

УДК 628.193

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-4-615-623

Экологически допустимые концентрации тяжёлых металлов в реке Большая Нева

¹Фрумин Г.Т., ²Негодина Е.С.

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

² Санкт-Петербургский филиал «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга)
Россия, 199053, Санкт-Петербург, ул. Набережная Макарова, 26
E-mail: gfrumin@mfil.ru, 10020092@rambler.ru

Аннотация. Цель исследования – обоснование региональных концентраций тяжёлых металлов в реке Большая Нева. Для расчётов экологически допустимых концентраций использованы первичные данные гидрохимического мониторинга за период 2000–2011 гг., заимствованные из ежегодников Санкт-Петербургского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями. Представлены результаты расчётов экологически допустимых концентраций пяти тяжёлых металлов (железо общее, медь, свинец, марганец, кадмий) в реке Большая Нева. Для расчётов использованы три различных метода: метод С.А. Патины, метод Д.Г. Замолодчикова и метод Е.В. Веницианова и соавторов. Для расчётов по методу С.А. Патины применены два показателя – средняя концентрация химического элемента за рассматриваемый период и стандартное отклонение. Расчёты по методу Д.Г. Замолодчикова базировались на применении верхней и нижней квартилей распределения. В расчётах по методу Е.В. Веницианова и соавторов применены три показателя – объём выборки, верхняя квартиль распределения и среднеквадратическое отклонение для квантиля порядка 0,75. На основе принципа санитарного максимализма обоснован оптимальный метод расчёта региональных предельно допустимых концентраций тяжёлых металлов – метод, разработанный Е.В. Венициановым и соавторами. Установлена «весьма высокая» теснота связи между экологически допустимыми концентрациями тяжёлых металлов в реке Большая Нева и их кларками в земной коре. Приведены результаты прогноза величин экологически допустимых концентраций (ЭДК) для четырёх металлов (кобальт, никель, цинк, алюминий).

Ключевые слова: тяжёлые металлы, экологическое нормирование, региональные показатели качества воды, принцип санитарного максимализма, кларки

Для цитирования: Фрумин Г.Т., Негодина Е.С. 2022. Экологически допустимые концентрации тяжёлых металлов в реке Большая Нева. Региональные геосистемы, 46(4): 615–623. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-4-615-623

Environmentally Allowable Concentrations of Heavy Metals in the River Bolshaya Neva

¹Grigory T. Frumin, ²Evgenia S. Negodina

¹ Herzen State Pedagogical University of Russia
48 Nab. R. Moiki, St. Petersburg 191186, Russia

² State Research Institute of Lake and River Fisheries (GosNIORKh)
26 Nab. Makarova, St. Petersburg 199053, Russia
E-mail: gfrumin@mfil.ru, 10020092@rambler.ru

Abstract. The purpose of the study is to substantiate the regional concentrations of heavy metals in the river Bolshaya Neva. To calculate the environmentally acceptable concentrations, primary data of



hydrochemical monitoring for the period 2000–2011 were used, borrowed from the yearbooks of the St. Petersburg Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring with regional functions. The results of calculations of environmentally acceptable concentrations of five heavy metals (common iron, copper, lead, manganese, cadmium) in the river Bolshaya Neva are presented. Three different methods were used for calculations: the method of S.A. Patina, method D.G. Zamolodchikov and the method of E.V. Venitsianov and co-authors. For calculations by the method of S.A. Patina used two indicators – 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 use of the upper and lower quartiles of the distribution. In calculations according to the method of E.V. Venitsianov and co-authors used three indicators – the sample size, the upper quartile of the distribution and the standard deviation for the quantile of about 0.75. Based on the principle of sanitary maximalism, the optimal method for calculating regional maximum permissible concentrations of heavy metals is substantiated – the method developed by E.V. Venitsianov and co-authors. A very high close relationship between the environmentally acceptable concentrations of heavy metals in the river Bolshaya Neva and their clarks in the earth's crust has been established. The results of predicting environmentally acceptable concentrations values for four metals (cobalt, nickel, zinc, aluminum) are presented.

Keywords: heavy metals, environmental regulation, regional indicators of water quality, the principle of sanitary maximalism, clarks

For citation: Frumin G.T., Negodina E.S. 2022. Environmentally Allowable Concentrations of Heavy Metals in the River Bolshaya Neva. Regional geosystems, 46(4): 615–623 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-4-615-623

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, 1990].

