

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПАСНОСТИ В ГИДРОСФЕРЕ  
ECOLOGICAL PROBLEMS AND HAZARDS IN THE HYDROSPHERE

УДК 556.114.001.24(282.247.326.2)

DOI: 10.34753/HS.2021.3.2.133

ФОРМИРОВАНИЕ  
ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЧЕСТВА  
СТОКА В ВЕРХОВЬЯХ РЕКИ  
ЛУГИ В МЕЖГОДОВОМ И  
КРАТКОСРОЧНОМ  
МАСШТАБАХ ВРЕМЕНИ.  
ЧАСТЬ 2. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ  
ФОНОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И  
ВКЛАД КРАТКОСРОЧНЫХ  
АНОМАЛИЙ В  
ЗАГРЯЗНЁННОСТЬ ВОДЫ

Э.А. Румянцева, Н.Н. Бобровицкая

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», г. Санкт Петербург, Россия  
bobrovi@ggi.nw.ru

FORMATION OF VARIABILITY OF  
FLOW QUALITY IN THE TOP OF  
THE LUGA RIVER IN INTER-  
ANNUAL AND SHORT-TERM  
TIME. PART 2. GEOCHEMICAL  
BACKGROUND  
CONCENTRATIONS AND THE  
CONTRIBUTION OF SHORT-TERM  
ANOMALIES TO WATER  
POLLUTIONEl'vira A. Rumyantseva,  
Nelly N. Bobrovitskaya

Federal State Budgetary Institution "State Hydrological Institute", St. Petersburg, Russia  
bobrovi@ggi.nw.ru

**Аннотация.** Задачей данной работы явилась оценка геохимических фоновых концентраций для двадцати химических компонентов и вклада их краткосрочных аномалий в загрязнённость воды в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво за период с 2000 по 2017 год. Для расчётов использовались данные гидрохимических наблюдений Северо-Западного УГМС и методика, разработанная в ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр». Показано, что значения многолетнего геохимического фона для таких компонентов, как ХПК,  $Fe_{общ}$ ,  $Mn^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ , выше, а для насыщения воды кислородом ниже предельно допустимых концентраций для рыбохозяйственного применения. В основе многолетнего формирования геохимического фона в пределах данной части речного бассейна лежат региональные особенности: сток реки и главного её притока реки Оредеж через болота, влияние питания реки грунтовыми водами и

**Abstract.** The objective of this work was a modern assessment at geochemical background concentrations of the twenty chemical components and the contribution of their short-term anomalies to water pollution in the Luga River section at Tolmachevo Urban Village from 2000 to 2017. For the calculations, the data of hydrochemical observations of the North-West Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring and the methodology developed at FSBI «Caspian Marine Research Center» were used. It has been shown that the values of the long-term geochemical background are higher for components such as COD,  $Fe_{total}$ ,  $Mn^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  and lower the maximum permissible concentrations for fisheries use for saturation of water with oxygen. The long-term formation of the geochemical background in this part of the river basin is based on regional features: the flow of the river and its main tributary, the Oredej River, through bogs, the influence of the river's recharge with groundwater and the high degree of

высокая освоенность территории. Сравнение многолетних значений геохимического фона для целого года с величинами за отдельные гидрологические фазы показало, что по сходству их увеличения либо уменьшения можно выделить семь групп. Большая часть изменений приходится на период весеннего половодья при наибольших расходах воды, разливах реки, эрозии берегов, и в период зимней межени, когда большую роль в питании реки играют грунтовые воды. Отмечен очень высокий вклад краткосрочных аномалий в загрязнённость воды во все периоды года для  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  и нефтепродуктов, что, вероятно, указывает на частые сбросы сточных вод, содержащих эти компоненты. Работа показала, что методика, разработанная в ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», информативна и может быть использована для оценки состояния водного объекта в определенный отрезок времени. С её помощью можно оценить загрязнённость водотока как по геохимическим фоновым концентрациям компонентов, так и по вкладу краткосрочных аномалий в загрязнённость воды каждого химического компонента.

**Ключевые слова:** геохимические фоновые концентрации; вклад краткосрочных аномалий в загрязнённость воды; временные ряды концентраций химических компонентов; антропогенное воздействие; расход воды; межень; паводки; грунтовое питание.

### Введение

Фоновые концентрации загрязняющих веществ в водных системах в зависимости от целей их применения могут иметь разные величины и способы расчётов. Для изучения поверхностных вод чаще всего используется нормативная фоновая концентрация, которая необходима для установления предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ. Её расчёт производится в соответствии с

development of the territory. The contribution of short-term anomalies to water pollution at all times of the year for  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  and petroleum products was high. The work showed that the methodology, developed at the «Caspian Marine Research Center», is informative and can be used for assessing the state of a water body at a certain time. It can be used to estimate the pollution of the watercourse, both by the background geochemical concentrations of the components and by the contribution of short-term anomalies to the water pollution by each chemical component.

