

УДК: 504.06

DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-597-613

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

## ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ ПОЛЬДЕРНЫХ ЗЕМЕЛЬ: МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД И КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### АННОТАЦИЯ

Водотоки Калининградской области – один из важнейших природных компонентов, имеющих многоцелевое использование. Геоэкологическое состояние водотоков оценивается как неудовлетворительное из-за оказываемого на них негативного влияния. В состав региона входят уникальные польдерные земли, водотоки которых обладают повышенной уязвимостью к негативным природным и антропогенным воздействиям. Данные водотоки малоизучены, в постсоветский период их фактически не исследовали, что привело к информационному дефициту по различным научным и практико-ориентированным направлениям. Все сказанное подчеркивает важность проведения геоэкологических исследований водотоков польдерных земель. Цель исследования – оценить геоэкологическое состояние бассейнов малых водотоков польдерных земель Славского района с дальнейшей картографической визуализацией ее пространственной дифференциации. Разработан методический подход для получения геоэкологического индикатора, представленного количественным показателем загрязняющих химических веществ в поверхностных водотоках. В основу подхода положен сопряженный анализ гидрологических, гидрохимических и геоэкологических данных. Получены расчетные зависимости, позволяющие находить количественные характеристики загрязнения в реках других польдерных районов, с учетом обозначенных границ применения. Выявлена и картографически отображена пространственная дифференциация геоэкологического состояния бассейнов малых водотоков Славского района по 13-ти критериям, разделенным по взаимосвязанным группам: антропогенная нагрузка, качество воды, способность территории к самоочищению, транзитная способность. Геоэкологическое состояние изученных водотоков и их водосборов характеризуется как «сильно напряженное»: для р. Оса – «сильно напряженное» (3,95 % земель); для р. Злая – «напряженное» (5,93 % земель); в бассейнах рек Шлюзовая и Немонинка – «конфликтное» (38,96 % земель), остальная площадь – «сильно напряженное» (51,16 % земель).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геоэкологическая оценка водотоков, расчет количественных показателей загрязнения воды, масса загрязняющих веществ, гидрохимический анализ воды, мониторинг водотоков, польдерные земли, реки Калининградской области

---

<sup>1</sup> Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Институт живых систем, ул. Университетская, д. 2, 236041, Калининград, Россия; *e-mail*: [zotov.prof@gmail.com](mailto:zotov.prof@gmail.com)

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Кафедра метеорологии и климатологии, ул. Прянишникова, д. 12 (учебный корпус № 18), 127550, Москва, Россия; *e-mail*: [spirin1234567890@rambler.ru](mailto:spirin1234567890@rambler.ru)

Sergey I. Zotov<sup>1</sup>, Yuri A. Spirin<sup>2</sup>

**ASSESSMENT OF THE GEOECOLOGICAL STATE OF SMALL  
WATER CURRENTS IN POLDER LANDS:  
METHODOLOGICAL APPROACH AND CARTOGRAPHIC SUPPORT**

**ABSTRACT**

The watercourses of the Kaliningrad region are one of the most important natural components with a multi-purpose use. Unfortunately, their geoecological state is assessed as unsatisfactory due to the negative impact exerted on them. The region includes unique polder lands, the watercourses of which are highly vulnerable to negative natural and anthropogenic impacts. These watercourses are poorly researched, in the post-Soviet period they were not actually explored, which led to a lack of information in various scientific and practice-oriented areas. All of the above emphasizes the importance of conducting geoecological studies of the watercourses of the polder lands. The aim of the research is to assess the geoecological state of the basins of small watercourses in the polder lands of the Slavsky District with further cartographic visualization of its spatial differentiation. A methodical approach has been developed to obtain a geoecological indicator represented by a quantitative indicator of polluting chemicals in water, leveling the information deficit, by conjugated analysis of available, but very limited hydrological, hydrochemical and geoecological data. Formulas and calculated dependencies are obtained that allow one to find quantitative characteristics of pollution in the rivers of other polder regions, taking into account the designated limits of application. The spatial differentiation of the geo-ecological state of the basins of small watercourses in the Slavsky District was identified and mapped by 13 criteria, divided into interrelated groups: anthropogenic load, water quality, the territory's ability to self-purify, transit capacity. The geoecological state of the researched watercourses and their watersheds is characterized as "highly stressed": for the river. Osa – "very tense" (3.95 % of the land); for r. Zlaya – "tense" (5.93 % of land); in the basins of the Shlyuzovaya and Nemoninka rivers – "conflict" (38.96 % of land), the rest of the area – "highly stressed" (51.16 % of land).

**KEYWORDS:** geoecological assessment of watercourses, calculation of quantitative indicators of water pollution, mass of pollutants, hydrochemical analysis of water, monitoring of watercourses, polder lands, rivers of the Kaliningrad region

**ВВЕДЕНИЕ**

Калининградская область включает в себя порядка 100 тыс. га польдерных земель (70 % от всех польдерных земель РФ). Их плодородность привела к развитию на большинстве из них сельскохозяйственного комплекса, а климатические и ландшафтные особенности – к установке осушительных мелиоративных систем. Эти обстоятельства

---

<sup>1</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Institute of Living Systems, Universitetskaya str., 2, 236041, Kaliningrad, Russia; e-mail: [zotov.prof@gmail.com](mailto:zotov.prof@gmail.com)

<sup>2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. K.A. Timiryazev, Department of Meteorology and Climatology, Pryanishnikova str., 12 (educational building No. 18), 127550, Moscow, Russia; e-mail: [spirin1234567890@rambler.ru](mailto:spirin1234567890@rambler.ru)

способствуют возникновению пристального интереса к изучению речной сети, проходящей по этим землям, поскольку антропогенный фактор в виде сельского хозяйства и действующей осушительной гидромелиоративной сети может существенно повлиять на качество воды, а природные характеристики пойменных земель – обострить ситуацию. Одной из стратегических территорий региона можно назвать муниципальное образование «Славский городской округ» – далее Славский район. Он расположен на территории Неманской низменности и является самым крупным пойменным массивом региона – около 68 % от всех пойменных земель Калининградской области. Ввиду таких размеров, район включает достаточно большое количество водотоков, что оптимально подходит для проведения исследования.

Геоэкологическая оценка состояния речных бассейнов – важная задача в вопросах рационального природопользования. На сегодняшний день для такого вида исследований применяются матрицы оценки геоэкологического состояния, представляющие собой систему положительных и отрицательных воздействий, чья совокупность в дальнейшем выражается в балльной системе, на которой и базируется оценка состояния речных бассейнов [Büttner et al., 2020; Kuemmerlen et al., 2019]. Чем корректнее подобраны индикаторы, их вес и соответствующие баллы, тем сбалансированнее получится матрица, что даст более точный результат. Немало внимания стоит уделять химическому загрязнению воды как одному из основных индикаторов природных и антропогенных воздействий на территорию.

