

## Анализ пространственно-временной динамики загрязнения рек юго-восточной части Калининградской области

Ю. А. Спирин<sup>1</sup>✉, С. И. Зотов<sup>2</sup>, В. С. Таран<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт географии РАН, Российской Федерации  
(117312, г. Москва, ул. Вавилова, 37)*

<sup>2</sup>*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Российской Федерации  
(236006, г. Калининград, ул. Университетская, 2)*

**Аннотация.** Цель – выявить пространственную дифференциацию (по 4 пунктам мониторинга в каждой реке) и временную изменчивость (по гидрологическим сезонам) химического загрязнения и качества вод рек Анграпы, Писсы, Русской и Красной.

**Материалы и методы.** Определено географическое расположение и координаты 4-х пунктов мониторинга. Исследования водотоков проведены в течение 3-х гидрологических сезонов 2022-2023 гг.: осенняя межень (15.10.2022), зимний паводок (15.01.2023), весенне половодье (23.04.2023). Осуществлен химический анализ проб воды на базовый перечень показателей. В качестве предельно допустимых концентраций (ПДК) использовался актуальный рыбохозяйственный норматив. Рассчитаны кратности превышения ПДК гидрохимических показателей и индекс загрязнения воды (ИЗВ) по гидрологическим сезонам. Границы водосборов исследуемых рек построены на базе SRTM снимков в программном пакете SAGA GIS с использованием стандартного встроенного инструментария.

**Результаты и обсуждение.** Определена динамика кратностей ПДК основных загрязняющих веществ, зарегистрированных в течении 3-х сезонов и их потенциальные источники. После получена пространственно-временная изменчивость ИЗВ и его динамика в бассейне реки Анграпы за 2022-2023 гг. Проанализирована межсезонная изменчивость качества воды в речной сети и факторы, влияющие на нее.

**Выводы.** Во время исследования выявлены основные загрязняющие вещества и их следствия в бассейне реки Анграпы: растворенный кислород, ХПК, БПК<sub>5</sub>, нитриты, аммоний, сульфаты, железо и нефтепродукты. Увеличение загрязняющих веществ по большей части происходит от истока к устью, а межсезонная динамика показала улучшение качества воды от осени к зиме и ухудшение от зимы к весне. Определены основные потенциальные источники загрязнения речной сети: сельскохозяйственная деятельность, природные циклы водной и береговой активности, урбанизированные территории и подземные воды. Немаловажную роль в процессах сезонной изменчивости качества воды играет и водность.

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

**Источник финансирования:** 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. Анализ пространственно-временной динамики загрязнения рек юго-восточной части Калининградской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025, № 3, с. 102-110. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/3/102-110>

### ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение водных ресурсов – одна из наиболее острых экологических проблем современности. Интенсивное развитие промышленности, сельского хозяйства и урбанизации приводит к значительному увеличению загрязнения водоемов и водотоков, что негативно оказывается на их экосистемах и может представлять угрозу для здоровья человека. Калининградская область, будучи эксклавом Российской Федерации на побережье Балтийского моря, сталкивается с экологическими вызовами, связанными с трансграничным характером, активно развивающимся в последние

10 лет сельским хозяйством и разрастанием урбанизированных территорий.

Объектом нашего исследования выбран бассейн реки Анграпы, расположенный в юго-восточной части региона. Данный район выделяется трансграничным положением (часть бассейна расположена на территории двух соседних государств: Польши и Литвы), расчлененным рельефом (перепады высот от 0 до 287 м БС), интенсивным водообменом между подземными и поверхностными водами (модуль стока подземных вод 1,5 – 3,0 л/(с × км<sup>2</sup>)), высокой густотой речной сети (0,92 км/км<sup>2</sup>), ландшафтным разнообразием, наличием

особо охраняемого природного объекта (Национальный парк «Виштынецкий»), сельскохозяйственной специализацией (65,84 % от Российской части бассейна занимают сельскохозяйственные земли), большим количеством малых водотоков первой и высшей категорий [4, 10, 13]. Можно констатировать природную уникальность изучаемых речных систем и их региональную значимость.

С целью объективной оценки загрязнённости водосбора выбраны реки, которые смогли бы его в должной мере охарактеризовать: Писса, Красная, Русская и, непосредственно, сама река Анграпа. Мониторинг их гидрохимического состояния бессистемен, фрагментарен и не имеет под собой четкого пространственного базиса. Основные актуальные исследования бассейна посвящены в большинстве физико-географическим и гидрологическим свойствам рек [1, 3, 14, 16], а исследования химического состояния и загрязненности рек [9] недостаточны и отчасти устарели. Имеются пункты длительного систематического гидрохимического мониторинга реки Анграпы (д. Берестово) и реки Писсы (д. Зеленый Бор) [13], но по 2-м точкам в разных реках сложно характеризовать бассейн, а также выяв-

лять причины возникновения загрязнений. Это и стало основным толчком для исследования обозначенных водотоков и территории, по которой они протекают, с целью выявления пространственной дифференциации (по 4 пунктам мониторинга в каждой реке) и временной изменчивости (по гидрологическим сезонам) химического загрязнения и качества воды рек Анграпы, Писсы, Русской и Красной.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

По каждому исследуемому водотоку были определены географическое расположение и координаты 4-х пунктов мониторинга начиная с верховьев и завершая приступьевыми частями, за исключением реки Анграпы, где первый пункт мониторинга располагается на удалении от верховьев рядом с государственной границей (рис. 1).

