

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 502.51:504

П.А. Лозовик¹, Н.Е. Галахина²

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И НОРМИРОВАНИЕ ДОПУСТИМОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА НИХ

Действующий в настоящее время подход к оценке загрязненности водной среды не учитывает региональные особенности вод и не может отразить ее реальной картины. Для решения этой проблемы была разработана методика расчета регионального индекса загрязненности воды с использованием регионального фона элементов и их токсичности по критерию ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Для нормирования допустимой антропогенной нагрузки на водную среду предложено использовать показатель количества загрязненных вод, учитывающий как объем загрязненных вод, так и степень их загрязнения по приоритетным показателям. Данные подходы были апробированы на двух водных объектах – системе р. Кенти (Республика Карелия) и оз. Имандра (Мурманская область), подверженных антропогенному влиянию. Показано, что разработанные методики могут быть использованы для любых регионов и различных типов сточных вод.

Ключевые слова: фоновая концентрация, ПДК, система р. Кенти, оз. Имандра

Введение. Официальной методикой оценки загрязненности поверхностных вод в России является методика Росгидромета [РД 52.24.643-2002], включающая расчет комбинаторного и удельного комбинаторного индексов загрязненности воды (**КИЗВ** и **УКИЗВ**), а также установление критических показателей загрязненности (**КПЗ**). Ряд авторов [Lozovik, Kulakova, 2014; Двуреченская, Булычева, 2015; и др.] сходятся во мнении, что индексы, рассчитанные с учетом предельно допустимых концентраций (**ПДК**), значения которых являются едиными для всей территории Российской Федерации, не отражают реальной картины загрязненности воды, поскольку они не учитывают региональные особенности вод.

Оценка допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты является важной задачей, и она направлена на предотвращение их загрязнения и истощения. Нормирование сброса сточных вод в Российской Федерации в настоящее время осуществляется по методике [Методика ..., 2007] в соответствии с приказом МПР РФ № 333 от 17.12.2007 г. В этой методике нормирование касается только выпуска сточных вод, а состояние всего объекта при этом не учитывается. Расчет нормируемого допустимого сброса (**НДС**) в этой методике осуществляется исходя из принципа, чтобы концентрация загрязняющего вещества была на уровне ПДК в контрольном створе с учетом кратности разбавления сточных вод в этой точке.

При нормировании допустимого сброса загрязняющих веществ важным условием является правильный выбор компонентов, отражающих загрязнение водного объекта. Ряд специалистов предлага-

ют нормировать только те вещества, для которых зафиксировано превышение ПДК [Савичев с соавт., 2009]. При этом необходимо помнить, что в поверхностных водах могут присутствовать вещества, природные (фоновые) концентрации которых выше ПДК. Учет такого рода компонентов в расчете НДС приводит к необоснованным санкциям к предприятию за сброс «загрязняющих» веществ природного происхождения.

Цель работы с учетом вышеизложенного заключалась в разработке методик оценки загрязненности водной среды с учетом регионального фона элементов и нормирования допустимого антропогенного воздействия на них токсическими веществами.

Материалы и методы исследований. До появления [РД 52.24.643-2002] оценку загрязненности вод проводили путем расчета индекса загрязнения воды (**ИЗВ**) согласно методическим рекомендациям [Временные методические ..., 1986]:

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{6} \sum \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

где C_i – концентрация i -го компонента, ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го компонента, 6 – количество показателей, среди которых обязательными являются содержание O_2 и величина БПК_5 , а остальные выбираются по признаку наибольшей токсичности.

В работе [Лозовик, Платонов, 2005] была предложена методика расчета региональных ПДК (**РПДК**) с учетом геохимического фона элементов ($C_{\text{фон}}$) для незагрязненных территорий и их токсичнос-ти с учетом ПДК для рыбохозяйственных

¹ Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», лаборатория гидрохимии и гидрогеологии, науч. с., докт. хим. н.

² Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», лаборатория гидрохимии и гидрогеологии, науч. с., канд. хим. н.; e-mail: kulakovanata@mail.ru

водоемов: $\text{РПДК} \sqrt{C_{\text{фон}} \cdot \text{ПДК}_i}$, если $\text{ПДК} \gg C_{\text{фон}}$;

для элементов, у которых фоновая концентрация одного порядка, что и ПДК, используется их сумма: $\text{РПДК} = C_{\text{фон}} + \text{ПДК}$. В некоторых водах $C_{\text{фон}}$ может быть больше, чем ПДК. В частности, для поверхностных вод гумидной зоны характерно высокое содержание Fe, Mn, фенолов, и их наблюдаемые концентрации зачастую выше ПДК. Для этих веществ требуется специальная разработка РПДК и их не следует учитывать при оценке загрязненности вод.

Оценку загрязненности водных объектов предложено осуществлять по региональному индексу загрязненности воды (**РИЗВ**) на основе РПДК:

$$\text{РИЗВ} = \frac{1}{n} \sum \frac{C_i}{\text{РПДК}_i}. \text{Расчеты проводятся анало-}$$

гично методике [Временные методические ..., 1986], но при этом учитываются только приоритетные загрязняющие вещества, у которых $C_i \geq \text{РПДК}_i$, а остальные, включая вещества, отражающие региональную специфику вод, во внимание не принимаются. На основании значений РИЗВ оценивается загрязненность воды по шкале, принятой для ИЗВ [Временные методические ..., 1986].

Для нормирования антропогенной нагрузки на водные объекты загрязняющими веществами предложена методика, учитывающая степень загрязненности этих объектов, оцениваемая по РИЗВ, и объем стока из них [Лозовик, Галахина, 2016]. В данной методике введено понятие количества загрязненных вод (КЗВ), рассчитываемое как произведение РИЗВ на среднегодовой сток из водного объекта ($V_{\text{сток}}$): $\text{КЗВ} = \text{РИЗВ} \cdot V_{\text{сток}}$. Этот критерий показывает, какому количеству разбавленных загрязненных вод будет соответствовать $\text{РИЗВ} = 1,0$ или до какого объема следует разбавить загрязненные воды, чтобы РИЗВ стал равным 1,0.

С использованием предложенных методик выполнена оценка загрязненности подверженных ан-

тропогенному воздействию водных объектов системы р. Кенти (Республика Карелия) и оз. Имандра (Мурманская область), путем расчета ИЗВ и РИЗВ и их сопоставления, а также проведено нормирование допустимых нагрузок на эти объекты загрязняющими веществами.

Результаты исследований и их обсуждение.

Система р. Кенти находится под влиянием техногенных вод Костомукшского горно-обогатительного комбината (**ГОК**). Показателями, отражающими специфику производства и его воздействия на водную среду, являются K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li и Ni [Кулакова, Лозовик, 2012; Lozovik, Kulakova, 2014]. Для этих компонентов с учетом их фоновых концентраций и ПДК были определены РПДК необходимые для расчета РИЗВ (табл. 1). В качестве $C_{\text{фон}}$ использовались региональные концентрации этих компонентов, установленные для поверхностных вод Республики Карелия, не подверженных антропогенному воздействию [Лозовик, 2006].

Согласно ИЗВ, все водоемы системы р. Кенти, за исключением «умеренно загрязненного» оз. Окунеевое, относятся к категории «чистых», оз. Среднее Куйто – «очень чистое» (табл. 1). Что касается РИЗВ, то их значения существенно отличаются от ИЗВ и по ним выявлена высокая степень загрязнения верхних озер системы и слабая – нижних, что согласуется с данными гидробиологических наблюдений системы р. Кенти [Куликова, Калинин, 2007].