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 водоёмов как базы для организации рыбоводства и рыболовства [Владимиров и др., 1991].

Предельно допустимая концентрация (ПДК_{рх}) вещества в воде характеризует его максимально допустимую концентрацию (или его метаболитов) в воде, при которой в водном объекте не возникают последствия, снижающие его рыбохозяйственную ценность (в ближайшее время и в перспективе) или затрудняющие его рыбохозяйственное использование при постоянстве этой концентрации в воде водного объекта [Об утверждении методических ..., 2009].

Примерно с 1990-х годов система ПДК_{рх} подвергается аргументированной критике, подробно изложенной в ряде работ [Никаноров и др., 1988; Дмитриев, 1994; Волков и др., 1996; Фрумин, 1998; 2015]. В частности, 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 статье О.В. Гагариной [2012]: «Одной из главных причин ухудшения качества вод в последнее время признаётся несовершенство системы нормирования. В частности, в качестве критериев нормирования применяются одинаковые для всей территории России ПДК, которые зависят только от вида водопользования и не учитывают региональных особенностей формирования природных вод». Аналогичная точка зрения приведена в работе П.А. Лозовика [1998].

Нормативы допустимого воздействия на окружающую среду должны обеспечивать соблюдение нормативов качества окружающей среды с учётом природных особенностей территорий и акваторий [Об охране окружающей среды, 2002].

В связи с изложенным цель исследования заключалась в обосновании экологически допустимых концентраций тяжёлых металлов в реке Большая Нева.

Объекты и методы исследования

Река Большая Нева вытекает из Шлиссельбургской губы Ладожского озера и впадает в Невскую губу Финского залива [Нежиховский, 1981]. Координаты 59°56'41" с.ш. 30°18'34" в.д. Длина реки 74 км, средний многолетний расход воды 2500 м³/с.

Для расчётов экологически допустимых концентраций (ЭДК) тяжёлых металлов в реке Большая Нева использованы первичные данные гидрохимического мониторинга за период 2000–2011 гг., заимствованные из ежегодников СЗ УГМС. Отбор проб воды проводился в восьми створах (рис. 1, табл. 1) [Водные объекты ..., 2002].

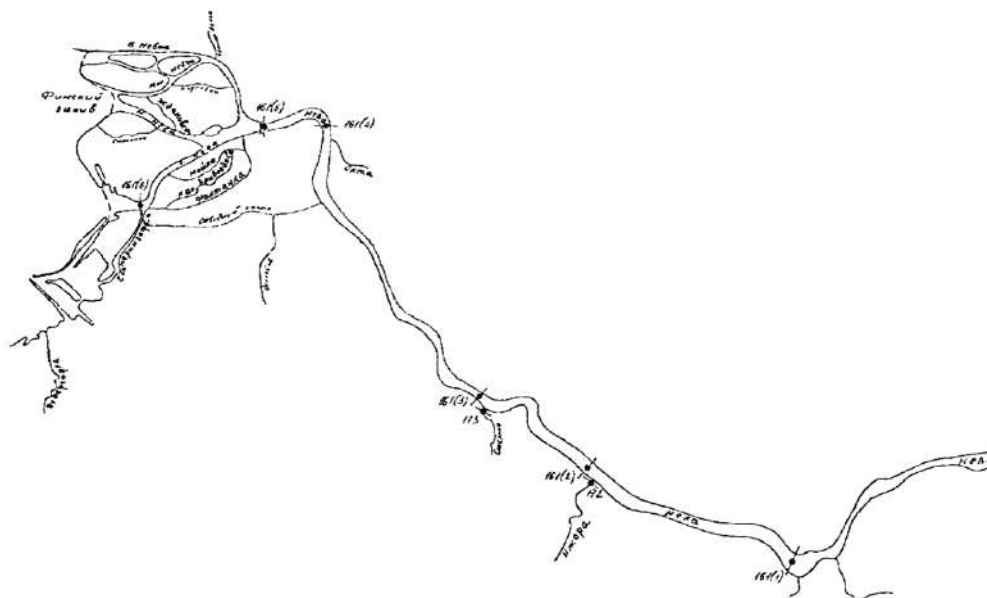


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб воды
Fig. 1. Layout of water sampling stations

