

ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ РЕКИ БОЛЬШАЯ НЕВА

Г.Т. Фрумин, Н.А. Малышева

Российский государственный гидрометеорологический университет, gfrumin@mail.ru

Усовершенствован подход к комплексной оценке загрязненности водных объектов тяжелыми металлами, базирующийся на линейно-экспоненциальной модели рисков летальных исходов при воздействии катионов тяжелых металлов на дафний в широком диапазоне варьирования концентраций (риск комбинированного воздействия). Приведена классификация качества вод по величине комбинированных рисков, базирующаяся на модели «разломанного стержня». Представлены результаты оценки динамики загрязненности тяжелыми металлами (железом, медью, цинком, никелем, свинцом, кобальтом, кадмием, марганцем) восьми створов реки Большая Нева от истока до устья за период с 2000 по 2018 г. Установлено, что в наибольшей степени тяжелыми металлами загрязнены пробы воды, отобранные выше г. Кировска на 0,5 км ниже впадения р. Тосны и 0,5 км ниже впадения р. Охты. Наибольший вклад в загрязненность реки Большая Нева вносят соединения меди и цинка. За весь период наблюдений для всех рассмотренных створов р. Большая Нева характерен отрицательный тренд комбинированных рисков, что свидетельствует об уменьшении концентрации тяжелых металлов с 2000 по 2018 г. Выявленный «отрицательный» тренд для всех створов р. Большая Нева за период 2000—2018 гг., возможно, обусловлен снижением антропогенной нагрузки на ее водосборный бассейн.

Ключевые слова: тяжелые металлы, дафнии, токсичность, риск, река Большая Нева.

DYNAMICS OF POLLUTION BY HEAVY METALS OF THE RIVER BOL/SHAYA NEVA

G.T. Frumin, N.A. Malysheva

Russian State Hydrometeorological University

An approach to comprehensive assessment of water bodies pollution by heavy metals has been improved, based on a linear-exponential death risk model due to the effect of heavy metals cations on daphnia in a wide range of concentration variations (risk of combined exposure). The classification of water quality by the value of combined risks based on the “broken rod” model is given. The results of assessing the dynamics of pollution by heavy metals (iron, copper, zinc, nickel, lead, cobalt, cadmium, manganese) of eight sections of the Bolshaya Neva River from its source to the mouth over the period from 2000 to 2018 are presented.

It has been established that water samples taken upstream the town of Kirovsk 0.5 km downstream the confluence of the Tosna River and 0.5 km downstream the confluence of the Okhta River are the most contaminated with heavy metals. The greatest contribution to the pollution of the Bolshaya Neva River is made by copper and zinc compounds. Over the entire observation period, all examined sections of the Bolshaya Neva River are characterized by the negative trend of combined risks, indicating a decrease in the concentration of heavy metals from 2000 to 2018. The revealed “negative” trend for all sections of the Bolshaya Neva River for the 2000-2018 period is likely to be caused by decrease in the anthropogenic load from its catchment area.

Keywords: heavy metals, daphnia, toxicity, risk, the Bolshaya Neva River.

Введение

Ухудшение качества поверхностных вод суши — одна из важных проблем современности. Качество воды многих водных объектов РФ не соответствует

требованиям [12, 14], предъявляемым к водным объектам, имеющим рыбохозяйственное значение. Примерно 20 % водных объектов не отвечает санитарно-гигиеническим требованиям [3] по качеству воды [16].

Современные методы комплексной оценки загрязненности поверхностных вод принципиально разделяются на две группы. К первой группе относятся методы, оценивающие качество воды по совокупности гидрохимических, гидрофизических, гидробиологических и микробиологических показателей, ко второй — методы, связанные с расчетом комплексных индексов загрязненности воды вредными веществами. Развитие методов второй группы — комплексных (обобщенных) показателей загрязненности воды — по времени запоздало по сравнению с развитием методов первой группы — классификаций качества воды [2]. Первая подобная классификация была предложена в 1912 г. в Англии Королевской комиссией по сточным водам [5], а методы второй группы стали развиваться в 1960-х годах.

В Российской Федерации с 2002 г. степень загрязненности вод оценивается по гидрохимическим показателям с использованием «удельного комбинаторного индекса загрязненности воды» (УКИЗВ) (РД 52.24.643 — 2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям»). В качестве норматива используют предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение, а также водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, т. е. минимальные значения из совмещенных списков, рекомендуемых для подготовки информационных документов по качеству поверхностных вод.

