

ГИДРОХИМИЯ И ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

УДК 556.535.8:556.114

ДИНАМИКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ПСКОВСКОГО ОЗЕРА (2000–2018 гг.)

Г. Т. Фрумин^{1,2}, Н. А. Малышева¹

¹ *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия*

² *Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия*

Рассмотрена динамика качества воды Псковского озера за период 2000–2018 гг. Для оценки качества воды использован новый эколого-токсикологический подход к комплексной оценке загрязненности поверхностных вод, базирующийся на величинах рисков летальных исходов при воздействии загрязняющих веществ на дафний в широком диапазоне варьирования концентраций (риск комбинированного воздействия). Разработанный подход был применен для межгодовой оценки загрязненности озера неорганическими и органическими вредными веществами. Установлен «заметный отрицательный» тренд величин рисков комбинированного действия совокупности загрязняющих веществ и, соответственно, качества воды Псковского озера, что свидетельствует об уменьшении концентраций загрязняющих веществ с 2000 по 2018 г.

Ключевые слова: математические модели; эколого-токсикологическая оценка; дафнии.

G. T. Frumin, N. A. Malysheva. WATER QUALITY CHANGES IN LAKE PSKOVSKOE (2000–2018)

Changes in the water quality of Lake Pskovskoe in 2000–2018 are considered. The water quality assessment employed a new ecotoxicological approach to comprehensive assessment of surface water pollution based on the risk of death from exposure to a wide range of concentrations (risk of combined exposure) in *Daphnia*. The new approach was applied to assess the among-year variation of the pollution of the lake with inorganic and organic harmful substances. A noticeable “negative trend” was detected in the risk posed by a combined action of pollutants and, hence in the water quality of Lake Pskovskoe, indicating a decrease in the concentration of pollutants from 2000 to 2018.

Keywords: mathematical models; ecotoxicological assessment; *Daphnia*.

Введение

В настоящее время известно более 20 методов комплексной оценки загрязненности воды, отличающихся показателями (физическими, химическими, бактериологическими и гидробиологическими), их количеством (от 6 до 49), способом формализации данных и классификациями качества воды. Анализ современных оценок загрязненности поверхностных вод вредными веществами по гидрохимическим показателям выявил, что комплексная характеристика статуса поверхностных вод представляет собой весьма сложную и нерешенную до настоящего времени проблему.

Актуальность проведенного исследования определяется необходимостью совершенствования современных методов оценки загрязненности поверхностных вод суши, что является предметом оживленных дискуссий.

Псковское озеро (эст. *Pihkva järv*) – крупный пресноводный водоем, является южной составляющей Псковско-Чудского озера комплекса. С Чудским озером его соединяет Теплое озеро. Площадь Псковского озера 709 км² (20 % всего комплекса), наибольшая глубина 5,3 м, средняя глубина 3 м. Высота над уровнем моря 30 м. Длина с севера на юг около 40 км, средняя ширина около 18–19 км. Псковское озеро – водоем сильно проточный, вода в нем сменяется в среднем дважды в год. После 1945 года, когда Печорский район вернулся в состав Псковской области, большая часть береговой линии Псковского озера (в отличие от более приграничного Чудского), равно как и все его острова, контролируется Россией (рис. 1). Эстонии принадлежит небольшой (6 %) участок на северо-западе озера [Назаров, 1984; Кондратьев и др., 2010; Псковско-Чудское..., 2012; Лозовик, Фруммин, 2018]. Псковское озеро – одно из наиболее рыбопродуктивных озер Балтийского региона. В нем водятся рыбы более 30 видов: чудской сиг, снеток, ряпушка, лещ, плотва, елец, язь, жерех, густера, сырть, колюшка, сом, налим, угорь, щука, судак, окунь и др.

Псковское озеро испытывает значительную антропогенную нагрузку от точечных и диффузных источников. Первые связаны со сбросом сточных вод на его водосборе (города Псков, Гдов и другие населенные пункты). Вторые – диффузные за счет сельскохозяйственных объектов. Хотя сельскохозяйственное производство в Псковской области, как и в Эстонии, существенно снизилось, вынос биогенных элементов (БЭ) со стоком рек изменился мало, поскольку для восстановления сельхозугодий требуется значительное время.