Исследования водотоков проведены в течение 3-х гидрологических сезонов (2022-2023): осенняя межень (15.10.2022), зимний паводок (15.01.2023), весеннееводное (23.04.2023). В процессе полевых выездов составлены описания русел рек и прилегающих территорий в пунктах мониторинга; измерены гидрометрические характеристики: скорости течения, ширина и глубины



Rис. 1. Схема расположения исследуемых водотоков и местоположение их пунктов мониторинга  
[Fig. 1. Layout of the studied watercourses and location of their monitoring points]

рек. Использовалась «Гидрологическая микровертушка ГМЦМ-1» и измерительная строительная рулетка. После этого рассчитаны расходы в пунктах мониторинга. Определены цветность, запах, мутность (ЕМФ – единицы мутности по формазину), температура, кислотный остаток воды; отобраны пробы воды для химических анализов.

Химические анализы проб проводились в лаборатории высшей школы живых систем БФУ им. И. Канта на перечень важнейших показателей. *Органолептические показатели определены в соответствии с ГОСТ Р 57164-2016, взвешенные вещества в соответствии с РД 52.24.468-2019, химическое потребление кислорода (ХПК) – ПНД Ф 14.1:2:4.190-2003, биологическое потребление кислорода за 5 суток (БПК<sub>5</sub>) – ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97, нитраты – ПНД Ф 14.1:2.4-95, нитриты – ПНД Ф 14.1:2:4.3-95, аммоний и аммонийный азот – ПНД Ф 14.1:2.1-95, фосфаты – ПНД Ф 14.1:2.1-95, сухой остаток – ПНД Ф 14.1:2:4.261-2010, хлориды – ГОСТ 4245-72, сульфаты – ПНД Ф 14.1:2.159-2000, натрий, магний, калий, кальций – ПНД Ф 14.1:2.159-2000, железо – ПНД Ф 14.1:2.159-2000, нефтепродукты – ПНД Ф 14.1:2.116-97. Химические анализы проведены с помощью прибора двухлучевой спектрофотометрии UV-1800 Shimadzu и системы капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105М».*

В качестве предельно допустимых концентраций (ПДК) использовался актуальный рыбохозяйственный норматив. Рассчитаны кратности превышения ПДК гидрохимических показателей и индекс загрязнения воды (ИЗВ) по гидрологическим сезонам.

Границы водосборов исследуемых рек построены на базе SRTM снимков в программном пакете SAGA GIS с использованием стандартного встроенного инструментария [2, 7, 15, 18]. Качество воды в реках можно рассматривать как интегральный показатель экологической обстановки на их водосборах. Исходя из этого допущения были построены схемы пространственной дифференциации ИЗВ на участках бассейнов [6, 8, 11, 17]. Далее было проведено последовательное сравнение качества воды в сезонах для выявления пространственно-временной динамики загрязнения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе проведенных анализов выделены основные загрязняющие вещества и их следствия массово встречающиеся, либо в отдельные сезоны, либо системно в каждом. Динамика кратностей ПДК по гидрохимическим показателям, вносящим наибольший вклад в загрязнения рек, представлены в (табл. 1). Темным цветом выделены отклонения от нормы в тот или иной сезон.

Осенью 2022 г. зафиксированы следующие несоответствия нормам: растворенный кислород (3 из 15 проб); ХПК (3 из 15 проб); БПК<sub>5</sub> (15 из 15); нитриты (7 из 15 проб); аммоний (14 из 15 проб); сульфаты (6 из 15 проб); железо (15 из 15); нефтепродукты (15 из 15 проб).

Зимой 2023 г. зафиксированы следующие несоответствия нормам: растворенный кислород (11 из

16 проб); ХПК (16 из 16 проб); БПК<sub>5</sub> (7 из 16 проб); сульфаты (14 из 16 проб); железо (14 из 16 проб); нефтепродукты (15 из 16 проб). В этом сезоне превышений ПДК по нитритам и аммонию не обнаружено.

Весной 2023 г. зафиксированы следующие несоответствия нормам: растворенный кислород (16 из 16 проб); ХПК (13 из 16 проб); БПК<sub>5</sub> (11 из 16 проб); сульфаты (8 из 16 проб); железо (14 из 16 проб); нефтепродукты (13 из 16 проб). В этом сезоне, как и в прошлом, отсутствуют превышения ПДК по нитритам и аммонию.

Отклонение от нормы показателей растворенного кислорода отмечены в зимний и весенний период, а также в меньшей степени осенью в реке Русской на фоне ее сильного загрязнения. Зимой это объясняется отсутствием деятельности растительности и периодическим формированием ледостава, отчасти перекрывающим насыщение воды кислородом. Весной концентрации достигают своего минимума за весь период поскольку описанные ранее процессы, действующие всю зиму, относительно недавно закончились, а весенний рост уровня кислорода только начался.

Высокие концентрации ХПК можно связать с отмеченными нами неоднократными случаями мойки автотранспорта у рек. Моющие средства и содержащиеся в них жиры могут провоцировать рост ХПК. Помимо этого, моющие средства могут попадать и из источников городской и сельскохозяйственной среды. Но в этом предложении пока нельзя выделить какую-либо системность.

Загрязнение нитритами и амmonием получило свое широкое распространение только осенью, что предполагает их сельскохозяйственное происхождение, так как в период вегетации растений (весна-лето) активно вносят азотные удобрения, которые в летний период могли вымываться дождевым стоком и попасть в водотоки. Параллельно с этим наблюдаются значительные превышения ПДК по БПК<sub>5</sub>, что, в свою очередь, свидетельствует о закономерной гибели, распространенной в районе исследования водной и береговой растительности, а ее разложение вероятно служит еще одним из факторов загрязнения биогенными элементами.

Главные загрязнители, вносящие наибольший негативный вклад в качество воды – это нефтепродукты и железо. Резкие изменения концентраций нефтепродуктов обусловлены антропогенным фактором и происходят после прохождения водотоками крупных по меркам района исследования населенных пунктов: городов Черняховска, Гусева, Озерска. Дополнительными причинами могут выступать: поступление в водотоки отработанного топлива во время сельскохозяйственных работ, мойка автотранспорта, стоки с предприятий промышленности, коммунального хозяйства, индивидуальных домохозяйств. В не меньшей степени водотоки загрязнены железом, что обусловлено высокими концентрациями этого вещества в подземных водах, питающих реки [5]. Это может считаться в какой-то мере естественным фоном, но его численное выражение требует отдельной проработки.