Проведена оценка загрязненности воды системы р. Кенти по [РД 52.24.643-2002] на основе ПДК для рыбохозяйственных водоемов и РПДК с использованием следующих показателей качества воды: содержание O_2 , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , Li, Mn, $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Ni, Al, Cu и величина БПК₅. Расчеты показали, что при использовании ПДК загрязнение выявляется только по веществам, отражающим региональную специфику вод (Mn) (табл. 2). Полученные результаты комбинаторного и удельного комбинаторного индексов загрязненности воды с уче-

Таблица 1

Содержание приоритетных показателей (по данным наблюдений 2009–2012 гг.) в системе р. Кенти и оз. Среднее Куйто, их ПДК и РПДК

	K ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Li	Ni	ИЗВ	РИЗВ
	мг/л		мгN/л	мкг/л			
Оз. Окуневое	117	245	3,34	54	4,3	1,3	12,1
Оз. Поппалиярви	70	187	2,16	35	3,6	0,9	8,0
Оз. Койвас	35	77	0,76	18	0,8	0,4	3,5
Оз. Кенто	24	55	0,26	12	0,8	0,3	2,3
Оз. Среднее Куйто	2,1	5,0	0,05	2	0,3	0,03	0,3
C _{фон}	0,5	2,5	0,01	0,5	0,5		
ПДК	50	100	9,1	80	10		
РПДК	5	16	0,3	6,3	2,2		

Таблица 2

**Индексы загрязненности воды системы р. Кенти и оз. Среднее Куйто
(среднеарифметические значения наблюдений 2009–2012 гг.)**

Озеро	КИЗВ	УКИЗВ	КПЗ	КИЗВ	УКИЗВ	КПЗ
	С учетом ПДК			С учетом РПДК		
Окуневое	52,3	3,7	1(Mn)	87,2	6,2	5(K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Mn, Li)
Поппаяярви	44,1	3,2	1(Mn)	73,8	5,3	4(K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li)
Койвас	25,1	1,8	0	46,9	3,4	2(K^+ , SO_4^{2-})
Кенто	36,5	2,6	1(Mn)	50,5	3,6	1(K^+)
Среднее Куйто	29,2	2,0	0	6,0	0,4	0

Таблица 3

Приоритетные показатели воды оз. Имандра [Антропогенные ..., 2002] и степень его загрязнения по ИЗВ и РИЗВ

	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Mn	Ni	Cu	ИЗВ	РИЗВ
	мг/л				мкг/л				
Большая Имандра	14,8	2,41	24,2	5,52	10,4	15	6,0	1,5	2,5
Июкостровская Имандра	12,5	2,30	21,2	5,0	5,5	10	4,5	1,1	1,8
Бабинская Имандра	6,99	1,36	11,8	2,84	1,5	4,0	3,0	0,6	0,9
ПДК	120	50	100	300	10	10	1,0		
РПДК	23	5	14	22	13	2,2	1,5		

том РПДК согласуются со значениями РИЗВ. Среди критических показателей загрязненности воды выявлены компоненты (K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li), являющиеся приоритетными загрязнителями техногенных вод Костомукшского ГОК и их водоприемников.

Озеро Имандра – крупнейший водоем Мурманской области, подверженный многофакторному антропогенному воздействию целого ряда предприятий: горнодобывающей промышленности (ОАО «Апатит»), металлургической промышленности (Кольская ГМК, ОАО «Североникель»), железорудного производства (ОАО «Олкон»), энергетического комплекса (Кольская АЭС, Апатитская ТЭЦ, каскад Нивских ГЭС), а также хозяйственно-бытовых сточных вод городов [Валькова с соавт., 2012]. Водоем состоит из трех плесов: Большой, Иокостровской и Бабинской Имандры. Большая Имандра является самым загрязненным плесом, в который поступают сточные воды ОАО «Североникель», ОАО «Апатит» и Оленегорского ГОК [Валькова с соавт., 2012]. Медно-никелевый комбинат (ОАО «Североникель») – главный источник загрязнения оз. Имандра тяжелыми металлами. К приоритетным показателям его сточных вод можно отнести Na⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, Mn, Ni и Cu, для которых с учетом регионального фона были рассчитаны РПДК. На основе ПДК и РПДК выполнена оценка загрязненности оз. Имандра по ИЗВ и РИЗВ (табл. 3). Индексы загрязненности воды оз. Имандра, рассчитанные по ПДК и РПДК, мало отличаются, что, по-видимому, связано с тем, что ПДК и РПДК по меди имеют близкие и низкие значения. При этом индексы закономерно уменьшаются от самого загрязненного плеса к самому чистому.

