

УДК 504.064.2

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛОЙ РЕКИ: ОЦЕНКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ ИНДЕКСОВ

А. В. Козлова, Н. В. Зуева

Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, Россия

Проведено построение композитного индекса для оценки экологического состояния малой реки. Апробация индекса выполнена для реки Ижоры (Ленинградская обл. и г. Санкт-Петербург). Композитный индекс рассчитан на основе методов сводных показателей. Для анализа использованы гидрохимические и гидробиологические – биоиндикационные и биотестовые (токсикологические) характеристики. Первоначально была проведена оценка качества вод на различных станциях водотока на основе единичных гидрохимических и гидробиологических оценок. Исток реки по значению индекса загрязненности воды (ИЗВ) и индекса ВІ характеризуется как «чистый». Однако здесь зафиксировано преобладание олигохет в донных сообществах. Участки верхнего и среднего течения р. Ижоры по гидрохимическим и гидробиологическим характеристикам более благополучны. Здесь самые низкие значения сапробности (в диапазоне 2,56–2,86). По значению олигохетного индекса воды отнесены к «чистым». Индекс Вудивисса оценивает воду в диапазоне «чистая» – «умеренно загрязненная». Устьевой участок имеет самые высокие значения индекса сапробности (3,50) и олигохетного индекса (98 %). По значению индекса Вудивисса его воды отнесены к классу «грязные». Такие результаты хорошо соотносятся с оценкой качества вод по гидрохимическим показателям – здесь зафиксированы повышенные значения БПК₅ и низкое содержание кислорода, высок индекс загрязненности воды. Для интегральной экологической оценки в работе предложена модель-классификация состояния водотока. В качестве приоритетных признаков в ней использовались: ИЗВ, индекс сапробности по Чертопрудю, олигохетный индекс Гуднайта – Уитли в модификации Пареле, биотический индекс Вудивисса и результаты биотестирования природной воды с использованием *Chlorella vulgaris* Beijerinck и *Paramecium caudatum* Ehrenberg. Расчет индекса проведен для пяти категорий экологического состояния. В результате расчета композитного индекса для р. Ижоры установлено, что благополучное экологическое состояние характерно для створов, расположенных в ее среднем течении. Истоковая область характеризуется удовлетворительным экологическим состоянием. Неудовлетворительное экологическое состояние определено для устьевой области, что подтверждается не только повышенным содержанием загрязняющих веществ, но и наличием токсического действия. Также этот участок отличается преобладанием видов – индикаторов сапробного загрязнения, минимальным видовым богатством представителей макрозообентоса.

Ключевые слова: интегральная оценка экологического состояния; р. Ижора; г. Санкт-Петербург; загрязнение; качество воды; макрозообентос; биоиндикация; биотестирование; индекс загрязненности воды.

A. V. Kozlova, N. V. Zueva. ECOLOGICAL STATUS OF A SMALL RIVER: EVALUATION USING COMPOSITE INDICES

This work focuses on the evaluation of the ecological status of the Izhora River using composite indices. The river's hydrochemical and hydrobiological (bioindication and bioassay) characteristics were analyzed. The composite index was calculated using the method of summary indicators. Initially, the water quality was estimated on the basis of single hydrochemical and hydrobiological characteristics. The source area of the river is characterized as "clean" by the values of the water pollution index and the biotic index. However, there was a predominance of oligochaetes in the bottom communities. The upper- and middle reaches of the Izhora River are in a more favourable condition judging by hydrochemical and hydrobiological characteristics. The lowest recorded values of saprobity were in the 2.56–2.86 range. According to the oligochaete index, the water is classified as "clean". The Woodiwiss index places the water into the "clean" – "moderately polluted" range. Water in the river mouth has the highest values for the saprobity index (3.50) and the oligochaete index (98 %). According to the Woodiwiss index, the water is classified as "dirty". Such results are well correlated with the evaluation of water quality by hydrochemical indicators. There are high levels of organic substances (4x maximum permissible concentrations) and low oxygen content, high water pollution index ("moderately polluted" quality class). Next, a classification model was proposed for obtaining an integral value of the ecological status of the watercourse. Its priority parameters are: water pollution index; Pantle – Buck saprobity index modified by Chertoprud; Goodnight – Whitley Index (modified by Parele); Woodiwiss Biotic Index (Trent Biotic Index), and results of natural water bioassay using *Chlorella vulgaris* Beijer and *Paramecium caudatum* Ehrenberg. The index was calculated for five categories of the ecological status. Calculations of the composite index revealed that a good ecological status is characteristic of channels in the middle course. The source area of the river is in satisfactory ecological condition according to the value of the integral index. As the river originates from a spring, the area is characterized by low oxygen content and, consequently, a predominance of organisms resistant to its deficiency. The ecological status of the mouth section of the river is poor. This is evidenced not only by the exceedance of regulatory limits for the main pollutants and toxic effects, but also by the presence of indicator species of saprobic pollution and very low species richness of macrozoobenthos.

Key words: integral evaluation of ecological status; Izhora River; St. Petersburg; contamination; water quality; macrozoobenthos; bioindication; bioassay; water pollution index.

Введение

Малые реки – первое звено формирования водных ресурсов. Во многих регионах, в том числе в г. Санкт-Петербурге, эти водотоки определяют гидрологическую и гидрохимическую специфику крупных и средних рек. Экосистемы таких малых водотоков наиболее хрупкие и уязвимые к внешнему воздействию.

Протекая по территории населенных пунктов, промышленных зон, сельских районов, малые реки становятся приемниками сточных вод различного происхождения. Это определяет многокомпонентность их химического состава и изменения в речной биоте. Поэтому целесообразно использовать комплексные методы и интегральную оценку, анализируя их экологическое состояние [Амаро Медина, Дмитриев..., 2019]

Разработано значительное число методов, используемых для оценки свойств водных экосистем. Наиболее распространены в гидро-

экологических исследованиях две их группы: физико-химические и биологические. Каждая имеет свои достоинства и недостатки, поэтому при оценивании сложных свойств экосистем наиболее целесообразным является совместное использование этих методов. Они взаимно дополняют друг друга и обеспечивают получение наиболее объективных результатов.

Примеры совместного использования гидрохимических и биологических методов встречаются в работах многих авторов. Как правило, большинство таких оценок основаны на покомпонентной оценке качества вод, расчете комплексных индексов или балльных оценках [Дмитриев, 2000; Гелашвили и др., 2002; Даирова, Зинченко, 2010; Дмитриев, Огурцов, 2013; Засыпкин и др., 2018; Дмитриев и др., 2020].

Еще одной разновидностью методов анализа свойств водных экосистем являются комбинированные индексы. Применение такого подхода позволяет проводить оценку интегративных

свойств сложных систем, которыми и являются водные экосистемы. Построение композитных индексов на основе совместного использования ряда характеристик является одним из наиболее объективных и достоверных методов оценки экологического состояния. Понятие «композитный индекс» имеет экономическое происхождение [Митяков, Корнилов, 2010]. В геоэкологических исследованиях этот термин отождествляется с понятием «интегральный показатель» [Дмитриев и др., 2020]. Концепция композитных индексов применяется как за рубежом [Brousmitche et al., 2020], так и в нашей стране [Дмитриев и др., 2020]. В работе [Пленкина и др., 2020] приведены примеры использования композитного индекса для оценки экологического статуса водоемов.