**Таблица. Динамика кратностей ПДК основных загрязняющих веществ по 3 сезонам**  
[Table. Dynamics of MPC multiplicities of the main pollutants registered over 3 seasons]

Водотоки / Watercourses	Река Анграпа / Angrapa River				Река Писса / Pissa River				Река Русская / Russkaya River				Река Красная / Krasnaya River			
Пункты отбора / Selection points	A1	A2	A3	A4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	K1	K2	K3	K4
<b>ОСЕНЬ 2022</b>																
Растворенный O <sub>2</sub> / Dissolved O <sub>2</sub>	0,79	0,87	0,92	0,85	0,82	0,79	0,87	0,80		<b>16,39</b>	<b>8,55</b>	<b>9,93</b>	0,80	0,86	0,88	0,74
ХПК / COD	0,57	0,91	0,88	0,75	0,38	0,89	0,74	0,62		0,88	<b>2,61</b>	<b>1,25</b>	0,42	0,56	0,34	<b>1,26</b>
БПК <sub>5</sub> / ВРК5	<b>3,26</b>	<b>3,29</b>	<b>3,18</b>	<b>2,73</b>	<b>4,83</b>	<b>5,84</b>	<b>2,71</b>	<b>2,29</b>		<b>3,18</b>	<b>9,11</b>	<b>4,45</b>	<b>1,82</b>	<b>2,08</b>	<b>1,33</b>	<b>4,46</b>
Нитриты / Nitrites	<b>7,38</b>	<b>1,50</b>	1,50	0,38	0,13	<b>5,38</b>	<b>1,88</b>	<b>1,75</b>		0,13	0,13	0,13	<b>1,38</b>	0,13	0,13	<b>4,00</b>
Аммоний / Ammonium	<b>1,12</b>	<b>3,22</b>	<b>2,32</b>	<b>2,24</b>	<b>2,32</b>	<b>2,18</b>	<b>2,88</b>	<b>2,80</b>		<b>11,28</b>	<b>6,72</b>	<b>6,60</b>	<b>2,12</b>	0,48	<b>1,52</b>	<b>2,76</b>
Сульфаты / Sulfates	<b>1,21</b>	1,00	1,04	<b>1,86</b>	<b>1,27</b>	<b>1,41</b>	0,80	0,76		0,69	0,16	<b>1,17</b>	0,85	<b>1,26</b>	1,30	1,13
Железо / Iron	<b>2,14</b>	<b>1,94</b>	<b>7,97</b>	<b>7,34</b>	<b>3,12</b>	<b>8,72</b>	<b>7,29</b>	<b>8,36</b>		<b>35,72</b>	<b>48,49</b>	<b>28,79</b>	<b>9,96</b>	<b>7,45</b>	<b>8,49</b>	<b>8,15</b>
Нефтепродукты / Petroleum products	<b>6,20</b>	<b>12,80</b>	<b>25,00</b>	<b>73,00</b>	<b>3,60</b>	<b>2,80</b>	<b>124,6</b>	<b>74,20</b>		<b>43,00</b>	<b>66,20</b>	<b>111,8</b>	<b>2,80</b>	<b>13,00</b>	<b>3,60</b>	<b>17,00</b>
<b>ЗИМА 2023</b>																
Растворенный O <sub>2</sub> / Dissolved O <sub>2</sub>	0,78	<b>3,91</b>	<b>3,81</b>	0,90	0,96	0,74	<b>2,38</b>	<b>2,22</b>	<b>2,17</b>	<b>2,18</b>	<b>2,15</b>	<b>2,26</b>	0,80	<b>2,06</b>	<b>2,07</b>	<b>2,22</b>
ХПК / COD	<b>1,56</b>	<b>1,56</b>	<b>3,46</b>	<b>2,08</b>	<b>1,05</b>	<b>1,15</b>	<b>1,38</b>	4,33	<b>3,05</b>	<b>2,65</b>	<b>1,05</b>	<b>1,28</b>	<b>1,82</b>	<b>1,57</b>	<b>1,11</b>	<b>1,45</b>
БПК <sub>5</sub> / ВРК <sub>5</sub>	<b>2,86</b>	<b>1,71</b>	<b>2,00</b>	0,81	0,33	<b>2,71</b>	0,67	<b>3,19</b>	0,24	0,67	0,38	0,43	0,33	0,62	<b>3,19</b>	<b>1,48</b>
Нитриты / Nitrites	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Аммоний / Ammonium	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Сульфаты / Sulfates	<b>2,09</b>	<b>1,03</b>	<b>1,77</b>	<b>2,13</b>	<b>1,89</b>	<b>1,62</b>	<b>1,95</b>	<b>2,51</b>	0,55	<b>1,39</b>	<b>2,95</b>	<b>3,26</b>	<b>1,33</b>	0,91	<b>1,28</b>	<b>1,61</b>
Железо / Iron	<b>3,30</b>	<b>4,15</b>	<b>3,71</b>	<b>5,19</b>	<b>6,54</b>	<b>1,69</b>	<b>10,32</b>	<b>12,14</b>	<b>8,18</b>	<b>9,96</b>	0,40	<b>34,20</b>	0,25	<b>11,15</b>	<b>7,68</b>	<b>1,23</b>
Нефтепродукты / Petroleum products	<b>2,80</b>	<b>3,20</b>	<b>6,60</b>	<b>4,40</b>	<b>3,00</b>	<b>6,60</b>	<b>6,80</b>	<b>2,60</b>	<b>2,80</b>	<b>4,60</b>	<b>5,40</b>	<b>4,40</b>	<b>1,20</b>	<b>1,60</b>	<b>2,40</b>	0,80
<b>ВЕСНА 2023</b>																
Растворенный O <sub>2</sub> / Dissolved O <sub>2</sub>	<b>7,77</b>	<b>7,79</b>	<b>7,87</b>	<b>4,95</b>	<b>2,17</b>	<b>4,80</b>	<b>8,17</b>	<b>8,43</b>	2,33	<b>4,52</b>	<b>8,11</b>	<b>107,1</b>	<b>4,58</b>	<b>4,72</b>	<b>8,52</b>	<b>7,75</b>
ХПК / COD	<b>2,97</b>	<b>2,81</b>	<b>1,69</b>	0,82	<b>1,43</b>	<b>1,37</b>	0,85	<b>2,96</b>	<b>3,32</b>	<b>1,23</b>	<b>1,23</b>	0,90	<b>1,72</b>	<b>1,63</b>	<b>1,69</b>	<b>2,25</b>
БПК <sub>5</sub> / ВРК <sub>5</sub>	<b>1,05</b>	<b>1,43</b>	<b>2,81</b>	0,14	<b>1,33</b>	<b>1,19</b>	<b>1,71</b>	<b>2,43</b>	<b>1,05</b>	<b>1,05</b>	0,81	0,52	0,95	0,95	<b>2,29</b>	<b>0,29</b>
Нитриты / Nitrites	0,01	0,01	0,01	0,34	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Аммоний / Ammonium	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,40	0,02	0,02	0,34	0,58	0,02	0,02	0,02	0,50	0,28	0,60
Сульфаты / Sulfates	0,89	<b>1,08</b>	<b>1,15</b>	<b>1,71</b>	0,98	<b>1,08</b>	<b>2,06</b>	<b>1,63</b>	0,86	0,60	<b>2,05</b>	<b>1,99</b>	0,43	0,79	0,67	0,29
Железо / Iron	<b>11,34</b>	<b>9,26</b>	<b>10,25</b>	<b>9,97</b>	<b>5,14</b>	<b>9,07</b>	<b>10,54</b>	<b>6,12</b>	<b>12,16</b>	<b>9,45</b>	<b>18,18</b>	<b>15,47</b>	0,26	<b>4,16</b>	<b>1,25</b>	0,48
Нефтепродукты / Petroleum products	<b>2,80</b>	0,40	<b>9,00</b>	<b>6,20</b>	<b>4,00</b>	<b>3,80</b>	<b>4,20</b>	<b>4,80</b>	<b>8,40</b>	<b>16,20</b>	<b>9,60</b>	<b>13,40</b>	<b>1,00</b>	<b>2,20</b>	0,40	0,20