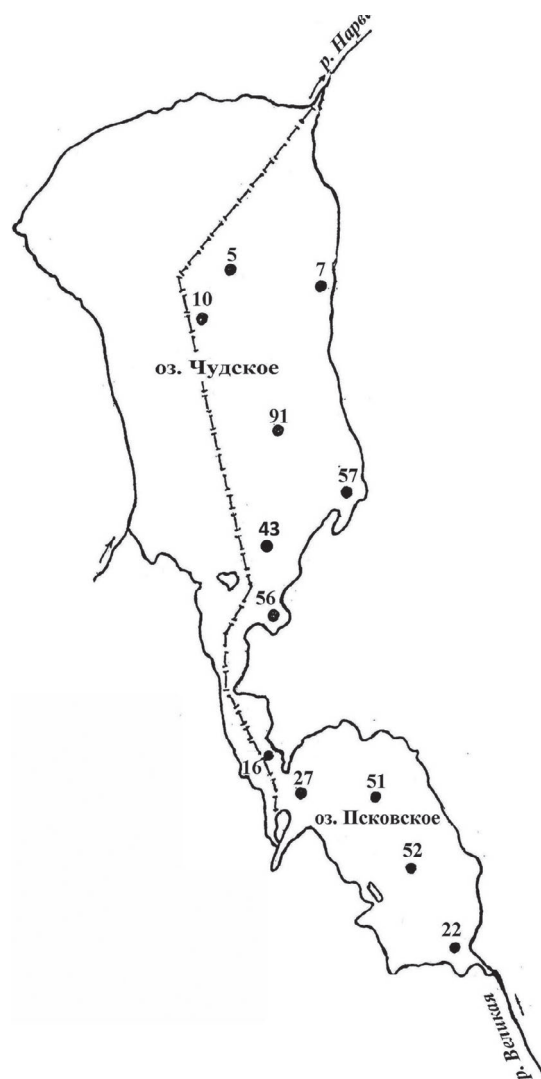


Рис. 1. Карта-схема Псковско-Чудского озера комплекса

Fig. 1. Map-scheme of the Pskov-Peipsi Lake Complex

Наряду с биогенным загрязнением озеро испытывает на себе значительное загрязнение тяжелыми металлами и детергентами, связанное с развитием промышленности на водосборе [Румянцев и др., 2015].

В связи с изложенным цель проведенного исследования заключалась в оценке динамики качества воды Псковского озера на основе нового эколого-токсикологического подхода, базирующегося на концепции риска.

Необходимость разработки нового подхода обусловлена следующими соображениями.

В Российской Федерации с 2002 г. степень загрязненности вод оценивается гидрохимическими показателями с использованием «удельного комбинаторного индекса загрязненности воды» (УКИЗВ) (РД 52.24.643–2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям»). До

2002 г. в РФ использовали «индекс загрязненности воды» (ИЗВ), существенно отличающийся от УКИЗВ. Это обстоятельство не позволяет провести единообразную оценку качества воды рассматриваемого водного объекта, используя данные гидрохимического мониторинга за длительный период (например, с 2000 по 2018 г.).

Следует учесть также, что Псковское озеро является трансграничным (международным). В 1992 г. Россия присоединилась к Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, подписанной в том же году странами ЕС в Хельсинки. Международные конвенции и соглашения, регламентирующие взаимоотношения государств при совместном использовании водных объектов, охватывают широкий круг проблем, и одной из важнейших является проблема оценки качества водных ресурсов и степени их загрязненности [Рысбеков, 2009; Семенченко, Разлуцкий, 2011; Фрумин, Тимофеева, 2014].

Правовую основу использования водных ресурсов в Европе обеспечивает Рамочная директива по воде (РДВ) (2000/60/ЕС), принятая ЕС в 2000 г. Этот документ регламентирует подходы к политике охраны, использования и управления водными ресурсами и призван к 2015 г. гармонизировать и унифицировать подходы стран ЕС к управлению водными ресурсами и их охране. Природоохранной целью РДВ является достижение «хорошего статуса» всех грунтовых и поверхностных вод. РДВ содержит ряд общих требований по экологической защите поверхностных вод («хороший экологический статус») и общие минимальные требования по химическим параметрам («хороший химический статус»). К примеру, в Эстонии используют показатели биологические, физико-химические и гидроморфологические. Общая оценка состояния водного объекта дается на основании самого худшего показателя. Иными словами, отсутствие единой методики оценки загрязненности трансграничных вод сопредельных государств для оценки динамики качества воды существенно осложняет сотрудничество в сфере охраны трансграничных водных объектов [Фетисова, Фрумин, 2017].