Таким образом, целью работы было построение композитного индекса для оценки экологического состояния малого водотока и апробация индекса для р. Ижоры.

Материалы и методы

Географическим объектом исследования в данной работе является малая река северо-запада европейской части России – р. Ижора. Это левый приток р. Невы, его длина 76 км, водосборная площадь 1000 км² [Схема..., 2010]. Берет свое начало на Ижорской возвышенности в области распространения карста.

Административно река протекает как по территории Ленинградской области (Гатчинский и Тосненский районы), так и г. Санкт-Петербурга (Колпинский район).

Это хозяйственно освоенные, урбанизированные территории, деятельность человека на которых влияет на экосистему водотока. Река принимает сточные воды от организаций водопроводно-канализационного хозяйства (г. Коммунар, п. Войскововицы, п. Пудость, п. Верево, д. Вайялово) и от производственных предприятий (г. Колпино, п. Тельмана, п. Лукаши, д. Ям-Ижора, д. Скворицы, д. Федоровское, д. Аннолово) [Перечень..., 2018]. Кроме того, на территории города сток зарегулирован плотиной Ижорского водохранилища [Схема..., 2010].

Материалами для исследования послужили натурные данные, полученные в июле 2019–2020 гг. Полевые работы проводились на шести станциях, расположенных от истока до устья (рис. 1). Станция 1 расположена непосредственно в роднике-истоке, а остальные пять станций – участки реки. Места отбора проб ст. 1–5 расположены в Ленинградской области. Устьевая точка – ст. 6 – находится в Колпинском районе г. Санкт-Петербурга и совпадает со станцией государственного мониторинга [Доклад..., 2010].

Работы проводились по общепринятым методикам [Руководство..., 1992] и включали в себя: отбор проб воды из поверхностного горизонта для дальнейшего гидрохимического и токсикологического исследования; отбор донных отложений для определения характеристик макрозообентоса. Видовая идентификация организмов зообентоса выполнена с. н. с. лаборатории гидробиологии ГосНИОРХ

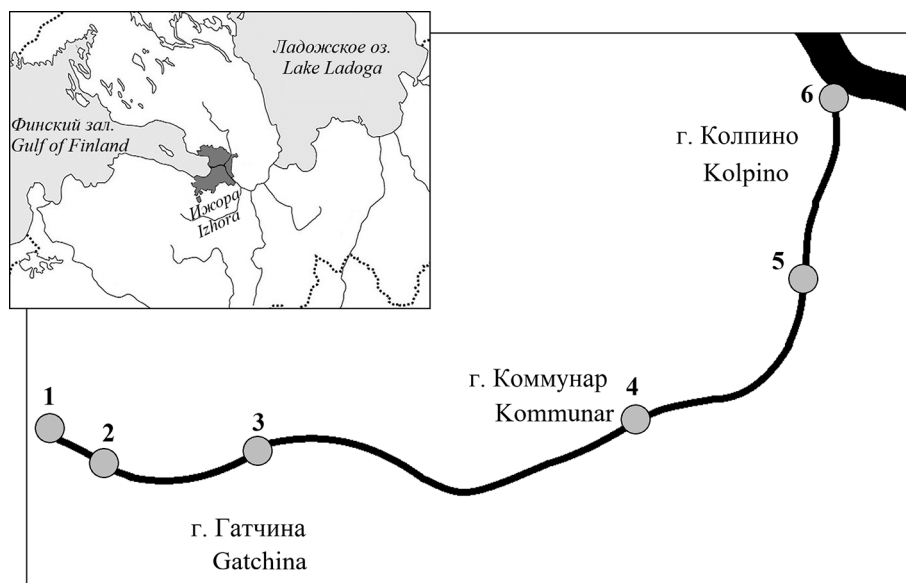


Рис. 1. Станции полевых исследований на р. Ижоре

Fig. 1. Sampling stations on the Izhora River

им. Л. С. Берга к. б. н. Ю. А. Зуевым. В качестве основного норматива, который был использован при оценке качества вод р. Ижоры по гидрохимическим показателям, использована предельно допустимая концентрация веществ в водах объектов рыбохозяйственного назначения [Приказ..., 2016].

На основе первичного материала выполнены расчеты индекса загрязненности воды (ИЗВ) по химическим параметрам [Временные..., 1986]; индекса сапробности по: [Чертопруд, 2002], олигохетного индекса Гуднайта – Уитли (в модификации Пареле) и биотического индекса Вудивисса по данным о макрозообентосе [Руководство..., 1992]. Как тест-объекты для оценки токсического действия применялись одноклеточные зеленые водоросли – хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) и простейшие – инфузории (*Paramecium caudatum* Ehrenberg) [ПНД..., 2014; ФР..., 2015]. Построение модели-классификации с последующим расчетом композитного индекса реализовано на основе метода сводных показателей (МСП) [Хованов, 1996; Дмитриев, 2010].

Результаты и обсуждение

Гидрохимическая характеристика

Воды реки Ижоры в период исследований характеризовались нейтральной или слабощелочной реакцией среды. Жесткость воды по течению реки уменьшалась – от «жесткой» до

«средней жесткости». Это связано с геологическим строением истоковой области – Ижорской возвышенности, сложенной известняками и доломитами [Геология..., 1971].

На большей части водотока (ст. 2–5) отмечался относительно благоприятный кислородный режим (рис. 2). Низкое содержание растворенного кислорода на ст. 1 вызвано природными факторами – это родник, место разгрузки подземных вод, для которых характерно его отсутствие. Устьевой участок (ст. 6) в оба года исследований отличался пониженными концентрациями O_2 (рис. 2). По-видимому, это связано с загрязненностью органическими веществами, так как величина БПК₅ превышает ПДК на этой станции и в 2019 г. (2,4ПДК), и в 2020-м (4ПДК). Также высоким было содержание легкоокисляемых органических веществ в 2020 г. на ст. 5 (2,7ПДК).

Концентрация биогенных веществ (форм азота и фосфора) увеличивается от истока к устью, являясь максимальной и в устьевой зоне. Исключение составляет азот нитратов, содержание которого в 2020 г. максимально в точке 1 и далее вниз по течению уменьшается. Содержание суммарного железа возрастает по течению, достигая в устье водотока 5ПДК. Концентрации нефтепродуктов в 2019 г. превысили ПДК в четырех случаях. Максимальная концентрация по этим веществам также регистрировалась на ст. 6 (15ПДК).