На основе полученных химических показателей рассчитаны ИЗВ за исследуемые сезоны для каждого пункта мониторинга (рис. 2).

Анализируя рисунок 2, можно прийти к выводу, что распространение загрязнений имеет типичный характер и происходит от истока к устью, но при этом стоит выделить некоторые пространственные особенности. Например, зимой и весной в пункте А4 качество воды лучше, чем в пунктах А3 и П4, как по отдельности, так и в среднем, несмотря на то, что они расположены выше по течению. Данная локация является устьевой частью всего бассейна и здесь располагается крупный по меркам исследуемой территории город Черняховск, поэтому такие результаты не совсем укладываются в стандартную картину загрязнения.

Водотоки Русская и Красная, расположенные рядом друг с другом, имеющие схожие гидрологические параметры и природно-хозяйственные характеристики местности, различно отличаются по своему химическому составу. Вода в реке Красной показывает самое высокое качество среди рассматриваемых водотоков, класс качества воды находится в диапазоне от «чистая» до «очень грязная» со средним по трем сезонам ИЗВ = 2.87 «загрязненная». А вода в реке Русской напротив, наихудшее качество, класс качества воды находится в диапазоне от «загрязненная» до «чрезвычайно грязная» со средним по трем сезонам ИЗВ = 12.40 «чрезвычайно грязная».