Принятая в России система контроля и регламентирования качества водной среды рыбохозяйственных водоемов основана на установлении ПДК загрязняющих веществ в воде путем выполнения по определенной схеме экспериментов с гидробионтами – представителями разных уровней и звеньев водной экосистемы. ПДК – это экспериментально установленное и официально утвержденное максимально допустимое постоянное содержание в воде вредного

вещества и его метаболитов, при котором в водоеме не возникают последствия, снижающие его рыбохозяйственную ценность или затрудняющие его рыбохозяйственное использование.

Химический состав воды поверхностных водных объектов формируется в результате физических, химических и биологических процессов, протекающих на водосборной территории (включая выпадение осадков, массоперенос в зоне аэрации и в связанных с поверхностными подземных водах) и в самом водном объекте. Специфичность таких процессов определяется целым рядом природных факторов: климатические особенности, морфологические и литологические характеристики, типы почв, характер растительного покрова и др. Разнообразие перечисленных факторов на территории России обусловлено существенной вариабельностью химического состава поверхностных вод, что подтверждается многими исследованиями. Однако до сих пор при оценке качества воды водных объектов используются единые для всей территории страны нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Одним из следствий сложившейся ситуации является отсутствие объективной основы для установления целей и основных приоритетов при планировании водоохранной деятельности, что в свою очередь снижает эффективность водоохраных мероприятий и приводит к нерациональному расходованию средств [Беляев, 2017].

В последние десятилетия система ПДК, используемая для расчетов как ИЗВ, так и УКИЗВ, подвергается справедливой и аргументированной критике и наметилась тенденция к оценке состояния водных объектов не с точки зрения потребностей конкретного природопользователя, а с позиций сохранения структуры и функциональных особенностей гидрозкосистемы, так как «необходимо научиться прогнозировать отклик экосистемы в целом на совокупное внешнее воздействие, а не какого-либо ресурсного звена, обуславливающего практический интерес потребителя» [Дмитриев, Фрумин, 2004].

В литературных источниках можно найти обширный материал по разработанным системам классификации пресноводных водоемов, имеющим разную степень «законодательной» силы и использующим различные комплексы гидрохимических и гидробиологических показателей. Существующий подход к квантованию и выделению граничных значений числовых признаков, используемых для группировки водных объектов по классам качества, чаще всего достаточно произволен и основывается

Таблица 1. Математические модели для расчетов рисков летальных исходов при воздействии вредных веществ на дафний

Table 1. Mathematical models for calculating the risks of death from exposure to harmful substances in Daphnia

Вещество Substance	Модель Model	Вещество Substance	Модель Model
Cu ²⁺	Риск = 1 – exp(–25,103C ^{0,956}) Risk = 1 – exp(–25,103C ^{0,956})	Фенол Phenol	Риск = 1 – exp(–0,0154C ^{1,2638}) Risk = 1 – exp(–0,0154C ^{1,2638})
Pb ²⁺	Риск = 1 – exp(–0,2653C ^{1,1}) Risk = 1 – exp(–0,2653C ^{1,1})	НП NP	Риск = 1 – exp(–0,3851C ^{0,7124}) Risk = 1 – exp(–0,3851C ^{0,7124})
Cd ²⁺	Риск = 1 – exp(–1880409C ^{4,6135}) Risk = 1 – exp(–1880409C ^{4,6135})	NH ₄ ⁺	Риск = 1 – exp(–0,000000105C ^{5,5345}) Risk = 1 – exp(–0,000000105C ^{5,5345})
Zn ²⁺	Риск = 1 – exp(–2,02C ^{1,168}) Risk = 1 – exp(–2,02C ^{1,168})	NO ₂ ⁻	Риск = 1 – exp(–0,2861C ^{0,8125}) Risk = 1 – exp(–0,2861C ^{0,8125})
Fe ²⁺	Риск = 1 – exp(–0,017C ^{1,319}) Risk = 1 – exp(–0,017C ^{1,319})	NO ₃ ⁻	Риск = 1 – exp(–0,00186C ^{0,8103}) Risk = 1 – exp(–0,00186C ^{0,8103})

Примечание. НП – нефтепродукты, С – концентрация, мг/дм³.

Note. NP – oil products, C – concentration, mg/dm³.