В последние десятилетия общенациональные рыбохозяйственные ПДК подвергаются аргументированной критике, так как наметилась тенденция к оценке статуса водных объектов не с точки зрения потребностей конкретного природопользователя, а с позиций сохранения структуры и функциональных особенностей гидроэкосистемы [4, 17, 19].

В последние годы оценка качества воды часто производится посредством биотестирования. Для этих целей в европейских странах используют критерии качества воды (ККВ) для гидробионтов. Эти критерии разрабатываются в краткосрочных токсикологических экспериментах (средняя летальная концентрация ЛК₅₀ за 24, 48 или 96 часов). Биологические тест-организмы, используемые как в России, так и за рубежом, идентичны — это рыбы: радужная форель, карп, окунь, щука; беспозвоночные: дафния магна, хирономус плюмозус; планктонные одноклеточные водоросли: сценедесмус, хлорелла [1, 10, 15].

В связи с необходимостью оценки токсичности природных и сточных вод во многих странах мира стали использовать биотестирование на *Daphnia magna Straus*. *Daphnia magna Straus* признана самым универсальным биологическим тест-объектом по чувствительности и адекватности реагирования на различные вредные загрязняющие вещества. Дафнии, или «водяные блохи» широко применяются в биотестировании в таких странах мира, как США, Германия, Франция,

Венгрия и др. Во многих из них дафния принята как стандартный тест-организм. Дафнии как обязательный тест-объект включены в схему установления ПДК загрязняющих веществ и в РФ. Установлено, что в большинстве рассмотренных случаев (около 90 %) наиболее слабыми звеньями, по которым идет нормирование и которые определяют конечные результаты установления ПДК, являются планктонные ракообразные (главным образом, дафнии) [9].

Анализ современных оценок загрязненности поверхностных вод вредными веществами по гидрохимическим показателям показал, что комплексная характеристика качества поверхностных вод представляет собой весьма сложную и не решенную до настоящего времени проблему [7].

Цель данного исследования — оценка динамики загрязненности вод р. Большая Нева на основе эколого-токсикологических моделей, связывающих фактические концентрации металлов с величиной рисков комбинированного действия острых токсических эффектов для представительного вида гидробионтов (*Daphnia magna*).

Материалы и методы исследования

В работе использованы первичные данные мониторинга, проведенного Северо-Западным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РФ за период 2000—2018 гг. в восьми створах р. Большая Нева (табл. 1).

Таблица 1

Пункты наблюдений и створы реки Большая Нева
Observation points and sections of the River Bolshaya Neva

| Пункт наблюдений | Номер пункта | Номер створа |
|--|--------------|--------------|
| г. Кировск, выше города | 29160 | 1 |
| г. Кировск, ниже города | 29160 | 2 |
| г. Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Тосна | 29161 | 1 |
| г. Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Ижора | 29161 | 2 |
| г. Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Славянка | 29161 | 3 |
| г. Санкт-Петербург; 0,5 км ниже впадения р. Охта | 29161 | 4 |
| г. Санкт-Петербург; 0,1 км ниже выше Литейного моста | 29161 | 5 |
| г. Санкт-Петербург; 1,4 км выше устья | 29161 | 6 |

По имеющимся в литературе данным о токсичности катионов металлов для дафний были построены эколого-токсикологические модели, связывающие величину рисков (вероятности) летальных исходов при воздействии катионов металлов на дафний в широком диапазоне варьирования концентрации [18] (табл. 2). Первичные данные о летальных и эффективных значениях концентрации, вызывающих эффекты у 16, 50 и 84 % подопытных тест-объектов, заимствованы из литературы [6, 9].

Учитывая, что риск является вероятностной величиной, для определения риска комбинированного действия в соответствии с правилом умножения

Таблица 2

Эколого-токсикологические модели для оценки рисков летальных исходов при воздействии катионов металлов на дафний

Ecological and toxicological models for assessing the risks of deaths when exposed to metal cations on daphnia

| Катион | Модель | Катион | Модель |
|------------------|---|------------------|--|
| Hg ²⁺ | Риск = 1 – exp (–13,777C ^{0,547}) | Zn ²⁺ | Риск = 1 – exp (–2,02C ^{1,168}) |
| Cu ²⁺ | Риск = 1 – exp (–25,103C ^{0,956}) | Co ²⁺ | Риск = 1 – exp (–0,011C ^{1,36}) |
| Pb ²⁺ | Риск = 1 – exp (–0,2653C ^{1,1}) | Fe ²⁺ | Риск = 1 – exp (–0,017C ^{1,319}) |
| Cd ²⁺ | Риск = 1 – exp (–1880409C ^{4,6135}) | Mn ²⁺ | Риск = 1 – exp (–0,007C ^{1,489}) |

Примечание. С — концентрация катиона металла, мг/дм³.