Стоит отметить, что по данным о содержании загрязняющих веществ, приведен-

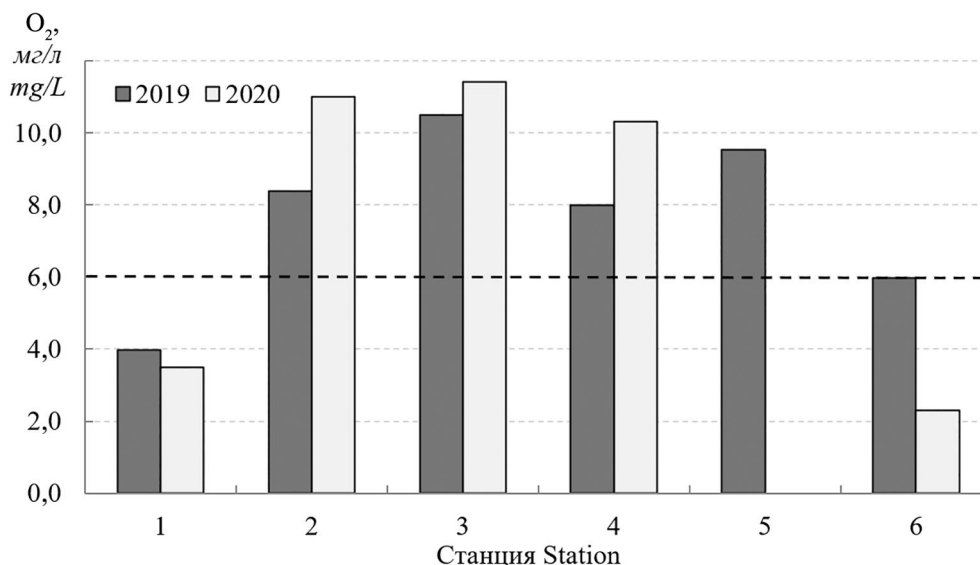


Рис. 2. Содержание растворенного кислорода на исследованных станциях р. Ижоры в 2019–2020 гг. Черным пунктиром указан норматив содержания кислорода

Fig. 2. The concentration of dissolved oxygen at the stations of the Izhora River in 2019–2020. The black dotted line – dissolved oxygen concentration standard

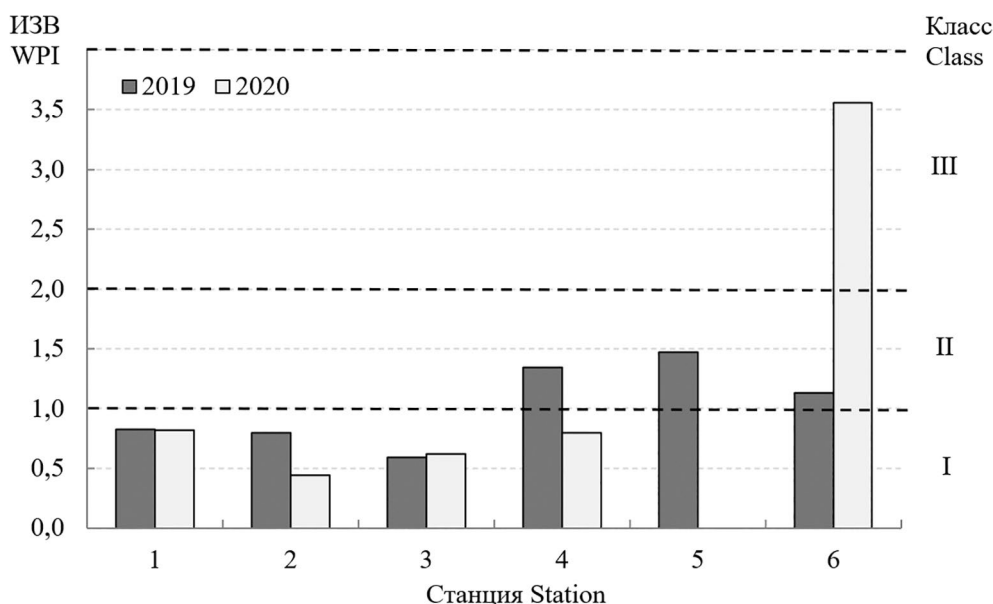


Рис. 3. Значение ИЗВ для исследованных станций р. Ижоры в 2019–2020 гг. и класс качества вод: I – чистые; II – умеренно загрязненные; III – загрязненные

Fig. 3. The Water Pollution Index (WPI) for the studied stations of the Izhora River in 2019–2020 and the class of water quality: I – clean; II – moderately contaminated, III – contaminated

ным в [Доклад..., 2010, 2015–2017] и наших предыдущих работах [Козлова и др., 2020], получена сходная картина загрязненности устьевой зоны р. Ижоры. Основными загрязняющими веществами здесь являются БПК₅ (2016 г.) и азот нитритов (2010, 2015 гг.). В 2016–2017 гг. в водах р. Ижоры также было зафиксировано низкое содержание растворенного кислорода.

В качестве комплексного показателя для оценки загрязненности р. Ижоры для каждой станции отбора проб был рассчитан индекс загрязненности воды (ИЗВ) (рис. 3). Станции, расположенные в нижнем течении реки (ст. 1, 2, 3), по значению ИЗВ характеризуются как «чистые» за весь исследуемый период (рис. 3). При движении к устью значения увеличиваются, и воды относятся к классу «умеренно загрязненные». Устьевой участок отличается высоким значением ИЗВ в оба года исследований, причем в 2020 г. попадает в класс «загрязненные» воды.

Такая низкая оценка в замыкающем створе совпадает с результатами государственного мониторинга качества вод. По гидрохимическим показателям р. Ижора с 1988 по 2019 гг. классифицировалась как «очень загрязненная» и «грязная». В работе [Клубов, Третьяков, 2019] также отмечается, что качество воды в створах, расположенных ниже по течению, значительно хуже, чем в верхних.

Гидробиологическая характеристика

Анализ материалов по макрозообентосу выполнен для четырех точек: станций 1, 2, 4, 6 (табл. 1). Всего определено 36 таксонов донных беспозвоночных. Максимальное богатство характерно для среднего течения реки (ст. 4), где выявлено 19 таксонов. Минимум числа видов зафиксирован в устьевой зоне (ст. 6), где их всего 4.

Численность и биомасса зообентоса варьируют в широком диапазоне (табл. 1). Причем прослеживается уменьшение биомассы к устьевой точке. Численность наименьшая также в замыкающем створе. Основной вклад в численность вносят олигохеты (на ст. 1 и 6) и личинки комаров-звонцов (ст. 2 и 4). Наибольший вклад в биомассу вносят олигохеты практически на всех исследованных участках: на ст. 1 это вид *Stylogrillus heringianus* Claparède, 1862, на ст. 4 – *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826), а на последней ст. 6 – *Tubificidae* sp. Только на ст. 2 по биомассе доминируют ручейники (*Limnephilus* sp.).

Устьевой створ по значению индекса Вудивисса характеризуется как «грязный» (табл. 1). По индексу сапробности (S) и олигохетному индексу (D) он отнесен к зоне, загрязненной органическими веществами. Причем здесь отмечены самые высокие значения этих индексов. Такие результаты хорошо соотносятся с оценкой

Таблица 1. Количественные характеристики макрозообентоса и индексы качества вод исследованных станций р. Ижоры в 2019 г.

Table 1. Quantitative characteristics of macrozoobenthos and water quality indices for the studied stations of the Izhora River in 2019.

