

УДК 556.114(470.23)(045)

*Ю.А. Спирин, С.И. Зотов, В.С. Таран, Ю.В. Королева***СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ВОДОТОКОВ  
СЛАВСКОГО РАЙОНА КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ  
СЕЗОНАМ**

Цель работы – исследовать химический состав воды поверхностных водотоков Славского района Калининградской области в зимний гидрологический сезон и сравнить результаты с ранее полученными авторами данными по осеннему и летнему гидрологическим сезонам. Определены водотоки и пункты мониторинга для исследования: р. Злая, р. Шлюзовая, р. Немонинка и р. Оса. В зимний сезон отобраны пробы воды, измерены гидрометрические характеристики и определены первичные гидрохимические показатели. На основе полученных гидрохимических данных рассчитаны интегральные показатели для оценки качества воды с использованием совмещенных списков предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ. При мониторинге гидрохимических показателей выявлено, что исследуемые водотоки в той или иной степени подвержены загрязнению. Класс качества воды в них варьируется от «умеренно загрязненная» до «чрезвычайно грязная». При сравнении сезонов была выявлена тенденция по улучшению качества воды, которая связана с водностью рек, а также с циклами природной и антропогенной активности. Работа имеет теоретическую и практическую значимость. Данные могут участвовать в планировании рационального природопользования и подборе мероприятий по улучшению геоэкологического состояния речной сети Славского района. Исследование может служить дополнением к формированию общей геоэкологической картины Калининградской области.

*Ключевые слова:* химический состав воды, гидрохимический анализ воды, мониторинг водотоков, загрязнение воды, реки Калининградской области.

DOI: 10.35634/2412-9518-2021-31-4-425-436

Качество водных ресурсов, в особенности поверхностных водотоков, играет большую роль в жизнедеятельности человека и поэтому их охрана является приоритетной задачей в вопросах устойчивого развития страны. Для своевременной защиты и подбору водоохраных и водоочистных мероприятий необходимо иметь максимальную информационную осведомленность о химическом составе водных объектов. Гидрохимический мониторинг можно считать одним из самых лучших инструментов в таких вопросах.

Муниципальное образование «Славский городской округ» (далее Славский район) расположен в зоне с избыточным увлажнением, что в совокупности с равнинным рельефом и преобладанием глинистых и суглинистых пород на поверхности стало определяющим фактором в формировании густой речной сети. В основном это малые водотоки первой и высшей категории, которые имеют многоцелевое использование по различным направлениям, но главным можно выделить сельское хозяйство. В ведении сельского хозяйства используется 59,6 % от общей площади земель (80,4 тыс. га). Для поддержания необходимого водного режима на сельскохозяйственных землях в районе создана обширная осушительная мелиоративная сеть. Также в Славском районе находится самый крупный в Калининградской области польдерный массив, площадь которого составляет 68,0 тыс. га (часть Нижненеманской низменности). Таким образом, рассматриваемая территория имеет важное значение для Калининградской области.

Как отмечалось в прошлых работах [1-2], речная сеть сильно уязвима к природному и антропогенному влиянию, которое носит сезонный характер, то есть меняется внутри года со сменой сезонов. Для выявления степени негативного влияния целесообразно произвести сравнительный анализ гидрохимического состояния по гидрологическим сезонам. Это даст содержательную оценку интенсивности воздействий на водотоки и обеспечит более точную характеристику динамики химического состава речной сети [3].

Цель работы – исследовать химический состав воды поверхностных водотоков Славского района Калининградской области в зимний гидрологический сезон и сравнить результаты с ранее полученными авторами данными, по осеннему и летнему гидрологическим сезонам.

Объект исследования – малые водотоки польдерных земель Славского района.

Предмет исследования – внутригодовая динамика концентраций химических элементов в водах изучаемых водотоков.

### Материалы и методы исследований

Первым шагом при мониторинге гидрохимических показателей речной сети Славского района стал выбор водотоков для исследования [4-7]. Выбор водотоков осуществлялся по принципу, при котором они в совокупности смогли бы максимально точно охарактеризовать речную сеть Славского района и оказываемую на нее антропогенную нагрузку. Это в дальнейшем позволит составить пространственную геоэкологическую характеристику польдерного массива в целом. В качестве необходимого условия проведён анализ природных и хозяйственных условий района исследований. При выборе модельных водотоков с целью определения их гидрохимических показателей и оценки уровня антропогенного загрязнения учитывались следующие критерии: 1. Водотоки должны быть расположены в различных зонах Славского района. 2. Исследуемые объекты должны иметь как можно большую протяженность по выбранным зонам. 3. Выбранные реки должны иметь характерные для района гидрологические параметры, такие как: расходы воды, приточность, внутригодовое распределение стока и т. д. 4. К точкам мониторинга по возможности должны быть подведены автомобильные подъезды.

Далее было определено географическое расположение контрольных и фоновых пунктов мониторинга. Сельское хозяйство Славского района не имеет организованных сбросов, сточные воды поступают в реки с поверхностным стоком или подаются осушительными насосными станциями. Поэтому контрольными пунктами (К) для мониторинга выступили устьевые (или близко к устьевым) части водотоков, расположенные на территории Славского района, а фоновыми (Ф) – их верховья. Выбранные реки и локация их фоновых и контрольных пунктов мониторинга представлены в табл. 1 и на рис. 1, 2.

Таблица 1

#### Выбранные реки и локация их фоновых и контрольных точек мониторинга

№	Наименование реки	Контрольная точка мониторинга (К)	Фоновая точка мониторинга (Ф)
1.	Злая	в районе п. Гастеллово	п. Приозерье
2.	Шлюзовая	п. Хрустальное	п. Ясное
3.	Немонинка	п. Головкино	п. Лозняки
4.	Оса	п. Победино	п. Поддубье

Отбор проб воды, измерения гидрометрических характеристик и определения первичных гидрохимических показателей проведены 03.02.2021. Погодные условия: температура воздуха +2 °С, атмосферное давление 753 мм рт. ст, солнечно без осадков. Пробы воды отобраны в соответствии с ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» и ГОСТ 31942-2012 «Вода. Отбор проб для микробиологического анализа». Скорости течения воды измерены при помощи гидрологической микровертушки ГМЦМ-1, методом, близким к описанному в СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства». Глубина и ширина водотоков в этом сезоне не измерялась, так как многие из них имели толстое ледовое покрытие, а в других случаях, был слишком высокий уровень воды, из-за чего не представлялось возможным провести этот вид измерений. В полевых условиях в пробах определена концентрация растворенного кислорода и соленость посредством Переносного оксиметра CYBERSCAN DO 300 и Карманного кондуктометра DIST 4 (HANNA). Водородный показатель был найден с использованием Карманного рН-метра HI 98108 рНer+. Также было составлено визуальное описание русел исследуемых рек.