вероятностей, где в качестве множителей выступают не риски, а значения, характеризующие вероятность их отсутствия, было применено следующее уравнение [8]:

$$\text{Риск}_{\text{комб}} = 1 - (1 - \text{Риск}_1)(1 - \text{Риск}_2)(1 - \text{Риск}_3) \dots (1 - \text{Риск}_n), \quad (1)$$

где $\text{Риск}_{\text{комб}}$ — риск комбинированного действия катионов металлов, Риск_i — риск воздействия индивидуальных катионов металлов.

Для классификации качества вод по уровню их загрязненности металлами была использована модель «разломанного стержня» (табл. 3).

Таблица 3

Классификация качества вод по величине комбинированных рисков
Classification of water quality by the value of combined risks

| Качество воды | Риск _{комб} | Класс качества |
|--------------------|----------------------|----------------|
| Очень хорошее | 0,00—0,04 | I |
| Хорошее | 0,04—0,09 | II |
| Удовлетворительное | 0,09—0,16 | III |
| Плохое | 0,16—0,26 | IV |
| Очень плохое | 0,26—1,00 | V |

Результаты и их обсуждение

Разработанный эколого-токсикологический подход, базирующийся на уравнениях, приведенных в табл. 2 и формуле (1), был применен для межгодовой оценки загрязненности восьми створов реки Большая Нева. Для расчетов были использованы среднегодовые данные гидрохимического мониторинга за период 2000—2018 гг. Результаты расчетов риска комбинированного действия катионов металлов для дафний за указанный период были усреднены и представлены в табл. 4 (приведены средние значения и доверительный интервал).

Как следует из данных, приведенных в табл. 4, в наибольшей степени тяжелыми металлами загрязнены пробы воды, отобранные выше г. Кировска (пункт

Таблица 4

Загрязненность металлами вод реки Большая Нева
(средние значения за период 2000—2018 гг.)
Metal pollution of the waters of the Bolshaya Neva River
(average values for the period 2000—2018)

| Номер пункта | Номер створа | Риск _{комб} | Качество воды |
|--------------|--------------|----------------------|--------------------|
| 29160 | 1 | 0,18 (0,15—0,21) | Плохое |
| 29160 | 2 | 0,15 (0,12—0,18) | Удовлетворительное |
| 29161 | 1 | 0,17 (0,14—0,20) | Плохое |
| 29161 | 2 | 0,16 (0,14—0,18) | Удовлетворительное |
| 29161 | 3 | 0,15 (0,13—0,17) | Удовлетворительное |
| 29161 | 4 | 0,17 (0,14—0,20) | Плохое |
| 29161 | 5 | 0,15 (0,12—0,18) | Удовлетворительное |
| 29161 | 6 | 0,14 (0,12—0,16) | Удовлетворительное |

29160, створ 1), на 0,5 км ниже впадения р. Тосны и на 0,5 км ниже впадения р. Охты. Наибольший вклад в загрязненность реки Большая Нева оказывают соединения меди и цинка (табл. 5).

Таблица 5

Индивидуальные и комбинированные риски (вероятности) в 2018 г.
Individual and combined risks (probabilities) in 2018

| Пункт наблюдений | Индивидуальный риск | | Риск _{комб} |
|--------------------------|---------------------|------|----------------------|
| | Медь | Цинк | |
| г. Кировск, ст.1 | 0,16 | 0,04 | 0,20 |
| г. Кировск, ст.2 | 0,17 | 0,03 | 0,20 |
| г. Санкт-Петербург, ст.1 | 0,13 | 0,04 | 0,17 |
| г. Санкт-Петербург, ст.2 | 0,14 | 0,04 | 0,18 |
| г. Санкт-Петербург, ст.3 | 0,13 | 0,03 | 0,16 |
| г. Санкт-Петербург, ст.4 | 0,14 | 0,04 | 0,18 |
| г. Санкт-Петербург, ст.5 | 0,12 | 0,03 | 0,15 |
| г. Санкт-Петербург, ст.6 | 0,11 | 0,04 | 0,15 |

Дополнительно к вышеизложенному были определены линейные тренды комбинированных рисков за период 2000—2018 гг. (табл. 6). Для оценки трендов была использована шкала Чеддока [11]. Приведены значения коэффициентов корреляции между величинами Риск_{комб} и годами.