ся на опыте исследователя. Традиционно выбирается некоторая шкала с числом градаций в пределах «магических» чисел от 3 до 7, например: «Очень чисто» – «Чисто» – «Не очень чисто» – «Не очень грязно» – «Грязно» – «Очень грязно» – «Катастрофически грязно». В дальнейшем, с использованием интуиции и квалификации разработчика, литературных данных, полученных «в начале прошлого века на одной английской реке», или общих соображений здравого смысла, каждой градации назначается конкретный диапазон значений из некоторого списка потенциально пригодных для этого показателей [Шитиков и др., 2003].

Материалы и методы

Во второй половине XX века в связи с необходимостью оценки токсичности природных и сточных вод, а также некоторых химических веществ во многих странах мира стали использовать биотестирование на *Daphnia magna* Straus. Дафнии 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.

По данным литературы о токсичности загрязняющих веществ для дафний (медь, свинец, кадмий, цинк, железо, нефтепродукты, фенол, аммоний-ион, нитрит-ион, нитрат-ион) были построены линейно-экспоненциальные математические модели, связывающие величины рисков (вероятности) летальных исходов при воздействии этих веществ на дафний в широком диапазоне варьирования концентраций (табл. 1). Первичные данные о летальных и эффективных концентрациях, вызывающих эффекты у 16, 50 и 84 % подопытных тест-объектов, заимствованы из литературы [Красовский и др., 1991; Захарченко и др., 1996; Фрумин, Жаворонкова, 2003].

Учитывая, что риск является вероятностной величиной, для определения риска комбинированного действия в соответствии с правилом умножения вероятностей, где в качестве сомножителей выступают не риски, а значения, характеризующие вероятности их отсутствия, было применено следующее уравнение [Киселев, Фридман, 1997]:

$$\begin{aligned} \text{Риск}_{\text{комб}} &= 1 - (1 - \text{Риск}_1) (1 - \text{Риск}_2) \\ &\quad (1 - \text{Риск}_3) \dots (1 - \text{Риск}_n), \\ \text{Risk}_{\text{comb}} &= 1 - (1 - \text{Risk}_1) (1 - \text{Risk}_2) \\ &\quad (1 - \text{Risk}_3) \dots (1 - \text{Risk}_n), \end{aligned} \quad (1)$$

где Риск_{комб} – риск комбинированного действия совокупности вредных веществ, Риск_i – риск воздействия индивидуальных вредных веществ.

Для классификации качества вод по уровням их загрязненности металлами была использована модель «разломанного стержня» [Мостеллер, 1975] (табл. 2).

Таблица 2. Классификация качества вод по величинам комбинированных рисков

Table 2. Classification of water quality by the values of combined risks

Качество воды Water quality	Риск комбинированный, Риск _{комб} Combined risk, Risk _{comb}	Класс качества Quality class
Очень хорошее Very good	0,00–0,04	I
Хорошее Good	0,04–0,09	II
Удовлетворительное Satisfactory	0,09–0,16	III
Плохое Bad	0,16–0,26	IV
Очень плохое Very bad	0,26–1,00	V

Таблица 3. Гидрохимические показатели российской акватории Псковского озера, мкг/дм³

Table 3. Hydrochemical indicators of the Russian water area of Lake Pskovskoe, µg/dm³

Год Year	Cu ²⁺	Pb ²⁺	Cd ²⁺	Fe ²⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	НП* Oil products	Фенол Phenol
2000	5,8	9,7	1,3	230	220	17,0	350	50	-
2001	3,9	2,2	0,4	170	132	16,5	169	40	3
2002	3,0	2,0	0,5	130	264	16,5	78	90	4,1
2003	5,8	2,5	0,39	118	598	16,5	91	47	3
2004	6,6	2,6	0,9	266	1056	16,5	62	60	2,1
2005	5,2	3,6	0,6	264	1012	19,8	96	112	1,2
2006	4,1	2,5	0,7	290	660	16,5	65	60	1,2
2007	10,3	1,8	0,4	160	968	19,8	39	130	2,9
2008	12,4	1,7	0,4	160	968	16,5	91	70	3,5
2009	5,1	2,3	0,4	250	792	19,8	26	40	1,1
2010	5,8	9,7	1,3	230	744	19,8	26	50	-
2011	1,8	2,4	0,4	160	827	19,8	39	30	1,5
2012	2,5	1,5	0,4	130	1179	23,1	195	40	1,9
2013	1,6	6,1	0,5	40	1122	33,0	78	20	3,2
2014	2,2	1,9	0,15	90	876	19,8	208	50	1,6
2015	2,0	1,5	0,2	90	788	16,5	143	60	2,4
2016	3,1	1,7	0,23	108	880	22,1	81	29	1,1
2017	3,1	1,3	0,17	329	1562	19,8	87	31	0,9
2018	2,4	1,9	0,09	232	673	16,5	56	20	0,7