Лабораторные исследования отобранных проб осуществлены на базе лаборатории «Института живых систем БФУ им. И. Канта» на стандартный перечень показателей из РД 52.24.309.-2016 «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши». Органолептические показатели, химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК<sub>5</sub>), хлориды, нефтепродукты, сухой остаток, взвешенные вещества найдены по стандартным методикам в соответствии с действующими нормативными документами. Нитраты, нитриты, аммоний, фосфаты, железо общее, сульфаты определены на Двухлучевом спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu), а натрий и магний на Системе капиллярного электрофореза Капель — 105М по стандартным действующим методикам.

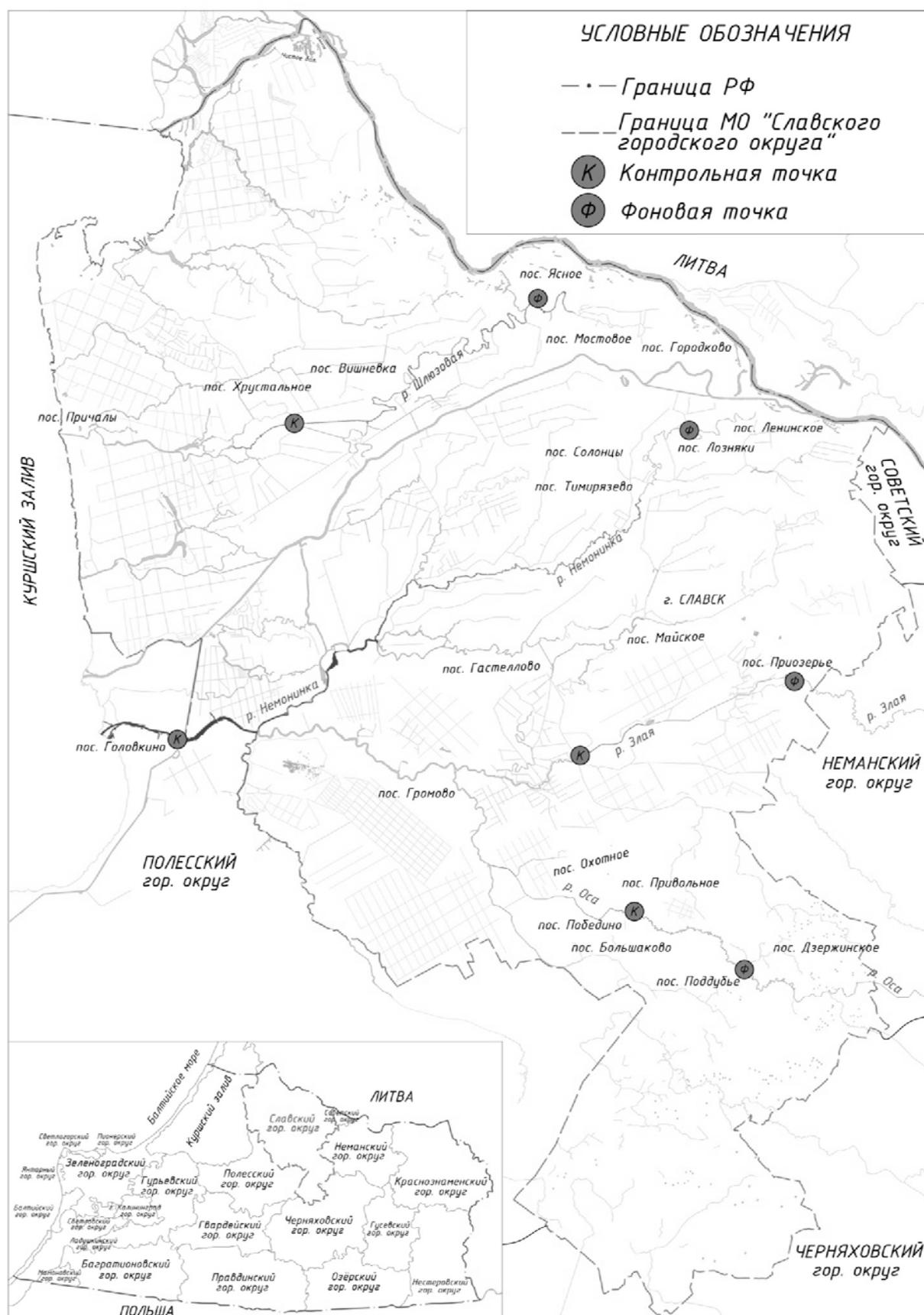


Рис. 1. Схема расположения исследуемых водотоков и локация их фоновых и контрольных пунктов мониторинга