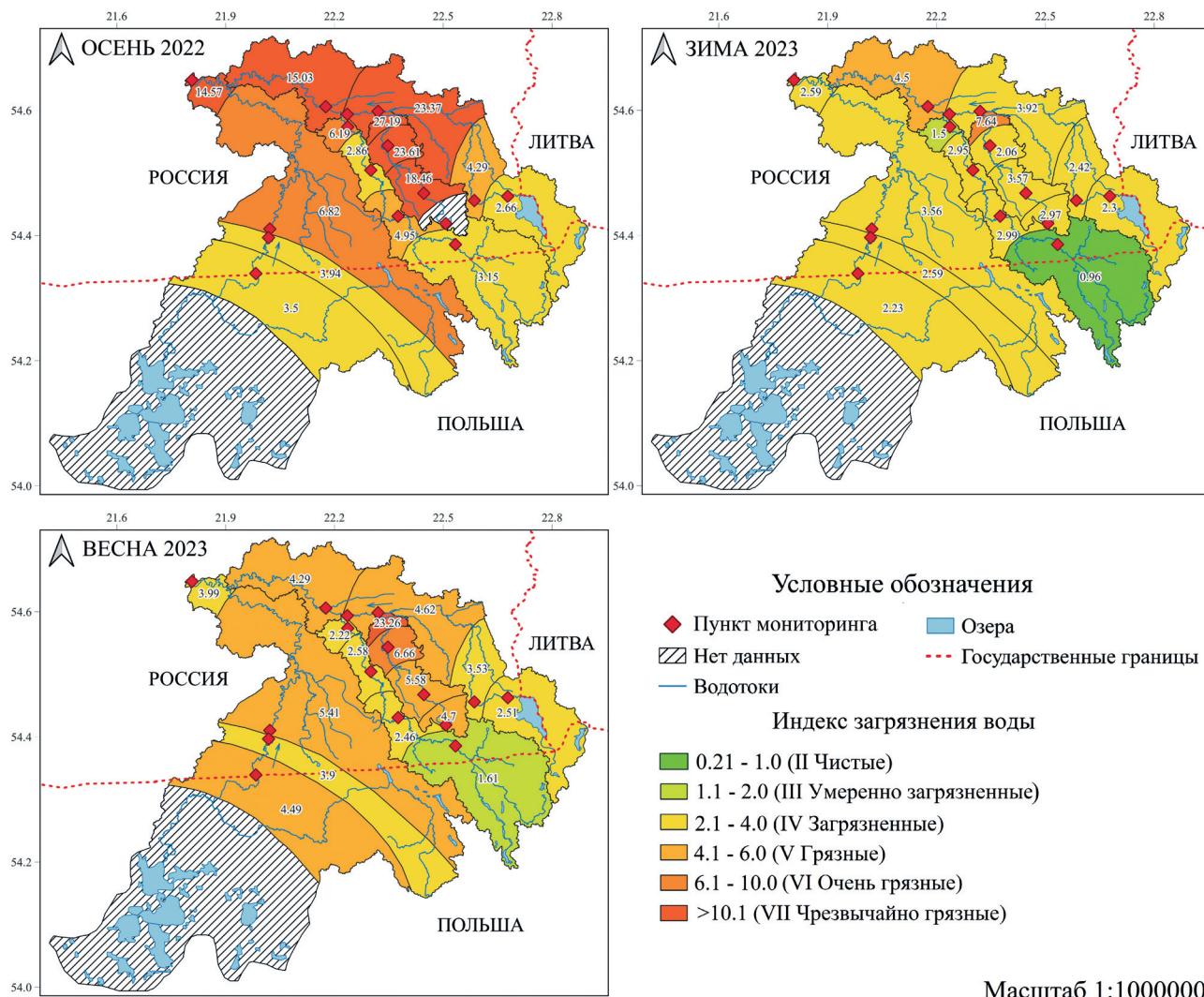


Рис. 2. Пространственно-временная дифференциация загрязнения речных вод на основе ИЗВ по 3 гидрологическим сезонам в бассейне реки Анграпы за 2022-2023 гг.

[Fig. 2. Spatio-temporal differentiation of river water pollution based on WPI for 3 hydrological seasons in the Angrapa River basin for 2022-2023]

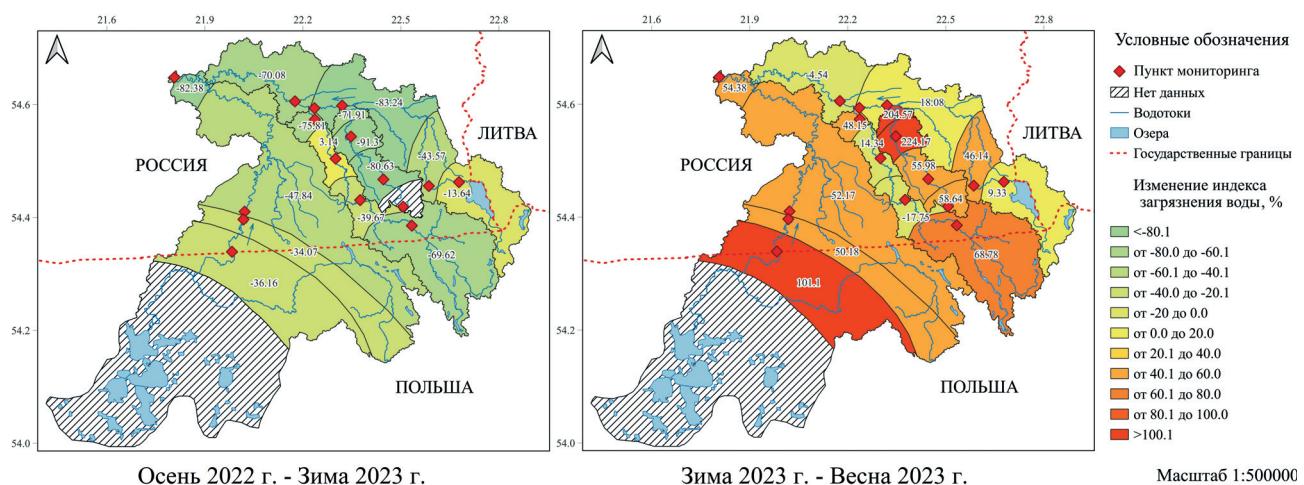


Рис. 3. Пространственное распределение динамики ИЗВ по гидрологическим сезонам в бассейне реки Анграпы за 2022-2023 гг.

[Fig. 3. Spatial distribution of the dynamics of WPI by hydrological seasons in the Angrapa River basin for 2022-2023]

Для большей временной детализации процессов загрязнения воды в реках рассмотрим межсезонную динамику ИЗВ по гидрологическим сезонам (рис. 3).

С осени по зиму ИЗВ равномерно снизилось и в среднем изменилось следующим образом: в реке Анграпе – 50,11 % (очень грязные → загрязнённые); в реке Писсе – 52,63 % (чрезвычайно грязные → загрязнённые); в реке Русской – 81,28 % (чрезвычайно грязные → грязные); в реке Красная – 45,49 % (класс качества не изменился). Основные поступления загрязняющих веществ в бассейне связаны с сельскохозяйственной деятельностью, природными циклами водной и береговой растительности, урбанизированными территориями и подземными водами. Можно предположить, что значительное улучшение качества воды произошло по причине почти полного снижения активности сельскохозяйственной деятельности в зимний сезон, которая заключается во внесении удобрений, обработке полей пестицидами и работой сельскохозяйственной техники, а также отсутствием развитой флоры на берегах и

в воде. Необходимо упомянуть, что зимой различные химические процессы замедляются, а диффузный поверхностный сток поступает неравномерный из-за изменчивости своего агрегатного состояния с жидкого на твердое.