Результаты и обсуждение

Разработанный эколого-токсикологический подход, базирующийся на моделях, приведенных в табл. 1 и формуле 1, использован для оценки межгодовой загрязненности российской акватории Псковского озера с 2000 по 2018 г. Для расчетов применялись среднегодовые данные гидрохимического мониторинга, проведенного Северо-Западным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (табл. 3). Результаты расчетов риска комбинированного действия для дафний за указанный период представлены в табл. 4.

Как следует из данных, приведенных в табл. 4, качество воды российской акватории Псковского озера варьировало от «очень плохого» в 2007–2008 гг. до «удовлетворительного» в 2011–2018 гг. В наибольшей степени озеро загрязнено соединениями меди, нефтепродуктами и нитрит-ионами.

Дополнительно к вышеизложенному определен линейный тренд комбинированных рисков за период 2000–2018 гг. (рис. 2). Для оценки трендов использована шкала Чеддока [Макарова, Трофимец, 2002].

Как следует из рис. 2, для Псковского озера выявлен «заметный отрицательный» тренд качества воды (согласно шкале Чеддока).

Таблица 4. Динамика загрязненности вод Псковского озера

Table 4. The dynamics of water pollution of Lake Pskovskoe

Год Year	Риск _{комб} Risk _{comb}	Качество воды Water quality
2000	0,22	Плохое Bad
2001	0,18	«
2002	0,17	«
2003	0,25	«
2004	0,26	«
2005	0,23	«
2006	0,18	«
2007	0,34	Очень плохое Very bad
2008	0,36	«
2009	0,20	Плохое Bad
2010	0,22	«
2011	0,10	Удовлетворительное Satisfactory
2012	0,13	«
2013	0,09	«
2014	0,12	«
2015	0,12	«
2016	0,14	«
2017	0,14	«
2018	0,11	«

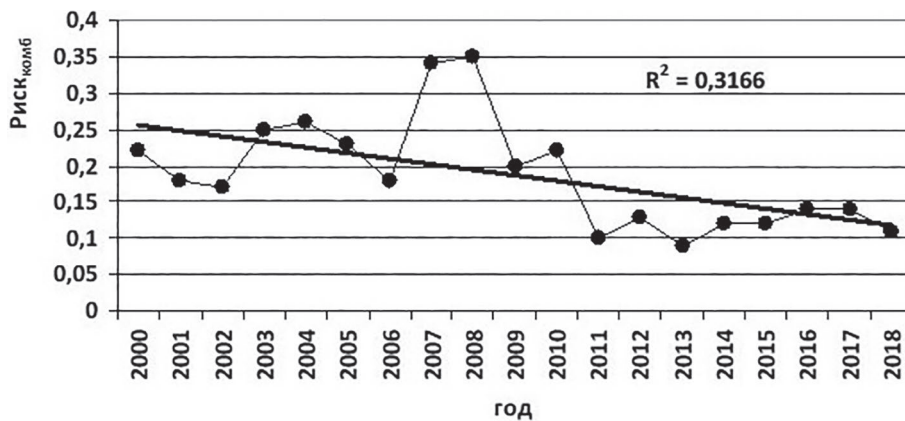


Рис. 2. Динамика качества воды Псковского озера

Fig. 2. Dynamics of water quality of Lake Pskovskoe

Выводы

1. За период 2000–2018 гг. качество воды российской акватории Псковского озера существенно улучшилось (от «плохого» и «очень плохого» в 2000–2010 гг. до «удовлетворительного» в 2011–2018 гг.).
2. Наибольший вклад в загрязненность Псковского озера вносят соединения меди, нефтепродукты и нитрит-ионы.
3. Научная новизна рассмотренного экологотоксикологического подхода заключается в совместном использовании гидрохимических и гидробиологических показателей, которые ранее использовались отдельно, в виде нового сочетания (новой математической модели).

Литература

Беляев С. Д. К вопросу учета пространственной дифференциации природной среды при планировании водоохранных мероприятий // Географический вестник. 2017. № 4(43). С. 81–96.