Расчеты КЗВ, выполненные для водоемов системы р. Кенти, показали близкие их значения независимо от месторасположения озер (вблизи выпусков

техногенных вод или вдали) (рис. 1). В среднем по системе КЗВ составляет 302 млн м³/год. Расчет КЗВ можно выполнить непосредственно и для сточных вод с учетом всех источников поступления загрязняющих веществ. Общий объем техногенных вод Костомукшского ГОК составляет 38,6 млн м³/год, а отвечающее им РИЗВ = 7,6, тогда КЗВ, рассчитанное для этих вод, будет достигать 293 млн м³/год. Это значение близко к КЗВ, рассчитанному для озер системы. Допустимое количество загрязненных вод (ДКЗВ) фактически приравнивается к объему стока из озера, когда РИЗВ = 1,0. Превышение количества загрязненных вод (ПКЗВ) дает разница между КЗВ и ДКЗВ. Из рис. 1 видно, что во всех озерах системы р. Кенти наблюдается превышение КЗВ.

Расчеты КЗВ и ДКЗВ для отдельных плесов оз. Имандра (рис. 2) показали, что превышение КЗВ наблюдается в Большой Имандре и Иокостровской

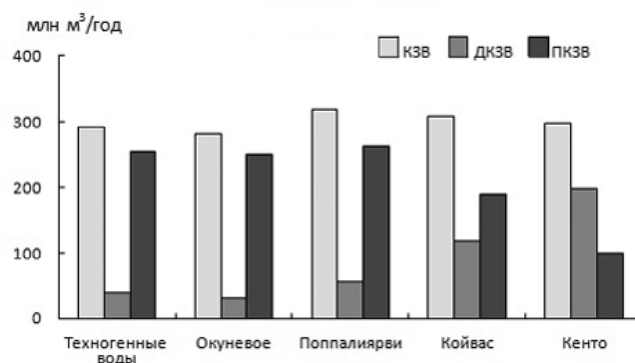


Рис. 1. Количество загрязненных вод, поступающих в систему р. Кенти

Fig. 1. The amount of contaminated water coming in the Kenta lake-river system

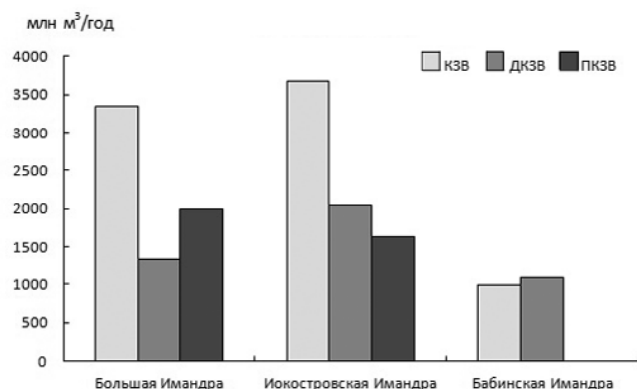


Рис. 2. Количество загрязненных вод, поступающих в оз. Имандра

Fig. 2. The amount of contaminated water coming in the Imandra Lake

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. М.: Наука, 2002. 399 с.

Валькова С.А., Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Сандимиров С.С. Структура и динамика сообществ зообентоса озера Имандра в зоне влияния медно-никелевого комбината // Труды Кольского научного центра РАН. 2012. № 3. С. 23–40.

Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г. № 250–1163. М., 1986. 5 с.

Двуреченская С.Я., Булычева Т.М. К вопросу о методических подходах к определению качества воды по интегральным показателям (на примере Новосибирского водохранилища) // Вода: химия и экология. 2015. № 10. С. 32–37.

Кулакова Н.Е., Лозовик П.А. Анализ влияния Костомукшского горно-обогатительного комбината на окружающую среду с учетом природно-техногенных факторов формирования и трансформации вод // Вода: химия и экология. 2012. № 2. С. 18–25.

Куликова Т.П., Калинин Н.М. Водоемы района Костомукши. Озерно-речная система Кенти. Характеристика биоценозов. Зоопланктон // Состояние водных объектов Республики Карелия: по результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 115–124.