Из табл. 6 видно, что за весь период наблюдений для всех рассмотренных створов р. Большая Нева характерен отрицательный тренд комбинированных рисков, что свидетельствует об уменьшении концентрации тяжелых металлов с 2000 по 2018 г.

Умеренный отрицательный тренд зафиксирован для г. Кировска, ст. 1 (исток р. Большая Нева) и г. Санкт-Петербурга, ст. 6 (вблизи устья р. Большая Нева).

Характеристики трендов комбинированных рисков в реке Большая Нева
 Characteristics of trends in combined risks in the River Bolshaya Neva

| Пункт наблюдений | Коэффициент корреляции | Характеристика тренда |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| г. Кировск, ст.1 | 0,41 | Умеренный отрицательный |
| г. Кировск, ст.2 | 0,59 | Заметный отрицательный |
| г. Санкт-Петербург, ст.1 | 0,66 | Заметный отрицательный |
| г. Санкт-Петербург, ст.2 | 0,56 | Заметный отрицательный |
| г. Санкт-Петербург, ст.3 | 0,53 | Заметный отрицательный |
| г. Санкт-Петербург, ст.4 | 0,57 | Заметный отрицательный |
| г. Санкт-Петербург, ст.5 | 0,69 | Заметный отрицательный |
| г. Санкт-Петербург, ст.6 | 0,48 | Умеренный отрицательный |

Необходимо отметить, что различие между такими характеристиками, как «умеренный» и «заметный», не имеет принципиального значения, поскольку базируется на шкале Чеддока без указания доверительных интервалов. Так, например, согласно классификации Чеддока, значение коэффициента корреляции для «умеренной» тесноты связи составляет 0,3—0,5, а для «заметной» тесноты связи — 0,5—0,7.

Выявленный «отрицательный» тренд для всех створов р. Большая Нева за период 2000—2018 гг., возможно, обусловлен снижением антропогенной нагрузки на территории ее водосборного бассейна.

Заключение

В настоящей статье приведен усовершенствованный подход к оценке загрязненности тяжелыми металлами различных створов реки Большая Нева, суть которого заключается в следующем. Во-первых, предложена новая классификация качества вод, базирующаяся на модели «разломанного стержня», которая позволяет давать более «жесткую» оценку качества воды. Так, например, по обратной шкале желательности Харрингтона качество воды, характеризующееся как «очень хорошее», варьирует в интервале 0,20—0,00 (интервал варьирования 0,20), а по модели «разломанного стержня» — в интервале 0,00—0,04 (интервал варьирования 0,04). По обратной шкале желательности Харрингтона качество воды, характеризующееся как «очень плохое», варьирует в интервале 1,00—0,80 (интервал варьирования 0,20), а по модели «разломанного стержня» — в интервале 0,26—1,00 (интервал варьирования 0,74). Во-вторых, в статье уточнена эколого-токсикологическая модель вероятности гибели дафний при воздействии катионов кадмия (см. табл. 2).

Существенным достоинством рассмотренного подхода к оценке загрязненности водных объектов является то, что этот подход не использует систему общедеревальных ПДК, тем более что до настоящего времени не разработаны региональные ПДК для большинства водных объектов Российской Федерации.

В статье показано, что в среднем за период 2000—2018 гг. в наибольшей степени загрязнены тяжелыми металлами пробы воды, отобранные выше г. Кировска (пункт 29160, створ 1), на 0,5 км ниже впадения р. Тосны (пункт 29161, створ 1) и на 0,5 км ниже впадения р. Охты (пункт 29161, створ 4). Наибольший вклад в загрязненность реки Большая Нева вносят соединения меди и цинка.