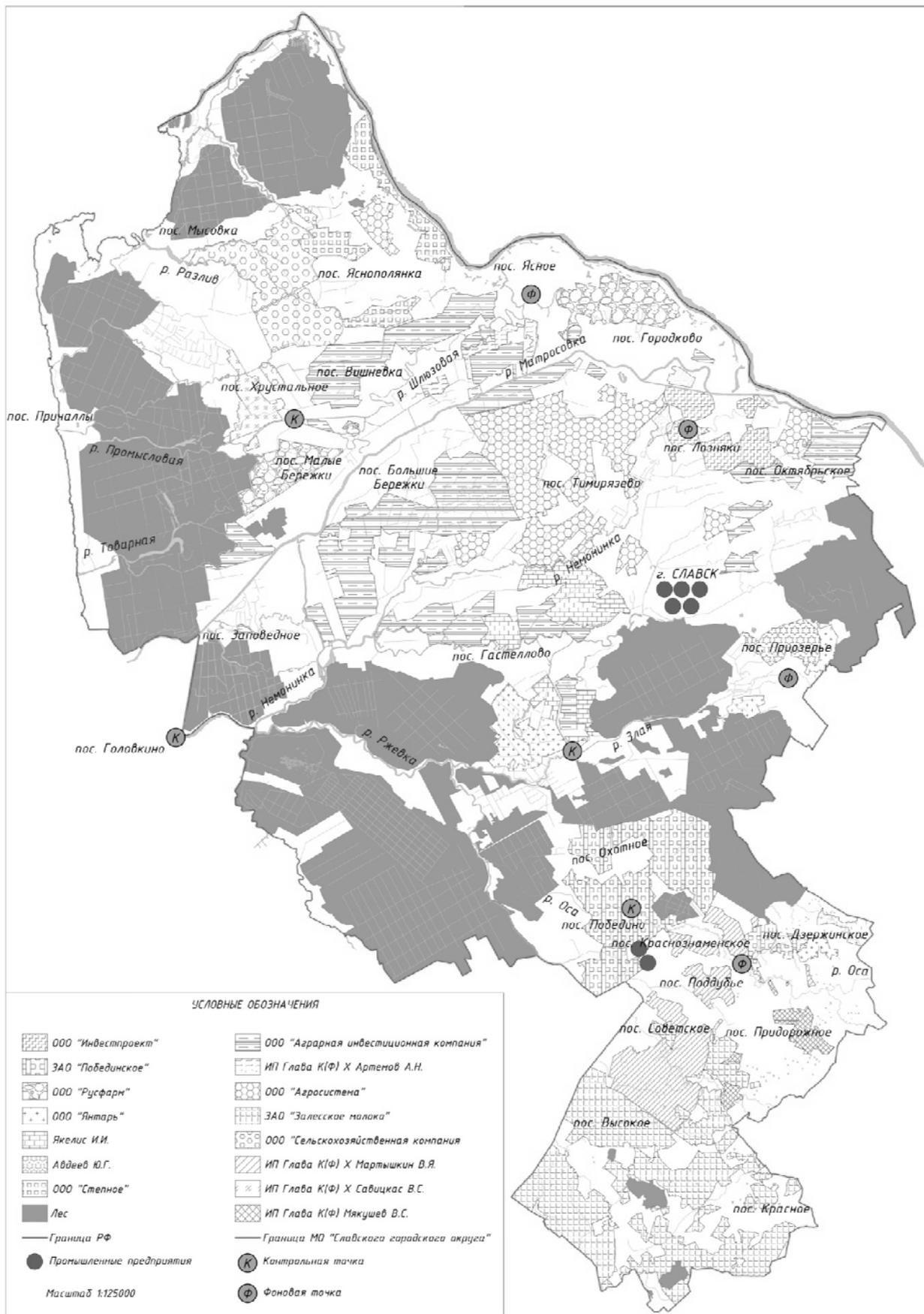


Рис. 2. Схема использования земель сельскохозяйственного назначения [1]

На основе полученных гидрохимических данных рассчитаны интегральные показатели для оценки качества воды с использованием совмещенных списков предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ из «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)» (ПДК) и 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» (ПДК'). Индекс загрязнения воды (ИЗВ) и класс качества воды рассчитан, исходя из РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям».

Полученные результаты измерения гидрохимических показателей и ИЗВ использованы для сравнительного анализа химического состава воды зимнего сезона с данными осеннего и, менее детально, летнего сезонов [8].

### Результаты и их обсуждение

Некоторые характеристики и описание створов исследуемых водотоков приведены в табл. 2.

Таблица 2

#### Характеристики и описание створов исследуемых водотоков в зимний гидрологический сезон

Название реки	Краткое описание створа реки
Злая (К)	Русло реки имеет ледостав толщиной около 10-15 см, берега покрыты снегом, местами отмечена незначительная сухая растительность. Скорость течения воды — 0,05 м/с.
Злая (Ф)	Русло землисто-каменистое и не имеет ледового покрова, берега покрыты снегом. Скорость течения воды — 0,23 м/с.
Шлюзовая (К)	Русло реки имеет ледостав толщиной около 20-30 см, берега покрыты снегом и плотной сухой растительностью. Скорость течения воды — 0,15 м/с.
Шлюзовая (Ф)	Русло реки имеет ледостав толщиной около 10-15 см, берега покрыты снегом, местами отмечена незначительная сухая растительность. Скорость течения воды — 0,12 м/с.
Немонинка (К)	Ледовое покрытие присутствует только у берегов и имеет протяженность от них около 4-5 м., толщина покрытия 5-10 см, берега покрыты снегом и плотной сухой растительностью. Скорость течения воды — 0,05 м/с.
Немонинка (Ф)	Русло землистое и свободно ото льда, незначительный тонкий ледовый покров есть только у берегов, дно вязкое и имеет цвет ржавчины, в воде местами отмечается сухая растительность и присутствует нефтяная пленка, берега также покрыты плотной сухой растительностью. Скорость течения воды — 0,01 м/с.
Оса (К)	Русло землистое и свободно ото льда, незначительное тонкое ледовое покрытие присутствует только у берегов, они покрыты снегом и сухой растительностью. Скорость течения воды — 0,40 м/с.
Оса (Ф)	Русло землистое и свободно ото льда, незначительное тонкое ледовое покрытие присутствует только у берегов, они покрыты снегом и сухой растительностью. Скорость течения воды — 0,22 м/с.

В зимнем сезоне из-за ледостава и высокого уровня воды в реках проблематично осуществить измерения глубины и ширины рек, а без этого, невозможно рассчитать расход в реке. В связи с этим определение фазы водного режима рекомендовано определять с использованием многолетних результатов гидрологических наблюдений [9] и опираться на интерпретацию погодных явлений и визуальные наблюдения.

В 2021 г. была отмечена нетипичная для региона зима. Если погода в декабре была достаточно характерная, мягкая и дождливая, с температурами, редко падающими ниже нуля, то январь и февраль сопровождался несвойственными региону морозами, вплоть до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и снегопадами. Кроме этого, наблюдались резкие оттепели, во время которых происходило быстрое таяние снега и льда (за 2-3 дня), которые через несколько дней сменялись морозами с таким же быстрым наращиванием снежной и ледовой массы.