Химическое загрязнение – это несоответствие какого-либо химического показателя установленному нормативу. В данном вопросе следует разделять и учитывать как качественные химические показатели (концентрации химических веществ), так и количественные химические показатели (масса химических веществ). Если говорить о прямом использовании водотоков для удовлетворения человеческих нужд, то здесь преобладающее значение имеют качественные характеристики загрязнения. Если требуется получить представление об общей картине загрязнения, то на первый план выходят количественные характеристики загрязнения. Имея одинаковый уровень загрязнения, выраженный в концентрации химических элементов, нельзя ставить знак равенства между водотоком с малыми и большими значениями стока, поскольку крупная река несет в себе больше загрязняющих веществ, если интерпретировать их в виде массы.

Благодаря натурным систематическим исследованиям водотоков с последующим проведением лабораторных гидрохимических анализов воды, можно легко определить ее химический состав и выявить загрязнители, в то время как определение массы загрязняющих веществ, проходящих через речной створ, – задача достаточно нетривиальная. Существует ряд методик по определению этой величины, но все они должны основываться на разноплановой и емкой информационной базе, которая по изучаемому объекту почти полностью отсутствует [Брюханов и др., 2016; Лозовик и др., 2016; Терехов и др., 2019; Quilbe et al., 2006]. Поэтому особую актуальность приобретает вопрос разработки авторской методики, которая сможет нивелировать сложившийся дефицит данных при расчете массы загрязняющих веществ, проходящих через створ.

С использованием ряда других, не менее важных, индикаторов мы сможем получить оценку геоэкологического состояния малых водотоков по различным зонам исследуемого пойменного массива. В итоге будет создано картографическое обеспечение в этом направлении. Его можно использовать как элемент пространственного планирования данной территории и в решении некоторых научно-практических задач.

Цель работы – оценить геоэкологическое состояние бассейнов малых водотоков пойменных земель Славского района с дальнейшей картографической визуализацией ее пространственной дифференциации.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Чтобы дать объективную оценку геоэкологического состояния бассейнов малых водотоков полейдерных земель Славского района, необходимо составить матрицу геоэкологической оценки. В качестве ее критериев рассматриваются значимые для объекта исследования индикаторы антропогенного и природного воздействия. В нашем случае в основу создания матрицы для геоэкологической оценки лег ряд критериев из следующих работ [Белов, Зотов, 2008; Домнин, 2017; Седова, Рыбкина, 2018]. Также добавлен такой критерий как масса загрязняющих веществ, проходящая через створ.

Все критерии разделены на 4 взаимосвязанные группы: антропогенная нагрузка, загрязненность воды, способность территории к самоочищению, транзитная способность. В каждой из групп рассмотрены главные критерии и их интенсивность в балльной системе, требующие учета на исследуемой территории. Составная географическая единица, к которой будут применяться критерии, – это бассейны ключевых рек: Злая, Оса, Немонинка, Шлюзовая.

Загрязнение водотоков Славского района по большей части имеет нецентрализованный характер, так как основной источник поступления загрязняющих веществ – это стоки с сельскохозяйственных посевных площадей<sup>1</sup>. Такой тип сбросов сточных вод тяжело поддается контролю, из-за чего информация о них почти полностью отсутствует, а та, что есть, не может дать полной картины о массе поступающих загрязняющих веществ. Систематический гидрохимический мониторинг водотоков отсутствует, а гидрологические массивы данных представлены лишь по некоторым из них, что также усложняет ситуацию с расчетом этой величины стандартными методами. Поэтому для определения массы загрязняющих веществ нужно разработать методический подход, который будет работать в информационном дефиците.

За основу нашего метода взята концепция умножения средневзвешенной концентрации вещества на объем стока за год [Лозовик и др., 2016; Quilbe et al., 2006]. Это позволяет уйти от данных по поступлению веществ из различных источников как в работах [Брюханов и др., 2016; Терехов и др., 2019]. Метод, описанный в этих источниках (Institute of Limnology Load Model), доказал свою эффективность, но он требует очень много первоначальных данных. Несмотря на это, для расчета массы загрязняющих веществ через перемножение стока и концентрации необходимы наборы данных по названным составляющим. Также нужно перейти от массы вещества в целом к массе загрязняющих веществ, а также от загрязнений за год к загрязнениям по гидрологическим сезонам.

На базе наших полевых исследований получены новые комплекты гидрохимических характеристик по четырем гидрологическим сезонам за 2020–2021 гг. по контрольным и фоновым пунктам мониторинга рек: Злая, Оса, Немонинка, Шлюзовая [Зотов и др., 2021]. В качестве дополнительной информационной базы произведен ретроспективный анализ данных мониторинга за прошлые годы: р. Промысловая и р. Разлив (2013–2019 гг.) (данные предоставлены «Балттехмордирекцией» (Калининградский филиал) с разрешения заказчика услуг СПК «Рыболовецкий колхоз «Рыбак Балтики»); р. Матросовка и р. Товарная (2010 г.)<sup>2</sup>; канал М-51, М-39-1, р. Немонинка, р. Шлюзовая и р. Большаковка (лето 2012 г.) [Великанов и др., 2013]; р. Улитка, р. Заячья, р. Злая,

<sup>1</sup> Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2020 году». Калининград: ООО «ВИА Калининград», 2021. С. 86–96.

<sup>2</sup> Отчет о научно-исследовательской работе по государственному контракту № 617-к от 21.12.2009 г. Мониторинг трансграничных водных объектов Вислинской и Куршской лагун балтийского моря. Часть 1. Калининград 2010, С. 92–123.

р. Шлюзовая и р. Немонинка (весна 2010 г.) [Нагорнова, 2012]. Ретроспективная информация использовалась для построения зависимостей и пространственного распределения загрязнений речной сети, в сводной таблице геоэкологической оценки она участия не принимала.

Составлены и восстановлены гидрологические ряды среднегодовых расходов воды по р. Злая, р. Оса, р. Матросовка, р. Немонинка и рассчитаны их основные гидрологические характеристики водотоков [Спирин, 2021]. Проанализировано внутригодовое распределение стока рек [Спирин, 2020]. Построены связи между среднемесячными расходами и уровнями воды в реках и между среднемесячными расходами рек. Смоделированы ряды среднегодовых расходов воды р. Разлив и р. Промысловая с использованием данных о мгновенных кратковременных наблюдениях. В местах, по которым полностью отсутствуют какие-либо наблюдения и моделирование не даст должной точности, среднегодовые расходы были подобраны теоретически. В основу этого вычисления положены: измеренные во время полевых изысканий скорости течения воды, средняя ширина исследуемого створа (измеренная по картам), средняя глубина, полученная со специализированных форумов по рыбалке, и в некоторых случаях аналогия по створам.

Выявленные связи между стоком рек и закономерности его изменения, нормальное и стабильное протекание русловых процессов (размыв и заиление слабо влияют на поведение стока), однородность водного режима и прочие факторы позволяют проецировать некоторые гидрологические характеристики на другие реки. Например, проецирование внутригодового распределения стока на среднегодовые расходы, полученные с помощью моделирования и подбора.