Показатель Index	Станция Station			
	1	2	4	6
N, экз./м ² ind./m ²	9267	5240	16680	1960
B, г/м ² g/m ²	21,1	10,8	16,0	2,0
S сапробность saprobity	3,20 α-мезо α-meso	2,86 α-мезо α-meso	2,50 β-мезо β-meso	3,50 α-мезо α-meso
D, % Класс качества Class of quality	73,4 грязная polluted	23,7 чистая clean	16,5 очень чистая very clean	98,0 очень грязная heavily polluted
BI Класс качества Class of quality	7 чистая clean	6 умеренно загрязненная moderately contaminated	7 чистая clean	2 грязная polluted

Примечание. N – численность; B – биомасса; S – индекс сапробности (по Чертопруду); D – олигохетный индекс Гуднайта – Уитли в модификации Пареле; BI – биотический индекс Вудивисса.

Note. N – abundance; B – biomass; S – Pante – Buck saprobity index modified by Chertoprud; D – Goodnight – Whitley Index (modified by Parele); BI – Woodiwiss Biotic Index (Trent Biotic Index).

качества вод по гидрохимическим показателям – на этой станции отмечаются повышенные значения БПК₅ и низкое содержание кислорода, высок индекс загрязненности воды.

Станция 1 по значению индекса BI характеризуется как «чистая». Однако здесь регистрируется преобладание олигохет в донных сообществах, участок отнесен к α-мезосапробной зоне. Такая картина, вероятно, складывается из-за расположения этой станции непосредственно в области родника. Подземные воды, выходя на поверхность, еще не насыщены кислородом. В таком месте формируется фауна, устойчивая к его дефициту.

Состояние участков верхнего и среднего течения р. Ижоры (ст. 2, 4) по гидробиологическим характеристикам более благополучное. Здесь самые низкие значения сапробности и олигохетного индекса. Индекс Вудивисса позволяет оценить качество воды в диапазоне «чистая» – «умеренно загрязненная».

Характеристика сообществ зообентоса и оценка по ней качества вод неоднократно выполнялась исследователями Зоологического института [Алимов, Финогенова, 1976; Балушкина, 2003, 2004; Голубков и др., 2020]. Е. В. Балушкиной [2003, 2004] для р. Ижоры было показано, что число видов донных животных – наиболее уязвимая характеристика. Она снижается в том числе при загрязненности воды: высоком содержании органического вещества, повышении концентраций биогенных соединений. Поэтому малое число видов, вы-

явленных на устьевой станции, можно с уверенностью связать с низким качеством вод, также наблюдаемым здесь. Кроме того, отмечалось [Балушкина, 2004], что в водах, оцениваемых как «загрязненные», в р. Ижоре из сообщества донных животных полностью исчезли Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, Coleoptera, Planaria, Hydra, Hydracarina и Hirudinea. Именно такая ситуация зафиксирована в момент наших исследований на замыкающем створе (ст. 6).

Для воды на всех исследованных станциях определена допустимая степень токсичности при использовании тест-объекта *Paramecium caudatum*. Однако по изменению оптической плотности *Chlorella vulgaris* зафиксировано наличие токсического действия на станциях верхнего течения (1–2) и устья (6). Ранее Л. Ф. Литвинчук [2019] указывала, что у зоопланктонного сообщества реки наблюдались признаки, свидетельствующие о токсическом загрязнении.

Построение композитного индекса для оценки экологического состояния реки

Расчет композитного индекса выполнялся в несколько последовательных этапов. Вначале были выбраны приоритетные признаки, которые составляют основу модели-классификации оценки экологического состояния. Такая оценка должна быть выполнена с учетом как абиотической составляющей водной экосистемы, так и с учетом характеристик биоты. Поэтому в данной работе предложенная мо-

дель объединяет три блока признаков: гидрохимический, гидробиологический биоиндикационный и гидробиологический биотестовый (токсикологический).

В качестве гидрохимического признака используется ИЗВ. В расчет этого индекса включены данные о содержании загрязняющих веществ, полученные в 2020 году. В гидробиологической составляющей использованы результаты расчета следующих биотических индексов по данным 2019 года: индекс сапробности по Чертопруду, олигохетный индекс Гуднайта – Уитли в модификации Пареле и биотический индекс Вудивисса. Токсикологический блок включал в себя результаты биотестирования природной воды, проведенные в 2020 году, с использованием двух тест-объектов разных таксономических групп: водорослей *Chlorella vulgaris* и простейших *Paramecium caudatum*. В расчете композитного индекса используется биотестовый показатель, демонстрирующий наибольший уровень токсичности.

Выделено пять категорий экологического состояния: благополучное, удовлетворительное, неудовлетворительное, кризисное и катастрофическое (табл. 2). Далее для каждой категории экологического состояния по каждому приоритетному признаку были определены границы классов. При этом наилучшему экологическому состоянию соответствует 0, наихудшему – 1.

Выделение количественных диапазонов по гидрохимическому блоку основывалось на используемых при расчете ИЗВ методических рекомендациях [Временные..., 1986]. В соответствии с ними при расчете ИЗВ для поверхностных вод суши выделяют 7 классов качества. Применительно к предложенной модели-классификации первый и второй класс качества вод соответствуют категории «благополучное». Пятая категория экологического состояния объединяет в себе также два класса качества вод: «очень грязные» и «чрезвычайно грязные».

В блоке с биоиндикационными показателями выделение диапазонов основано на классификации качества водных объектов по гидробиологическим и микробиологическим параметрам [ГОСТ 17.1.3.07-82]. Так, для получения пяти градаций экологического состояния по индексу сапробности «ксеносапробная» и «олигосапробная» зоны объединены в первую категорию, а «полисапробная» и «гиперсапробная» зоны соответствуют катастрофическому экологическому состоянию.

Для олигохетного индекса D выделяется шесть степеней загрязненности воды. Поэто-

му в предложенной модели-классификации (табл. 2) классы качества воды «очень чистая» и «чистая» объединены в категорию «благополучное» экологическое состояние. Остальные категории качества вод совпадают с установленными Э. А. Пареле градациями.

Классификация качества вод по индексу Вудивисса предусматривает лишь четыре класса. При этом в соответствии с ГОСТ 17.1.3.07-82 крайний диапазон полисапробной зоны делится на категорию качества «грязная» и «очень грязная», а олигосапробной – на «очень чистую» и «чистую». В разработанной модели (табл. 2), предусматривающей пять категорий состояния, аналогично ГОСТ 17.1.3.07-82, классы «очень чистая» и «чистая» соответствуют благополучному экологическому состоянию.

Результаты биотестирования включены в интегральную оценку с использованием градаций, предложенных ранее в работе [Зуева и др., 2018] для индекса токсичности (Т) и изменения оптической плотности тест-культуры хлореллы (J).