С зимы по весну ИЗВ выросло неравномерно и в среднем изменилось следующим образом: в реке Анграпе – 64,46 % (загрязнённые → грязные); в реке Писсе – 17,25 % (класс качества не изменился); в реке Русской – 135,84 % (грязные → чрезвычайно грязные); в реке Красная – 21,61 % (класс качества не изменился). Причиной послужило постепенное снижение растворенного кислорода в воде, достигшее своего минимума весной, что ранее описывалось в статье. Показатели нефтепродуктов также возросли с началом сельскохозяйственных работ. Концентрации железа также увеличились, но это уже не зависит от сезона и происходит хаотично.

Немаловажную роль в процессах сезонной изменчивости уровня загрязнения воды играет и водность в тот или иной период [12] (рис. 4).

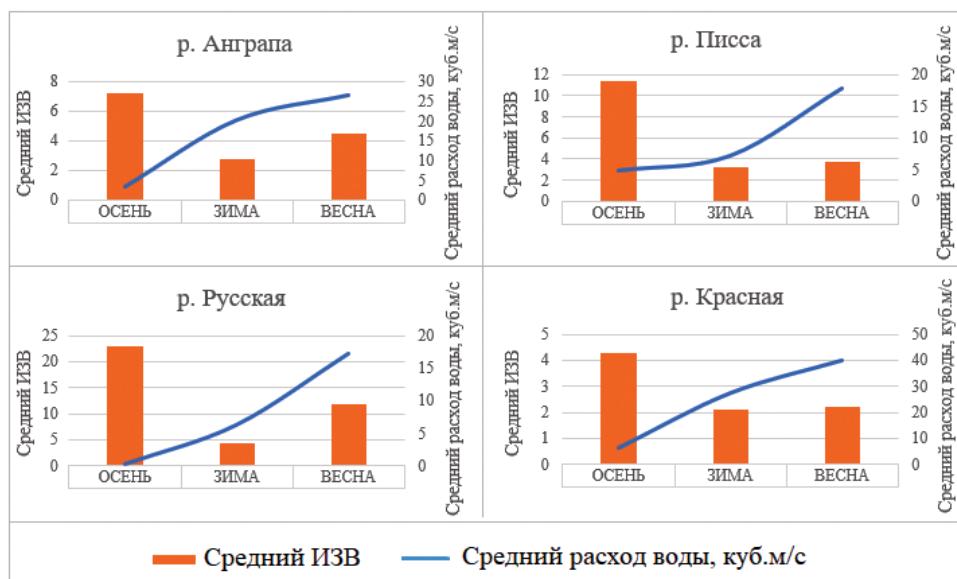


Рис. 4. Средние за сезон ИЗВ и средние по 4 пунктам расходы воды в реке во время пробоотбора  
[Fig. 4. Average seasonal WPI and average water flow rates in the river at 4 points during sampling]

Продолжительную осеннюю межень можно рассматривать как одну из причин высоких значений ИЗВ (см. рис. 4) и неблагоприятного качества вод в осенний сезон. В зимний сезон с увеличением водности рек классы качества воды улучшились. В весенний сезон отмечено половодье, качество вод незначительно изменилось по сравнению с зимним сезоном, за исключением реки Русской, и частично реки Анграпы. Наиболее загрязнена река Русская, что отмечается во все гидрологические сезоны (классы качества вод – грязные и чрезвычайно грязные). Проведённые измерения показали, что для реки Русской характерны наименьшие глубины и скорости течения. Фактор изменения водности этой реки не имеет такого большого влияния на загрязнение и качество вод по сравнению с другими изучаемыми реками.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время исследования выявлены динамика основных загрязняющих веществ, кислородных показателей и причины их изменений в бассейне реки Анграпы: растворенный кислород (0,74 – 107,10 ПДК); ХПК (0,34 – 4,33 ПДК); БПК<sub>5</sub> (0,14 – 9,11 ПДК); нитриты (0,01 – 7,38 ПДК); аммоний (0,02 – 11,28 ПДК); сульфаты (0,16 – 3,26 ПДК); железо (0,25 – 48,49 ПДК) и нефтепродукты (0,20 – 124,6 ПДК). Пространственные изменения в основном проявляются в увеличении концентраций загрязняющих веществ от истока к устью, хотя и имеются небольшие отклонения от этой тенденции, и нарушение связности между суббассейнами реки Русской и реки Красной. Межсезонная динамика показала уменьшение загрязнения воды от осеннего сезона к зимнему. В среднем по всему водосбору класс качества воды улучшился

с «чрезвычайно грязные» до «загрязненные», а с зимне-го сезона по осенний напротив, ухудшился с «загрязненные» до «грязные».