Имея гидрологические, гидрохимические и геоэкологические характеристики, а также представления об источниках загрязнения, их относительной пространственной равномерности и стабильной динамике загрязнения, перейдем к расчету количественных показателей загрязнения. В начале рассчитываются абсолютные значения превышения концентрации загрязняющих веществ путем нахождения разности между концентрацией вещества и соответствующей ей норме ПДК<sup>1</sup>. Концентрации веществ получены во время проведения натурных гидрохимических исследований и ретроспективного анализа результатов прошлых лет. Далее определяются среднесезонные расходы воды в пунктах гидрохимического мониторинга с использованием полученных в работе результатов гидрологических исследований. По тем точкам мониторинга, у которых такая информация отсутствует, используем проецирование данных с изученных рек с применением выявленных связей и зависимостей. После этого можно получить количественные показатели загрязняющих веществ, проходящих через речной створ по каждому гидрологическому сезону.

Для нивелирования дефицита данных по исследуемому польдерному массиву и по другим массивам региона построим зависимости между массой загрязняющих веществ за сезон и абсолютными значениями концентрации загрязняющих веществ (рис. 1). Створы были разделены на 3 группы: со среднемноголетним расходом до 2 м<sup>3</sup>/с (группа 1); от 8 до 15 м<sup>3</sup>/с (группа 2) и более 100 м<sup>3</sup>/с (группа 3).

---

<sup>1</sup> Совмещенный список ПДК: СанПиН 2.1.4.1074-01 [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения 29.03.20); Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения 29.03.20).

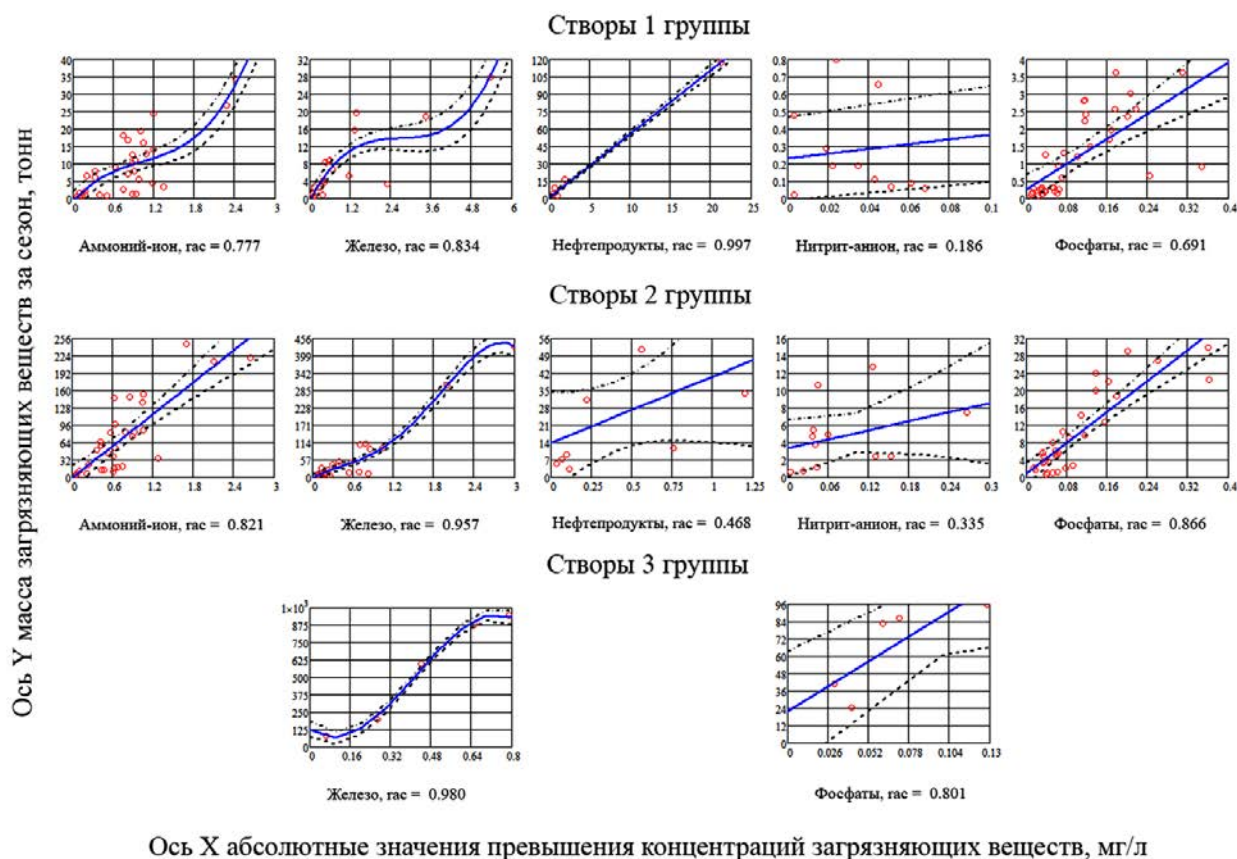


Рис. 1. Связи между массой загрязняющих веществ за сезон (тонн) и абсолютными значениями превышения концентраций загрязняющих веществ (мг/л). Точки – данные наблюдений; сплошная линия – уравнения регрессии; штрихпунктирная линия – нижний и верхний доверительный интервал;  $rac$  – коэффициент парной корреляции

Fig. 1. Relationship between the mass of pollutants for the season (tons) and the absolute values of excess concentrations of pollutants (mg/l). Points – are observational data; solid line – regression equations; dash-dotted line – lower and upper confidence intervals;  $rac$  – pair correlation coefficient

В расчете зависимостей использованы следующие комплекты гидрохимических данных: 32 пробоотбора по 14 химическим показателям в период с 2020 по 2021 гг. (данные проведенных натурных исследований); 52 пробоотбора по 12 химическим показателям в период с 2013 по 2019 гг.; 6 пробоотборов по 11 химическим показателям за 2010 г. (данные ретроспективного анализа результатов прошлых лет). В сумме 90 пробоотборов, включающих в себя 1138 химических показателей. Зависимость верифицирована, а относительные отклонения по 20 из 32 показателям не выходят за  $\pm 30\%$ . Граница в 30%, на наш взгляд, является приемлемой для такого вида расчетов и подойдет для первоначальной оценки количественных показателей загрязнения. Сезонами, в которых зависимости показали наибольшую точность, являются лето и зима, в них средняя относительная погрешность по всем веществам составила 21,60% и 22,50%. Наименьшую точность продемонстрировали весенний и осенний сезоны со средними относительными погрешностями по всем веществам – 41,20% и 31,08%.

Для применения таких зависимостей на другие водотоки следует очертить рекомендуемые границы применения. 1. Территория, по которой протекают водотоки, должна иметь схожие природно-хозяйственные условия с исследуемым нами польдерным массивом. 2. Водотоки должны иметь схожие гидрологические характеристики с теми водотоками, которые использовались для построения зависимостей. 3. Водотоки должны протекать по польдерным землям.