Исследование проводилось в начале очередного цикла заморозков, когда несколько дней подряд шел снег, а часть рек покрылась льдом. Тем не менее во время отбора проб наблюдался паводок, так как растаявшая до заморозков в период оттепели снежная и ледовая масса существенно увеличила речной сток, да и в целом, в своем большинстве, такие погодные циклы привели больше к паводку, нежели к межени. Визуально уровень воды остался такой же, какой фиксировался в осенний паводок. Скорости течения воды в реках со свободным руслом в зимний период существенно не изменились по отношению к осеннему гидрологическому сезону. Исходя из всего сказанного, можно констатировать паводковый период.

Полученные результаты химических анализов представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Гидрохимические показатели исследуемых водотоков в зимний гидрологический сезон

Наименование реки	Злая		Шлюзовая		Немонинка		Оса		ПДК	ПДК'
	К*	Ф**	К	Ф	К	Ф	К	Ф		
Место отбора проб	К*	Ф**	К	Ф	К	Ф	К	Ф	—	20
Цветность, градусы	20	10	10	20	10	10	10	10	—	20
Запах, баллы	2	1	1	2	1	1	1	1	—	2
Мутность, ЕМФ	1	1	1	1	1	2	1	1	—	2
t воды, °С	1,5	1,5	1,4	1,5	4,0	3,1	1,0	1,8	—	—
pH, ед	7,9	6,9	7,2	7,7	7,2	7,8	7,1	7,5	фон	6-9
Взвеш. вещ., мг/л	5,2	2,9	1,6	10,9	3,7	2,9	8,8	3,9	—	—
Раств. O <sub>2</sub> , мг/л	6,36	7,63	6,07	6,12	7,95	7,39	8,33	7,55	≥ 6	—
ХПК, мг/л	0,03	0,04	0,04	0,13	0,13	0,15	0,29	0,08	—	15
БПК <sub>5</sub> , мг/л	0,35	0,26	0,32	0,19	0,40	0,22	0,48	0,30	2,1	—
Нитраты, мг/л	34,11	18,68	5,45	5,83	25,30	9,74	38,13	39,51	40	45
Нитриты, мг/л	0,052	0,038	0,056	0,053	0,055	0,056	0,055	0,062	0,08	3
Аммоний, мг/л	1,29	0,59	0,86	1,14	0,95	0,68	0,56	0,45	0,5	1,5
Фосфаты, мг/л	0,135	0,124	0,085	0,103	0,122	0,088	0,081	0,077	0,05	3,5
Сухой остаток, мг/л	286	363	326	183	337	186	283	340	—	1000
Хлориды, мг/л	421	363	222	345	242	275	400	500	300	350
Сульфаты, мг/л	57,16	46,28	63,88	79,71	78,16	58,88	56,82	50,92	100	500
Натрий, мг/л	181	190	212	173	128	183	144	122	120	200
Магний, мг/л	20	26	18	15	22	17	20	21	40	—
Железо общее, мг/л	0,96	0,57	0,89	2,10	0,89	5,48	0,78	0,36	0,1	0,3
Нефтепродукты, мг/л	0,023	0,043	0,013	0,021	0,014	0,062	0,016	0,012	0,05	0,1
Соленость, мг/л	0,56	0,39	0,35	0,28	0,22	0,38	0,39	0,40	—	—

*Примечание.* К\* – контрольная точка мониторинга; Ф\*\* – фоновая точка мониторинга; ПДК – «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)»; ПДК' – 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».

На основе полученных показателей (табл. 3) рассчитаны кратность превышения ПДК, а затем ИЗВ и соответствующий ему класс качества воды в исследуемых реках (табл. 4). Расчёт ИЗВ проводился по формуле для поверхностных вод суши:

$$ИЗВ = \left( \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ПДК_i} \right) / 6,$$

где  $C_i$  – наибольшая относительно ПДК концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества в воде; ПДК – предельно допустимая концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества.

Таблица 4

**Кратность превышения ПДК, ИЗВ и класс качества воды в исследуемых водотоках  
в зимний гидрологический сезон**

Наименование реки	Злая		Шлюзовая		Немнинка		Оса	
	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К	Ф
Место отбора проб	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К	Ф
Цветность, градусы	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
Запах, баллы	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
Мутность, ЕМФ	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5
рН, ед	норма	норма	норма	норма	норма	норма	норма	норма
Раств. О <sub>2</sub> , мг/л	0,94	0,79	0,99	0,98	0,75	0,81	0,72	0,79
ХПК, мг/л	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
БПК <sub>5</sub> , мг/л	0,17	0,12	0,15	0,09	0,19	0,11	0,23	0,14
Нитраты, мг/л	0,85	0,47	0,14	0,15	0,63	0,24	0,95	0,99
Нитриты, мг/л	0,65	0,48	0,70	0,66	0,69	0,70	0,69	0,78
Аммоний, мг/л	2,58	1,19	1,72	2,28	1,90	1,37	1,11	0,90
Фосфаты, мг/л	2,70	2,48	1,70	2,06	2,44	1,76	1,62	1,54
Сухой остаток, мг/л	0,29	0,36	0,33	0,18	0,34	0,19	0,28	0,34
Хлориды, мг/л	1,40	1,21	0,74	1,15	0,81	0,92	1,33	1,67
Сульфаты, мг/л	0,57	0,46	0,64	0,80	0,78	0,59	0,57	0,51
Натрий, мг/л	1,51	1,58	1,77	1,44	1,07	1,53	1,20	1,02
Магний, мг/л	0,50	0,65	0,45	0,38	0,55	0,43	0,50	0,53
Железо общее, мг/л	9,58	5,68	8,87	20,97	8,93	54,84	7,83	3,63
Нефтепродукты, мг/л	0,45	0,87	0,26	0,42	0,27	1,25	0,31	0,23
ИЗВ	3,10	2,17	2,50	4,76	2,65	10,28	2,34	1,62
Класс качества воды	IV	IV	IV	V	IV	VII	IV	III

Как видно из табл. 4, класс качества воды в р. Оса (Ф) характеризуется как «умеренно загрязненная», в р. Злая (К, Ф), р. Шлюзовая (К), р. Оса (К) как «загрязненная», в р. Шлюзовая (Ф) как «грязная» и в р. Немнинка (Ф) как «чрезвычайно грязная». Это говорит о том, что фоновые концентрации рек уже превышают ПДК, а по мере продвижения к устью концентрации некоторых элементов даже меньше фоновых.