Определены основные потенциальные источники загрязнения речной сети: сельскохозяйственная деятельность, природные циклы гибели водной и береговой активности, урбанизированные территории и подземные воды. Немаловажную роль в процессах сезонной изменчивости качества воды играет и водность. Осенью качество воды было наихудшее и одним из факторов стала очень низкая водность. Зимой водность увеличилась и качество воды заметно улучшилось, но здесь еще стоит учитывать уменьшение влияния растительности и сельского хозяйства на химический состав воды. Весной увеличение водности не сильно повлияло на качество воды. Более явную и численно выраженную связь возможно получится выявить в дальнейших исследованиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедова Н.Р., Наумов В.А. Динамика модуля годового стока в бассейне реки Писса // Вестник ИШ ДВФУ, 2022, № 2 (51), с. 105-111.
2. Балдаков Н. А. Кудишин А. В. Автоматизация расчета характеристик водооборонного бассейна для решения задач моделирования поверхностного стока // Интерэкско 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. Гидрогеология СССР. Т. XLV Калининградская область РСФСР. Москва: Недра, 1970. 158 с.
5. Глушенко 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, с. 25-31.
6. Зотов С.И., Спирин Ю.А. Оценка геэкологического состояния малых водотоков польдерных земель: методический подход и картографическое обеспечение // ИнтерКартоМ. ИнтерГИС, 2022, т. 28, № 2, с. 597-613.
7. Картографическая модель бассейновых геосистем малых рек водосбора реки Лены / О.П. Ермолов, К.А. Мальцев, С.С. Мухарамова и др. // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки, 2018, т. 160, № 1, с. 126-144.
8. Нагорнова Н.Н. Геоэкологическая оценка состояния малых водотоков Калининградской области: дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 2012. 203 с.
9. Нагорнова Н.Н., Берникова Т.А., Цупикова Н.А. Гидрохимическая характеристика малых рек Калининградской области // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2011, № 7, с. 160-166.
10. Основные гидрологические характеристики (за 1976-1985 гг. и весь период наблюдений). Т.4. Прибалтийский район. Вып. 3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1988.
11. Пространственно-временной анализ гидрохимического состава и загрязнения вод в бассейне Северной Двины / Р.Г. Джамалов, А.А. Мироненко, К.Г. Мягкова и др. // Водные ресурсы, 2019, т. 46, № 2, с. 149-160.
12. Спирин Ю.А. Гидрологические характеристики речного стока в геоэкологических исследованиях поверхностных вод Славского района Калининградской области // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 2021, т. 31, № 2, с. 185-197.
13. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области). – URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (дата обращения: 10.03.24). – Текст: электронный.
14. Тылик К. В. Гидроэкологические особенности реки Красной – памятника природы гидрологического профиля Калининградской области // Известия КГТУ, 2021, № 61, с. 39-50.
15. 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.
16. Шамонина Т.В., Нелюбина Е.А. Анализ водного использования бассейна реки Писсы // Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2017, № 2, с. 1-8.
17. Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekaamp J. Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment // Environmental Processes, 2021, vol. 8, pp. 973-992.
18. Lata I. Catchment Delineation for Vjosa River WEAP Model, using QGIS Software // Journal of International Environmental Application and Science, 2020, vol. 15 (4), pp. 203-215.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 29.07.2024

Принята к публикации: 01.09.2025

## Analysis of the Spatio-Temporal Dynamics of River Pollution in the South-Eastern Part of the Kaliningrad Region

Yu.A. Spirin<sup>1</sup>✉, S.I. Zotov<sup>2</sup>, V.S. Taran<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation  
(37, Vavilov Str., Moscow, 117312)*

<sup>2</sup>*Immanuel Kant Baltic Federal University, Russian Federation  
(2, Universitetskaya Str., Kaliningrad, 236006)*

**Abstract.** The purpose is to identify spatial differentiation (at 4 monitoring points in each river) and temporal variability (by hydrological seasons) of chemical pollution and water quality in the Angrapa, Pissa, Russkaya and Krasnaya rivers.

**Materials and methods.** The geographical location and coordinates of 4 monitoring points were determined. The watercourses studies were carried out during 3 hydrological seasons (2022-2023): autumn low water (15.10.2022), winter flood (15.01.2023), spring flood (23.04.2023). A chemical analysis of water samples for a basic list of indicators was carried out. The current fishery standard was used as the maximum permissible concentrations (MPC). The multiples of MPC excess of hydrochemical indicators and the water pollution index (WPI) were calculated for hydrological seasons. The boundaries of the catchment areas of the studied rivers were constructed on the basis of SRTM images in the SAGA GIS software package using standard built-in tools.

**Results and discussion.** The dynamics of MPC multiples of the main pollutants recorded during 3 seasons and their potential sources were determined. After that, the spatial-temporal differentiation of WPI and its dynamics in the Angrapa River basin for 2022-2023 was constructed. The interseasonal variability of water quality in the river network and the factors affecting it were analyzed.

**Conclusion.** During the study, the main pollutants and their consequences in the Angrapa River basin were identified: dissolved oxygen, COD, BOD5, nitrites, ammonium, sulfates, iron and oil products. The increase in pollutants mainly occurs from the source to the mouth. The interseasonal dynamics showed an improvement in water quality from autumn to winter, and a deterioration from winter to spring. The main potential sources of pollution of the river network were identified: agricultural activities, natural cycles of water and coastal activity, urbanized areas and groundwater. Water content also plays an important role in the processes of seasonal variability of water quality.

**Key words:** dynamics of watercourses pollution, Angrapa River basin, hydrochemical analysis, water quality, mapping of river pollution, comparative analysis of pollution, anthropogenic impacts.

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

**For citation:** Spirin Yu.A., Zotov S.I., Taran V.S. Analysis of the Spatio-Temporal Dynamics of River Pollution in the South-Eastern Part of the Kaliningrad Region. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologiya*, 2025, no. 3, pp. 102-110. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/3/102-110>

