

УДК 504.3.054

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАЛЛОВ В ПСКОВСКОМ ОЗЕРЕ

Г. Т. Фрумин^{1*}, Е. С. Негодина²

¹ Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена
(наб. р. Мойки, 48, Санкт-Петербург, Россия, 191186), *gfrumin@mail.ru

² Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского
института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга)
(наб. Макарова, 26, Санкт-Петербург, Россия, 199053)

Природные водные объекты, расположенные в различных географических зонах России, характеризуются широким диапазоном изменчивости гидрохимических показателей качества воды. Несмотря на это, для всей территории нашей страны установлены единые общедеревальные нормативы качества воды (ПДК), не учитывающие природное своеобразие бассейна, в пределах которого находятся водные объекты и происходит процесс формирования количественных и качественных показателей качества их вод. Оценка качества поверхностных вод на основе общедеревальных ПДК полностью игнорирует не только уникальность водосборов, но и их естественное природное разнообразие. Возникает противоречие, когда концентрации некоторых химических веществ, при которых обеспечена устойчивость сложившихся биоценозов, не соответствуют предельно допустимым концентрациям для водоемов рыбохозяйственного использования (ПДК_{рх}), являющимся нормативами при регулировании качества вод практически всех водных объектов России. В статье приводится обоснование региональных концентраций металлов в Псковском озере. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования системы ПДК для Псковского озера, имеющего рыбохозяйственное значение. На основе данных гидрохимического мониторинга за период 2000–2021 гг. представлены результаты расчетов региональных предельно допустимых концентраций (ПДК_{рег}) шести металлов (железо общее, медь, свинец, марганец, кадмий, цинк). Расчеты выполнены тремя различными методами: С. А. Патиной, Д. Г. Замолодчикова и Е. В. Веницианова с соавторами. В расчетах по методу С. А. Патиной использовались два показателя – средняя концентрация химического элемента за рассматриваемый период и стандартное отклонение. Расчеты по методу Д. Г. Замолодчикова базировались на показателях верхнего и нижнего квартилей распределения. В расчетах по методу Е. В. Веницианова и соавторов применялись объем выборки, верхний квартиль распределения и среднеквадратическое отклонение для квантиля порядка 0,75. На основе принципа санитарного максимализма выявлен оптимальный метод расчета региональных предельно допустимых концентраций металлов – метод, разработанный Е. В. Венициановым и соавторами. Установлена весьма высокая теснота связи между региональными предельно допустимыми концентрациями металлов в Псковском озере и их кларками в земной коре.

Ключевые слова: Псковское озеро; металлы; экологическое нормирование; принцип санитарного максимализма; кларки

Для цитирования: Фрумин Г. Т., Негодина Е. С. Региональные предельно допустимые концентрации металлов в Псковском озере // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 6. С. 66–72. doi: 10.17076/lim1760

G. T. Frumin^{1*}, E. S. Negodina². REGIONAL MAXIMUM PERMISSIBLE CONCENTRATIONS OF METALS IN LAKE PSKOVSKOYE

¹Herzen State Pedagogical University of Russia (48 Nab. R. Moiki, 191186 St. Petersburg, Russia), *gfrumin@mail.ru

²St. Petersburg Branch of the Russian Federal Research Institute of Fishery and Oceanography ('GosNIORH' named after L. S. Berg) (26 Nab. Makarova, 199053 St. Petersburg, Russia)

