной динамики позволит повысить эффективность управления качеством водных ресурсов.

Список источников

- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Калининградской области в 2024 году». 2025. Калининград, Правительство Калининградской области, 298 с.
- Инвестиционный паспорт муниципального образования «Светловский городской округ» на 2025 год. Электронный ресурс. URL: <https://светлый.рф/wp-content/uploads/2025/03/investicijonnyj-pasport-2025.pdf> (дата обращения: 17.11.2025).
- Паспорт муниципального образования «Светлогорский городской округ» за 2024 год. Электронный ресурс. URL: <https://светлогорск39.рф/dokumenty/pasport/> (дата обращения: 17.11.2025).

Список литературы

- Алферов В.О., Цветкова Н.Н. 2022. Геоэкологическая характеристика системы река Светлогорка–пруд Тихий по наблюдениям 2019–2021 гг. Природообустройство, 2(34): 10–16. [https://doi.org/10.46845/2541-8254-2022-2\(34\)-10-10](https://doi.org/10.46845/2541-8254-2022-2(34)-10-10).
- Белова А.В. 2017. Роль полусредних городов в развитии эксклавного региона России – Калининградской области. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 23 с.
- Бугранова О.С., Цупикова Н.А., Костыря Ю.С. 2018. Оценка состояния экосистем малых рек Самбийского полуострова летом 2018 г. Научные труды Дальрыбвтуза, 46(3): 5–13.
- Бузолева Л.С., Богатыренко Е.А., Голозубова Ю.С., Ким А.В. 2014. Влияние антропогенного загрязнения на качество прибрежных вод рекреационных зон Приморского края. Фундаментальные исследования, 11–11: 2423–2425.
- Герашенко И.Н. 2014. Проблемы рекреационного использования рек Причерноморья Краснодарского края. Наука и современность, 33: 30–34.
- Дмитриева В.А., Нефедова Е.Г. 2016. Кислородный режим малых водотоков в условиях различной антропогенной нагрузки. Бюллетень науки и практики, 4(5): 56–61. <https://doi.org/10.5281/zenodo.53995>
- Зотов С.И., Спирин Ю.А. 2020. История исследования и использования поверхностных вод суши Калининградской области России. Вопросы истории естествознания и техники, 41(3): 576–598. <https://doi.org/10.31857/S020596060010882-2>
- Зотов С.И., Спирин Ю.А., Таран В.С., Королева Ю.В. 2021. Гидрологические особенности и геоэкологическое состояние малых водотоков полейдерных территорий Калининградской области. Географический вестник, 3(58): 92–106. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-3-92-106>.
- Караушев А.В. 1946. Турбулентная диффузия и метод смешения. Л., Гидрометеиздат, 79 с.
- Козлов А.В., Клочков Е.А., Бодякина М.А., Береснев А.А., Калининцева З.С., Фирова А.А. 2019. Выявление тенденций в эколого-гидрохимических свойствах малых проточных водотоков в условиях техногенной нагрузки города Нижнего Новгорода. Успехи современного естествознания, 12–2: 280–287.
- Леонтьева С.В., Ягафарова Г.Г., Фатихова Н.И., Габитова И.У., Зиновьева Н.А., ... Ягафарова Д.И. 2017. Мониторинг загрязнения экотоксикантами малых рек (на примере реки Шугуровка). Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика, 1(25): 116–125. <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2017.01.10>.

- Медведева И.Е., Алехина М.С., Иванникова М.В., Протасова М.В. 2024. Оценка качества воды в рекреационной зоне реки Псёл. Научное обозрение, 1: 41–45.
- Пакулина А.П., Платонова Т.П. 2019. Эколого-химическая характеристика малых рек в районе эксплуатации нефтеперекачивающей станции. Проблемы региональной экологии, 2: 25–28. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-12025>.
- Севостьянова Е.А., Меньшенин А.С., Никрашевская А.Э., Глинская А.С., Цупикова Н.А. 2022. Современное экологическое состояние водоемов рекреационного назначения Калининграда. В кн.: Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. XIII Национальная (Всероссийская) научно-практическая конференция, Петропавловск-Камчатский, 29–30 марта 2022. Петропавловск-Камчатский, Камчатский государственный технический университет: 193–197.
- Федоров Г.М. 2018. Калининградская область: приграничное приморское положение как географический фактор развития экономики. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки, 4: 5–17.
- Цупикова Н.А., Севостьянова Е.А. 2021. Некоторые гидролого-гидрохимические особенности и проблемы малых городских прудов на примере пруда Поплавок. Известия КГТУ, 62: 50–64. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-62-50-64>.
- Широкова В.А., Хуторова А.О., Юрова Ю.Д. 2017. Оценка антропогенного влияния на экологическое состояние рекреационных зон на примере реки Осётр в Московской области. Московский экономический журнал, 4: 1–18.