Если с концентрациями загрязняющих веществ и их интегральной оценкой все предельно понятно, то по поводу интегральной оценки массы загрязняющих веществ следует дать развернутое пояснение. Такая характеристика не так часто используется в водохозяйственной деятельности и нередко служит для демонстрации общей картины загрязнения, из-за чего нет нормированных критериев ее оценке. Самая близкая для региона практико-ориентированная деятельность, которая учитывает массы загрязняющих веществ, поступающих через водные объекты, – это снижение уровня загрязнения и уменьшение эвтрофикации Балтийского моря, что изложено в «Плане действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю»<sup>1</sup>. Несмотря на то, что такие вопросы выходят за рамки нашего исследования, квоты по поступлению загрязняющих веществ через водные объекты в Балтийское море, описанные в этом плане, одни из наиболее доступных условно предельных границ, позволяющих приближенно оценить состояние речной сети по показателю проходящих через нее масс загрязняющих веществ.

Квоты по биогенной нагрузке разработаны для различных стран, в том числе для РФ, и, в частности, для Калининградской области. Для РФ показатели нагрузки по азотным соединениям и фосфатам не должны превышать 10 380 и 3790 тонн в год, а для Калининградской области – 2498 и 481 тонн в год<sup>2</sup>. Реализация таких значений может считаться одним из идеальных вариантов для области в этом вопросе, что ведет к возможности использовать их для оценочной шкалы в качестве ее нижней границы. На сегодняшний день в регионе еще не достигнуты поставленные в рамках плана ХЕЛКОМ цели, и в среднем биогенная нагрузка по азотным соединениям и фосфатам составляет 10 903 и 779 тонн в год соответственно [Чубаренко и др., 2017]. Такие расхождения с квотами присущи и другим странам, с тем исключением, что у Калининградской области есть мощные геохимические барьеры, представленные двумя заливами, что уменьшает реальную нагрузку этих величин [Поздняков, Кондратьев, 2017; Чубаренко и др., 2017]. Без этих барьеров им можно было бы отвести середину оценочной шкалы, но с их учетом будет сделано смещение от центра на один пункт, в сторону нижней границы. Тем временем промежуточные части будут интерполированы.

Массы загрязнителей в исходном виде трудно сравнивать между собой и как-либо их трактовать и интерпретировать. Из этого следует необходимость преобразовать их в интегрально-унифицированное отношение массы загрязнителей к площади водосборного бассейна в единицу времени (тонн/км<sup>2</sup> в год). Площадь водосборного бассейна Балтийского моря на территории Калининградской области составляет 12 500 км<sup>2</sup> [Поздняков, Кондратьев, 2017]. Разделим квоты и среднюю биогенную нагрузку азотными соединениями и фосфатами в Калининградской области на это число, затем интегрируем

---

<sup>1</sup> HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration Taking Further Action to Implement the Baltic Sea Action Plan – Reaching Good Environmental Status for a healthy Baltic Sea [Электронный ресурс] URL: <https://helcom.fi/media/documents/2013-Copenhagen-Ministerial-Declaration-w-cover-1.pdf> (дата обращения 29.03.19).

<sup>2</sup> Deutch-Russischer Umwelntag Im Kaliningrader Gebiet 27. Oktober, 2017. Kaliningrader Gebiet und Helsinki-Konvention zum Schutz der Ostsee: Aufgaben, Ergebnisse und Probleme [Электронный ресурс] URL: <http://www.ubtsch.eu/> (дата обращения 29.03.19).

полученные значения в шкалу с присвоением соответствующих баллов. Прделаем ту же операцию с данными о загрязнении из нашей работы и сопоставим с получившейся шкалой. Площадь водосборного бассейна всех исследуемых рек – 1575,5 км<sup>2</sup>, а количество загрязнений в виде азотных соединений и фосфатов – 3597 и 351 тонн в год (учитывались лишь контрольные точки мониторинга). Также рассчитаем эти значения по частным бассейнам.

Критерии массы загрязняющих веществ рассмотрены по азотным соединениям и фосфатам. Это продиктовано тремя причинами: не перегружать матрицу геоэкологической оценки гидрохимическими показателями; данные группы загрязнений дают характеристику сельскохозяйственному воздействию на водотоки; лишь эти вещества удалось привести к интегральной оценке. Несмотря на это, массы других загрязняющих веществ тоже можно рассчитывать по выведенным зависимостям для решения других задач природопользования.

Стоит еще раз упомянуть, что таким способом мы хотим примерно оценить количественный уровень загрязнения химическими веществами, и эти данные нельзя использовать для расчета общей биогенной нагрузки на Балтийское море. Для такой работы стоит рассматривать лишь устьевые части водотоков и использовать комплексные методы, подходящие для решения именно этой задачи. Безусловно, загрязнители в исследуемых водотоках достигнут Куршского залива, но уже явно в другом количестве.

Данные по другим критериям получены и рассчитаны на основе Генеральной схемы санитарной очистки территории муниципального образования «Славский городской округ»<sup>1</sup>. Все картосхемы построены стандартными картографическими методами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Антропогенная нагрузка.** В данную группу объединены индикаторы, которые характеризуют процессы человеческой деятельности, прямо и опосредованно влияющие на качество воды. Здесь мы выделяем 4 индикатора: 2 общих и 2 целевых. К общим индикаторам можно отнести: плотность населения (ПН, чел/км<sup>2</sup>) и плотность промышленного производства (ПП, млн. руб./км<sup>2</sup>). Целевые индикаторы, связанные с сельским хозяйством, учитывают направления земледелия и животноводства, выраженные следующими параметрами: распаханность (Расп, %) и животноводческая нагрузка (ЖН, усл. гол/км<sup>2</sup>). Такая структура даст емкую характеристику антропогенной нагрузки.

Плотность населения территории всегда вносит свои корректировки в процессы исследования состояния окружающей среды. Деятельность населения влечет за собой различного типа негативную нагрузку. Это отходы коммунально-бытового характера, влияние транспорта и городской инфраструктуры, вмешательство в природный баланс и прочее. Поэтому такой показатель рассматривается одним из первых в вопросах антропогенного воздействия [Рыбкина, Стоящева, 2010].

Промышленность в районе исследования слабо развита, но производственные отрасли, из-за их специфики и потенциального вреда природе, требуют особого внимания. Если такой индикатор не главенствующий на территории, проще всего его выразить через плотность промышленного производства [Рыбкина, Стоящева, 2010].

---

<sup>1</sup> Генеральная схема санитарной очистки территории муниципального образования «Славский городской округ» [Электронный ресурс] <http://slavsk.info> > wp-content > uploads > 2019/03 (дата обращения 29.03.19); Географический атлас Калининградской области / Гл. ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ, ЦНИТ, 2002. 276 с; Инвестиционная стратегия муниципального образования «Славский городской округ» на период до 2030 года [Электронный ресурс] URL: <https://slavsk.info/statistika-i-strategija-socialno-jekonomicheskogo-razvitiya> (дата обращения 29.03.19).