Natural water bodies located in different geographical regions of Russia vary widely in hydrochemical indicators of water quality. Despite this, unified federal water quality standards (MPCs) have been established for the entire territory of our country, without taking into account the formation process of quantitative and qualitative indicators of water quality in water bodies or respecting the natural uniqueness of the basins in which they are formed. The assessment of the surface water quality on the basis of federal maximum concentration limits completely ignores not only the specific and unique features of catchments but also their natural diversity. A collision arises when the concentrations of certain compounds do not interfere with the stability of the existing biocoenoses but fail to meet the maximum permissible concentrations for reservoirs used for fisheries (MPC), which apply to almost all water bodies in Russia. The purpose of this study is to substantiate the regional concentrations of metals in Lake Pskovskoye. The relevance of the study is due to the need to improve the MPC system for Lake Pskovskoye, which has a fishery value. The calculations were performed with hydrochemical monitoring data for the period 2000–2021. The results of the calculations of regional maximum permissible concentrations (MPCREG) for six metals (total iron, copper, lead, manganese, cadmium, zinc) are presented. Three different methods were used for the calculations: suggested by S. A. Patina, by D. G. Zamolodchikov, and by E. V. Venitsianov and co-authors. Calculations by Patina's method involve two attributes - the average concentration of a chemical element for the period under review and the standard deviation. Calculations by the method of D.G. Zamolodchikov were based on the upper and lower quartiles of the distribution. The method of E.V. Venitsianov and co-authors employs three attributes - the sample size, the upper quartile of the distribution, and the standard deviation for the quantile of about 0.75. Proceeding from the principle of sanitary maximalism, we argue that the optimal method for calculating metal MPCREGs is the method suggested by E. V. Venitsianov and co-authors. The regional maximum permissible concentrations of metals in Lake Pskovskoye proved to tightly correlate with their Clarke numbers in the earth's crust.

Keywords: Lake Pskovskoye; metals; environmental regulation; principle of sanitary maximalism; Clarke number

For citation: Frumin G. T., Negodina E. S. Regional maximum permissible concentrations of metals in Lake Pskovskoye. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 6. P. 66–72. doi: 10.17076/lim1760

Введение

Псковско-Чудской озерный комплекс по площади водной поверхности (3555 км²) входит в число крупнейших водных объектов Европы. Этот комплекс состоит из трех частей (озер), различающихся по ряду лимнологических показателей: северной – Чудского,

южной – Псковского и соединяющего их пролива – Теплого озера. Это трансграничный водоем, 56 % площади которого принадлежит России, 44 % – Эстонии. Псковское озеро почти полностью располагается на территории РФ.

Псковское озеро – крупный пресноводный водоем. Его высота над уровнем моря 30 м, площадь озера 708 км², объем воды 2,68 км³,

средняя глубина 3,8 м, наибольшая глубина 5,3 м, длина береговой линии 177 км, соотношение эстонской и российской частей акватории 1 : 99 [Псковско-Чудское..., 2012].

В отличие от других озер (Чудского и Тепло-го) Псковское озеро характеризуется меньшей площадью, относительной мелководностью, повышенной цветностью (58° Pt-Co шкалы) и высоким содержанием биогенных элементов и органических веществ.

По трофическому статусу Псковское озеро оценивается как эвтрофный водоем с признаками гипертрофии, Теплое озеро – как переходящий к гиперэвтрофному, Чудское – мезотрофно-эвтрофный водоем.

Отличительной особенностью Псковского озера является уникально высокая для озер умеренной зоны биологическая, и в частности, рыбопродуктивность (до 3–4 т/км²).

Выбор металлов в качестве предмета исследования обусловлен тем, что они являются приоритетными (наиболее значимыми) веществами, загрязняющими Псковское озеро. К примеру, со стоком реки Великая (главный приток Псковского озера) в 2020 г. в указанный водоем поступило 2969 т железа общего, 522 т марганца, 40 т меди, 203 т цинка, около 1 т кадмия и 9,6 т свинца.

Примерно с 1990-х годов система предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах, имеющих рыбохозяйственное значение (ПДК_{рх}), подвергается аргументированной критике, подробно изложенной в ряде работ [Дмитриев, 1994; Волков и др., 1996; Левич, Терехин, 1997; Никаноров и др., 1988; Лозовик, 1998; Фрумин, 1998; Гагарина, 2012; Рисник и др., 2013; Строков, 2014; Фрумин, 2015; Моисеенко, 2017]. К примеру, федеральные ПДК_{рх} не учитывают специфику функционирования водных экосистем в различных природно-климатических зонах и биогеохимических провинциях (естественные геохимические аномалии с различным уровнем содержания природных соединений).