На следующем этапе, чтобы избавиться от размерности, получены нормированные значения по каждому признаку и каждой категории экологического состояния. После приведения к единой безразмерной шкале произведен расчет композитного индекса. При расчете композитного индекса было принято, что используемые приоритетные признаки равновесны. Для предложенной модели-классификации реализовано два уровня свертки информации. Сначала были рассчитаны композитные индексы отдельно для биоиндикационного блока. Далее рассчитан единый композитный индекс, основанный на использовании гидрохимических, гидробиологических и токсикологических признаков. Ввиду изменения значений оптической плотности *Chlorella vulgaris* в диапазоне от –100 до 100 % для удобства и правильности получения итогового результата исходный диапазон был разделен на две части: положительную и отрицательную. Следовательно, по результатам расчета получено два композитных индекса (Q_+ и Q_-) (табл. 3).

Предложенная модель апробирована для оценки экологического состояния исследованных станций р. Ижоры (табл. 4). Наименьшим значением интегрального показателя и, следовательно, благополучным экологическим состоянием характеризуется среднее течение водотока (ст. 2 и 4). Исток реки соответствует классу «удовлетворительное» состояние. Максимальное значение Q и неудовлетворительное экологическое состояние отмечается для устьевого зоны.

Таблица 2. Модель-классификация для оценки экологического состояния водотока

Table 2. Classification scheme of river ecological status

Признаки Index	Категории экологического состояния Class of ecological status				
	Благополучное Good	Удовлетворительное Satisfactory	Неудовлетворительное Unsatisfactory	Кризисное Bad	Катастрофическое Very bad
	I	II	III	IV	V
Гидрохимический блок Hydrochemical part					
ИЗВ WPI Класс качества Class of quality	0–1 очень чистые чистые very clean clean	1–2 умеренно загрязненные moderately contaminated	2–4 загрязненные contaminated	4–6 грязные polluted	6–12 очень грязные чрезвычайно грязные heavily polluted extremely polluted
Биоиндикационный блок Bioindication part					
S Класс качества Class of quality	0–1,50 очень чистые чистые very clean clean	1,50–2,50 умеренно загрязненные moderately contaminated	2,50–3,50 загрязненные contaminated	3,50–4,00 грязные polluted	4,00–6,00 очень грязные heavily polluted
D, % Класс качества Class of quality	0–34 очень чистые чистые very clean clean	34–50 умеренно загрязненные moderately contaminated	50–67 загрязненные contaminated	67–85 грязные polluted	85–100 очень грязные heavily polluted
BI Класс качества Class of quality	10–7 очень чистые чистые very clean clean	7–5 умеренно загрязненные moderately contaminated	5–3 загрязненные contaminated	3–2 грязные polluted	2–0 очень грязные heavily polluted
Биотестовый блок Bioassay part					
T Степень токсичности toxicity level	0–0,20 допустимая permissible	0,20–0,40 допустимая permissible	0,40–0,70 умеренная medium	0,70–0,90 высокая high	0,90–1,00 высокая high
J, % Наличие т. д. toxic effects	0–15 не оказывает т. д. no t. e.	15–30 не оказывает т. д. no t. e.	30–70 наличие т. д. t. e.	70–90 наличие т. д. t. e.	90–100 наличие т. д. t. e.
	0–(-10) не оказывает т. д. no t. e.	-10–(-20) не оказывает т. д. no t. e.	-20–(-60) наличие т. д. t. e.	-60–(-90) наличие т. д. t. e.	-90–(-100) наличие т. д. t. e.

Примечание. ИЗВ – индекс загрязненности воды; S – индекс сапробности (по Чертопруду); D – олигохетный индекс Гуднайта – Уитли в модификации Пареле; BI – биотический индекс Вудивисса; T – индекс токсичности для *Paramecium caudatum*; J – изменение оптической плотности *Chlorella vulgaris*; т. д. – токсическое действие.

Note. WPI – water pollution index; S – Pantle – Buck saprobity index modified by Chertoprud; D – Goodnight – Whitley Index (modified by Parele); BI – Woodiwiss Biotic Index (Trent Biotic Index); T – *Paramecium caudatum* toxicity index; J – *Chlorella vulgaris* optical density; t. e. – toxic effects.

Таблица 3. Композитные индексы для интегральной оценки экологического состояния реки

Table 3. Composite indices for integrated evaluation of the river ecological status

Признаки Index	Категории экологического состояния Class of ecological status				
	Благополучное Good	Удовлетворительное Satisfactory	Неудовлетворительное Unsatisfactory	Кризисное Bad	Катастрофическое Very bad
	I	II	III	IV	V
Q_+	0–0,185	0,185–0,330	0,330–0,550	0,550–0,724	0,724–1,0
Q_-	0–0,177	0,177–0,313	0,313–0,534	0,534–0,724	0,724–1,0

Примечание. Q_+ – композитный индекс для оценки экологического состояния водотока в случае положительного значения J; Q_- – композитный индекс для оценки экологического состояния водотока в случае отрицательного значения J.

Note. Q_+ – composite indices for integrated evaluation of the watercourse ecological status (positive value of J); Q_- – composite indices for integrated evaluation of the watercourse ecological status (negative value of J)

Таблица 4. Расчет интегрального показателя Q для оценки экологического состояния р. Ижоры

Table 4. Calculation of an integral indicator Q to evaluate the ecological status of the Izhora River

Станция Station	Q Composite index	Экологическое состояние Ecological status
1	0,294	Удовлетворительное Satisfactory
2	0,173	Благополучное Good
4	0,126	
6	0,420	Неудовлетворительное Unsatisfactory

Полученная картина обобщает в том числе и предварительно выполненную покомпонентную оценку качества воды на станциях р. Ижоры. Так, замыкающий створ по всем использованным показателям демонстрировал низкое качество воды. Составить представление о его экологическом состоянии было несложно. Однако нижнее и среднее течение отличались неоднозначностью оценок. Часть показателей характеризовали воду как «чистую», в то время как другие характеристики свидетельствовали об обратном, как, например, на ст. 1 (табл. 1). Таким образом, оценка с использованием композитного индекса позволила прийти к конкретному заключению.

Заключение

Построен композитный индекс для оценки экологического состояния малой реки Ижоры, протекающей в пределах городской черты и испытывающей сильное антропогенное воздействие. Оценка качества вод, проведенная на основе единичных гидрохимических и гидробиологических оценок, позволила выявить закономерности между их распределением. Исток реки по большинству исследуемых параметров относится к «чистым» водам. Но поскольку станция исследования расположена в роднике, здесь зафиксировано низкое содержание кислорода и преобладание олигохет в донных сообществах. Участки верхнего и среднего течения р. Ижоры характеризовались низкими значениями сапробности, и по значению олигохетного индекса их воды отнесены к «чистым». Индекс Вудивисса оценивает воду в диапазоне «чистая» – «умеренно загрязненная». Приустьевой отрезок реки имеет самые высокие значения по индексу сапробности и олигохетному индексу, данный участок отнесен к зоне, загрязненной органическими веществами. По значению индекса Вудивисса воды отнесены к классу «грязные». Полученные результаты соотносятся с оценкой качества вод с использованием гидрохимических пока-

зателей. Здесь зафиксировано превышение допустимых значений по БПК₅ (4ПДК) и низкое содержание кислорода, следовательно, высок индекс загрязненности воды (класс качества – «умеренно загрязненные»).