В 7 из 8 проб обнаружено превышение концентрации ионов аммония. Стоит сказать, что по р. Злая (Ф), р. Немнинка (Ф) и р. Оса (К) превышения можно назвать незначительными, с кратностью от 1,11 до 1,37. Выявить причину роста аммония в зимний сезон не удалось, так как сельскохозяйственная активность на территории в этот сезон минимальная, окисление органических и минеральных веществ почти полностью отсутствует, канализационные стоки домохозяйств вряд ли бы смогли повлиять в такой степени на концентрацию аммония, особенно у крупных створов. Одно из возможных объяснений – это стоки животноводческого происхождения, но тогда встает логичный вопрос, чем объяснить отсутствие такого превышения осенью. Для выдвижения более самостоятельных точек зрения необходимо дальше вести наблюдения.

Превышения норм ПДК обнаружены во всех пробах по фосфатам с кратностью превышения от 1,54 до 2,70, а также по 5 из 8 пробам по хлоридам с кратностью превышения от 1,15 до 1,67. Это предположительно остаточные загрязнения от сельскохозяйственной деятельности в осенний период.

Основным загрязнителем в зимнем сезоне выступило железо, ему подвержены все исследуемые пробы воды. Кратность его превышения варьируется от 3,84 до 54,84. Причины загрязнения водотоков все те же – подземные воды, которые сильно обогащены железом [10]. Увеличение доли грунтового питания в зимний период могло стать основным фактором повышения концентраций железа в воде. Однако, если по р. Злая (К; Ф), р. Шлюзовая (К), р. Немнинка (К) и р. Оса (К; Ф) ситуация стабильная, хоть кратность превышения концентраций и высокая, но она находится в рамках стандартного для региона уровня содержания железа, то по р. Немнинка (Ф) и р. Шлюзовая (Ф) оно выходит за них [11-14]. Река Немнинка (Ф) всегда демонстрировала высокую концентрацию железа, что было возможным

следствием продолжительного заболачивания русла, наблюдавшимся как летом, так и осенью. Судя по всему, последствия от этого достигли своего пика именно зимой. Река Шлюзовая (Ф) имеет концентрацию железа меньше, чем река Немонинка (Ф), но больше, чем остальные водотоки. Этот вопрос требует проведения дополнительных исследований, которые будут проводиться весной.

В табл. 5 представлены отклонения результатов измерения гидрохимических показателей и ИЗВ контрольной точки мониторинга относительно фоновой.

Таблица 5

**Отклонения результатов измерения гидрохимических показателей и ИЗВ контрольной точки мониторинга относительно фоновой в зимний гидрологический сезон**

Наименование реки	Злая		Шлюзовая		Немонинка		Оса	
	отн., %	абс.	отн., %	абс.	отн., %	абс.	отн., %	абс.
Отклонение								
Взвеш. вещества, мг/л	78,42	2,29	-85,78	-9,35	28,07	0,80	128,83	4,96
Раств. O <sub>2</sub> , мг/л	-16,64	-1,27	-0,82	-0,05	7,58	0,56	10,33	0,78
ХПК, мг/л	-17,65	-0,01	-72,41	-0,09	-14,19	-0,02	272,91	0,22
БПК <sub>5</sub> , мг/л	35,37	0,09	66,68	0,13	81,07	0,18	59,35	0,18
Нитраты, мг/л	82,61	15,43	-6,45	-0,38	159,84	15,56	-3,50	-1,38
Нитриты, мг/л	36,84	0,01	5,66	0,00	-1,79	0,00	-11,29	-0,01
Аммоний, мг/л	117,71	0,70	-24,67	-0,28	38,95	0,27	23,83	0,11
Фосфаты, мг/л	8,87	0,01	-17,48	-0,02	38,64	0,03	5,19	0,00
Сухой остаток, мг/л	-21,27	-77,20	78,08	142,80	81,53	151,40	-16,82	-57,20
Хлориды, мг/л	15,98	58,00	-35,65	-123,0	-12,00	-33,00	-20,00	-100,0
Сульфаты, мг/л	23,52	10,88	-19,86	-15,83	32,73	19,27	11,58	5,90
Натрий, мг/л	-4,74	-9,00	22,54	39,00	-30,05	-55,00	18,03	22,00
Магний, мг/л	-23,08	-6,00	20,00	3,00	29,41	5,00	-4,76	-1,00
Железо общее, мг/л	68,66	0,39	-57,70	-1,21	-83,72	-4,59	115,70	0,42
Нефтепродукты, мг/л	-47,81	-0,02	-39,62	-0,01	-78,01	-0,05	35,34	0,00
Соленость, мг/л	43,59	0,17	25,00	0,07	-42,11	-0,16	-2,50	-0,01
ИЗВ	43,22	0,94	-47,45	-2,26	-74,17	-7,62	44,25	0,72

Как видно из табл. 5, разница показателей ИЗВ у р. Злая между контрольной и фоновой точкой составляет 43 %. Основной вклад в это значение вносят увеличившиеся по течению реки концентрации железа и аммония на 68 % и 117 % соответственно. Такое отклонение между ИЗВ точек можно назвать типичным для данной реки, меняются лишь вещества, которые задают это отклонение. У р. Шлюзовая, напротив, разница показателей ИЗВ между контрольной и фоновой точкой составляет 47 %. На этот показатель повлияло уменьшение концентрации железа на 57 %. В осеннем сезоне отклонение между ИЗВ составляло - 4 %. У точек р. Оса разница показателей ИЗВ между точками увеличилась на 44 %, хоть и ранее отклонение между ними было минимально ( $\pm 2$  %). Это также связывается с концентрацией железа, увеличившейся на 115 %. Принципиальное различие в размерах русла и территориального расположения повлияло и на разницу между контрольной и фоновой точкой р. Немонинка, она составила -74 %.

Подобное исследование было проведено нами и в осенний гидрологический сезон 15.10.2020 [2]. Отклонения результатов измерения гидрохимических показателей и ИЗВ зимнего гидрологического сезона относительно осеннего представлены в табл. 6.