Лозовик П.А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию. Автореф. дисс. на соискание степени докт. хим. наук. М., 2006. 56 с.

Имандре, тогда как в Бабинской Имандре КЗВ не превышает допустимое благодаря большому разбавляющему эффекту в этой части озера.

Выводы:

— для надежной оценки загрязненности водных объектов и выявления последствий антропогенного влияния на них, помимо токсичности элементов по критерию ПДК, необходимо учитывать их региональный фон. Разработана методика расчета регионального индекса загрязненности воды;

— с использованием данных о степени загрязнения сточных вод и объема их поступления в водный объект представляется возможным нормировать их количество. Разработана методика нормирования допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты. Показано, что она может быть использована для любых регионов и различных типов сточных вод.

Лозовик П.А., Галахина Н.Е. Последствия антропогенного влияния на водные объекты района Костомукши // Роль науки в решении проблем региона и страны: фундаментальные и прикладные исследования. Мат-лы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящ. 70-летию КарНЦ РАН. Петрозаводск, 2016. С. 25–27.

Лозовик П.А., Платонов А.В. Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района // Геоэкология. 2005. № 6. С. 527–532.

Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные среды для водопользователей. Утв. МПР России от 17.12.2007 г. Приказ № 333. 41 с.

РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2004. 50 с.

Савичев О.Г., Кузеванов К.И., Хвощевская А.А., Янковский В.В. Экологическое нормирование: методы расчета допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты суши. Часть I. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 108 с.

Lozovik P.A., Kulakova N.E. Methodological approaches to pollution assessment in water bodies within the operation zone of mining plants // Water Resources. 2014. № 4. P. 464–472.

Поступила в редакцию 20.03.2019

После доработки 24.04.2019

Принята к публикации 24.05.2019

P.A. Lozovik¹, N.E. Galakhina²

EVALUATION OF THE DEGREE OF WATER BODIES POLLUTION AND NORMALIZATION OF THE PERMISSIBLE ANTHROPOGENIC LOAD ON THEM

The current approach to assessing the pollution of the aquatic environment does not take into account regional characteristics of waters and cannot reflect its real picture. To solve this problem, a methodology was developed for calculating a regional water pollution index using the regional background concentrations of elements and their toxicity according to the MPC criterion for fishery reservoirs. To

¹ Northern Water Problems Institute, Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Laboratory of Hydrochemistry and Hydrogeology, Scientific Researcher, D.Sc. in Chemistry

² Northern Water Problems Institute, Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Laboratory of Hydrochemistry and Hydrogeology, Scientific Researcher, PhD. in Chemistry; e-mail: kulakovanata@mail.ru

normalize the permissible anthropogenic load on the aquatic environment, it is proposed to use an indicator of the amount of polluted water, taking into account both the volume of polluted water and the degree of pollution according to priority indicators. The approaches were tested for two water bodies, i.e. the Kenti lake-river system (Republic of Karelia) and the Imandra Lake (Murmansk region), which are subject to anthropogenic influence. It is shown that suggested methods can be used for any region and for various types of wastewater.

Key words: surface waters, background concentration, maximum permissible concentration, the Kenti lake-river system, the Imandra Lake