Ведущей отраслью Славского района является сельское хозяйство. Для питания растений вносятся как органические (чаще всего, фекальные отходы животноводства), так и минеральные (концентрированные химические) элементы. В результате внесения удобрений на сельскохозяйственные земли происходит формирование основных диффузных источников загрязнения поверхностных вод. Загрязнение возникает в результате избыточного внесения удобрений, которые не усваиваются растениями и смываются водотоками, что приводит к цветению сине-зеленых водорослей и, как следствие, к эвтрофикации водоемов [Домнин, 2017]. Поэтому при геоэкологической оценке исследуемой территории необходимо учитывать в качестве индикатора процент распаханности земель, поскольку с ростом этого процента увеличивается и количество вносимых удобрений.

Животноводство – это еще один весомый аспект сельского хозяйства, который может серьезно отражаться на геоэкологическом состоянии водотоков. Отходы животноводства могут попадать в речные воды различными путями: с водами поверхностного стока (дождевыми и тальми снеговыми) с территорий ферм, а также с полей, удобренных навозом, при аварийных сбросах из навозохранилищ и при переполнении отстойников и т.д. Попадая в речные воды, отходы животноводства повышают содержание в ней соединений азота, фосфора и органических веществ [Симонян и др., 2015]. Поэтому здесь самым весомым фактором для учета может считаться количество скота на единицу площади.

**Загрязненность воды.** Один из конечных результатов всех оказываемых на водотоки воздействий – это качество воды. Группа критериев качества сформирована тремя показателями: одним качественным и двумя количественными. Качественным индикатором является превышение концентрации загрязняющих веществ (ИЗВ), а количественными – масса загрязняющих веществ по азотным соединениям и фосфатам (МЗВН и МЗВР, т/км<sup>2</sup> за год).

На наш взгляд, это один из самых важных индикаторов в матрице, и при этом по нему наблюдается наибольший информационный дефицит в районе исследований. Почти полностью отсутствуют актуальные и, что не менее важно, систематические данные гидрохимических наблюдений, которые бы смогли четко охарактеризовать речные бассейны малых водотоков Славского района. Необходимые комплекты гидрохимических данных были получены нами во время полевых исследований по четырем гидрологическим сезонам в 2020–2021 гг., по фоновым и контрольным пунктам мониторинга, а также рассчитаны соответствующие интегральные показатели качества воды [Зотов и др., 2021]. Для наглядности построена схема пространственного распределения загрязнений с использованием натуральных и ретроспективных данных наблюдений (рис. 2).

Качество воды, оцениваемое через превышение ПДК химических веществ, – основополагающий показатель в научной и водохозяйственной деятельности. Этот показатель берется во внимание при планировании антропогенного использования водотоков для питьевых и рыбохозяйственных нужд и в некоторых видах гидротехнического строительства. С помощью него можно отследить источники негативного влияния на водотоки и их интенсивность. Основываясь на этих сведениях, можно более точно подобрать водоочистные и водоохраные мероприятия, а при поддержке других индикаторов – достаточно точно его интерпретировать.

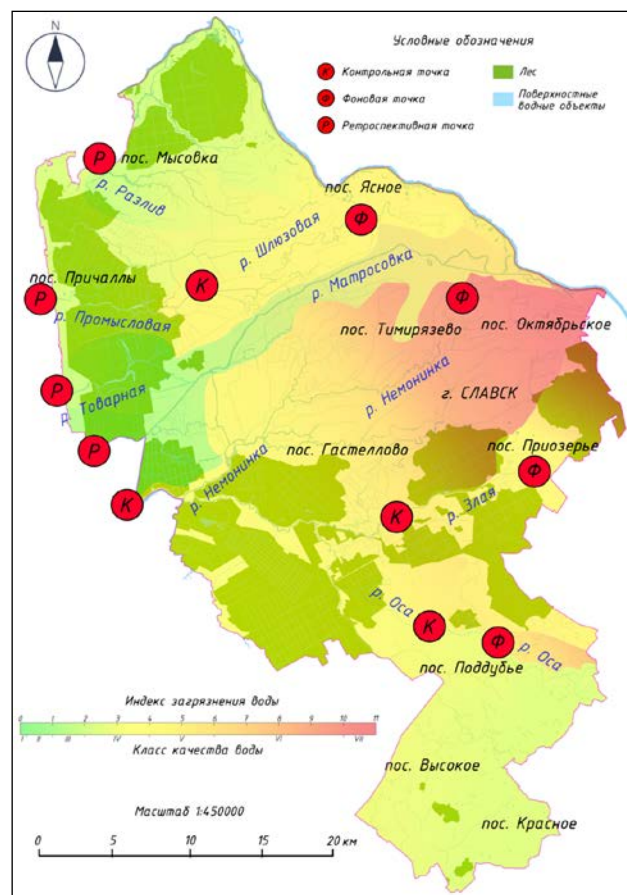


Рис. 2. Пространственное распределение загрязнений речной сети Славского района  
 Fig. 2. Spatial distribution of pollution in the river network of the Slavsky District

**Транзитная способность.** Транзитная способность рек – это тот параметр, который позволяет принять во внимание перемещения загрязняющих веществ. С одной стороны, она помогает нейтрализовать загрязняющие вещества путем выноса их с территории самой речной сети. С другой стороны, на полюдерных сельскохозяйственных территориях это скорее негативный фактор, так как основные ее составляющие увеличивают вероятность попадания загрязнителей и их распространение на них, а небольшие скорости и нахождения в низине усложняют их вывод. В этой группе мы решили принять во внимание модуль стока (МС, л/с·км<sup>2</sup>) и густоту речной сети (ГРС, км/км<sup>2</sup>).

Модуль стока воды – один из важных гидрологических показателей, характеризующий количество воды, стекающее с единицы площади в единицу времени. С учетом сельскохозяйственного использования, этот индикатор косвенно показывает, сколько воды поступает с прилегающих территорий и сколько вымывается удобрений и продуктов животноводческого происхождения. Поэтому с ростом стока увеличивается и поступление загрязняющих веществ.

Густота речной сети зависит от геологического строения и рельефа местности, общего увлажнения территории, растительного и почвенного покровов, а также от антропогенной деятельности (в результате искусственного сооружения каналов). Существующая на территории речная сеть, с одной стороны, дает возможность водопотребления, а с другой – является естественной системой дренажа сточных вод [Домнин, 2017]. Это также увеличивает распространение и повышает вероятность попадания загрязнений.

**Способность территории к самоочищению.** В любой подобной матрице по геоэкологической оценке следует также рассматривать те стороны территории, которые помогают или мешают снимать негативную нагрузку с исследуемых участков. Очень полезной является способность территории к самоочищению. Здесь будут рассмотрены процессы, увеличивающие самоочищение и замедляющие его. К аспектам, которые уменьшают самоочищение, относим: заболоченность (Забл, %) и уровень грунтовых вод (УГВ, м). На польдерных землях эти процессы больше всего препятствуют самоочищению водотоков. Факторы, увеличивающие самоочищение: лесистость и озерность (Лес и Озер, %).