Таблица 1
Table 1

Пункты наблюдений на реке Большая Нева
Observation points on the river Bolshaya Neva

Водоток (створ)	Пункт наблюдений
р. Большая Нева	г. Кировск (створ 1)
р. Большая Нева	г. Кировск (створ 2)
р. Большая Нева 161(1)	Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Тосна
р. Большая Нева 161(2)	Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Ижора
р. Большая Нева 161(3)	Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Славянка, г/п Новосаратовка
р. Большая Нева 161(4)	Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Охта
р. Большая Нева 161(5)	Санкт-Петербург; 0,1 км выше Литейного моста
р. Большая Нева 161(6)	Санкт-Петербург; 1,4 км выше устья

Для установления ЭДК были использованы три различных метода, разработанные С.А. Патиным [1979], Д.Г. Замолотчиковым [1993] и Е.В. Венициановым с соавторами [2015].

Количественная оценка верхнего биогеохимического порога экологической толерантности, предложенная С.А. Патиным [1979], выполняется по формуле (1):

$$\text{ЭДК} = C_{\text{CP}} + 2\sigma, \quad (1)$$

где ЭДК – экологически допустимая концентрация; C_{CP} – средняя концентрация; σ – стандартное отклонение совокупности результатов, использованных для оценки C_{CP} . Множитель 2 – это округлённое значение t-критерия Стьюдента для 95 % уровня значимости.

Согласно Д.Г. Замолотчикову [1993] современные статистические методы предоставляют возможность при достаточно большом наборе данных определить значения, «выпадающие» из этого распределения. Верхняя граница «выпадающих» значений может служить оценкой допустимого уровня для тех факторов, с возрастанием которых связано ухудшение экологического состояния гидроэкосистемы. Верхнюю границу «выпадающих» значений можно найти из следующей формулы (2):

$$\text{ЭДК} = \text{ВК} + 1,5(\text{ВК} - \text{НК}), \quad (2)$$

где ЭДК – экологически допустимая концентрация (верхняя граница «выпадающих» значений), ВК и НК – верхняя и нижняя квартили распределения.

Для оценки региональных ПДК загрязняющих веществ Венициановым с соавторами [2015] рекомендована следующая формула (3) (для единообразия с формулами 1 и 2 авторы данной статьи использовали символы ЭДК и ВК):

$$\text{ЭДК} = \text{ВК} - 2,15\sigma_{0,75}/\sqrt{N}, \quad (3)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение для квантиля порядка $p = 0,75$; N – объём выборки.

$$\text{При } p = 0,75 \quad \sigma_{0,75} \approx 1,35\sigma. \quad (4)$$

Значения N , C_{CP} , $\sigma_{0,75}$, ВК и НК для тяжёлых металлов за период 2000–2011 гг. представлены в табл. 2. Для расчётов был использован пакет прикладных программ Excel.

Таблица 2
Table 2

Показатели для расчётов экологически допустимых концентраций тяжёлых металлов
Indicators for calculating environmentally acceptable concentrations of heavy metals

Металл	N	C_{CP}	σ	ВК	НК
Железо общее ($\text{Fe}_{\text{общ}}$), мг/л	831	0,15	0,18	0,17	0,05
Медь (Cu), мкг/л	1259	5,20	3,90	6,50	2,80
Свинец (Pb), мкг/л	1258	3,30	3,20	4,40	1,00
Марганец (Mn), мкг/л	1260	15,90	35,90	12,00	1,40
Кадмий (Cd), мкг/л	1258	0,49	0,36	0,60	0,30

В статье [Фрумин, 2015] приведены значения ЭДК для основных рек Санкт-Петербурга, включая реку Большая Нева. Однако эти значения получены при использовании только метода Д.Г. Замолотчикова. Метод Е.В. Веницианов и соавторов не был применён.

Результаты и их обсуждение

По формулам 1–3 тремя методами были рассчитаны величины ЭДК тяжёлых металлов (табл. 3). В табл. 3 для последующего анализа были добавлены значения ПДК тяжёлых металлов для рыбохозяйственных водных объектов (ПДК_{РХ}) [Перечень..., 1999] и среднее содержание металлов в земной коре (кларки) [Овчинников, 1990].