Традиционно переходящий из осеннего сезона в зимний сезон паводок и сведение к минимуму сельскохозяйственной активности сохранили заданную осенью тенденцию по улучшению качества воды табл. 6. Исключениями могут считаться р. Шлюзовая (Ф) и Немонинка (Ф), что связано с резко возросшей концентрацией железа природного происхождения, причина – обогащенные железом подземные воды [10]. Кроме этих случаев, качество воды либо не изменилось, либо улучшилось на 20–30 %. Первый ряд показателей, на который хочется обратить внимание, это растворенный кислород и БПК<sub>5</sub>. Можно отметить нормализацию этих показателей по отношению к осеннему сезону и соответствие

всех исследуемых проб нормам ПДК. Наличие ледяного покрова на водотоках хоть и повлияло на концентрацию кислорода (в створах, где был зафиксирован ледостав всего русла, концентрации кислорода ниже), но периодическое оттаивание не дало упасть этой характеристике ниже ПДК. Несмотря на то, что показатели ХПК не превышались в прошлых сезонах, зимой уменьшились фактически до нуля. Это подтверждает ранее выдвинутые нами предположения, в которых несоответствие нормам ПДК по этим показателям объясняется окислением органических и минеральных веществ. Данное окисление в зимний период почти не происходит.

Таблица 6

**Отклонения результатов измерения гидрохимических показателей и ИЗВ зимнего гидрологического сезона относительно осеннего гидрологического сезона, %**

Наименование реки	Злая		Шлюзовая		Немонинка		Оса	
	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К	Ф
рН, ед	11,27	-1,43	7,46	11,59	12,50	9,86	22,41	13,64
Взвеш. вещ., мг/л	5110	94,67	158,33	738,46	-69,58	23,91	878,89	75,00
Раств. O <sub>2</sub> , мг/л	74,25	74,60	70,99	42,99	96,30	66,44	110,89	62,37
ХПК, мг/л	-97,67	-98,03	-98,36	-95,80	-93,89	-94,97	-79,25	-96,59
БПК <sub>5</sub> , мг/л	-82,61	-91,94	-91,62	-96,64	-88,87	-95,89	-78,60	-92,67
Нитраты, мг/л	969,15	701,59	27,96	137,84	637,55	368,08	126,53	171,52
Нитриты, мг/л	-35,00	-34,48	-26,32	-10,17	-26,67	0,00	-9,84	-25,30
Аммоний, мг/л	16,31	74,41	15,95	374,58	458,24	143,93	247,50	199,33
Фосфаты, мг/л	-67,23	-42,33	-2,30	-4,63	-31,46	877,78	-21,36	-25,96
Сухой остаток, мг/л	-37,89	-25,02	-60,52	-73,06	-23,04	-40,48	-43,31	-34,34
Хлориды, мг/л	190,34	303,33	138,71	32,18	1,26	34,15	122,22	385,44
Сульфаты, мг/л	23,11	153,01	-17,00	114,05	70,91	-89,52	-12,08	-16,89
Натрий, мг/л	-9,50	-8,21	-2,30	-19,91	-36,00	-17,19	-28,71	-38,38
Магний, мг/л	-23,08	-13,33	-28,00	-44,44	-15,38	-41,38	5,26	-16,00
Железо общее, мг/л	254,81	13,60	392,78	535,45	793,00	331,81	7730,00	3530,00
Нефтепродукты, мг/л	222,86	-32,34	-91,29	-82,18	-89,46	7,41	-83,47	-83,66
Соленость, мг/л	100,00	11,43	-30,00	-30,00	100,00	80,95	5,41	14,29
ИЗВ	-30,55	-29,40	-19,05	67,62	2,46	117,24	-6,72	-21,96

Показатели нитритов продолжили снижение, начатое осенью, чего нельзя сказать про концентрацию ионов аммония. По какой-то причине они возросли и стали вновь превышать нормы ПДК. С учетом данных наблюдений за азотными соединениями по трем сезонам складывается следующая ситуация. В летний период их высокое содержание имело два потенциальных источника – сельское хозяйство и разного рода воздействие живых организмов [1]. Осенью из-за благоприятных погодных условий для флоры и фауны мы наблюдали схожую с летним сезоном их активность, но при этом концентрации азотных веществ существенно уменьшились [2]. Активная деятельность гидробионтов сопровождалась несоответствием нормам ПДК по кислородным показателям, на что дополнительно наводят данные по зимнему периоду. Это в свою очередь может показывать отсутствие корреляции между разложением органики и действием гидробионтов с серьезными превышениями концентраций азотных характеристик. Поэтому летом превышения по ним можно связать с вымыванием заложенных в период вегетации азотных удобрений, а отсутствие их осенью подкрепляет это предположение [1-2]. Эти аргументы указывают на значительное влияние сельскохозяйственной деятельности на водотоки территории.

Превышение фосфатов, появившиеся осенью, предположительно из-за внесения фосфорных удобрений для озимых культур и подкормки почвы к весенне-летнему сезону, пошли на убыль, но все еще выше нормы по всем пробам. Исключением является р. Немонинка (Ф), здесь концентрация фосфатов выросла на 877 % по отношению к осеннему сезону. При этом она не сильно выбивается из общих цифр, потому что осенью это была единственная точка, где концентрация фосфатов была

очень низкая (0,009 мг/л), что и объясняет такой процентный рост. Судя по всему, на момент осеннего пробоотбора вода еще не успела загрязниться этими веществами.

Концентрации нитратов и хлоридов, которым мы приписываем схожий источник, что и у фосфатов (нитратные удобрения и калийные (хлорид калия) часто участвуют в подкормке почвы), тем временем выросли. По нашему мнению, на момент осеннего пробоотбора не все загрязнители успели распространиться, и, возможно, сейчас значения меньше, чем они были в пике, который мог выпасть на промежуток между серединой октября и серединой января. Тем не менее прирост хлоридов в среднем составил 150 %. Это привело к тому, что в 5 из 8 проб отмечается превышение ПДК, а прирост нитратов в среднем составил 400%, но превышений ПДК не выявлено. Наибольшие концентрации этих веществ обнаружены в р. Злая и р. Оса.

Превышение концентраций натрия прослеживается по всем рассмотренным сезонам, что, скорее всего, говорит о его природном происхождении. В зимнем сезоне хоть и установлено уменьшение этого показателя по всем пробам, но, на наш взгляд, оно не выходит за границы описанного предположения.