Болота хоть и считаются естественными фильтрами воды и санитарами агроэкосистем, но это не всегда работает так однозначно. В нашем случае заболачиваемость скорее негативный фактор. Поверхностные водные объекты и грунтовые воды фактически находятся на одном уровне, что приводит к активному водообмену между ними. И все те загрязняющие вещества, которые аккумулируются в болотах и не успели отфильтроваться, попадают в реки за счет вымывания дождями или через подземные воды. Сами болотные воды, попадая в поверхностные воды, негативно влияют на них из-за более насыщенного химического состава. Ко всему прочему, факт наличия большого количества болот на осушаемых польдерных землях свидетельствует об ошибках мелиорации, что может привести к затопляемости, которая внесет свои негативные коррективы в речную сеть.

То же можно сказать про грунтовые воды, которые расположены очень близко к поверхности земли. Они сильно обогащены железом [Глуценко, 2008], а из-за их неглубокого залегания, оно попадает в водотоки и водоемы, ухудшая качество воды. Такие уровни залегания грунтовых вод приводят к образованию вымочек и заболачиванию, что в дальнейшем неблагоприятно влияет на химический состав поверхностных вод.

Основной функцией озер является их способность регулировать сток протекающих через них рек, когда вода задерживается в половодье и в паводки и отдается в другие периоды, тем самым нивелируются колебания уровня водной поверхности. Способность озер, прудов и водохранилищ к самоочищению заключается в свойствах задерживать в своей котловине взвешенные и растворенные вещества, приносимые реками. Таким образом, эти гидрологические объекты выступают природным фильтром на пути распространения загрязнителей. Рост этого показателя увеличивает самоочищение [Домнин, 2017].

Позитивное воздействие лесной растительности на качество поверхностных и подземных вод – распространенное явление в живой природе<sup>1</sup>. Наиболее весомый вклад в гидрологические характеристики водосборных экосистем леса вносят тем, что поддерживают высокое качество воды, минимизируют эрозию почвы, сокращают количество наносов и отложений в водоемах и водотоках и удерживают или фильтруют другие загрязняющие вещества при прохождении воды через лесную подстилку. Это также фиксируется и в нашем исследовании, как видно из рисунка 1, в зонах, где располагаются леса, качество воды улучшается.

**Оценка геоэкологической ситуации.** Все описанные критерии оценки геоэкологического состояния бассейнов малых водотоков Славского района и их интенсивность в баллах, представлены в таблице 1.

---

<sup>1</sup> Леса и вода. Записка рабочей группы по комплексному управлению водными ресурсами. Материалы совещания сторон конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. Рим, 22–24 октября 2008 г. 9 с.

Табл. 1. Критерии оценки геоэкологического состояния бассейнов малых водотоков Славского района и их интенсивность в баллах

Table 1. Criteria for assessing the geoeological state of the basins of small watercourses in the Slavsky District and their intensity in points

Критерии	Баллы						
	1	2	3	4	5	6	7
ПН, чел/км <sup>2</sup>	≤ 0,1	0,2–1,0	1,1–5,0	5,1–10,0	10,1–25,0	25,1–50,0	> 50,0
ПП, млн. руб./км <sup>2</sup>	≤ 0,01	0,02–0,1	0,2–1,0	1,1–3,0	3,1–4,0	4,1–5,0	> 5,0
Расп, %	≤ 0,1	0,2–1,0	1,1–5,0	5,1–15,0	15,1–40,0	40,1–60,0	> 60,0
ЖН, усл. гол/км <sup>2</sup>	≤ 0,1	0,2–1,0	1,1–2,0	2,1–3,0	3,1–6,0	6,1–10,0	> 10,0
ИЗВ	≤ 0,1	0,2–1,0	1,1–2,0	2,1–4,0	4,1–6,0	6,1–10,0	> 10,0
МЗВН, т/км <sup>2</sup> в год	≤ 0,2	0,3–0,5	0,6–0,9	1,0–2,0	2,1–3,0	3,1–4,0	> 4,0
МЗВР, т/км <sup>2</sup> в год	≤ 0,03	0,04–0,05	0,06–0,07	0,08–0,09	0,10–0,20	0,21–0,30	> 0,30
МС, л/с·км <sup>2</sup>	≤ 5,0	5,1–5,4	5,5–5,8	5,9–6,2	6,3–6,6	6,7–7,0	> 7
ГРС, км/км <sup>2</sup>	≤ 0,83	0,84–0,94	0,95–1,04	1,05–1,14	1,15–1,24	1,24–1,34	> 1,34
Забл, %	≤ 0,1	0,2–1,5	1,6–3,0	3,1–5,0	5,1–7,5	7,6–10	> 10,0
УГВ, м	> 5,0	5,0–4,1	4,0–3,1	3,0–,1	2,0–1,1	1,0–0,5	≤ 0,4
Лес, %	> 60,0	60,0–40,1	40,0–15,1	15,0–5,1	5,0–1,1	1,0–0,2	≤ 0,1
Озер, %	> 1,5	1,5–1,3	1,2–1,0	0,9–0,7	0,6–0,4	0,3–0,1	≤ 0,05

Оценка произведена в рамках исследуемых бассейнов (А1–А4). В местах, где бассейны не изучались, рассчитано и применено осредненное значение оценки (Аобщ). Для «Аобщ», из-за большой плотности речной сети, нет необходимости производить расчеты указанных критериев относительно каждого речного бассейна, целесообразней сделать их относительно общей площади Славского района. В качестве исключения можно рассматривать количество загрязняющих веществ, потому что в его определении участвовали лишь характерные водотоки, и здесь нужно произвести расчеты относительно изученных площадей речных бассейнов.

Из результатов нашего исследования и данных из источников, представленных в «Материалах и методах», все имеющиеся параметры внесены в сводную таблицу и оценена их интенсивность (табл. 2).

Табл. 2. Оценка интенсивности учтенных геоэкологических индикаторов водосборной площади Славского района по заданным критериям

Table 2. Assessment of the intensity of the considered geoeological indicators of the catchment area of the Slavsky District according to the specified criteria

Критерии	Значение критерия					Балл по критерию				
	А1	А2	А3	А4	Аобщ	А1	А2	А3	А4	Аобщ
ПН, чел/км <sup>2</sup>	62,1	5,0	15,2	57,1	14,10	7	3	5	7	5
ПП, млн. руб./км <sup>2</sup>	0,16	0,00	2,10	0,00	1,15	3	1	4	1	4
Расп, %	40,00	1,00	18,40	33,90	19,44	5	1	5	5	5
ЖН, усл. гол/км <sup>2</sup>	25,40	0,00	11,70	25,66	12,60	7	1	7	7	7