**Keywords:** geochemical background concentrations; contribution of short-term anomalies to water pollution; time series of concentrations of chemical components; anthropogenic influence; water discharges; low-water seasons; floods; groundwater recharge.

РД 52.24.622-2001<sup>1</sup>. Нормативная фоновая концентрация привязана к определённому источнику загрязнения и ограничена наиболее неблагоприятными гидрологическими условиями для формирования качества воды.

Для изучения водных объектов как конечных звеньев загрязнения в пределах бассейновых геосистем необходимы другие показатели: такие как геохимическая фоновая концентрация. Эта концентрация загрязняющих

<sup>1</sup>РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб: Гидрометеоздат, 2002. 48 с.

веществ, сформировавшаяся в том или ином створе, характеризует геохимические процессы, происходящие на всём или определённом участке водосбора. Она характеризует состояние загрязнённости водотока в конкретном месте и в конкретное время.

Также фоновые концентрации загрязняющих веществ, которые характеризуют изменённые деятельностью человека условия формирования качества вод в пределах всего или части речного бассейна или которые отражают воздействие множества неорганизованных источников загрязнения, находящихся выше контрольного створа, называют региональным фоном<sup>2</sup>.

В ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр» разработан ряд геоэкологических показателей загрязнения морской среды, некоторые из которых можно, по мнению авторов, использовать применительно к другим водным объектам. Общий подход может быть полезен для сравнительных оценок [Монахов и др., 2014].

### Задачи и объект исследования

Задачей данной работы явилась оценка многолетних геохимических фоновых концентраций для двадцати компонентов и вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды в створе реки Луги – посёлок городского типа (далее – п.г.т.) Толмачёво за период с 2000 по 2017 год.

Для расчётов использовались данные гидрохимических наблюдений Северо-Западного УГМС. Пост гидрохимических наблюдений находится на 1 км выше п.г.т. Толмачёво и на 3 км ниже впадения в реку Лугу её главного притока – реки Оредеж.

Площадь водосборного бассейна реки Луги от истока до устья составляет 13 200 км<sup>2</sup>, а до изучаемого створа – 6 350 км<sup>2</sup>, из которых 3 220 км<sup>2</sup> приходится на водосбор реки Оредеж. Если средний годовой расход воды в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво за период с 2000 по

2017 год составил 39,23 м<sup>3</sup>/с, то расход воды реки Оредеж на 26 км от устья составил 20 м<sup>3</sup>/с [Государственный водный кадастр, 1986]. Таким образом, оба водотока имеют почти равноценное влияние на формирование стока в створе.

Питание реки Луги<sup>2</sup> смешанное с преобладанием снегового и с ярко выраженными весенним половодьем, осенним паводком, зимней и летней меженью. Водный режим реки Оредеж также характеризуется весенним половодьем и сравнительно устойчивой, но довольно высокой летне-осенней и зимней меженью, что объясняется обильным грунтовым питанием из карстовых вод Ордовикского плато.

Наиболее освоенной является центральная часть изучаемого участка водосбора реки Луги, где расположены крупные населённые пункты: город Луга и п.г.т. Толмачёво, а также сосредоточены основные промышленные и транспортные магистрали. Основными источниками загрязнения реки Луги являются Лужские муниципальные предприятия жилищно-коммунального хозяйства<sup>2</sup>, промышленные предприятия, сельскохозяйственные и рекреационные объекты (санатории, спортивные и детские базы) и поверхностный сток с водосбора.

По берегам реки Оредеж расположено множество населённых пунктов и мест для туристического отдыха. В верховье река зарегулирована шестью плотинами бывших малых гидроэлектростанций с водохранилищами небольшой ёмкости. Антропогенное воздействие на поверхностные и подземные воды долины реки Оредеж оказывают птицефабрики, фермы, свинофермы, пахотные угодья, селитебные предприятия, строительные комплексы [Романова, 2016].

<sup>2</sup>Пояснительная записка к сводному тому проекта нормативов допустимого воздействия рек и озёр бассейна Финского залива (от границы Российской Федерации до северной границы бассейна реки Невы). СПб: Издательство ГГИ, 2012. 81 с.