Таблица 3

Table 3

Экологически допустимые концентрации тяжёлых металлов
Environmentally acceptable concentrations of heavy metals

Автор(ы) метода /показатели	Fe _{общ} , мкг/л	Cu, мкг/л	Pb, мкг/л	Mn, мкг/л	Cd, мкг/л
Патин С.А.	510	12,9	9,6	87,8	1,21
Замолотчиков Д.Г.	350	12,1	9,5	27,9	1,05
Веницианов Е.В. и соавторы	150	6,2	4,1	9,1	0,6
ПДК _{РХ}	100	1	6	10	1
Кларк, мг/кг	53,3	0,053	0,013	0,9	0,00017

Приведённые в табл. 3 результаты расчётов ЭДК показывают существенные различия этих величин в зависимости от метода расчёта. К примеру, ЭДК марганца в реке Большая Нева равна 87,8 мкг/л при расчёте методом С.А. Патина и 9,1 мкг/л при расчёте методом Е.В. Веницианова и соавторов, то есть различие в 9,6 раз. Как следует из табл. 3 наименьшие величины ЭДК зафиксированы для каждого из пяти рассмотренных тяжёлых металлов при использовании метода Е.В. Веницианова с соавторами.

Здесь уместно напомнить о принципе санитарного максимализма, когда все неопределённости и неоднозначности трактуются в сторону снижения показателя [Возняк, Лепинин, 2018]. Иными словами, в качестве оптимального метода расчётов ЭДК следует рассматривать метод, разработанный Е.В. Венициановым и соавторами.

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

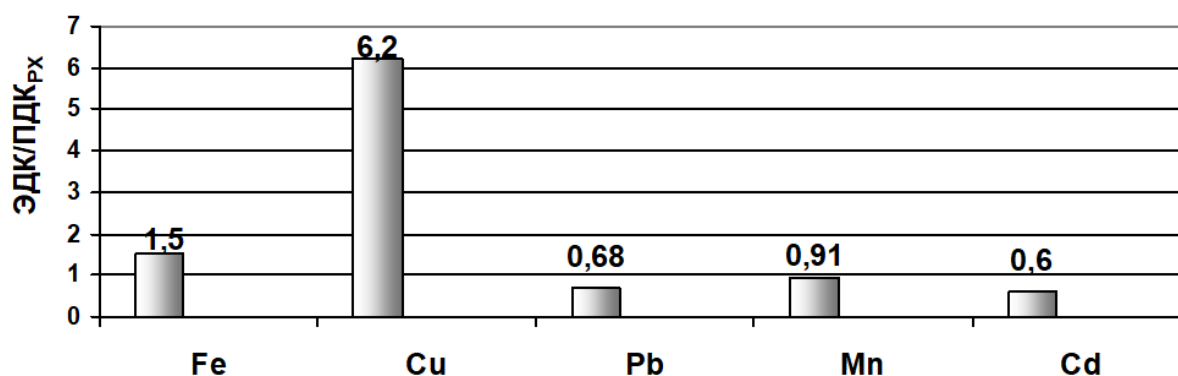


Рис. 2. Отношение экологически допустимых концентраций тяжёлых металлов к предельно допустимым концентрациям для рыбохозяйственных водных объектов

Fig. 2. The ratio of environmentally permissible concentrations of heavy metals to the maximum permissible concentrations for fishery water bodies

Приведённые на рис. 2 данные свидетельствуют о том, что ЭДК железа общего и меди больше ПДК_{РХ}, а ЭДК свинца, марганца и кадмия – меньше ПДК_{РХ}.

Соотношение между величинами ЭДК и кларками металлов в земной коре представлено на рис. 3.