Цель исследования заключалась в обосновании региональных предельно допустимых концентраций металлов в Псковском озере – ПДК_{РЕГ} (regional maximum allowable concentrations – RMAC).

Материалы и методы

Для расчетов ПДК_{РЕГ} металлов в Псковском озере использованы первичные данные гидрохимического мониторинга за период 2000–2021 гг. из материалов СЗ УГМС. Отбор проб воды проводился в четырех створах (18, 19, 20, 39) (рис. 1).

Для расчетов ПДК_{РЕГ} использованы три различных метода, разработанные С. А. Патиным [1979], Д. Г. Замолодчиковым [1993] и Е. В. Венициановым с соавторами [2015] (табл. 1).

Значения N, C_{CP}, σ, ВК и НК для металлов в Псковском озере за период 2000–2021 гг. представлены в табл. 2. Для расчетов использован пакет прикладных программ Excel.



Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб воды
Fig. 1. Layout of water sampling stations

Таблица 1. Математические модели для расчетов региональных предельно допустимых концентраций
Table 1. Mathematical models for calculating regional maximum allowable concentrations

Авторы метода Authors	Модель Model
С. А. Патин S. A. Patin	$PDK_{PEG} = C_{CP} + 2\sigma$, C_{CP} – средняя концентрация, мкг/дм ³ , σ – стандартное отклонение $RMAC = S_{SR} + 2\sigma$, S_{SR} – average concentration, $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, σ – standard deviation
Д. Г. Замолодчиков D. G. Zamolodchikov	$PDK_{PEG} = BK + 1,5(BK - НК)$, ВК и НК – верхний и нижний квартили распределения $RMAC = VK + 1.5(VK - NK)$, VC and NC – the upper and lower quartiles of the distribution
Е. В. Веницианов и соавторы E. V. Venitsianov and co-authors	$PDK_{PEG} = BK - 2,9\sigma/\sqrt{N}$, N – объем выборки $RMAC = VK - 2.9\sigma/\sqrt{N}$, N – sample size

Таблица 2. Показатели для расчетов региональных предельно допустимых концентраций металлов в Псковском озере, мкг/дм³

Table 2. Indicators for calculating regional maximum allowable concentrations of metals in Lake Pskov, µg/dm³

Металл Metal	N	C _{CP} S _{SR}	НК NC	БК VC	σ
Свинец Lead (Pb)	647	3,09	1,0	4,1	3,1
Медь Copper (Cu)	647	4,21	1,5	5,4	4,3
Кадмий Cadmium (Cd)	631	0,45	0,3	0,5	0,51
Марганец Manganese (Mn)	242	22,1	2,3	26,9	36,9
Железо общее Iron total (Fe)	609	187,6	60	220	204,4
Цинк Zinc (Zn)	56	22,5	10	31,0	16,4

Результаты и обсуждение

По формулам, приведенным в табл. 1, тремя методами были рассчитаны величины ПДК_{РЕГ} металлов в Псковском озере (табл. 3). В табл. 3 для последующего анализа добавлены значения ПДК металлов для рыбохозяйственных водных объектов (ПДК_{РХ}) [Приказ..., 2016] и среднее содержание металлов в земной коре (кларки) [Овчинников, 1990].

Приведенные в табл. 3 результаты расчетов ПДК_{РЕГ} показывают существенные различия этих величин в зависимости от метода расчета. К примеру, ПДК_{РЕГ} марганца в Псковском озере равна 95,9 мкг/дм³ при расчете методом С. А. Патина и 20,0 мкг/дм³ при расчете методом Е. В. Веницианова с соавторами, то есть различие составляет 4,8 раза. Как следует из табл. 3, наименьшие величины ПДК_{РЕГ} зафиксированы для каждого из шести рассмотренных металлов при использовании метода Е. В. Веницианова с соавторами.