Дмитриев В. В., Фрумин Г. Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. СПб.: Наука, 2004. 294 с.

Захарченко М. П., Кошелев Н. Ф., Ромашов П. Г. Гигиеническая диагностика водной среды. СПб.: Наука, 1996. 247 с.

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.

Кондратьев С. А., Голосов С. Д., Зверев И. С., Рябченко В. А., Дворников А. Ю. Моделирование абiotic процессов в системе водосбор – водоем (на примере Чудско-Псковского озера). СПб.: Нестор-История, 2010. 116 с.

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.

Лозовик П. А., Фрумин Г. Т. Современное состояние и допустимые биогенные нагрузки на Псковско-Чудское озеро // Труды КарНЦ РАН. 2018. № 3. С. 3–10. doi: 10.17076/lim626

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

Мостеллер Ф. Пятьдесят занимательных вероятностных задач с решениями. М.: Наука, 1975. 112 с.

Назаров Г. В. Чудско-Псковское озеро. Химический состав воды // Природные ресурсы больших озер СССР и вероятные их изменения. Л.: Гидрометеиздат, 1984. С. 110–114.

Псковско-Чудское озеро / Науч. ред. Т. Тимм, А. Паукас, Ю. Хаберман, А. Яани. Тарту: Eesti Loodusfoto, 2012. 490 с.

Румянцев В. А., Драбкова В. Г., Измайлова А. В. Озера европейской части России. СПб.: ЛЕМА, 2015. 392 с.

Рысбеков Ю. Х. Трансграничное сотрудничество на международных реках: проблемы, опыт, уроки, прогнозы экспертов / Под ред. В. А. Духовного. Ташкент: НИЦ МКВК, 2009. 204 с.

Семенченко В. П., Разлуцкий В. И. Экологическое качество поверхностных вод. Минск: Белорусская наука, 2011. 329 с.

Фетисова Ю. А., Фрумин Г. Т. Динамика качества воды трансграничного Чудского озера // Труды КарНЦ РАН. 2017. № 10. С. 38–44. doi: 10.17076/lim557

Фрумин Г. Т., Тимофеева Л. А. Трансграничные водные объекты и водосборы России: проблемы и пути решения // Биосфера. 2014. Т. 6, № 1. С. 174–189.

Фрумин Г. Т., Жаворонкова Е. И. Токсичность и риск воздействия металлов на гидробионтов // Экологическая химия. СПб.: Теза, 2003. Т. 12(2). С. 93–96.

Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

Поступила в редакцию 24.09.2019

References

Belyaev S. D. K voprosu ucheta prostranstvennoi differentsiatsii prirodnoi sredy pri planirovani vodookhran-nykh meropriyatii [On the issue of taking into account the spatial differentiation of the natural environment when planning water conservation measures]. *Geograficheski vestnik* [Geographical Bull.]. 2017. No. 4(43). P. 81–96.

Dmitriev V. V., Frumin G. T. Ekologicheskoe normirovanie i ustoichivost' prirodnykh system [Environmental load rationing and sustainability of natural systems]. St. Petersburg: Nauka, 2004. 294 p.

Fetisova Yu. A., Frumin G. T. Dinamika kachestva vody transgranichnogo Chudskogo ozera [Changes in the water quality of the transboundary Lake Peipus]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2017. No. 10. P. 38–44. doi: 10.17076/lim557

Frumin G. T., Timofeeva L. A. Transgranichnye vodnye ob'ekty i vodosbory Rossii: problemy i puti resheniya [Transboundary water bodies and water catchments in Russia]. *Biosfera* [Biosphere]. 2014. Vol. 6, no. 1. P. 174–189.

Frumin G. T., Zhavoronkova E. I. Toksichnost' i risk vozdeistviya metallov na gidrobiontov [Toxicity and risk of aquatic organisms exposure to metals]. *Ekol. khim.* [Ecol. Chem.]. St. Petersburg: Teza, 2003. Vol. 12(2). P. 93–96.

Kiselev A. V., Fridman K. B. Otsenka riska zdorov'yu. Podkhody k ispol'zovaniyu v mediko-ekologicheskikh issledovaniyakh i praktike upravleniya kachestvom okruzhayushchei sredy [Health risk assessment. Approaches to use in environmental health research and environmental quality management practice]. St. Petersburg: Mezhdunarod. inst. otsenki riska zdorov'yu, 1997. 103 p.