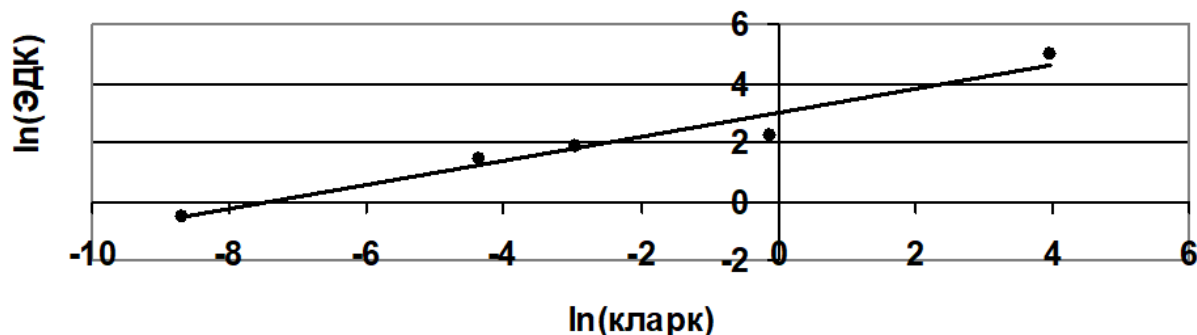


Рис. 3. Соотношение между натуральными логарифмами кларков и натуральными логарифмами экологически допустимых концентраций тяжёлых металлов

Fig. 3. Correlation between natural logarithms of clarks and natural logarithms of environmentally acceptable concentrations of heavy metals

Линия регрессии, приведённая на рис. 3, описывается следующей формулой (5):

$$\ln(\text{ЭДК}) = 2,981 + 0,41 \ln(\text{кларк}), \quad (5)$$

$$n = 5 \quad r = 0,98 \quad r^2 = 0,95 \quad \sigma_{Y(X)} = 0,50 \quad F_p = 60,7 \quad F_T = 7,7.$$

Здесь n – количество металлов, r – коэффициент корреляции, r^2 – коэффициент детерминации, $\sigma_{Y(X)}$ – стандартная ошибка, F_p – расчётное значение критерия Фишера, F_T – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 95 %.

Согласно шкале Чеддока соотношение между величинами ЭДК и кларками характеризуется «весьма высокой» теснотой связи между переменными [Макарова, Трофимец, 2002]. Кроме того, эта зависимость адекватна ($F_p > F_T$) и может быть использована для предсказания величин ЭДК для других тяжёлых металлов, так как $F_p/F_T > 4$ [Дрейпер, Смит, 1986] (табл. 4).

Таблица 4
Table 4

Прогнозируемые экологически допустимые концентрации тяжёлых металлов
Projected environmentally acceptable concentrations of heavy metals

Показатели	Co	Ni	Zn	Al
Кларк, мг/кг	0,023	0,07	5,3	80,7
ЭДК, мкг/л	4,2	6,6	39,0	119,0

Заключение

Один из наиболее серьёзных недостатков системы рыбохозяйственных ПДК заключается в том, что 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 общегосударственных ПДК не учитывает региональные особенности водных объектов.

В ряде исследований различных авторов предложены методы расчётов региональных ПДК (ЭДК). В данной статье для расчётов ЭДК тяжёлых металлов в реке Большая Нева использованы три наиболее популярных метода: метод С.А. Патина, метод Д.Г. Замолотчикова и метод Е.В. Веницианова и соавторов. Следуя принципу санитарного максимализма, установлено, что в качестве оптимального метода расчётов ЭДК следует рассматривать метод, разработанный Е.В. Венициановым и соавторами.

Список источников

- Владимиров А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. 1991. Охрана окружающей среды. Л., Гидрометеиздат, 423 с.
- Гагарина О.В. 2012. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Ижевск, Издательство «Удмуртский университет», 199 с.
- Дедю И.И. 1990. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев, МСЭ, 408 с.
- Макарова Н.В., Трофимец В.Я. 2002. Статистика в Excel. М., Финансы и статистика, 368 с.
- Об утверждении методических указаний по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Федеральное Агентство по рыболовству. Приказ от 4 августа 2009 г. № 695, 148 с.
- Перечень рыбохозяйственных нормативов, предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. 1999. М., Издательство ВНИРО, 304 с.
- Об охране окружающей среды: Федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2002 г. №7-ФЗ. Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 20 мая 2022).