Здесь уместно напомнить о принципе санитарного максимализма, когда все неопределенности и неоднозначности трактуются в сторону снижения показателя [Возняк, Лепихин, 2018]. Иными словами, в качестве оптимального метода расчетов ПДК_{РЕГ} следует рассматривать метод, разработанный Е. В. Венициановым и соавторами.

По данным табл. 3 рассчитаны отношения ПДК_{РЕГ}/ПДК_{РХ} (рис. 2).

Приведенные на рис. 2 данные свидетельствуют о том, что ПДК_{РЕГ} железа общего, меди, марганца и цинка больше ПДК_{РХ}, а ПДК_{РЕГ} свинца и кадмия – меньше ПДК_{РХ}. Не зафиксировано превышения ПДК_{РХ} для кадмия (пределы концентраций 0,03–4,5 мкг/дм³). В 44 пробах концентрации свинца были выше ПДК_{РХ} (пределы концентраций 1,0–21,1 мкг/дм³), что составляет 6,8 %.

Соотношение между натуральными логарифмами ПДК_{РЕГ} и натуральными логарифмами кларков металлов в земной коре представлено на рис. 3.

Таблица 3. Региональные предельно допустимые концентрации металлов в Псковском озере, мкг/дм³

Table 3. Regional maximum allowable concentrations of metals in Lake Pskov, µg/dm³

Авторы метода Authors	Fe	Cu	Pb	Mn	Cd	Zn
С. А. Патин S. A. Patin	596	12,9	9,3	95,9	1,5	55,3
Д. Г. Замолодчиков D. G. Zamolodchikov	460	11,3	8,8	63,8	0,95	62,5
Е. В. Веницианов и соавторы E. V. Venitsianov and co-authors	195	4,9	3,7	20,0	0,44	24,6
ПДК _{РХ} , мкг/дм ³ MPC _{BC} , µg/dm ³	100	1	6	10	5	10
Кларк, мг/кг Clark, mg/kg	53,3	0,053	0,013	0,9	0,00017	0,068

Линия регрессии, приведенная на рис. 3, описывается следующей формулой:

$$\ln \text{ПДК}_{\text{РЕГ}} = 3,419 + 0,471 \ln \text{Кларк}, \quad (1)$$

$$n = 6 \quad r = 0,965 \quad r^2 = 0,931 \quad \sigma_{Y(x)} =$$

$$= 0,606 \quad F_p = 54,1 \quad F_T = 6,61,$$

где n – количество металлов, r – коэффициент корреляции, r^2 – коэффициент детерминации,

$\sigma_{Y(x)}$ – стандартная ошибка, F_p – расчетное значение критерия Фишера, F_T – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 95 %.

Согласно шкале Чеддока соотношение между величинами $\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}$ и кларками характеризуется «весьма высокой» теснотой связи между переменными [Макарова, Трофимец, 2002]. Зависимость (1) адекватна ($F_p > F_T$) и полезна для предсказания величин $\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}$ для других тяжелых металлов ($F_p/F_T > 4$) [Дрейпер, Смит, 1986].

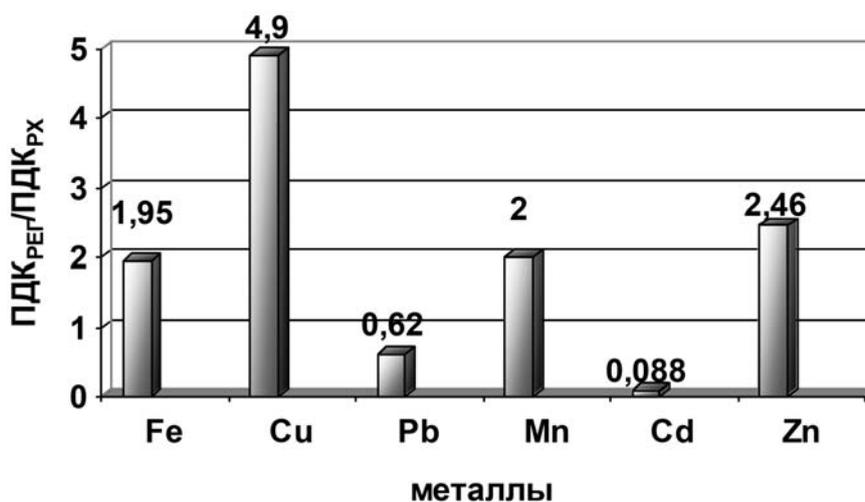


Рис. 2. Отношение региональных предельно допустимых концентраций металлов в Псковском озере к предельно допустимым концентрациям металлов для рыбохозяйственных водоемов

Fig. 2. Ratio of regional maximum allowable metal concentrations in Lake Pskov to maximum allowable metal concentrations for fishery reservoirs

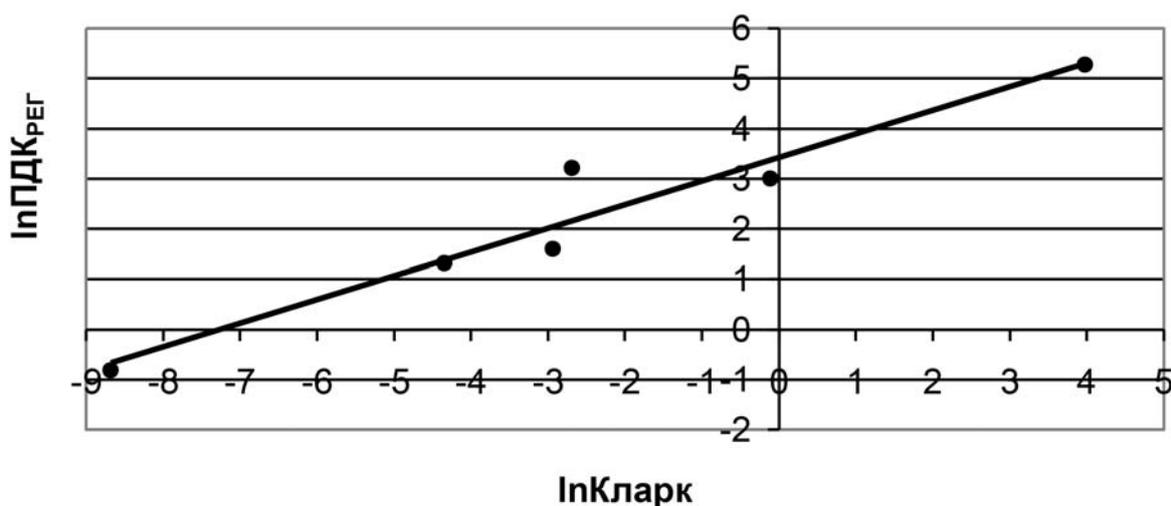


Рис. 3. Соотношение между натуральными логарифмами региональных предельно допустимых концентраций металлов в Псковском озере и кларками металлов в земной коре

Fig. 3. Correlation between natural logarithms of regional maximum allowable concentrations of metals in Lake Pskov and clarks of metals in the Earth's crust

Заключение

Наиболее существенный недостаток системы ПДК_{РХ} – отсутствие учета природно-климатических особенностей водосборов конкретных водных объектов. Эта система не учитывает специфику функционирования водных объектов в различных природно-климатических зонах (широтная и вертикальная зональность) и биогеохимических провинциях (естественные геохимические аномалии с различным уровнем содержания природных соединений), а значит, и их токсикорезистентность. Иными словами, система общефедеральных ПДК_{РХ} не учитывает региональные особенности водных объектов.

В исследованиях различных авторов предложены методы расчетов региональных ПДК_{РЕГ}. В данной статье для расчетов ПДК_{РЕГ} металлов в Псковском озере использованы три наиболее популярных метода: С. А. Патина, Д. Г. Замолдчиков и Е. В. Веницианова с соавторами. Следуя принципу санитарного максимализма, установлено, что в качестве оптимального метода расчетов ПДК_{РЕГ} следует рассматривать метод, разработанный Е. В. Венициановым и соавторами.

Литература

Веницианов Е. В., Мирошниченко С. А., Лепихин А. П., Губернаторова Т. Н. Разработка и обоснование региональных показателей качества воды по содержанию тяжелых металлов для водных объектов бассейна Верхней Камы // Водное хозяйство России. 2015. № 3. С. 50–64.

Возняк А. А., Лепихин А. П. Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник. 2018. № 2(45). С. 103–114. doi: 10.17072/2079-7877-2018-2-88-103

Волков И. В., Заличева И. Н., Шустова Н. К., Ильмаст Т. Б. Есть ли экологический смысл у общефедеральных рыбохозяйственных ПДК? // Экология. 1996. № 5. С. 350–354.

Гагарина О. В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Учеб.-метод. пособие. Ижевск: Удмуртский университет, 2012. 199 с.

Дмитриев В. В. Экологическое нормирование состояния и антропогенных воздействий на природные экосистемы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. 1994. Вып. 2. С. 60–70.

Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.

Замолдчиков Д. Г. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. Т. 15. С. 214–233.

Левич А. П., Терехин А. Т. Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на пресноводные экосистемы // Водные ресурсы. 1997. № 3. С. 328–335.

Лозовик П. А. Критерии оценки антропогенного влияния на водные экосистемы // Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия: Тезисы докл. всерос. совещ. и выездной науч. сессии (Апатиты, 22–25 июня 1998 г.). Апатиты: КНЦ РАН, 1998. С. 36–37.

Макарова Н. В., Трофимец В. Я. Статистика в Excel. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.

Моисеенко Т. И. Оценка качества вод и «здоровье» экосистем с позиций экологической парадигмы // Водное хозяйство России. 2017. № 3. С. 104–124.

Никаноров А. М., Тарасов М. Н., Трунов Н. М., Клименко О. А., Матвеева Н. П. Проблемы нормирования качества поверхностных вод и натурное экологическое моделирование // Экологическое нормирование и моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы: Сб. науч. трудов. Вып. 1. Л.: Гидрометеоздат, 1988. С. 5–9.

Овчинников Л. Н. Прикладная геохимия. М.: Недра, 1990. 248 с.

Патин С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. М.: Пищ. пром-ть, 1979. 304 с.

Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 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». (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 N 45203). М.: Минсельхоз, 2016. 91 с.

Псковско-Чудское озеро / Науч. ред. Т. Тимм, А. Раукас, Ю. Хаберман, А. Яани. Тарту: Eesti Loodusfoto, 2012. 495 с.

Рисник Д. В., Беляев С. Д., Булгаков Н. Г., Левич А. П., Максимов В. Н., Мамихин С. В., Милько Е. С. Подходы к нормированию качества окружающей среды. Методы, альтернативные существующей системе нормирования в Российской Федерации // Успехи современной биологии. 2013. Т. 133. С. 3–18.

Строков А. А. Особенности нормирования качества воды при разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 3. С. 105–109.

Фрумин Г. Т. Оценка состояния водных объектов и экологическое нормирование. СПб.: Синтез, 1998. 96 с.

Фрумин Г. Т. Экологически допустимые концентрации металлов в реках Санкт-Петербурга // Экологическая химия. 2015. № 24(2). С. 105–110.

References

Dmitriev V. V. Ecological regulation of the state and anthropogenic impacts on natural ecosystems. *Bulletin of St. Petersburg University*. 1994;7(2):60–70. (In Russ.)

Draper N., Smith G. Applied regression analysis. Moscow: Finance and statistics; 1986. 366 p. (In Russ.)

Frumin G. T. Assessment of the state of water bodies and environmental regulation. St. Petersburg: Sintez; 1998. 96 p. (In Russ.)

Frumin G. T. Environmentally acceptable concentrations of metals in the rivers of St. Petersburg. *Ecological Chemistry*. 2015;24(2):105–110. (In Russ.)

Gagarina O. V. Assessment and regulation of the quality of natural waters: criteria, methods, existing problems: Study guide. Izhevsk: Udmurtskii universitet; 2012. 199 p. (In Russ.)

Levich A. P., Terekhin A. T. A method for calculating environmentally acceptable levels of impact on freshwater ecosystems. *Water Resources*. 1997;(3):328–335. (In Russ.)

Lozovik P. A. Criteria for assessing the anthropogenic impact on aquatic ecosystems. *Anthropogenic impact on the nature of the North and its environmental consequences: Abstracts of the All-Russian meeting and visiting scientific session (Apatity, June 22-25, 1998)*. Apatity; 1998. P. 36–37. (In Russ.)

Makarova N. V., Trofimets V. Ya. Statistics in Excel. Moscow: Finance and statistics; 2002. 368 p. (In Russ.)

Moiseenko T. I. Assessment of water quality and the “health” of ecosystems from the standpoint of the ecological paradigm. *Water Management of Russia*. 2017;3:104–124. (In Russ.)

Nikanorov A. M., Tarasov M. N., Trunov N. M., Klimenko O. A., Matveeva N. P. Problems of standardization of surface water quality and natural environmental modeling. *Ecological regulation and modeling of anthropogenic impact on aquatic ecosystems: Collection of scientific papers*. Iss. 1. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988; 5–9. (In Russ.)

Order of the Ministry of Agriculture of Russia N 552 dated December 13, 2016 ‘On approval of water quality standards water bodies of fishery significance, including the standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance’ (Registered in the Ministry of Jus-

tice of Russia on January 13, 2017 N 45203). Moscow: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, 2016. 91 p.

Ovchinnikov L. N. Applied geochemistry. Moscow: Nedra; 1990. 248 p. (In Russ.)

Patin S. A. Impact of pollution on biological resources and productivity of the World Ocean. Moscow: Food industry; 1979. 304 p. (In Russ.)

Risnik D. V., Belyaev S. D., Bulgakov N. G., Levich A. P., Maksimov V. N., Mamikhin S. V., Mil’ko E. S. Approaches to standardization of environmental quality. Methods alternative to the existing system of regulation in the Russian Federation. *Successes of Modern Biology*. 2013;133:3–18. (In Russ.)

Strokov A. A. Features of water quality regulation in the development of standards for permissible impact on water bodies. *Bulletin of RUDN University. Ser. Ecology and Life Safety*. 2014;3:105–109. (In Russ.)

Timm T., Raukas A., Haberman J., Jaani A. (eds.). Lake Pskov-Peipsi. Tartu: Eesti Loodusfoto; 2012. 495 p. (In Russ.)

Venitsianov E. V., Miroshnichenko S. A., Lepikhin A. P., Gubernatorova T. N. Development and substantiation of regional indicators of water quality in terms of the content of heavy metals for water bodies of the Upper Kama basin. *Water Management of Russia*. 2015;3:50–64. (In Russ.)

Volkov I. V., Zalicheva I. N., Shustova N. K., Ilmast T. B. Does the federal fishery MPC make any ecological sense? *Ecology*. 1996;5:350–354. (In Russ.)

Voznyak A. A., Lepikhin A. P. Development of regional MACs: necessity, methodology, example *Geographic Bulletin*. 2018;2(45):103–114. (In Russ.)

Zamolodchikov D. G. Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems. St. Petersburg: Gidrometeoizdat; 1993. Vol. 15. P. 214–233. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 20.03.2023; принята к публикации / accepted: 16.06.2023.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Фрумин Григорий Тевелевич

д-р хим. наук, профессор кафедры физической географии и природопользования

e-mail: gfrumin@mail.ru

Негодина Евгения Сергеевна

аспирант

e-mail: 10020092@rambler.ru

CONTRIBUTORS:

Frumin, Grigory

Dr. Sci. (Chem.), Professor

Negodina, Evgenia

Doctoral Student