Список литературы

1. *Александрова В.В.* Биотестирование как современный метод оценки токсичности природных и сточных вод. Нижневартовск: изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013. 119 с.
2. *Гагарина О.В.* Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Учебно-методическое пособие. Ижевск: изд-во «Удмуртский университет», 2012. 199 с.
3. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003.
4. *Дмитриев В.В., Фруммин Г.Т.* Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. СПб: Наука, 2004. 294 с.
5. *Драчев С.М.* Борьба с загрязнением рек, озер, водохранилищ промышленными и бытовыми стоками. М., Л.: Наука, 1964. 275 с.
6. *Захарченко М.П., Кошелев Н.Ф., Ромашов П.Г.* Гигиеническая диагностика водной среды. СПб: Наука, 1996. 247 с.
7. *Зубарев В.А.* Гидрохимические индексы оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. 2014. Т. 17, № 2. С. 71—77.
8. *Киселев А.В., Фридман К.Б.* Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практике управления качеством окружающей среды. СПб: Международный институт оценки риска здоровью, 1997. 103 с.
9. *Красовский Г.Н., Алексеева Т.В., Егорова Н.А., Жолдакова З.И.* Биотестирование в гигиенической оценке качества воды // Гигиена и санитария. 1991. № 9. С. 13—16.
10. *Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А., Егорова Н.А.* Экстраполяция токсикологических данных с животных на человека. М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2009. 208 с.
11. *Макарова Н.В., Трофимец В.Я.* Статистика в Excel. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
12. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждены приказом Росрыболовства от 04.08.2009 г. № 695.
13. *Мостеллер Ф.* Пятьдесят занимательных вероятностных задач с решениями. М.: Наука, 1975. 112 с.
14. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждены приказом Росрыболовства от 18.01.2010 г. № 20.
15. *Соколова С.А.* Актуальные проблемы экологического нормирования качества воды рыбохозяйственных водных объектов / В сб.: Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. Материалы Объединенного пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 56—68.
16. *Строков А.А.* Особенности нормирования качества воды при разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 3. С. 105—109.
17. *Тимофеева Л.А., Фруммин Г.Т.* Проблемы нормирования качества поверхностных вод // Ученые записки РГГМУ. 2015. № 38. С. 215—229.

18. Фрумин Г.Т., Жаворонкова Е.И. Токсичность и риск воздействия металлов на гидробионтов // Экологическая химия. 2003. 12 (2). С. 93—96.
19. Фрумин Г.Т. Оценка состояния водных объектов и экологическое нормирование. СПб: Синтез, 1998. 96 с.
20. Фрумин Г.Т., Мальшева Н.А. Загрязненность тяжелыми металлами водотоков бассейна реки Нарвы. Коллективная монография по материалам Всероссийской, с международным участием, научно-практической конференции LXXII Герценовские чтения, 18—21 апреля 2019 г. Т. II. СПб: РГТУ, 2019. С. 210—213.

References

1. Aleksandrova V.V. *Biotestirovaniye kak sovremennyy metod otsenki toksichnosti prirodnykh i stochnykh vod*. Biotesting as a modern method for assessing the toxicity of natural and waste waters. Nizhnevar-tovsk: Publishing House of Nizhnevar-t. State University, 2013: 119 p. [In Russian].
2. Gagarina O.V. *Otsenka i normirovaniye kachestva prirodnykh vod: kriterii, metody, sushchestvuyushchiye problem*. Assessment and rationing of the quality of natural waters: criteria, methods, existing problems. Izhevsk: Udmurt University Publishing House, 2012: 199 p. [In Russian].
3. GN 2.1.5.1315-03. *Predel'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'yektov khozyaystvenno-pit'yevogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya*. GN 2.1.5.1315-03. Maximum allowable concentration (MPC) of chemicals in the water of water bodies of drinking, cultural and domestic water use. Moscow: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia, 2003. [In Russian].
4. Dmitriyev V.V., Frumin G.T. *Ekologicheskoye normirovaniye i ustoychivost' prirodnykh sistem*. Environmental rationing and sustainability of natural systems. St. Petersburg: Nauka, 2004: 294 p. [In Russian].
5. Drachev S.M. *Bor'ba s zagryazneniyem rek, ozer, vodokhranilishch promyshlennymi i bytovymi stokami*. Pollution control of rivers, lakes, reservoirs with industrial and domestic sewage. Moscow, Leningrad: Nauka, 1964: 275 p. [In Russian].
6. Zakharchenko M.P., Koshelev N.F., Romashov P.G. *Gigiyenicheskaya diagnostika vodnoy sredy*. Hygienic diagnostics of the aquatic environment. St. Petersburg: Nauka, 1996: 247 p. [In Russian].
7. Zubarev V.A. Hydrochemical indices of surface water quality assessment. *Regional'nyye problemy*. Regional problems. 2014, 2 (17): 71—77 p. [In Russian].
8. Kiselov A.V., Fridman K.B. *Otsenka riska zdorov'yu. Podkhody k ispol'zovaniyu v mediko-ekologicheskikh issledovaniyakh i praktike upravleniya kachestvom okruzhayushchey sredy*. Health risk assessment. Approaches to use in medical and environmental research and environmental quality management practice. St. Petersburg: International Institute for Health Risk Assessment, 1997: 103 p. [In Russian].
9. Krasovskiy G.N., Alekseyeva T.V., Yegorova N.A., Zholdakova Z.I. Biotesting in a hygienic assessment of water quality. *Gigiyena i sanitariya*. Hygiene and sanitation. 1991, 9: 13-16 p. [In Russian].
10. Krasovskiy G.N., Rakhmanin YU.A., Yegorova N.A. *Ekstrapolyatsiya toksikologicheskikh dannykh s zhivotnykh na cheloveka*. Extrapolation of toxicological data from animals to humans. Moscow: OJSC "Publishing house" Medicine ", 2009: 208 p. [In Russian].
11. Makarova N.V., Trofimets V.YA. *Statistika v Exel*. Statistics in Exel. Moscow: Finance and Statistics, 2002: 368 p. [In Russian].
12. *Metodicheskiye ukazaniya po razrabotke normativov kachestva vody vodnykh ob'yektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'yektov rybokhozyaystvennogo znacheniya*. Guidelines for the development of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery value. Approved by Order of the Federal Agency for Fishery on 04.08.2009: No. 695. [In Russian].
13. Mosteller F. *Pyat'desyat zanimatel'nykh veroyatnostnykh zadach s resheniyami*. Fifty entertaining probabilistic problems. Moscow: Nauka, 1975: 112 p. [In Russian].
14. *Normativy kachestva vody vodnykh ob'yektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativakh predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'yektakh*