### REFERENCES

1. Ahmedova N.R., Naumov V.A. Dinamika modulya godovogo stoka v bassejne reki Pissa [Dynamics of the annual runoff modulus in the Pissa River basin]. *Vestnik ISH DVFU*, 2022, no. 2 (51), pp. 105-111. (In Russ.)
2. Baldakov N.A., Kudishin A.V. Avtomatizaciya rascheta harakteristik vodosbornogo bassejna dlya resheniya zadach modelirovaniya poverhnostnogo stoka [Automation of calculation of drainage basin characteristics for solving surface runoff modeling problems]. *Interespo Geo-Sibir'*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 83-89. (In Russ.)
3. Bernikova T.A., Tylirk K.V., Cvetkova N.N. Fiziko-geograficheskaya harakteristika reki Krasnoy – pamiatnika prirody gidrologicheskogo profilya Kaliningradskoj oblasti [Physical and geographical characteristics of the Krasnaya River – a natural monument of the hydrological profile of the Kaliningrad region]. *Izvestiya KGTU*, 2019, no. 52, pp. 11-23. (In Russ.)
4. Gidrogeologiya SSSR. T. XLV Kaliningradskaya oblast' RSFSR [Hydrogeology of the USSR. T. XLV Kaliningrad region of the RSFSR]. Moscow: Nedra, 1970. 158 p. (In Russ.)
5. Glushchenko A.I. Ekologicheskoe sostoyanie i kachestvo podzemnyh vod Kaliningradskogo skvazhinnogo vodozabora [Ecological state and quality of groundwater of the Kaliningrad well water intake]. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i medicinskie nauki*, 2008, no. 1, pp. 25-31. (In Russ.)
6. Zotov S.I., Spirin Yu.A. Ocenka geoekologicheskogo sostoyaniya malyh vodotokov pol'dernyh zemel': metodicheskij podhod i kartograficheskoe obespechenie [Assessment of the geoecological state of small watercourses in polder lands: a methodological approach and cartographic support]. *InterKarto. InterGIS*, 2022, vol. 28, no. 2, pp. 597-613. (In Russ.)
7. Kartograficheskaya model' bassejnovykh geosistem malyh rek vodosbora reki Leny [Cartographic model of basin geosystems of small rivers in the Lena River catchment area] / O.P. Ermolaev,



- K.A. Mal'cev, S.S. Muharamova i dr. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2018, vol. 160, no. 1, pp. 126-144. (In Russ.)
8. Nagornova N.N. *Geoekologicheskaya ocenka sostoyaniya malyh vodotokov Kaliningradskoj oblasti* [Geoecological assessment of the state of small watercourses in the Kaliningrad region]: dis. ... kand. geogr. nauk. Kaliningrad, 2012. 203 p. (In Russ.)
9. Nagornova N.N., Bernikova T.A., Cupikova N.A. Gidrogeohimicheskaya harakteristika malyh rek Kaliningradskoj oblasti [Hydrogeochemical characteristics of small rivers in the Kaliningrad region]. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*, 2011, no. 7, pp. 160-166. (In Russ.)
10. *Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki (za 1976-1985 gg. i ves' period nabljudenij). T.4. Pribaltijskij rajon. Vyp. 3. Litovskaja SSR i Kaliningradskaja oblast' RSFSR* [Basic hydrological characteristics (for 1976-1985 and the entire period of observations). Vol. 4. Baltic region. Issue 3. The Lithuanian SSR and the Kaliningrad Region of the RSFSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. (In Russ.)
11. Prostranstvenno-vremennoj analiz gidrohimicheskogo sostava i zagryazneniya vod v bassejne Severnoj Dviny [Spatio-temporal analysis of the hydrochemical composition and pollution of waters in the Northern Dvina basin] / R.G. Dzhamalov, A.A. Mironenko, K.G. Myagkova i dr. *Vodnye resursy*, 2019, vol. 46, no. 2, pp. 149-160. (In Russ.)
12. Spirin Yu. A. Gidrologicheskie harakteristiki rechnogo stoka v geoekologicheskikh issledovaniyah poverhnostnyh vod Slavskogo rajona Kaliningradskoj oblasti [Hydrological characteristics of river runoff in geoecological studies of surface waters of the Slavsky district of the Kaliningrad region]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle*, 2021, vol. 31, no. 2, pp. 185-197. (In Russ.)
13. Scheme of integrated use and protection of water bodies of the Neman River basin and the rivers of the Baltic Sea basin (Russian part in the Kaliningrad region). – URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (accessed 10.03.24). – Text: electronic. (In Russ.)
14. Tylik K. V. Gidroekologicheskie osobennosti reki Krasnoj – pamyatnika prirody hidrologicheskogo profilya Kaliningradskoj oblasti [Hydroecological features of the Krasnaya River – a natural monument of the hydrological profile of the Kaliningrad region]. *Izvestiya KGTU*, 2021, no. 61, pp. 39-50. (In Russ.)
15. Chumachenko A.N. Hvorostuhin D.P., Morozova V.A. Postroenie hidrologicheski-korrektnej cifrovoj modeli rel'efa (na primere Saratovskoj oblasti) [Construction of a hydrologically correct digital relief model (on the example of the Saratov region)]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Nauki o Zemle*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 104-109. (In Russ.)
16. Shamonina T.V., Nelyubina E.A. Analiz vodnogo ispol'zovaniya bassejna reki Pis'sy [Analysis of water use in the Pis'sa River basin. Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 2017, no. 2, pp. 1-8. (In Russ.)
17. Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J. Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment. *Environmental Processes*, 2021, vol. 8, pp. 973-992.
18. Lata I. Catchment Delineation for Vjosa River WEAP Model, using QGIS Software. *Journal of International Environmental Application and Science*, 2020, vol. 15 (4). pp. 203-215.

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 29.07.2024

Accepted: 01.09.2025

Зотов Сергей Игоревич

Профессор высшей школы живых систем Балтийского федерального университета им. И. Канта, г. Калининград, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3481-9666, e-mail: zotov.prof@gmail.com

Таран Вероника Сергеевна

Аспирант высшей школы живых систем Балтийского федерального университета им. И. Канта, г. Калининград, Российская Федерация, e-mail: ronya.volkova@yandex.ru

Sergey I. Zotov

Professor at the Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3481-9666, e-mail: zotov.prof@gmail.com

Veronika S. Taran

Postgraduate Student at the Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation, e-mail: ronya.volkova@yandex.ru