Содержание железа в воде значительно выше, чем в осеннем сезоне: по р. Злая (К), р. Шлюзовая (К; Ф) и р. Немонинка (К; Ф) на 250–800 %, а по р. Оса (К; Ф) на 7730 % и 3530 % соответственно. Лишь у р. Злой (Ф) концентрация железа в воде значительно не выросла по отношению к прошлому сезону. Это типично для данной точки мониторинга, поскольку на протяжении всех трех сезонов концентрация железа в ней составляла 0,5 мг/л. Сложившаяся ситуация стала основной причиной местами высокого ИЗВ. Если убрать этот природный загрязнитель за скобку, то ИЗВ закономерно был бы ниже, чем осенью, а тем более летом по всем пунктам мониторинга.

Благоприятным фактором для рек стали невысокие концентрации в них нефтепродуктов в зимний период по сравнению с осенним, и особенно летним сезоном. Превышение отмечается лишь в р. Немонинка (Ф) с небольшой кратностью в 1,25. Причем странным является то, что в этом водотоке была отмечена предположительно нефтяная пленка, но при этом показатели по нефтепродуктам не высокие.

## Заключение

Мониторинг гидрохимического состояния водотоков Славского района показал, что исследуемые водотоки в той или иной степени подвержены загрязнению. Класс качества воды в них варьирует от «умеренно загрязненная» до «чрезвычайно грязная». Если не учитывать превышения концентраций железа как источника естественного загрязнения, не подконтрольного человеку, то в среднем водотоки в зимнем сезоне имеют одинаковый класс качества воды – «умеренно загрязненная». Этому способствовали следующие факторы: понижение температуры воды, разбавление паводком концентрации веществ, уменьшение деятельности растений, живых организмов и людей. В целом основные виды загрязнения, отмеченные в летнем и осеннем сезоне, зимой уменьшились. Особенно это видно по загрязнениям предполагаемого сельскохозяйственного происхождения.

Сравнительный анализ показал, что заданный осенью тренд по снижению нитритов продолжился и зимой, а тренд аммония напротив, изменился на повышение. Концентрация фосфатов, выявленных в больших количествах осенью, также уменьшились, но все еще превышают ПДК. Содержание нитратов и хлоридов в воде выросло, но, на наш взгляд, это связано с тем, что осенью забор воды осуществлялся в тот момент, когда показатели этих веществ только начинали свой рост, а их пик выпал в промежутке между осенним и зимним пробоотбором. Положительным фактором стало отсутствие превышений ПДК по нефтепродуктам и нормализация всех кислородных показателей (растворенный кислород, БПК<sub>5</sub> и ХПК).

Следующим этапом исследования станет мониторинг качества воды в весенний гидрологический сезон. Впоследствии с использованием уже имеющихся и ретроспективных данных о химическом составе воды водотоков, а также других геоэкологических индикаторов, можно будет сформировать геоэкологическую картину исследуемого района.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спирин Ю.А., Зотов С.И. Оценка геоэкологического состояния поверхностных водотоков Славского района Калининградской области (летний гидрологический сезон) // Изв. Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21. №. 1. С. 33-43. DOI 10.18500/1819-7663-2021-21-1-33-43.

2. Спири́н Ю.А., Зотов С.И., Тара́н В.С., Королева Ю.В. Оценка геоэкологического состояния поверхностных водотоков Славского района Калининградской области // Уч. зап. Крымского фед. ун-та имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2021. Т. 7 (73), № 1. С. 183–202.
3. Спири́н Ю.А., Зотов С.И. Проблемы геоэкологического состояния и использования поверхностных вод Калининградской области // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29, вып. 2. С. 221-227. DOI 10.35634/2412-9518-2019-29-2-221-230.
4. Константи́нова Т. Г., Васи́льева Л. В. Экологический мониторинг состояния малой реки Кукшум в условиях антропогенного воздействия // Вестн. Чувашского ун-та. 2013. № 3. С. 114-122.
5. Bernikova T.A., Nagornova N.N., Tsoupiakova N.A., Shibaev S.V. Environmental features of watercourses in the Kaliningrad Region // The Handbook of Environmental Chemistry. 2018. Vol. 65. P. 223-267. DOI: 10.1007/698\_2017\_108.
6. Justyna Nachoł, Elżbieta Bondar-Nowakowska An Assessment of the Ecological Status of Diverse Watercourses of Lower Silesia, Poland // Polish Journal of Environmental Studies. 2012. Vol. 21, no. 1. P. 75-81.
7. Urszula Aleksander-Kwaterczak, Dominika Plenzler Contamination of small urban watercourses on the example of a stream in Krakow (Poland) // Environmental Earth Sciences, 2019, 78:530. P. 1-13. DOI 10.1007/s12665-019-8509-4.
8. Цупикова Н.А., Берникова Т.А., Кривоускова Е.В., Цветкова Н.Н. Экологическое состояние реки Неман в пределах Калининградской области // Изв. КГТУ. 2018. № 50. С. 66-78.
9. Спири́н 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.
10. Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2018 году». Калининград: ООО «ВИА Калининград», 2018. 31 с.
11. Алферов В. О., Цветкова Н.Н. Результаты гидрохимического мониторинга реки Светлогорки и оз. Тихого в осенне-зимний период по наблюдениям в 2019-2020 гг. // Вестн. молодежной науки. 2020. № 5(27). С. 14. DOI 10.46845/2541-8254-2020-5(27)-14-14.
12. Ахмедова Н.Р., Великанов Н.Л., Наумов В.А. Оценка качества воды малых водотоков Калининградской области // Вода: химия и экология. 2015. № 10 (88). С. 19-24.
13. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Маркова Л.В., Смирнова А.А. Результаты натурных исследований малых водотоков на мелиорированных землях региона // Вода: химия и экология. 2013. № 7 (61). С. 18-26.
14. Глущенко А.И. Экологическое состояние и качество подземных вод Калининградского скважинного водозабора // Вестн. Балтийского фед. ун-та им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2008. № 1. С. 25-31.