References

- Alferov V.O., Tsvetkova N.N. 2022. Geoecological Characteristics of the Svetlogorka River and Tikhoe Lake on Observations in 2019–2021. Prirodoobustrojstvo, 2(34): 10–16 (in Russian). [https://doi.org/10.46845/2541-8254-2022-2\(34\)-10-10](https://doi.org/10.46845/2541-8254-2022-2(34)-10-10).
- Belova A.V. 2017. Rol polusrednikh gorodov v razvitii eksklavnogo regiona Rossii – Kaliningradskoy oblasti [The Role of Medium-Sized Cities in the Development of the Exclave Region of Russia – Kaliningrad Region]. Abstract dis. ... cand. geogr. sciences. Kaliningrad, 23 p.
- Bugranova O.S., Tsupikova N.A., Kostyrya Y.S. 2018. Estimation of the Condition of Small Rivers Ecosystems on Sambian Peninsula in Summer 2018. Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University, 46(3): 5–13 (in Russian).
- Buzoleva L.S., Bogatyrenko E.A., Golozubova Y.S., Kim A.V. 2014. The Influence of Anthropogenous Pollution on Quality of Coastal Waters of Recreational Zones of Primorsky Krai. Fundamental research, 11–11: 2423–2425 (in Russian).
- Gerashchenko I.N. 2014. Problemy rekreatsionnogo ispolzovaniya rek Prichernomoria Krasnodarskogo kraja [Problems of Recreational Use of the Rivers of the Black Sea Coast of the Krasnodar Territory]. Nauka i sovremennost, 33: 30–34.
- Dmitrieva V.A., Nefedova E.G. 2016. Regime of Dissolved Oxygen in Small Rivers by Varied Hyman Impact. Bulletin of Science and Practice, 4(5): 56–61 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.53995>
- Zotov S.I., Spirin Yu.A. 2020. The History of Exploration and Use of Inland Surface Waters of the Kaliningrad Oblast of Russia. Voprosy istorii estestvoznaniya i tehniki, 41(3): 576–598 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S020596060010882-2>
- Zotov S.I., Spirin Yu.A., Taran V.S., Koroleva Yu.V. 2021. Hydrological Features and Geoecological State of Small Rivers in the Polder Territories of the Kaliningrad Region. Geographical Bulletin, 3(58): 92–106 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-3-92-106>.
- Karaushev A.V. 1946. Turbulentnaya diffuziya i metod smesheniya [Turbulent Diffusion and Mixing Method]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 79 p.
- Kozlov A.V., Klochkov E.A., Bodyakshina M.A., Beresnev A.A., Kalinicheva Z.S., Firova A.A. 2019. Identification of Trends in Ecology-Hydrochemical Properties of Small Flow Watercourses Under Man-Made Load of the Nizhny Novgorod City. Advances in current natural sciences, 12–2: 280–287 (in Russian).
- Leontieva S., Yagafarova G., Fatihova N., Gabitova I., Zinovieva N., ... Yagafarova D. 2017. Monitoring of Pollution Ecotoxicants Small Rivers (the Example of River Shugurovka). Bulletin of Perm

- National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urban Development, 1(25): 116–125 (in Russian). <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2017.01.10>.
- Medvedeva I.E., Alekhina M.S., Ivannikova M.V., Protasova M.V. 2024. Assessment of Water Quality in the Recreational Area of the Psel River. Scientific Review, 1: 41–45 (in Russian).
- Pakusina A.P., Platonova T.P. 2019. Environmental and Chemical Characteristics of Small Rivers in the Area of Operation of the Oil Pumping Station. Regional Environmental Issues, 2: 25–28 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-12025>
- Sevostianova E.A., Menshenin A.S., Nikrashevskaya A.E., Glinskaya A.S., Tsupikova N.A. 2022. Current Ecological Condition of Recreational Water Bodies in Kaliningrad. In: Natural Resources, Their Current State, Protection, Commercial and Technical Use. XIII National (All-Russian) Scientific and Practical Conference, Petropavlovsk-Kamchatsky, 29–30 March 2022. Petropavlovsk-Kamchatsky, Publ. Kamchatskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet: 193–197 (in Russian).
- Fedorov G.M. 2018. Kaliningrad Region: Coastal Position as a Geographical Factor of Economic Development. IKBFU's Vestnik. Series: Natural and medical sciences, 4: 5–17 (in Russian).
- Tsupikova N.A., Sevostianova E.A. 2021. Some Hydrological and Hydrochemical Peculiarities and Problems of Small Urban Ponds on the Example of the Poplavok Pond. Izvestia KSTU, 62: 50–64 (in Russian). <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-62-50-64>
- Shirokova V.A., Khutorova A.O., Yurova Yu.D. 2017. Environmental Assessment of Anthropogenic Effects on Recreational Zones (for Example: Osetr River in the Moscow Region). Moscow Economic Journal, 4: 1–18 (in Russian).

*Поступила в редакцию 19.11.2025;
поступила после рецензирования 19.12.2025;
принята к публикации 11.02.2026*

*Received November 19, 2025;
Revised December 19, 2025;
Accepted February 11, 2026*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Архипов Егор Александрович, аспирант Института естественных наук, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

Зотов Сергей Игоревич, доктор географических наук, профессор Института естественных наук, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

Королева Юлия Владимировна, кандидат географических наук, доцент Института естественных наук, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

Яковчук Таисия Андреевна, студент Института естественных наук, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Egor A. Arkhipov, postgraduate student of the Institute of Natural Sciences, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Sergey I. Zotov, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Institute of Natural Sciences, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Yulia V. Koroleva, Candidate of Geographical sciences, Associate Professor of the Institute of Natural Sciences, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Taisiya A. Yakovchuk, Student of the Institute of Natural Sciences, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia