



Научная статья

УДК 628.193

Обоснование региональных предельно допустимых концентраций металлов в водных объектах

Г. Т. Фрумин ^{✉1}, Е. С. Негодина ²

¹ Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 48

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

Сведения об авторах

Фрумин Григорий Тевелевич, SPIN-код: 9203-5960, ResearcherID: [ABH-4545-2020](#), Scopus AuthorID: [6603777922](#), ORCID: [0000-0002-6100-5097](#), e-mail: gfrumin@mail.ru

Негодина Евгения Сергеевна, e-mail: 10020092@rambler.ru

Для цитирования: Фрумин Г. Т., Негодина Е. С. (2026) Обоснование региональных предельно допустимых концентраций металлов в водных объектах. *Евразийский географический журнал*, т. 1, № 1, с. 53–59.

Получена 19 февраля 2025; прошла рецензирование 11 марта 2025; принята 20 апреля 2025.

Финансирование: Исследование не имело финансовой поддержки.

Права: © Г. Т. Фрумин, Е. С. Негодина (2026). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях [лицензии CC BY 4.0](#).

Аннотация. Оценка качества поверхностных вод на основе общефедеральных 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. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования системы ПДК для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. На основе данных гидрохимического мониторинга впервые представлены результаты расчетов региональных предельно допустимых концентраций (ПДК_{рег}) металлов в воде водных объектов (озер и рек), расположенных на территории Северо-Западного региона России (реки Большая Нева, Славянка, Плюсса, Вуокса, Луга, Великая, Нарва; озера Ильмень, Имандра, Онежское, Псковское). Расчеты выполнены тремя различными методами: С. А. Патина, Д. Г. Замолодчикова и Е. В. Веницианова с соавторами. В расчетах по методу С. А. Патина 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 наилучший метод расчета региональных предельно допустимых концентраций металлов — метод, разработанный Е. В. Венициановым и соавторами. Установлена высокая теснота связи между натуральными логарифмами региональных предельно допустимых концентраций металлов в водоемах и водотоках Северо-Западного региона России и натуральными логарифмами их кларков в земной коре.

Ключевые слова: водные объекты, металлы, экологическое нормирование, принцип санитарного максимализма, кларки

Justification of regional maximum permissible concentrations of metals in water bodies

G. T. Frumin ^{✉1}, E. S. Negodina ²

¹ Herzen State Pedagogical University of Russia, 48 Moika Emb., Saint Petersburg 191186, Russia

² Saint Petersburg Branch of the Russian Federal Research Institute of Fishery and Oceanography, 26 Makarova Emb., Saint Petersburg 199053, Russia

Authors

Grigorij T. Frumin, SPIN: 9203-5960, ResearcherID: ABH-4545-2020, Scopus AuthorID: 6603777922, ORCID: 0000-0002-6100-5097, e-mail: gfrumin@mail.ru

Evgeniya S. Negodina, e-mail: 10020092@rambler.ru

For citation: Frumin G. T., Negodina E. S. (2026) Justification of regional maximum permissible concentrations of metals in water bodies. *Eurasian Journal of Geography*, vol. 1, no. 1, pp. 53–59.

Received 19 February 2025; reviewed 11 March 2025; accepted 20 April 2025.

Funding: The study did not receive any external funding.

Copyright: © G. T. Frumin, E. S. Negodina (2026). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY License 4.0.

Abstract. The assessment of surface water quality based on federal Maximum Permissible Concentrations (MPCs) entirely disregards not only the uniqueness of watersheds, but also their natural diversity. A contradiction arises when the concentrations of certain chemicals, which support the stability of established biocenoses, do not correspond to fishery-specific MPCs (MPC_f) that serve as regulatory standards for the quality of nearly all water bodies in Russia. The relevance of this study stems from the need to improve the MPC system for water bodies of fishery significance. Using data from hydrochemical monitoring, this paper presents — for the first time — calculated regional maximum permissible concentrations (MPC_{REG}) for metals in the waters of rivers and lakes located in the Northwestern Federal District of Russia. The studied water bodies include the rivers Bolshaya Neva, Slavyanka, Plyussa, Vuoksa, Luga, Velikaya, and Narva, as well as lakes Ilmen, Imandra, Onega, and Pskov. Calculations were performed using three distinct methodologies: those of S. A. Patin, D. G. Zamolodchikov, and E. V. Venitsianov and colleagues. The Patin method is based on two indicators: the mean concentration of a chemical element for the study period and the standard deviation. The Zamolodchikov method utilizes the upper and lower quartiles of the distribution. The method proposed by Venitsianov and his colleagues employs sample size, the upper quartile of the distribution, and the standard deviation for a quantile of approximately 0.75. Based on the principle of sanitary maximalism, the optimal method for calculating regional MPCs for metals has been identified — the methodology developed by E. V. Venitsianov and co-authors. A high correlation has been established between the natural logarithms of the regional MPCs for metals in the water bodies and watercourses of the Northwestern Federal District of Russia and the natural logarithms of their clarkes in the Earth's crust.

Keywords: water bodies, metals, environmental regulation, principle of sanitary maximalism, clarkes

Введение

Предельно допустимая концентрация (ПДК) загрязняющих веществ в водных объектах — это «концентрация вещества в воде, при повышении которой вода становится непригодной для одного или нескольких видов водопользования» (Дедю 1989).

Со временем «стало очевидным, что требования к качеству воды, потребляемой разными отраслями промышленности, могут существенно различаться. Это привело к развитию самостоятельной системы рыбохозяйственных ПДК_{рх}, направленной на охрану водоемов как базы для организации рыбоводства и рыболовства» (Владимиров и др. 1991).

Примерно с 1990-х годов система ПДК_{рх} подвергается аргументированной критике, подробно изложенной в ряде работ (Волков и др. 1996; Гагарина 2012; Дмитриев 1994; Левич, Терехин 1997; Лозовик 1998; Рисник и др. 2013; Строков 2014; Фрумин 1998; 2015). К примеру, федеральные ПДК_{рх} не учитывают специфику функционирования водных экосистем в различных природно-климатических зонах (широтная и вертикальная зональность) и биогеохимических провинциях (естественные геохимические аномалии с различным уровнем содержания природных соединений).

В России, по сравнению с другими странами (США, ЕС) (Canadian Water Quality Guidelines... 2004; Environmental Quality Objectives... 2001),

установлены очень жесткие нормативы для меди, ванадия, марганца.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования системы ПДК для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. Цель работы заключалась в обосновании региональных предельно допустимых концентраций (ПДК_{РЕГ}) металлов (приоритетных загрязняющих веществ) в воде водных объектов (водоемов и водотоков) Северо-Западного региона России.

Методы исследования

Для расчетов ПДК_{РЕГ} были использованы три различных метода, разработанных С. А. Патиным (Патин 1979), Д. Г. Замолодчиковым (Замолодчиков 1993) и Е. В. Венициановым с соавторами (Веницианов и др. 2015) (табл. 1). В России и за рубежом выделяются различные подходы к региональному нормированию качества воды (Crommentuijn et al. 2000).

В расчетах по методу Е. В. Веницианова и соавторов применялись объем выборки, верхний квартиль распределения и среднеквадратическое отклонение для квантиля порядка 0,75. Следует также отметить, что в США в качестве

«желательного» показателя качества воды также используется квантиль порядка 0,75 (Gibson et al. 2000).

Результаты и их обсуждение

Математические модели, приведенные в табл. 1, были применены для расчетов ПДК_{РЕГ} в воде различных водных объектов Северо-Западного региона России. Для иллюстрации приводим таблицу 2, где для последующего анализа были добавлены значения ПДК металлов для рыбохозяйственных водных объектов (ПДК_{РХ}) (Шиленко и др. 1999) и среднее содержание металлов в земной коре (кларки) (Овчинников 1990).

Приведенные в таблице 2 результаты расчетов ПДК_{РЕГ} свидетельствуют о существенных различиях этих величин в зависимости от метода расчета. Как видно из таблицы 2, наименьшие величины ПДК_{РЕГ} зафиксированы для каждого из семи рассмотренных металлов при применении 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).

Табл. 1. Математические модели для расчетов региональных предельно допустимых концентраций

Авторы метода	Модель
С. А. Патин	$\text{ПДК}_{\text{РЕГ}} = C_{\text{CP}} + 2\sigma$, C_{CP} — средняя концентрация, мкг/дм ³ , σ — стандартное отклонение
Д. Г. Замолодчиков	$\text{ПДК}_{\text{РЕГ}} = \text{ВК} + 1,5(\text{ВК} - \text{НК})$, ВК и НК — верхний и нижний квартили распределения
Е. В. Веницианов и соавторы	$\text{ПДК}_{\text{РЕГ}} = \text{ВК} - 2,9\sigma/\sqrt{N}$, N — объем выборки

Table 1. Mathematical models for calculating regional maximum permissible concentrations

Authors of the method	Model
S. A. Patin	$\text{MPCREG} = C_{\text{mean}} + 2\sigma$, where C_{mean} is the mean concentration ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$), σ is the standard deviation.
D. G. Zamolodchikov	$\text{MPCREG} = Q_{\text{high}} + 1.5(Q_{\text{high}} - Q_{\text{low}})$, where Q_{high} and Q_{low} are the upper and lower quartiles of the distribution.
E. V. Venitsianov and co-authors	$\text{MPCREG} = Q_{\text{high}} - 2.9\sigma/\sqrt{N}$, where N is the sample size.

Табл. 2. Региональные концентрации предельно допустимых концентраций металлов в озере Ильмень, мкг/дм³

Автор(ы) метода / металлы	Fe _{общ}	Cu	Pb	Mn	Cd	Co	Cr ³⁺
С. А. Патин	673	6,84	5,88	101,8	0,82	15,53	6,87
Д. Г. Замолодчиков	835	8,68	4,59	98,05	1,16	18,3	9,11
Е. В. Веницианов и соавторы	455	3,942	1,539	41,2	0,43	4,84	2,64
ПДК _{РХ}	100	1	6	10	1	10	70
Кларк, мг/кг	53,3	0,053	0,013	0,9	0,00017	0,023	0,093

Table 2. Regional maximum permissible concentrations of metals in Lake Ilmen, $\mu\text{g}/\text{dm}^3$

Author(s) of the method / Metals	Fe(total)	Cu	Pb	Mn	Cd	Co	Cr ³⁺
S. A. Patin	673	6.84	5.88	101.8	0.82	15.53	6.87
D. G. Zamolodchikov	835	8.68	4.59	98.05	1.16	18.30	9.11
E. V. Venitsianov and co-authors	455	3.942	1.539	41.2	0.43	4.84	2.64
MPCf	100	1	6	10	1	10	70
Clarke, mg/kg	53.3	0.053	0.013	0.9	0.00017	0.023	0.093

Иными словами, в качестве наилучшего метода расчетов ПДК_{РЕГ} следует рассматривать метод Е. В. Веницианова с соавторами.

Соотношения между натуральными логарифмами ПДК_{РЕГ} и натуральными логарифмами кларков металлов (г/кг) в земной коре приведены в таблице 3.

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 не учитывает региональные особенности водных объектов.

В исследованиях различных авторов предложены методы расчетов региональных ПДК

Табл. 3. Соотношения между натуральными логарифмами региональных предельно допустимых концентраций металлов в воде водных объектов и натуральными логарифмами их кларков в земной коре

Водный объект	Модель	Теснота связи
Река Большая Нева	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}) = 2,981 + 0,4\ln(\text{кларк})$ $n = 5 \quad r = 0,98 \quad r^2 = 0,96 \quad \sigma = 0,50 \quad F_p/F_T = 7,9$	Весьма высокая
Река Славянка	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}) = 2,853 + 0,36\ln(\text{кларк})$ $n = 9 \quad r = 0,89 \quad r^2 = 0,79 \quad \sigma = 0,65 \quad F_p/F_T = 5,2$	Высокая
Река Плюсса	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}) = 4,289 + 0,68\ln(\text{кларк})$ $n = 6 \quad r = 0,99 \quad r^2 = 0,98 \quad \sigma = 0,40 \quad F_p/F_T = 38,7$	Весьма высокая
Река Вуокса	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}) = 2,391 + 0,49\ln(\text{кларк})$ $n = 5 \quad r = 0,97 \quad r^2 = 0,94 \quad \sigma = 0,66 \quad F_p/F_T = 6,4$	Весьма высокая
Река Луга	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}) = 4,142 + 0,51\ln(\text{кларк})$ $n = 5 \quad r = 0,99 \quad r^2 = 0,98 \quad \sigma = 0,43 \quad F_p/F_T = 16,6$	Весьма высокая
Река Великая	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}) = 3,522 + 0,45\ln(\text{кларк})$ $n = 6 \quad r = 0,99 \quad r^2 = 0,98 \quad \sigma = 0,13 \quad F_p/F_T = 152,4$	Весьма высокая
Река Нарва	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}) = 2,853 + 0,358\ln(\text{кларк})$ $n = 6 \quad r = 0,96 \quad r^2 = 0,92 \quad \sigma = 0,45 \quad F_p/F_T = 7,9$	Весьма высокая
Озеро Ильмень	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}) = 3,392 + 0,57\ln(\text{кларк})$ $n = 7 \quad r = 0,96 \quad r^2 = 0,92 \quad \sigma = 0,70 \quad F_p/F_T = 10,0$	Весьма высокая
Псковское озеро	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}) = 3,419 + 0,47\ln(\text{кларк})$ $n = 6 \quad r = 0,97 \quad r^2 = 0,94 \quad \sigma = 0,61 \quad F_p/F_T = 8,2$	Весьма высокая
Озеро Имандра	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}) = 2,286 + 0,28\ln(\text{кларк})$ $n = 6 \quad r = 0,97 \quad r^2 = 0,94 \quad \sigma = 0,61 \quad F_p/F_T = 4,6$	Весьма высокая
Онежское озеро	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}}) = -2,674 + 0,674\ln(\text{кларк})$ $n = 9 \quad r = 0,93 \quad r^2 = 0,86 \quad \sigma = 0,41 \quad F_p/F_T = 21,4$	Весьма высокая

Примечания: n — количество металлов, r — коэффициент корреляции, r² — коэффициент детерминации, σ — стандартная ошибка, F_p — расчетное значение критерия Фишера, F_T — табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 95 %. Приведенные зависимости адекватны (F_p > F_T) и полезны для предсказания величин ПДК_{РЕГ} для других металлов (F_p/F_T > 4) (Дрейпер, Смит 1986).

Table 3. Relationships between the natural logarithms of regional maximum permissible concentrations of metals in water bodies and the natural logarithms of their clarkes in the Earth's crust

Water Body	Model	Correlation
Bolshaya Neva River	$\ln(\text{MPCREG}) = 2.981 + 0.4 \ln(\text{clarke})$ n = 5, r = 0.98, r ² = 0.96, $\sigma = 0.50$, $F_p/F_T = 7.9$	very high
Slavyanka River	$\ln(\text{MPCREG}) = 2.853 + 0.36 \ln(\text{clarke})$ n = 9, r = 0.89, r ² = 0.79, $\sigma = 0.65$, $F_p/F_T = 5.2$	high
Plyussa River	$\ln(\text{MPCREG}) = 4.289 + 0.68 \ln(\text{clarke})$ n = 6, r = 0.99, r ² = 0.98, $\sigma = 0.40$, $F_p/F_T = 38.7$	very high
Vuoksa River	$\ln(\text{MPCREG}) = 2.391 + 0.49 \ln(\text{clarke})$ n = 5, r = 0.97, r ² = 0.94, $\sigma = 0.66$, $F_p/F_T = 6.4$	very high
Luga River	$\ln(\text{MPCREG}) = 4.142 + 0.51 \ln(\text{clarke})$ n = 5, r = 0.99, r ² = 0.98, $\sigma = 0.43$, $F_p/F_T = 16.6$	very high
Velikaya River	$\ln(\text{MPCREG}) = 3.522 + 0.45 \ln(\text{clarke})$ n = 6, r = 0.99, r ² = 0.98, $\sigma = 0.13$, $F_p/F_T = 152.4$	very high
Narva River	$\ln(\text{MPCREG}) = 2.853 + 0.358 \ln(\text{clarke})$ n = 6, r = 0.96, r ² = 0.92, $\sigma = 0.45$, $F_p/F_T = 7.9$	very high
Lake Ilmen	$\ln(\text{MPCREG}) = 3.392 + 0.57 \ln(\text{clarke})$ n = 7, r = 0.96, r ² = 0.92, $\sigma = 0.70$, $F_p/F_T = 10.0$	very high
Lake Pskov	$\ln(\text{MPCREG}) = 3.419 + 0.47 \ln(\text{clarke})$ n = 6, r = 0.97, r ² = 0.94, $\sigma = 0.61$, $F_p/F_T = 8.2$	very high
Lake Imandra	$\ln(\text{MPCREG}) = 2.286 + 0.28 \ln(\text{clarke})$ n = 6, r = 0.97, r ² = 0.94, $\sigma = 0.61$, $F_p/F_T = 4.6$	very high
Lake Onega	$\ln(\text{MPCREG}) = -2.674 + 0.674 \ln(\text{clarke})$ n = 9, r = 0.93, r ² = 0.86, $\sigma = 0.41$, $F_p/F_T = 21.4$	very high

Notes: Here, n is the number of metals, r is the correlation coefficient, r² is the determination coefficient, σ is the standard error, F_p is the calculated value of the Fisher criterion, and F_t is the tabulated value of the Fisher criterion at a 95% significance level. The presented relationships are adequate ($F_p > F_t$) and useful for predicting the MPCREG values for other metals ($F_p/F_T > 4$) (Drape, Smith 1986, 366).

(ПДК_{РЕГ}). В данной статье для расчетов ПДК_{РЕГ} металлов в реках и озерах использованы три наиболее популярных метода: метод С. А. Патина, метод Д. Г. Замолодчикова и метод Е. В. Веницианова и соавторов. Следуя принципу санитарного максимализма, установлено, что в качестве наилучшего метода расчетов ПДК_{РЕГ} следует рассматривать метод, разработанный Е. В. Венициановым и соавторами.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Вклад авторов

Авторы внесли равный вклад в подготовку рукописи статьи.

Author Contributions

The authors have made an equal contribution to the preparation of the manuscript of the article.

Список литературы

- Веницианов, Е. В., Мирошниченко, С. А., Лепихин, А. П., Губернаторова, Т. Н. (2015) Разработка и обоснование региональных показателей качества воды по содержанию тяжелых металлов для водных объектов бассейна Верхней Камы. *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*, № 3, с. 50–64. <https://www.doi.org/10.35567/1999-4508-2015-3-4>
- Владимиров, А. М., Ляхин, Ю. И., Матвеев, А. Т., Орлов, В. Г. (1991) *Охрана окружающей среды*. Ленинград: Гидрометеоздат, 422 с.
- Возняк, А. А., Лепихин, А. П. (2018) Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример. *Географический вестник*, № 2 (45), с. 103–115.

- Волков, И. В., Заличева, И. Н., Шустова, Н. К., Ильмаст, Т. Б. (1996) Есть ли экологический смысл у общегосударственных рыбохозяйственных ПДК? *Экология*, № 5, с. 350–354.
- Гагарина, О. В. (2012) *Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы*. Ижевск: Изд-во Удмуртского университета, 199 с.
- Дедю, И. И. (1989) *Экологический энциклопедический словарь*. Кишинев: Молдавская Советская Энциклопедия, 408 с.
- Дмитриев, В. В. (1994) Экологическое нормирование состояния и антропогенных воздействий на природные экосистемы. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География*, № 2, с. 60–70.
- Дрейпер, Н., Смит, Г. (1986) *Прикладной регрессионный анализ*. М.: Финансы и статистика, 366 с.
- Замолодчиков, Д. Г. (1993) Оценки экологически допустимых уровней антропогенного воздействия на пресноводные экосистемы. *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. 15, с. 214–233.
- Левич, А. П., Терехин, А. Т. (1997) Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на пресноводные экосистемы. *Водные ресурсы*, т. 24, № 3, с. 328–335.
- Лозовик, П. А. (1998) Критерии оценки антропогенного влияния на водные экосистемы. В кн.: *Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия. Тезисы докладов Всероссийского совещания и выездной научной сессии*. Апатиты: Кольский научный центр РАН, с. 36–37.
- Овчинников, Л. Н. (1990) *Прикладная геохимия*. М.: Недра, 248 с.
- Патин, С. А. (1979) *Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана*. М.: Пищевая промышленность, 304 с.
- Рисник, Д. В., Беляев, С. Д., Булгаков, Н. Г. и др. (2013) Подходы к нормированию качества окружающей среды. Методы, альтернативные существующей системе нормирования в Российской Федерации. *Успехи современной биологии*, т. 133, с. 3–18.
- Строков, А. А. (2014) Особенности нормирования качества воды при разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. *Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности*, № 3, с. 105–109.
- Фруммин, Г. Т. (1998) *Оценка состояния водных объектов и экологическое нормирование*. СПб.: Синтез, 96 с.
- Фруммин, Г. Т. (2015) Экологически допустимые концентрации металлов в реках Санкт-Петербурга. *Экологическая химия*, т. 24, № 2, с. 105–110.
- Шиленко, Н. А., Соколова, С. А., Анисова, С. Н. и др. (сост.). (1999) *Перечень рыбохозяйственных нормативов, предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение*. М.: Изд-во ВНИРО, 304 с.
- Canadian Water Quality Guidelines*. (2004) Ottawa. Ontario: Canadian Council of Ministers of Environment Publ., 76 p.
- Crommentuijn, T., Sijm, D., Bruijn, J. et al. (2000) Maximum permissible and negligible concentrations for metals and metalloids in the Netherlands, taking into account background concentrations. *Journal of Environmental Management*, vol. 60, no. 2, pp. 121–143. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0354>
- Environmental Quality Objectives for Hazardous Substances in Aquatic Environment*. (2001) Berlin: Umweltbundesamt Publ., 186 p.
- Gibson, G., Carlson, R., Smeltzer, E. et al. (2000) *Nutrient criteria technical guidance manual lake and reservoirs*. Washington: US Environmental Protection Agency Publ., 232 p. <https://doi.org/doi:10.7282/t3-6mra-wv76>

References

- Canadian Water Quality Guidelines*. (2004) Ottawa. Ontario: Canadian Council of Ministers of Environment Publ., 76 p. (In English)
- Crommentuijn, T., Sijm, D., Bruijn, J. et al. (2000) Maximum permissible and negligible concentrations for metals and metalloids in the Netherlands, taking into account background concentrations. *Journal of Environmental Management*, vol. 60, no. 2, pp. 121–143. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0354> (In English)
- Dedy, I. I. (1989) *Ecological encyclopedic dictionary*. Kishinev: Moldavskaya Sovetskaya Entsiklopediya Publ., 408 p. (In Russian)
- Dmitriev, V. V. (1994) Ecological regulation of the state and anthropogenic impacts on natural ecosystems. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya*, no. 2, pp. 60–70. (In Russian)
- Dreyper, N., Smit, G. (1986) *Applied Regression Analysis*. Moscow: Finansy i statistika Publ., 366 p. (In Russian)
- Environmental Quality Objectives for Hazardous Substances in Aquatic Environment*. (2001) Berlin: Umweltbundesamt Publ., 186 p. (In English)
- Frummin, G. T. (2015) Ecologically permissible concentrations of metals in the rivers of Saint Petersburg. *Environmental Chemistry*, vol. 24, no 2, pp. 105–110. (In Russian)
- Frummin, G. T. (1998) *Assessment of the state of water bodies and environmental regulation*. Saint Petersburg: Sintez Publ., 96 p. (In Russian)

- Gagarina, O. V. (2012) *Assessment and regulation of natural water quality: Criteria, methods, and existing problems*. Izhevsk: "Udmurt University" Publ., 199 p. (In Russian)
- Gibson, G., Carlson, R., Smeltzer, E. et al. (2000) *Nutrient criteria technical guidance manual lake and reservoirs*. Washington: US Environmental Protection Agency, 232 p. <https://doi.org/doi:10.7282/t3-6mra-wv76> (In English)
- Levich, A. P., Terekhin, A. T. (1997) Method for calculating ecologically permissible levels of impact on freshwater ecosystems. *Water Resources*, vol. 24, no. 3, pp. 328–335. (In Russian)
- Lozovik, P. A. (1998) Criteria for assessing anthropogenic impact on aquatic ecosystems. In: *Anthropogenic impact on the nature of the North and its environmental consequences. Abstracts of the All-Russian Conference and the field scientific session*. Apatity: Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences Publ., pp. 36–37. (In Russian)
- Ovchinnikov, L. N. (1990) *Applied Geochemistry*. Moscow: Nedra Publ., 246 p. (In Russian)
- Patin, S. A. (1979) *The influence of pollution on biological resources and productivity of the World Ocean*. Moscow: Food industry Publ., 304 p. (In Russian)
- Risnik, D. V., Belyaev, S. D., Bulgakov, N. G. et al. (2013) Approaches to standardization of environmental quality. Alternative methods to the current standardization system in the Russian Federation. *Advances in Current Biology*, vol. 133, pp. 3–18. (In Russian)
- Shilenko, N. A., Sokolova, S. A., Anisova, S. N. et al. (comp.). (1999) *List of fishery standards, maximum permissible concentrations (MPC) and estimated safe impact levels (ESIL) of harmful substances for water bodies of fishery importance*. Moscow: VNIRO Publ., 304 p. (In Russian)
- Strokov, A. A. (2014) Water quality standardization for total maximum load in water bodies calculation. *Bulletin of RUDN. Series Ecology and life safety*, no. 3, pp. 105–109. (In Russian)
- Venitsianov, E. V., Miroshnichenko, S. A., Lepikhin, A. P., Gubernatorova, T. N. (2015) Development and Substantiation of Regional Water Quality Standards in Respect of Heavy Metals Content for the Upper Kama Basin Water Bodies. *Water sector of Russia: Problems, technologies, management*, no. 3, pp. 50–64. <https://www.doi.org/10.35567/1999-4508-2015-3-4> (In Russian)
- Vladimirov, A. M., Lyakhin, Yu. I., Matveev, L. T., Orlov, V. G. (1991) *Environmental protection*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 422 p. (In Russian)
- Volkov, I. V., Zalicheva, I. N., Shustova, N. K., Il'mast, T. B. (1996) Do federal fishery MPCs make ecological sense? *Ecology*, no. 5, pp. 350–354. (In Russian)
- Voznyak, A. A., Lepikhin, A. P. (2018) Development of regional MPCs: Necessity, methodology, example. *Geographical Bulletin*, no. 2 (45), pp. 103–114. (In Russian)
- Zamolodchikov, D. G. (1993) The estimation of ecological permissible levels of anthropogenic pressure. *Problems of ecological monitoring and ecosystem modelling*, vol. 15, pp. 214–233. (In Russian)