Для интегральной оценки экологического состояния водотока сконструирован и рассчитан композитный индекс, основанный на совместном использовании гидрохимических, гидробиологических и токсикологических характеристик.

Расчет композитного индекса для р. Ижора позволил сделать вывод о том, что воды среднего течения реки находятся в благополучном экологическом состоянии. Исток реки по значению рассчитанного параметра характеризуется удовлетворительным экологическим состоянием. Максимальное значение композитного индекса и неудовлетворительное экологическое состояние характерно для устьевого участка.

Сопоставление полученных в ходе покомпонентного анализа результатов с интегральной оценкой экологического состояния для большинства участков водотока дало схожие результаты. Тем не менее реализованная процедура свертки исходной информации позволила обобщить полученные ранее результаты, а также определить уточненное количественное значение композитного индекса.

Таким образом, установлено, что р. Ижора загрязнена и продолжает испытывать на себе негативное влияние недостаточно очищенных сточных вод. Особенно это касается приустьевой зоны, что подтверждается не только повышенным содержанием загрязняющих веществ и наличием токсического действия, но и преобладанием видов – индикаторов сапробного загрязнения и минимальным видовым богатством представителей макрозообентоса.

Авторы глубоко признательны за помощь: в анализе гидробиологического материала – Ю. А. Зуеву, М. В. Ротман и А. Ю. Куличенко; в проведении гидрохимических исследований – Ю. А. Пашуковой, Е. Н. Ро-

мановой и А. М. Беляковой; в организации полевых работ – Д. К. Алексееву, Е. С. Урусовой и Т. Ю. Рузановой.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-00683-а.

Литература

Алимов А. Ф., Финогенова Н. П. Количественная оценка роли сообществ донных животных // Гидробиологические основы самоочищения вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1976. С. 5–14.

Амаро Медина Д. Р., Дмитриев В. В. Интегральная оценка экологического благополучия речных систем // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2019. Т. 64(2). С. 162–184. doi: 10.21638/spbu07.2019.201

Балушкина Е. В. Структура сообществ донных животных и оценка экологического состояния р. Ижоры: влияние гидрофизических и гидрохимических параметров воды // Биология внутренних вод. 2003. № 1. С. 74–80.

Балушкина Е. В. Изменение структуры сообществ донных животных при антропогенном воздействии на водные экосистемы (на примере малых рек Ленинградской области) // Евроазиатский энтомологический журнал. 2004. Т. 3(4). С. 276–282.

Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. М.: Госкомгидромет, 1986. 5 с.

Гелашвили Д. Б., Зинченко Т. Д., Выхристюк Л. А., Крандашова А. А. Интегральная оценка экологического состояния водных объектов по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Известия Самарского научного центра РАН. 2002. Т. 4, № 2. С. 270–275. doi: 10.15372/SEJ20200204

Геология СССР. Т. I. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание. Северо-Западное территориальное ГУ. М.: Недра, 1971. 504 с.

Голубков С. М., Балушкина Е. В., Голубков М. С. Восстановление сообществ зообентоса и качества вод речной экосистемы после снижения уровня органического загрязнения // Сибирский экологический журнал. 2020. Т. 27, № 2. С. 184–196. doi: 10.15372/SEJ20200204

ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. 1982.

Даирова Д. С., Зинченко Т. Д. Методологический подход в оценке экологического состояния дельты р. Волги // Самарская Лука: Проблемы региональной и глобальной экологии. 2010. Т. 19, № 4. С. 16–24.

Дмитриев В. В. Оценка экологического состояния водных объектов суши (часть II). Уязвимость водной экосистемы // Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив. 2000. С. 284–296.

Дмитриев В. В. Интегральные оценки состояния сложных систем в природе и обществе // Биосфера. 2010. Т. 2, № 4. С. 507–520.

Дмитриев В. В., Огурцов А. Н. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. II. Методы интегральной оценки устойчивости наземных и водных геосистем // Вестник СПбГУ. 2013. Сер. 7. Вып. 3. С. 88–103.

Дмитриев В. В., Огурцов А. Н., Седова С. А., Алексеева А. А., Байжанова К. К., Грига С. А., Кислина А. Е. Интегральная оценка устойчивости наземных ландшафтов: от балльных оценок к композитным индексам на основе территориальных детерминант // Успехи современного естествознания. 2020. № 2. С. 45–53. doi: 10.17513/use.37330

Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2010 г. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности в г. Санкт-Петербурге. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (дата обращения: 05.02.2021).

Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2015 г. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности в г. Санкт-Петербурге. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (дата обращения: 05.02.2021).

Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2016 г. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности в г. Санкт-Петербурге. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (дата обращения: 05.02.2021).

Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2017 г. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности в г. Санкт-Петербурге. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (дата обращения: 05.02.2021).

Засыпкин П. Д., Ушакова О. С., Оболдина Г. А., Павлюк Т. Е. Комплексный подход к оценке экологического благополучия водных экосистем // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. 2018. № 5. С. 86–100.

Зуева Н. В., Козлова А. В., Куличенко А. Ю. Опыт использования токсикологических характеристик в интегральной оценке экологического состояния водного объекта // Труды КарНЦ РАН. № 3. 2018. С. 43–56. doi: 10.17076/lim706

Козлова А. В., Зуева Н. В., Урусова Е. С. Оценка качества вод р. Ижоры // Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению: Сб. докладов междунар. науч. конф. памяти выдающегося русского ученого Ю. Б. Виноградова. СПбГУ (Санкт-Петербург, 23–31 октября 2020 г.). СПб., 2020. С. 895–899.

Клубов С. М., Третьяков В. Ю. Оценка загрязненности вод рек Санкт-Петербурга с использованием справочных материалов ГУП «Водоканал СПб» в 2018 году // Уч. зап. КФУ им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2019. Т. 5(71), № 3. С. 160–174.

Литвинчук Л. Ф. Особенности зоопланктонного сообщества верхнего течения реки Ижора (бассейн Балтийского моря) в условиях длительного антропо-

погенного воздействия // Принципы экологии. 2019. № 1. С. 47–62. doi: 10.15393/j1.art.2019.8522

Митяков Е. С., Корнилов Д. А. К вопросу о выборе весов при нахождении интегральных показателей экономической динамики // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. 2011. № 3(90). С. 289–299.

Перечень действующих решений о предоставлении водного объекта в пользование. URL: https://nature.lenobl.ru/media/uploads/userfiles/2018/07/19/perechen_deistvuyushih_reshenii_o_predostavlenii_vodnuh_obektov_v_polzovanie.pdf. 2018 (дата обращения: 05.02.2021).

Приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 Т 16.1:2:2.3:3.7-04. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. М., 2014. 36 с.

Пленкина А. К., Дмитриев В. В., Федорова И. В., Огурцов А. Н. Оценка экологического статуса водоемов на основе построения композитных индексов // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 101–107. doi: 10.17513/use.37522

References

Alimov A. F., Finogenova N. P. Kolichestvennaya otsenka roli soobshchestv donnykh zhyvotnykh [Quantitative evaluation of role of benthic communities of animals in self-purification processes of freshwater reservoirs]. *Gidrobiol. osnovy samoochishcheniya vod* [Hydrobiol. principles of water self-purification]. Leningrad: ZIN AN SSSR, 1976. P. 5–14.