### Методика расчётов геохимических фоновых концентраций химических компонентов и вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды

По мнению авторов статьи [Монахов и др., 2014] при правильно организованном отборе проб и последующем ранжировании рядов измеренных значений аномалии занимают «крайние места», придавая всему распределению ассиметричный характер. С учётом этого обстоятельства на роль фона больше всего подходит статистический параметр:

- а) обобщающий всю совокупность данных;
- б) лежащий в центре распределения;
- в) независимый от крайних значений.

Если исходить из этого и учитывать, что данные, полученные при геохимических съёмках, как правило, имеют ассиметрическое распределение, то роль геохимического фона должна быть отдана медиане (центру ранжированного ряда). Кроме того, медиана меньше всего зависит от крайних значений ряда. В связи с этим, рекомендуется использовать медиану как геохимическую фоновую концентрацию.

По мнению тех же авторов [Монахов и др., 2014] разность между средним значением и медианой несёт большую смысловую нагрузку, если рассматривать медиану как фоновую концентрацию. Её можно использовать для оценки вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды:

$$E = 100 (C_m - P) / C_m$$

где  $E$  – вклад краткосрочных аномалий;  
 $C_m$  – средняя концентрация временного ряда;  
 $P$  – центральная точечная концентрация (геохимическая фоновая концентрация).

Вклад краткосрочных аномалий в загрязнённость воды может принимать как положительные, так и отрицательные значения. При этом первые соответствуют увеличению загрязнения, а вторые – очищению, кроме значений для концентраций кислорода, когда имеет место противоположный процесс. Следует учитывать, что локальные процессы не обязательно носят антропогенный характер.

Разработана вербальная шкала оценки вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды в локальных процессах (таблица 1), где  $E_s$  – вклад пространственных краткосрочных аномалий;  $E_l$  – вклад временных краткосрочных аномалий.

### Оценка геохимических фоновых концентраций химических компонентов и вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво за период с 2000 по 2017 год

Применительно к бассейну реки Луги обоснование выбора геохимических фоновых значений концентраций химических компонентов представляет особенно сложную задачу в связи с хорошей освоенностью данной территории. Различные виды антропогенного воздействия оказывают своё влияние на формирование поверхностного стока уже достаточно длительное время.

В то же время все ряды фактических измерений концентраций химических веществ за период с 2000 по 2017 год в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво имеют необходимую дискретность измерений во времени, так как отборы проб на водотоках приурочены к основным фазам гидрологического режима. Ряды данных ассиметричны и за изучаемый период

**Таблица 1.** Шкала для оценки вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды.

**Table 1.** Scale for assessing the contribution of short-term anomalies to water pollution.

Вербальная оценка вклада	$E_s$ % или $E_l$ %
Очень низкий	$0 < E \leq 5$
Низкий	$5 < E \leq 10$
Средний	$10 < E \leq 25$
Высокий	$25 < E \leq 50$
Очень высокий	$> 50$

содержат от 70 измеренных значений для биогенных компонентов до 216 значений во всех других случаях.

В основе формирования геохимических фоновых концентраций этих показателей в пределах данной части речного бассейна лежат природные региональные особенности, изменённые деятельностью человека.

Так, река Луга берет начало в Новгородской области на болоте Нетельской Мох – южной части Тесовского болотного массива, в верховьях она протекает по болоту. Русло реки часто прерывается болотными резервуарами шириной 10–40 м с едва заметным течением [Государственный водный кадастр, 1986], где происходит накопление тяжёлых металлов путём коагуляции, осаждения, сорбции. Они же служат источником вторичного загрязнения. В низовьях реки Оредеж находится республиканский Государственный заказник «Мшинское болото». Следует отметить, что до XX века металлические крепления для судов изготавливались из железа, добываемого из местной болотной руды, содержащейся в заболоченных почвах [Зерцалов, 1972]. В верхнем течении реки Оредеж грунтовые воды содержат высокие концентрации железа и марганца. Болотные воды имеют высокое содержание органических веществ, образующих со многими металлами хелатные комплексы. Комплексы гуминовых и фульвокислот с железом, марганцем, медью и другими металлами относительно хорошо растворимы в условиях нейтральной, слабокислой и слабощелочной среды и способны мигрировать в природных водах на весьма значительные расстояния [Линник, Набиванец, 1986].

В таблице 2 приведены средние значения и медиана (многолетние геохимические фоновые концентрации) в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво, рассчитанные по временным рядам двадцати химических компонентов за период с 2000 по 2017 год, а также даны оценки

вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость стока. Обращает на себя внимание, что не только средние многолетние значения, но и значения геохимических фоновых концентраций для таких компонентов как ХПК,  $Fe_{\text{общ}}$ ,  $Mn^{2+}$ , а также  $Cu^{2+}$  превышают предельно допустимые концентрации (далее – ПДК) для рыбохозяйственного применения<sup>3</sup>, а значения насыщения воды кислородом – ниже ПДК.