Поступила в редакцию 29.10.2021

Спири́н Юрий Александрович, аспирант

E-mail: spirin1234567890@rambler.ru

Зотов Сергей Игоревич, доктор географических наук, профессор

E-mail: zotov.prof@gmail.com

Тара́н Вероника Сергеевна, магистрант

E-mail: ronya.volkova@yandex.ru

Королева Юлия Владимировна, кандидат географических наук, доцент

E-mail: yu.koroleff@yandex.ru

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»

236006, Россия, г. Калининград, ул. Университетская, 2

*Yu.A. Spirin, S.I. Zotov, V.S. Taran, Yu.V. Koroleva*

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF WATERWATER IN THE SLAVSKY DISTRICT OF THE KALININGRAD REGION BY HYDROLOGICAL SEASONS

DOI: 10.35634/2412-9518-2021-31-4-425-436

The aim of the work is to research the chemical composition of surface watercourses in the Slavsky district of the Kaliningrad region in the winter hydrological season, and to compare the results with the data previously obtained by the authors for the autumn hydrological season and partly for the summer hydrological season. Watercourses and monitoring points for research have been identified: r. Zlaya, r. Shluzovaya, r. Nemoninka and r. Osa. In the winter season, water samples were taken, hydrometric characteristics were measured, and primary hydrochemical indicators were determined. On the basis of the obtained hydrochemical data, integral indicators were calculated to assess the quality of water, using combined lists of maximum permissible concentrations of pollutants. When monitoring hydrochemical indicators, it was revealed that the studied watercourses are, to one degree or another, subject to pollution. The water quality class in them varies from

"moderately polluted" to "extremely dirty". When comparing the seasons, a tendency was revealed to improve the quality of water, which is associated with the water content of rivers, as well as with the cycles of natural and anthropogenic activity. The work has theoretical and practical significance. The data can participate in the planning of rational use of natural resources and the selection of measures to improve the geoecological state of the river network of the Slavsky region. The research can serve as a supplement to the formation of the general geoecological picture of the Kaliningrad region.

*Keywords:* chemical composition of water, hydrochemical analysis of water, monitoring of watercourses, water pollution, rivers of the Kaliningrad region.

#### REFERENCES

1. Spirin Yu.A., Zotov S.I. [Assessment of the geoecological state of surface watercourses in the Slavsky district, Kaliningrad region (summer hydrological season)], in *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Nauki o Zemle* [Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences], 2021, vol. 21, no. 1, pp. 33-43. DOI 10.18500/1819-7663-2021-21-1-33-43 (in Russ).
2. Spirin Yu.A., Zotov S.I., Taran V.S., Koroleva Yu.V. [Assessment of the geoecological state of surface water currents of the Slavsky district, Kaliningrad region], in *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*, 2021, vol. 7 (73), no. 1, pp. 183–202 (in Russ).
3. Spirin Yu.A., Zotov S.I. [Problems of geoecological condition and use of surface waters in the Kaliningrad region], in *Vestn. Udmurt. Univ. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences], 2019, vol. 29, no. 2, pp. 221-227. DOI 10.35634/2412-9518-2019-29-2-221-230 (in Russ).
4. Konstantinova T.G., Vasilyeva L.V. [Environmental monitoring of small river Kukshum in conditions of anthropogenous impact], in *Vestnik Chuvashskogo universitet* [Bulletin of the Chuvash University], 2013, no. 3, pp. 114-122 (in Russ).
5. Bernikova T.A., Nagornova N.N., Tsoupikova N.A., Shibaev S.V. Environmental features of watercourses in the Kaliningrad Region, in *The Handbook of Environmental Chemistry*, 2018, vol. 65, pp. 223-267. DOI 10.1007/698\_2017\_108.
6. Justyna Hachoł, Elżbieta Bondar-Nowakowska An Assessment of the Ecological Status of Diverse Watercourses of Lower Silesia, Poland, in *Polish Journal of Environmental Studies*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 75-81.
7. Urszula Aleksander-Kwaterczak, Dominika Plenzler Contamination of small urban watercourses on the example of a stream in Krakow (Poland) // *Environmental Earth Sciences*. 2019.78: 530. pp. 1-13. DOI 10.1007/s12665-019-8509-4.
8. Tsupikova N.A., Bernikova T.A., Krivopuskova E.V., Tsvetkova N.N. [Ecological condition of the Neman River within the Kaliningrad region], in *Izvestiya KGTU*, 2018, no. 50, pp. 66-78 (in Russ).
9. Spirin Yu.A. [Analysis of intra-annual distribution of river flow in the Slavsky district of the Kaliningrad region], in *Regional'nye geosistemy* [Regional geosystems], 2020, vol. 44, no. 2, pp. 231-242. DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-2-231-242. (in Russ).
10. Gosudarstvennyy doklad "Ob ekologicheskoy obstanovke v Kaliningradskoy oblasti v 2018 godu" [State report "On the environmental situation in the Kaliningrad region in 2018"], Kaliningrad: OOO VIA Kaliningrad, 2018. 31 p. (in Russ).
11. Alferov V.O., Tsvetkova N.N. [Results of hydrochemical monitoring of the Svetlogorka River and Tikhoe Lake in the autumn-winter period on observations in 2019-2020], in *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2020, no. 5 (27), pp. 14. DOI 10.46845 / 2541-8254-2020-5 (27) -14-14 (in Russ).
12. Akhmedova N.R., Velikanov N.L., Naumov V.A. [Estimation of quality of water of small currents of Kaliningrad region], in *Voda: khimiya i ekologiya*, 2015, no. 10 (88), pp. 20 (in Russ).
13. Velikanov N.L., Naumov V.A., Markova L.V., Smirnova A.A. [Results of natural researches of small water flows on reclaimed soils], in *Voda: khimiya i ekologiya*, 2013, no. 7. pp. 25. (in Russ).
14. Glushchenko A.I. [Quality and ecological state of ground waters in Kaliningrad wellfield], in *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki*, 2008, no. 1, pp. 28 (in Russ).

Received 29.10.2021

Spirin Yu.A., Postgraduate student

E-mail: spirin1234567890@rambler.ru

Zotov S.I., Doctor of Geography, Professor

E-mail: zotov.prof@gmail.com

Taran V.S., Master's student

E-mail: ronya.volkova@yandex.ru

Koroleva Yu.V., Candidate of Geography, Associate Professor

E-mail: yu.koroleff@yandex.ru

Immanuel Kant Baltic Federal University

Universitetskaya st., 2, Kaliningrad, Russia, 236041