Amaro Medina D. R., Dmitriev V. V. Integral'naya otsenka ekologicheskogo blagopoluchiya rechnykh sistem [Integrated evaluation of the ecological status of river systems]. *Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle* [Vestnik St. Petersburg Univ. Earth Sci.]. 2019. Vol. 64(2). P. 162–184. doi: 10.21638/spbu07.2019.201

Balushkina E. V. Struktura soobshchestv donnykh zhyvotnykh i otsenka ekologicheskogo sostoyaniya r. Izhory: vliyaniye gidrofizicheskikh i gidrokhimicheskikh parametrov vody [Structure of benthic animal communities and assessment of ecological state of the Izhora river: impact of water hydrological and hydrochemical parameters]. *Biol. vnutr. vod* [Inland Water Biol.]. 2003. No. 1. P. 74–80.

Balushkina E. V. Izmeneniye struktury soobshchestv donnykh zhyvotnykh pri antropogennom vozdeistvii na vodnye ekosistemy (na primere malyykh rek Leningradskoi oblasti) [Changes in structure of zoobenthic communities under anthropogenic influence on aquatic ecosystems exemplified by small rivers in the Leningrad region]. *Evroaziatskii entomol. zhurn.* [Euroasian Entomol. J.]. 2003. Vol. 3(4). P. 276–282.

Chertoprud M. V. Modifikatsiya metoda Pantle – Bukka dlya otsenki zagryazneniya vodotokov po

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.

Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) бассейна р. Нева. 2010. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/scheme-of-complex-use-and-protection-of-water-bodies-in-the-basin-of-the-river-neva/> (дата обращения: 05.02.2021).

ФР. 1.39.2015.19242. Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно-питьевых, хозяйственно-бытовых сточных, очищенных сточных, сточных, талых, технологических вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер». СПб.: Спектр-М, 2015. 21 с.

Хованов Н. В. Анализ и синтез показателей в условиях информационного дефицита. СПб.: СПбГУ, 1996. 196 с.

Чертoprуд М. В. Модификация метода Пантле – Букка для оценки загрязнения водотоков по качественным показателям макробентоса // Водные ресурсы. 2002. Т. 29, № 3. С. 337–342.

Brousmitche D., Occelli F., Genin M., Cuny D., Deram A., Lanier C. Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities: meeting the challenge of selecting relevant variables. *Ecol. Indicators*. 2020. Vol. 111. 106023. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.106023

Поступила в редакцию 08.02.2021

kachestvennym pokazatelyam makrobentosa [Modification of Pantle – Buck technique for assessing water-course pollution based on macrobenthos quality characteristics]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2002. Vol. 29, no. 3. P. 337–342.

Dairova D. S., Zinchenko T. D. Metodologicheskii podkhod v otsenke ekologicheskogo sostoyaniya del'ty r. Volgi [Methodological approach to the evaluation of the ecological status of the Volga River Delta]. *Samarskaya Luka: Problemy regional'noi i global'noi ekol.* [Samara Luka: Problems of Regional and Global Ecol.]. 2010. Vol. 19, no. 4. P. 16–24.

Dmitriev V. V. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vodnykh ob'ektov sushi (chast' II). Uyazvimost' vodnoi ekosistemy [Assessment of the ecological status of land bodies of water (part II). Vulnerability of the aquatic ecosystem]. *Ekol. Bezopasnost'. Zhizn'. Ekol. opyt grazhdanskikh, obshchestvennykh initsiativ* [Ecol. Safety. Life. Environ. experience of civil and public initiatives]. 2000. P. 284–296.

Dmitriev V. V. Integral'nye otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem v prirode i obshchestve [Integral assessments of the state of complex systems in nature and society]. *Biosfera* [Biosphere]. 2010. Vol. 2, no. 4. P. 507–520.

Dmitriev V. V., Ogurtsov A. N. Podkhody k integral'noi otsenke i GIS kartografirovaniyu ustoichivosti i ekologicheskogo blagopoluchiya geosistem. II. Metody integral'noi otsenki ustoichivosti nazemnykh i vodnykh geosistem [Approaches to integrated assessment

and GIS mapping of the sustainability and ecological status of geosystems. II. Methods of integrated assessment of the sustainability of terrestrial and aquatic geosystems]. *Vestnik SPbGU* [Vestnik St. Petersburg Univ.]. 2013. Ser. 7, iss. 3. P. 88–103.

Dmitriev V. V., Ogurtsov A. N., Sedova S. A., Alekseeva A. A., Baizhanova K. K., Griga S. A., Kislina A. E. Integral'naya otsenka ustoychivosti nazemnykh landshaftov: ot ball'nykh otsenok k kompozitnym indeksam na osnove territorial'nykh determinant [Integral evaluation of the stability of terrestrial landscapes: from point estimates to composite indices based on territorial determinants]. *Uspekhi sovr. estestvoznaniya* [Advances in Current Nat. Sci.]. 2020. No. 2. P. 45–53. doi: 10.17513/use.37330

Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Sankt-Peterburge v 2010 g. [A report on the ecological situation in St. Petersburg. 2010]. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (accessed: 05.02.2021).

Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Sankt-Peterburge v 2015 g. [A report on the ecological situation in St. Petersburg. 2015]. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (accessed: 05.02.2021).

Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Sankt-Peterburge v 2016 g. [A report on the ecological situation in St. Petersburg. 2016]. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (accessed: 05.02.2021).

Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Sankt-Peterburge v 2017 g. [A report on the ecological situation in St. Petersburg. 2017]. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (accessed: 05.02.2021).

FR 1.39.2015.19242. Metodika opredeleniya toksichnosti prob prirodnnykh, pit'evykh, khozyaistvennopit'evykh, khozyaistvenno-bytovykh stochnykh, ochishchennykh stochnykh, stochnykh, talykh, tekhnologicheskikh vod ekspress-metodom s primeneniem pribora serii Biotester [A technique of determination of toxicity in natural tests, drinking, industrial and drinking, the economic and household waste, cleared waste, waste, thawed, technological waters by express method with use of the Biotester device]. St. Petersburg: Spektr-M, 2015. 21 p.

Gelashvili D. B., Zinchenko T. D., Vykhristyuk L. A., Krandashova A. A. Integral'naya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vodnykh ob'ektov po gidrokhimicheskim i gidrobiologicheskim pokazatelyam [Integrated evaluation of the ecological status of water bodies by hydrochemical and hydrobiological indicators]. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN* [Proceed. Samara Sci. Center RAS]. 2002. Vol. 4, no. 2. P. 270–275. doi: 10.15372/SEJ20200204

Geologiya SSSR. T. I. Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti. Geologicheskoe opisaniye [Geology of the USSR. Vol. I. Leningrad, Pskov and Novgorod Regions. Geological description]. *Severo-Zapadnoe territorial'noe GU* [North-Western Geological Survey]. Moscow: Nedra, 1971. 504 p.