- rybokhozyaystvennogo znacheniya*. Water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery value. Approved by Order of the Federal Agency for Fishery on 01.18.2010: No. 20. [In Russian].
15. Sokolova S.A. *Aktual'nyye problemy ekologicheskogo normirovaniya kachestva vody rybokhozyaystvennykh vodnykh ob'yektov. Voprosy ekologicheskogo normirovaniya i razrabotka sistemy otsenki sostoyaniya vodoyemov*. Actual problems of environmental regulation of water quality of fishery water bodies. Environmental regulation and development of a system for assessing the status of water bodies. Materials of the Joint Plenary Session of the Scientific Council of the OBN RAS on Hydrobiology and Ichthyology, the Hydrobiological Society at the RAS and the Interdepartmental Ichthyological Commission. Moscow: Partnership of scientific publications of KMK, 2011: 56-68 p. [In Russian].
 16. Strokov A.A. Features of the regulation of water quality in the development of standards for permissible effects on water bodies. *Vestnik RUDN, seriya Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. Vestnik RUDN, Series Ecology and Life Safety. 2014, 3: 105-109 p. [In Russian].
 17. Timofeyeva L.A., Frumin G.T. Problems of regulation of surface water. *Uchenye zapiski RSHU*. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. 2015, 38: 215-229 p. [In Russian].
 18. Frumin G.T., Zhavoronkova Ye.I. Toxicity and risk of exposure to metals on aquatic organisms. *Ekologicheskaya khimiya*. Ecological Chemistry. 2003, 12 (2): 93-96 p. [In Russian].
 19. Frumin G.T. *Otsenka sostoyaniya vodnykh ob'yektov i ekologicheskoye normirovaniye*. Assessment of the state of water bodies and environmental regulation. St. Petersburg: Synthesis, 1998: 96 p. [In Russian].
 20. Frumin G.T., Malysheva N.A. *Zagryaznennost' tyazholymi metallami vodotokov basseyna reki Narvy*. Heavy metal pollution of the watercourses of the Narva River Basin. A collective monograph based on the materials of the All-Russian, with international participation, scientific and practical conference LXXII Herzen readings on April 18-21, 2019. St. Petersburg, RGPU, Tom II, 2019: 210-213 p. [In Russian].

Статья поступила 04.07.2019

Принята 30.10.2019

Сведения об авторах

Фрумин Григорий Тевелевич — профессор, д-р хим. наук, профессор кафедры геоэкологии, природопользования и экологической безопасности. Российский государственный гидрометеорологический университет, gfrumin@mail.ru

Мальшева Наталья Александровна — помощник депутата Государственной думы ФС РФ, 9560895@gmail.com

Information about authors

Frumin Grigory Tevelevich — Professor of chemistry, doctor of science, professor. Department of Ecology and Biological Resources, Russian State Hydrometeorological University

Malysheva Natalia Aleksandrovna