ИЗВ	3,44	4,71	14,17	4,56	6,71	4	5	7	5	6
МЗВН, т/км <sup>2</sup> в год	0,09	0,76	2,24	7,42	2,28	1	3	5	7	5
МЗВР, т/км <sup>2</sup> в год	0,01	0,01	0,20	0,64	0,22	1	1	5	7	6
МС, л/с·км <sup>2</sup>	6,00	5,90	5,90	5,90	5,90	4	4	4	4	4
ГРС, км/км <sup>2</sup>	1,25	1,25	1,25	1,10	1,20	6	6	6	4	5
Забл, %	10	10	10	10	10	7	7	7	7	7
УГВ, м	1,0	1,0	1,0	0,5	0,7	6	6	6	6	6
Лес, %	7,27	34,50	38,06	0,00	29,30	4	3	3	7	3
Озер, %	0,20	0,20	0,20	0,75	0,50	6	6	6	4	5
Σ баллов	–	–	–	–	–	61	47	70	71	68

Для оценки геоэкологического состояния речной сети Славского района использована следующая градация состояний: 13–26 баллов – *удовлетворительное*; 27–40 баллов – *слабо напряженное*; 41–54 баллов – *напряженное*; 55–68 – *сильно напряженное*; 69–82 баллов – *конфликтное*; 83 и выше – *критическое*. Полученные оценки геоэкологического состояния речной сети Славского района нанесены на (рис. 3).

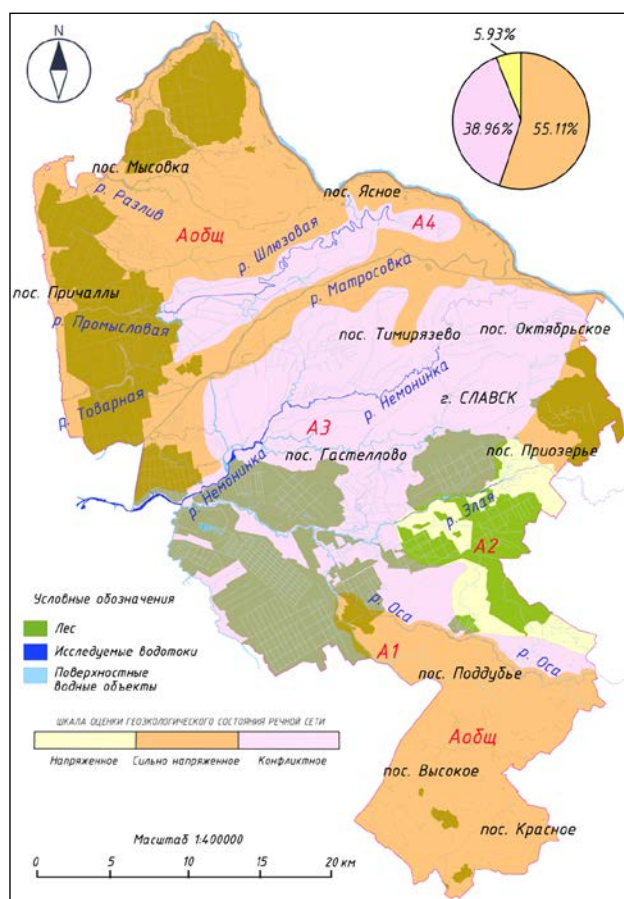


Рис. 3. Пространственная дифференциация геоэкологического состояния бассейнов малых водотоков Славского района

Fig. 3. Spatial differentiation of the geoecological state of the basins of small watercourses in the Slavsky District

## ВЫВОДЫ

Разработан методический подход для получения геоэкологического индикатора, представленного количественным показателем загрязняющих химических веществ в поверхностных водотоках. В основу подхода положен сопряженный анализ гидрологических, гидрохимических и геоэкологических данных. Его использование позволяет оценивать геоэкологическое состояние малых водотоков и их бассейнов в условиях недостатка информации на польдерных землях.

Получены расчетные зависимости, позволяющие находить количественные характеристики загрязнения в реках других польдерных районов, с учетом обозначенных границ применения. При сравнении результатов, полученных по ним и с использованием верифицированного метода, относительные отклонения в большинстве случаев не выходят за  $\pm 30\%$ . В летние и зимние периоды средняя относительная погрешность по загрязняющим веществам составила 21,60 % и 22,50 %. Весной и осенью средние относительные погрешности по всем веществам составили 41,20 % и 31,08 %. Среди показателей, самая низкая точность зафиксирована по нитритам, что связано с низким коэффициентом парной корреляции применяемой зависимости.

Основные отличия методического подхода заключаются в следующем:

1. Проведен детальный анализ гидрологической информации по ключевым рекам объекта исследования (р. Злая, р. Оса, р. Матросовка, р. Немонинка), позволяющий нивелировать отсутствие таковой по отдельным участкам речной сети при расчете количественных характеристик загрязнения.

2. С использованием данных по количественным характеристикам загрязнения построены зависимости, которые можно применять к водотокам объекта исследований и в рамках определенных границ методического подхода – к водотокам других польдеров.

3. Количественные характеристики загрязняющих веществ можно получать не за целый год, а по каждому гидрологическому сезону.

Сформирована шкала интегральной оценки количественных показателей загрязняющих веществ в воде по азотным соединениям и фосфатам. Выявлена и картографически отображена пространственная дифференциация геоэкологического состояния бассейнов малых водотоков Славского района по 13-ти критериям, разделенным по взаимосвязанным группам: антропогенная нагрузка, качество воды, способность территории к самоочищению, транзитная способность. Геоэкологическое состояние изученных водотоков и их водосборов характеризуется как «сильно напряженное»: для р. Оса – «сильно напряженное» (3,95 % земель); для р. Злая – «напряженное» (5,93 % земель); в бассейнах рек Шлюзовая и Немонинка – «конфликтное» (38,96 % земель), остальная площадь – «сильно напряженное» (51,16 % земель).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов Н.С., Зотов С.И. Оценка гидроэкологического состояния речных систем Калининградской области. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2008. № 1. С. 6–16.
2. Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Обломкова Н.С. и др. Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты. Теоретический и научно-практический журнал. ИАЭП. 2016. Вып. 89. С. 175–182.
3. 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. С. 18–26.