Список литературы

- Алябина Г.А., Басова С.Л., Беляков В.П., Бударин В.Ф., Бутылин В.П., Былина Т.С., Ваганова Н.Ю., Варфоломеева И.Н., Воронцов А.М., Вуглинский В.С., Гальцова В.В., Глухова С.Э., Гронская Т.П., Дмитриев В.В., Дробкова В.Г., Ефремова Л.В., Зайцева О.В., Игнатьева Н.В., Канцарина О.В., Кобелева Н.И., Ковалева В.В., Кондратьев С.А., Кудерский Л.А., Кулангиева Л.В., Куриленко В.В., Кучер А.И., Ланге Н.И., Леонова М.В., Литова Т.Э., Макарецва Е.С., Малышев В.В., Мелентьев К.В., Михайленко Р.Р., Моисеенков А.И., Никанорова М.Н., Новиков А.Н., Огарков П.И., Осмоловская Н.Г., Павлова О.А., Петрова Г.В., Прыткова М.Я., Распопов И.М., Румянцев В.А., Рыбалко А.Е., Сергеева Л.В., Силина Н.И., Скакальский Б.Г., Смирнова Л.Я., Сорокин И.Н., Степаненко И.В., Трифонова И.С., Федорова Н.К., Фрумин Г.Т., Чеботарев Е.А., Шелутко В.А. 2002. Водные объекты Санкт-Петербурга. СПб, Символ, 348 с.
- 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: 50–64.
- Возняк А.А., Лепихин А.П. 2018. Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример. Географический вестник, 2(45): 103–115. DOI: 10.17072/2079-7877-2018-2-103-115
- Волков И.В., Заличева И.Н., Шустова Н.К., Ильмаст Т.Б. 1996. Есть ли экологический смысл у общефедеральных рыбохозяйственных ПДК. Экология, 5: 350–354.
- Дмитриев В.В. 1994. Экологическое нормирование состояния и антропогенных воздействий на природные экосистемы. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География, 2: 60–70.
- Дрейпер Н., Смит Г. 1986. Прикладной регрессионный анализ. М., Финансы и статистика, 366 с.
- Замолотчиков Д.Г. 1993. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 15. СПб., Гидрометеиздат, 289 с.
- 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. 22–25 июня 1998, Апатиты, Кольский научный центр РАН: 36–37.
- Нежиховский Р.А. 1981. Река Нева и Невская губа. Л., Гидрометеиздат, 112 с.
- Никаноров А.М., Тарасов М.Н., Трунов Н.М., Клименко О.А., Матвеева Н.П. 1988. Проблемы нормирования качества поверхностных вод и натурное экологическое моделирование. В кн.: Экологическое нормирование и моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы. Вып. 1. Л., Гидрометеиздат, 5–9.
- 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.
- 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, 24 (2): 105–110.