Golubkov S. M., Balushkina E. V., Golubkov M. S. Restoration of zoobenthic communities and water quality in the river ecosystem after a decrease in the level of organic pollution. *Contemp. Probl. Ecol.* 2020. Vol. 13, no. 2. P. 146–155. doi: 10.1134/S1995425520020031

GOST 17.1.3.07-82. Okhrana prirody. Gidrosfera. Pravila kontrolya kachestva vody vodoemov i vodotokov

[Nature protection. Hydrosphere. Procedures for quality control of water in reservoirs and stream flows]. 1982.

Khovanov N. V. Analiz i sintez pokazatelei v usloviakh informatsionnogo defitsita [Analysis and synthesis of indicators in the context of information scarcity]. St. Petersburg: SPbGU, 1996. 196 p.

Klubov S. M., Tret'yakov V. Ju. Otsenka zagryaznennosti vod rek Sankt-Peterburga s ispol'zovaniem spravochnykh materialov GUP "Vodokanal SPb" v 2018 godu [Evaluation of water pollution in the rivers of St. Petersburg using reference materials of the Vodokanal SPb State Unitary Enterprise in 2018]. *Uchenye zapiski KFU im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geol.* [Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geol.]. 2019. Vol. 5(71), no. 3. P. 160–174.

Kozlova A. V., Zueva N. V., Urusova E. S. Otsenka kachestva vod r. Izhory [Evaluation of the water quality of the river Izhora]. *Chetvertye Vinogradovskie chteniya. Gidrologiya ot poznaniya k mirovozzreniyu: sb. dokl. mezhdunar. nauch. konf. pamyati vydayushchegosya russkogo uchenogo J. B. Vinogradova. SPbGU (Sankt-Peterburg, 23–31 okt. 2020 g.)* [Fourth Vinogradov Readings. Hydrology from knowledge to worldview: Proceed. int. sci. conf. in memory of the distinguished Russian scientist Yu. B. Vinogradov. SPbSU (St. Petersburg, Oct. 23–31, 2020)]. St. Petersburg, 2020. P. 895–899.

Litvinchuk L. F. Osobennosti zooplanktonnogo sobshchestva verkhnego techeniya reki Izhora (bassein Baltiiskogo morya) v usloviyakh dlitel'nogo antropogennogo vozdeistviya [Specific zooplanktonic community of upper stream of the Izhora River (Baltic Sea basin) under prolonged anthropogenic impact]. *Prints. ekol.* [Principles of Ecol.]. 2019. No. 1. P. 47–62. doi: 10.15393/j1.art.2019.8522

Mityakov E. S., Kornilov D. A. K voprosu o vybore vesov pri nakhozhdenii integral'nykh pokazatelei ekonomicheskoi dinamiki [On the question of choosing weights when finding integral indicators of economic dynamics]. *Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva* [Proceed. R. E. Alekseev NSTU]. 2011. No. 3(90). P. 289–299.

Perechen' deistvuyushchikh reshenii o predostavlenii vodnogo ob'ekta v pol'zovanie [A list of current decisions on the provision of a water body for use]. URL: https://nature.lenobl.ru/media/uploads/userfiles/2018/07/19/perechen_deistvuyushih_reshenii_o_predostavlenii_vodnuh_obektov_v_polzovanie.pdf. 2018 (accessed: 05.02.2021).

Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 13 dekabrya 2016 g. № 552 "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya" [Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated December 13, 2016 No. 552 On approval of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies].

PND F T 14.1:2:3:4.10-04 T 16.1:2:2:3:3.7-04. Metodika izmerenii opticheskoi plotnosti kul'tury vodorosli khlorella (*Chlorella vulgaris* Beijer) dlya opredeleniya toksichnosti pit'evykh, presnykh prirodnykh i stochnykh

vod, vodnykh vytyazhek iz gruntov, pochv, osadkov stochnykh vod, otkhodov proizvodstva i potrebleniya [Methods for assessing *Chlorella vulgaris* Beijer optical density to determine the toxicity of drinking water, natural freshwater and wastewater, water extracts from ground, soils, wastewater sediments, industrial and household waste]. Moscow, 2014. 36 p.

Plenkina A. K., Dmitriev V. V., Fedorova I. V., Ogurtsov A. N. Otsenka ekologicheskogo statusa vodoemov na osnove postroeniya kompozitnykh indeksov [Evaluation of the ecological status of water bodies based on the construction of composite indices]. *Uspekhi sovr. estestvoznaniya* [Advances in Current Nat. Sci.]. 2020. No. 11. P. 101–107. doi: 10.17513/use.37522

Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. Ed. V. A. Abakumova. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992. 318 p.

Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'ektov (SKIOVO) basseina r. Neva [A scheme of complex use and protection of water objects in the basin of the Neva river]. 2010. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/scheme-of-complex-use-and-protection-of-water-bodies-in-the-basin-of-the-river-neva> (accessed: 05.02.2021).

Vremennye metodicheskie ukazaniya po kompleksnoi otsenke kachestva poverkhnostnykh i morskikh vod

[Temporary guidelines for integrated quality assessment of surface and sea waters]. Moscow: Goskomgidromet, 1986. 5 p.

Zasytkin P. D., Ushakova O. S., Oboldina G. A., Pavlyuk T. E. Kompleksnyi podkhod k otsenke ekologicheskogo blagopoluchiya vodnykh ekosistem [An integrated approach to assessing the ecological status of aquatic ecosystems]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: Probl., tekhnologii, upravlenie* [Water management in Russia: Problems, technologies, and management]. 2018. No. 5. P. 86–100.

Zueva N. V., Kozlova A. V., Kulichenko A. Yu. Opyt ispol'zovaniya toksikologicheskikh kharakteristik v integral'noi otsenke ekologicheskogo sostoyaniya vodnogo ob'ekta [Experience of using toxicological characteristics in the integrated evaluation of the ecological status of a water body]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2018. No. 3. P. 43–56. doi: 10.17076/lim706

Brousmiche D., Occelli F., Genin M., Cuny D., Deram A., Lanier C. Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities: meeting the challenge of selecting relevant variables. *Ecol. Indicators*. 2020. Vol. 111. 106023. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.106023

Received February 08, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Козлова Алина Вячеславовна

аспирант кафедры прикладной и системной экологии
Российский государственный гидрометеорологический университет
ул. Воронежская, 79, Санкт-Петербург, Россия, 192007
эл. почта: alinchkakzlv@rambler.ru

Зуева Надежда Викторовна

доцент кафедры прикладной и системной экологии, к. г. н.
Российский государственный гидрометеорологический университет
ул. Воронежская, 79, Санкт-Петербург, Россия, 192007
эл. почта: nady.zuyeva@ya.ru

CONTRIBUTORS:

Kozlova, Alina

Russian State Hydrometeorological University
79 Voronezhkaya St., 192007 St. Petersburg, Russia
e-mail: alinchkakzlv@rambler.ru

Zueva, Nadezhda

Russian State Hydrometeorological University
79 Voronezhkaya St., 192007 St. Petersburg, Russia
e-mail: nady.zuyeva@ya.ru