Kondrat'ev S. A., Golosov S. D., Zverev I. S., Ryabchenko V. A., Dvornikov A. Yu. Modelirovanie abioticheskikh protsessov v sisteme vodosbor – vodoem (na primere Chudsko-Pskovskogo ozera) [Modeling abiotic processes in the catchment – reservoir system (case of Lake Peipus)]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2010. 116 p.

Krasovskii G. N., Alekseeva T. V., Egorova N. A., Zholdakova Z. I. Biotestirovanie v gigienicheskoi otsenke kachestva vody [Biotesting in a hygienic assessment

of water quality]. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation]. 1991. No. 9. P. 13–16.

Lozovik P. A., Frumin G. T. Sovremennoe sostoyanie i dopustimye biogennye nagruzki na Pskovsko-Chudskoe ozero [Present-day state and permissible nutrient loadings on Lake Peipus]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2018. No. 3. P. 3–10. doi: 10.17076/lim626

Makarova N. V., Trofimets V. Ya. Statistika v Excel [Statistics in Excel]. Moscow: Finansy i statistika, 2002. 368 p.

Mosteller F. Pyat'desyat zanimatel'nykh veroyatnostnykh zadach s resheniyami [Fifty challenging problems in probability with solutions]. Moscow: Nauka, 1975. 112 p.

Nazarov G. V. Chudsko-Pskovskoe ozero. Khimicheskii sostav vody [Lake Peipus. Chemical composition of water]. *Prirod. resursy bol'shikh ozer SSSR i veroyatnye ikh izmeneniya* [Natural resources of big lakes of the USSR and their probable changes]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. P. 110–114.

Pskovsko-Chudskoe ozero [Lake Peipus]. Ed. T. Timm, A. Raukas, Yu. Khaberman, A. Yaani. Tartu: Eesti Loodusfoto, 2012. 490 p.

Rumyantsev V. A., Drabkova V. G., Izmailova A. V. Ozero evropeiskoi chasti Rossii [Lakes of the European part of Russia]. St. Petersburg: LEMA, 2015. 392 p.

Rysbekov Yu. Kh. Transgranichnoe sotrudnichestvo na mezhdunarodnykh rekakh: problemy, opyt, prognozy ekspertov [Cross-border cooperation on international rivers: problems, experience, lessons, and expert forecast]. Ed. V. A. Dukhovnyi. Tashkent: NITs MKVK, 2009. 204 p.

Semenchenko V. P., Razlutskiy V. I. Ekologicheskoe kachestvo poverkhnostnykh vod [Ecological quality of surface waters]. Minsk: Belorusskaya nauka, 2011. 329 p.

Shitikov V. K., Rozenberg G. S., Zinchenko T. D. Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoi identifikatsii [Quantitative hydroecology: methods of system identification]. Tol'yatti: IEVB RAN, 2003. 463 p.

Zakharchenko M. P., Koshelev N. F., Romashov P. G. Gigienicheskaya diagnostika vodnoi sredy [Hygienic diagnostics of water environment]. St. Petersburg: Nauka, 1996. 247 p.

Received September 24, 2019

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Фрумин Григорий Тевелевич

профессор каф. геоэкологии, природопользования и экологической безопасности, д. х. н., проф.
Российский государственный гидрометеорологический университет
Воронежская ул., 79, Санкт-Петербург, Россия, 192007

ведущий научный сотрудник каф. физической географии и природопользования факультета географии
Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена
наб. р. Мойки, 48, Санкт-Петербург, Россия, 191186
эл. почта: gfrumin@mail.ru
тел.: +79111274098

CONTRIBUTORS:

Frumin, Grigory

Russian State Hydrometeorological University
79 Voronezhskaya St., 192007 St. Petersburg, Russia

Herzen State Pedagogical University of Russia
48 Nab. R. Moiki, 191186 St. Petersburg, Russia
e-mail: gfrumin@mail.ru
tel.: +79111274098

Малышева Наталия Александровна

соискатель каф. геоэкологии, природопользования
и экологической безопасности
Российский государственный гидрометеорологический
университет
Воронежская ул., 79, Санкт-Петербург, Россия, 192007
эл. почта: 9560895@gmail.com
тел.: +79219560895

Malysheva, Natalia

Russian State Hydrometeorological University
79 Voronezhskaya St., 192007 St. Petersburg, Russia
e-mail: 9560895@gmail.com
tel.: +79219560895