Reference

- Alyabina G.A., Basova S.L., Belyakov V.P., Budarin V.F., Butylin V.P., Bylina T.S., Vaganova N.Yu., Varfolomeyeva I.N., Vorontsov A.M., Vuglinskiy V.S., Galtsova V.V., Glukhova S.E., Granskaya T.P., Dmitriyev V.V., Drabkova V.G., Efremova L.V., Zaytseva O.V., Ignatyeva N.V., Kantsarina O.V., Kobeleva N.I., Kovaleva V.V., Kondratyev S.A., Kuderskiy L.A., Kulangiyeva L.V., Kurilenko V.V., Kucher A.I., Lange N.I., Leonova M.V., Litova T.E., Makartseva E.S., Malyshev V.V., Melentyev K.V., Mikhaylenko R.R., Moiseyenko A.I., Nikanorova M.N., Novikov A.N., Ogarkov P.I., Osmolovskaya N.G., Pavlova O.A., Petrova G.V., Prytkova M.Ya., Raspopov I.M., Rummyantsev V.A., Rybalko A.E., Sergeyeva L.V., Silina N.I., Skakalskiy B.G., Smirnova L.Ya., Sorokin I.N., Stepanenko I.V., Trifonova I.S., Fedorova N.K., Frumin G.T., Chebotarev E.A., Shelutko V.A. 2002. Vodnyye ob'yekty Sankt-Peterburga [Water objects of St. Petersburg]. SPb., Publ. Simvol, 348 p.
- Venitsianov Ye.V., Miroshnichenko S.A., Lepikhin A.P., Gubernatorova T.N. 2015. Razrabotka i obosnovaniye regional'nykh pokazateley kachestva vody po sodержaniyu tyazhelykh metallov dlya vodnykh ob'yektov basseyna Verkhney Kamy [Development and substantiation of regional indicators of water quality on the content of heavy metals for water bodies of the Upper Kama basin]. Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy. tekhnologii. upravleniye, 3: 50–64.
- Wozniak A.A., Lepikhin A.P. 2018. Development of Regional MPC: Necessity, Methodology, Example. Geographical bulletin, 2 (45): 103–115 (in Russian). DOI: 10.17072/2079-7877-2018-2-103-115
- Volkov I.V., Zalicheva I.N., Shustova N.K., Il'mast T.B. 1996. Yest' li ekologicheskii smysl u obshchefederal'nykh rybokhozyaystvennykh PDK [Is there any ecological sense in the general federal fishery MPCs]. Ekologiya, 5: 350–354.
- Dmitriyev V.V. 1994. Ekologicheskoye normirovaniye sostoyaniya i antropogennykh vozdeystviy na prirodnyye ekosistemy [Ecological regulation of the state and anthropogenic impacts on natural ecosystems]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya, 2: 60–70.
- Dreyper N., Smit G. 1986. Prikladnoy regressiionnyy analiz [Applied regression analysis]. Moscow, Publ. Finansy i statistika, 366 p.
- Zamolodchikov D.G. 1993. Problems of ecological monitoring and ecosystems modeling. V. 15. St. Petersburg, Publ. Gidrometeoizdat, 289 p. (in Russian).
- Lozovik P.A. 1998. Kriterii otsenki antropogennogo vliyaniya na vodnyye ekosistemy. [Criteria for assessing anthropogenic impact on aquatic ecosystems] In: Antropogennoye vozdeystviye na prirodu Severa i yego ekologicheskiye posledstviya [Anthropogenic impact on the nature of the North and its ecological consequences]. Abstracts of reports of the All-Russian meeting and visiting scientific session. Apatity, June 22–25, 1998, Apatity, Publ. Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences: 36–37.
- Nezhikhovskiy R.A. 1981. Reka Neva i Nevskaya guba [Neva River and Neva Bay]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 112 p.
- Nikanorov A.M., Tarasov M.N., Trunov N.M., Klimenko O.A., Matveyeva N.P. 1988. Problemy normirovaniya kachestva poverkhnostnykh vod i naturnoye ekologicheskoye modelirovaniye [Problems of regulation of surface water quality and natural ecological modeling]. In: Ekologicheskoye normirovaniye i modelirovaniye antropogennogo vozdeystviya na vodnyye ekosistemy [Ecological regulation and modeling of anthropogenic impact on aquatic ecosystems]. V. 1, Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 5–9.
- Ovchinnikov L.N. 1990. Prikladnaya geokhimiya [Applied geochemistry]. Moscow, Publ. Nedra, 248 p.
- Patin S.A. 1979. Vliyaniye zagryazneniya na biologicheskiye resursy i produktivnost' Mirovogo okeana [Effects of pollution on biological resources and productivity of the World Ocean]. Moscow, Publ. Pishchevaya promyshlennost', 304 p.

- Frumin G.T. 1998. Otsenka sostoyaniya vodnykh ob"yektov i ekologicheskoye normirovaniye [Assessment of the state of water bodies and environmental regulation]. St. Petersburg, Publ. Sintez, 96 p.
- Frumin G.T. 2015. Ecologically Acceptable Concentrations of Metals in Rivers of St. Petersburg. Environmental chemistry, 24(2): 105–110 (in Russian).

*Поступила в редакцию 06.06.2022;
поступила после рецензирования 05.07.2022;
принята к публикации 14.07.2022*

*Received June 06, 2022;
Revised July 05, 2022;
Accepted July 14, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фрумин Григорий Тевелевич, профессор, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории факультета географии Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия

Негодина Евгения Сергеевна, аспирант Санкт-Петербургского филиала «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Grigory T. Frumin, Professor, Doctor of Chemistry, Leading Researcher of the Research Laboratory of the Faculty of Geography of the Russian State Pedagogical University. A.I. Herzen, St. Petersburg, Russia

Evgenia S. Negodina, graduate student of the State Research Institute of Lake and River Fisheries (GosNIORKh), St. Petersburg, Russia