REFERENCES

- Antropogennyye modifikatsii ekosistemy ozera Imandra [Anthropogenic modifications of the Imandra Lake ecosystem]. M.: Nauka, 2002. 399 p. (in Russian)
- Val'kova S.A., Kashulin N.A., Dauval'ter V.A., Sandimirov S.S. Struktura i dinamika soobshchestv zoobentosa ozera Imandra v zone vliyaniya medno-nikelevogo kombinata [The structure and dynamics of the Imandra Lake zoobenthos community in the impact zone of the copper-nickel plant] // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. 2012. № 3. P. 23–40. (in Russian)
- Vremennyye metodicheskie ukazaniya po kompleksnoy ocenke kachestva poverhnostnykh i morskikh vod [Provisionally recommended practices for the integral assessment of surface and sea waters quality]. Utv. Goskomgidrometom SSSR 22.09.1986 g. № 250–1163. M., 1986. 5 p. (in Russian)
- Dvurechenskaya S.Ja., Bulycheva T.M. K voprosu o metodicheskikh podhodakh k opredeleniyu kachestva vody po integral'nym pokazatel'nykh (na primere Novosibirskogo vodohranilishha) [On the methodical approaches to water quality assessment by the integral indicators (case study of the Novosibirsk reservoir)] // Voda: himiya i jekologiya. 2015. № 10. P. 32–37. (in Russian)
- Kulakova N.E., Lozovik P.A. Analiz vliyaniya Kostomukshskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata na okruzhajushhuju sredyu s uchetom prirodno-tehnogennykh faktorov formirovaniya i transformacii vod [The environmental impact of the Kostomuksha mining and processing plant: natural and man-made factors of the formation and transformation of waters] // Voda: himiya i jekologiya. 2012. № 2. P. 18–25. (in Russian)
- Kulikova T.P., Kalinkina N.M. Vodoemy rajona Kostomukshi. Ozero-rechnaya sistema Kenti. Harakteristika biocenozov. Zooplankton [Water bodies of the Kostomuksha area. The Kenti lake-river system. Characteristics of biocenoses. Zooplankton] // Sostoyanie vodnykh ob'ektov Respubliki Kareliya: po rezul'tatam monitoringa 1998–2006 gg. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2007. P. 115–124. (in Russian)
- Lozovik P.A. Gidrogeohimicheskie kriterii sostoyaniya poverhnostnykh vod gumidnoj zony i ih ustojchivosti k antropogennomu vozdejstviyu [Hydrogeochemical criteria of the state of surface waters of the humid zone and their resistance to anthropogenic impact]: Dissertation abstract for the degree of Doctor of Chemical Sciences M., 2006. 56 p. (in Russian)
- Lozovik P.A., Galahina N.E. Posledstviya antropogennogo vliyaniya na vodnye ob'ekty rajona Kostomukshi [The effects of anthropogenic influence on water bodies in the Kostomuksha area] // Rol' nauki v reshenii problem regiona i strany: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya. Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashch. 70-letiyu KarNC RAN. Petrozavodsk, 2016. P. 25–27. (in Russian)
- Lozovik P.A., Kulakova N.E. Methodological approaches to pollution assessment in water bodies within the operation zone of mining plants // Water Resources. 2014. № 4. P. 464–472.
- Lozovik P.A., Platonov A.V. Opredelenie regional'nykh predel'no dopustimyykh koncentracij zagriznjajushhih veshchestv na primere Karel'skogo gidrograficheskogo rajona [Evaluation of the regional maximum permissible concentrations of pollutants as in the case of the Karelian hydrographic district] // Geojekologiya. 2005. № 6. P. 527–532. (in Russian)
- Metodika razrabotki normativov dopustimyykh sbrosov veshchestv i mikroorganizmov v vodnye sredy dlja vodopol'zovatelej [Methodology for the development of water-users standards of permissible discharges of substances and microorganisms in the aquatic environment]. Utv. MPR Rossii ot 17.12.2007 g. Prikaz № 333. 41 p. (in Russian)
- RD 52.24.643-2002. Metod kompleksnoy ocenki stepeni zagriznennosti poverhnostnykh vod po gidrohimicheskim pokazatel'nykh [The method of complex assessment of the degree of contamination of surface water using the hydrochemical indicators]. SPb.: Gidrometeoizdat, 2004. 50 p. (in Russian)
- Savichev O.G., Kuzevanov K.I., Hvashhevskaja A.A., Jankovskij V.V. Jekologicheskoe normirovanie: metody rascheta dopustimyykh sbrosov zagriznjajushhih veshchestv v poverhnostnye vodnye ob'ekty sushi [Environmental regulation: methods of calculating the permissible discharge of pollutants into surface water bodies]. Chast' I. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2009. 108 p. (in Russian)

Received 20.03.2019

Revised 24.04.2019

Accepted 24.05.2019