4. *Глущенко А.И.* Экологическое состояние и качество подземных вод Калининградского скважинного водозабора. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2008. № 1. 28 с.
5. *Домнин Д.А.* Геоэкологическая оценка и районирование водосборных бассейнов Калининградской области: дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 2017. С. 9–16.
6. *Зотов С.И., Спириин Ю.А., Таран В.С., Королева Ю.В.* Гидрологические особенности и геоэкологическое состояние малых водотоков польдерных территорий Калининградской области. Географический вестник. 2021. № 3 (58). С. 92–106.
7. *Лозовик П.А., Бородулина Г.С., Карпечко Ю.В.* и др. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений. Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 5. С. 35–52.
8. *Нагорнова Н.Н.* Геоэкологическая оценка состояния малых водотоков Калининградской области: дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 2012. С. 8–19.
9. *Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А.* Формирование биогенной нагрузки на Балтийское море с российской территории и возможности ее снижения в соответствии с требованиями плана действий ХЕЛКОМ. Региональная экология. 2017. № 1 (47). 66 с.
10. *Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В.* Оценка антропогенной нагрузки на водосборную территорию верхней и средней Оби. Мир науки, культуры и образования. 2010. № 6 (25). С. 295–298.
11. *Седова Е.Ю., Рыбкина И.Д.* Особенности использования водных ресурсов и оценка антропогенной нагрузки в бассейне реки Чумыш. Водное хозяйство России. 2018. № 6. С. 28–38.
12. *Симолян Г.С., Исахаян М.С., Пирумян Г.П.* Влияние животноводства Иджеванского района на гидрохимические показатели воды реки Агстев. Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод: материалы науч. конф. с междунар. уч. Ростов-на-Дону: Изд-во ФГБУ «Гидрохимический институт», 2015. С. 113–115.
13. *Спириин Ю.А.* Анализ внутригодового распределения стока рек Славского района Калининградской области. Региональные геосистемы. 2020. Т. 44. № 2. С. 231–242.
14. *Спириин Ю.А.* Гидрологические характеристики речного стока в геоэкологических исследованиях поверхностных вод Славского района калининградской области. Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31. № 2. С. 185–197.
15. *Терехов А.В., Обломкова Н.С., Шмакова М.В.* и др. Внешняя и внутренняя фосфорная нагрузка на Дудерговские озера. Ученые записки РГГМУ. 2019. № 54. С. 58–72.
16. *Чубаренко Б.В., Кондратьев С.А., Брюханов А.Ю.* Биогенная нагрузка на Балтийское море с Российской территории водосборов Калининградского/Вислинского и Куршского заливов. Известия Русского географического общества. 2017. Вып. 4. С. 69–79.
17. *Büttner O., Jawitz J.W., Borchardt D.* Ecological status of river networks: stream order-dependent impacts of agricultural and urban pressures across ecoregions. Environ. Res. Lett. 2020. 15. 1040b3. P. 1–12.
18. *Kuemmerlen M., Reichert P., Siber R., Schuwirth N.* Ecological assessment of river networks: From reach to catchment scale. Science of The Total Environment. 2019. 650. P. 1613–1627.
19. *Quilbe R., Rousseau A.N., Duchemin M. et al.* Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: Application to the Beaurivage River (Que'bec, Canada). Journal of Hydrology. 2006. 326 (1). P. 295–310.

## REFERENCES

1. *Belov N.S., Zotov S.I.* Assessment of the hydroecological state of the river systems of the Kaliningrad region. Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant. Series: Natural and medical sciences. 2008. No. 1. P. 6–16 (in Russian).
2. *Bryukhanov A.Yu., Kondratiev S.A., Oblomkova N.S. et al.* Methodology for determining the biogenic load of agricultural production on water bodies. Theoretical and scientific-practical journal. IAEP. 2016. Iss. 89. P. 175–182 (in Russian).
3. *Büttner O., Jawitz J.W., Borchardt D.* Ecological status of river networks: stream order-dependent impacts of agricultural and urban pressures across ecoregions. Environ. Res. Lett. 2020. 15. 1040b3. P. 1–12.
4. *Chubarenko B.V., Kondratiev S.A., Bryukhanov A.Yu.* Biogenic load on the Baltic Sea from the Russian territory of the watersheds of the Kaliningrad/Vistula and Curonian lagoons. Proceedings of the Russian Geographical Society. 2017. Iss. 4. P. 69–79 (in Russian).
5. *Domnin D.A.* Geocological assessment and zoning of watersheds in the Kaliningrad region: dis. ... cand. geogr. sci. Kaliningrad. 2017. P. 9–16 (in Russian).
6. *Glushchenko A.I.* Ecological state and quality of underground waters of the Kaliningrad borehole water intake. Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant. Series: Natural and medical sciences. 2008. No. 1. 28 p. (in Russian).
7. *Kuemmerlen M., Reichert P., Siber R., Schuwirth N.* Ecological assessment of river networks: From reach to catchment scale. Science of The Total Environment. 2019. 650. P. 1613–1627.
8. *Lozovik P.A., Borodulina G.S., Karpechko Yu.V.* Biogenic load on Lake Onega according to field observations. Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016. No. 5. P. 35–52 (in Russian).
9. *Nagornova N.N.* Geocological assessment of the state of small watercourses in the Kaliningrad region: dis. ... cand. geogr. sci. Kaliningrad. 2012. P. 8–19 (in Russian).
10. *Pozdnyakov Sh.R., Kondratiev S.A.* Formation of the nutrient load on the Baltic Sea from the Russian territory and the possibility of its reduction in accordance with the requirements of the HELCOM action plan. Regional Ecology. 2017. No. 1 (47). 66 p. (in Russian).
11. *Quilbe R., Rousseau A.N., Duchemin M. et al.* Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: Application to the Beaurivage River (Que'bec, Canada). Journal of Hydrology. 2006. 326 (1). P. 295–310.
12. *Rybkina I.D., Stoyashcheva N.V.* Assessment of anthropogenic load on the catchment area of the upper and middle Ob. World of science, culture and education. 2010. No. 6 (25). P. 295–298 (in Russian).
13. *Sedova E.Yu., Rybkina I.D.* Peculiarities of the use of water resources and assessment of anthropogenic load in the Chumysh river basin. Water Economy of Russia. 2018. No. 6. P. 28–38 (in Russian).
14. *Simonyan G.S., Isakhayan M.S., Pirumyan G.P.* Influence of animal husbandry in the Ijevan region on the hydrochemical indicators of the water of the Aghstev River. Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality: scientific materials. conf. with international uch. Rostov-on-Don: Publishing House of the Federal State Budgetary Institution “Hydrochemical Institute”, 2015. P. 113–115 (in Russian).
15. *Spirin Yu.A.* Analysis of the intra-annual distribution of river runoff in the Slavsky District of the Kaliningrad region. Regional geosystems. 2020. Vol. 44. No. 2. P. 231–242 (in Russian).
16. *Spirin Yu.A.* Hydrological characteristics of river runoff in geocological studies of surface waters of the Slavsky District of the Kaliningrad region. Bulletin of the Udmurt University. Ser. Biology. Earth Sciences. 2021. Vol. 31. No. 2. P. 185–197 (in Russian).



17. *Terekhov A.V., Oblomkova N.S., Shmakova M.V. et al.* External and internal phosphorus load on the Dudergovskie lakes. *Uchenye zapiski RGGU*. 2019. No. 54. P. 58–72 (in Russian).
  18. *Velikanov N.L., Naumov V.A., Markova L.V., Smirnova A.A.* Results of field studies of small watercourses on reclaimed lands of the region. *Water: chemistry and ecology*. 2013. No. 7. P. 18–26 (in Russian).
  19. *Zotov S.I., Spirin Yu.A., Taran V.S., Koroleva Yu.V.* Hydrological features and geoecological state of small watercourses in the polder territories of the Kaliningrad region. *Geographic Bulletin*. 2021. No. 3 (58). P. 92–106 (in Russian).
-