Так как значения средних многолетних и геохимических фоновых концентраций для насыщения воды кислородом в воде изучаемого створа круглогодично сохраняются ниже нормативного, что, по-видимому, может служить маркером высокого вклада питания реки грунтовыми водами и подпочвенным стоком подзолистых и болотных торфяно-глеевых почв.

Средняя многолетняя и геохимическая фоновая концентрации для  $Cu^{2+}$  находятся на уровне значений, характерных для горнорудных районов, а средняя многолетняя и геохимическая фоновая концентрации для  $Pb^{2+}$  – на уровне его содержания в незагрязнённых водах (около 3 мкг/дм<sup>3</sup>) [Медведев, Деревягин, 2017].

Основная масса тяжёлых металлов в экосистемах формируется за счёт их содержания в почвообразующей породе. Пополнение этих элементов происходит за счёт деятельности человека. Примерно 75% поступающей в атмосферу меди имеет антропогенное происхождение: сжигание древесины, производство стали и железа, промышленные выбросы, отходы, сточные воды, транспорт, сжигание топлива в различных отраслях промышленности, поступления меди в атмосферу с ветровой пылью [Линник, Набиванец, 1986; Медведев, Деревягин, 2017]. Агропромышленный комплекс также участвует в формировании антропогенного загрязнения металлами, которые входят в состав удобрений и пестицидов [Зырин, Каплунова, Сердюкова, 1985].

<sup>3</sup>Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Издательство ВНИРО, 1999. 304 с.

**Таблица 2.** Средние значения ( $C_m$ ) и медианы (геохимические фоновые концентрации) ( $P$ ) во временных рядах химических компонентов в створе реки Луга – п.г.т. Толмачёво за период с 2000 по 2017 год и оценка вклада их краткосрочных аномалий ( $E_1\%$ ) в загрязнённость воды.

**Table 2.** Mean values ( $C_m$ ) and medians (of geochemical background concentrations) ( $P$ ) in the time series of chemical components in the Luga River section at Tolmachevo Urban Village from 2000 to 2017 and assessment of the contribution of their short-term anomalies ( $E_1\%$ ) to water pollution.

Группа	Компоненты	Размерность	$C_m$	$P$	$C_m - P$	$E_1\%$	Вербальная оценка вклада
1	Водородный показатель (рН)		7,3551	7,3000	0,055	0,75	Очень низкий
	Растворённый кислород ( $O_2$ )	мг/дм <sup>3</sup>	8,1144	8,3000	-0,1856	-2,29	Очень низкий
	Насыщение воды кислородом ( $O_2\%$ )	%	66,4213	65,0000	1,4213	2,14	Очень низкий
	Химическое потребление кислорода (ХПК)	мгО/дм <sup>3</sup>	36,7319	36,000	0,7319	2,01	Очень низкий
	$Ca^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	45,5972	47,2000	-1,6028	-3,52	Очень низкий
	$Mg^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	14,8931	14,5000	0,3931	2,64	Очень низкий
	$Cl^-$	мг/дм <sup>3</sup>	11,4667	11,6000	-0,1333	-1,16	Очень низкий
$Fe_{общ}$	мг/дм <sup>3</sup>	0,4594	0,4200	0,0394	8,58	Низкий	
2	Биохимическое потребление кислорода (БПК <sub>5</sub> )	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1,1597	1,0000	0,1597	13,77	Средний
	Нитраты ( $NO_3^-$ )	мгN/дм <sup>3</sup>	0,5613	0,4750	0,0863	15,38	Средний
	Фосфаты ( $P_{мин}$ )	мгP/дм <sup>3</sup>	0,0168	0,0150	0,0018	10,71	Средний
	$Pb^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	0,0036	0,0027	0,0009	25	Средний
	$Mn^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	0,0699	0,0615	0,0084	12,02	Средний
	СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,0223	0,0200	0,0023	10,31	Средний
	$SO_4^{2-}$	мг/дм <sup>3</sup>	23,9806	20,4500	3,53	14,72	Средний
3	Аммоний солевой ( $NH_4^+$ )	мгN/дм <sup>3</sup>	0,0543	0,0200	0,0343	63,17	Очень высокий
	Нитриты ( $NO_2^-$ )	мгN/дм <sup>3</sup>	0,0411	0,0170	0,0241	58,64	Очень высокий
	Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,0180	0,0000	0,018	100	Очень высокий
	$Cd^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	0,0004	0,0001	0,0003	75	Очень высокий
	$Cu^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	0,0049	0,0032	0,0017	34,69	Высокий

Естественным и довольно значительным поставщиком свинца в биосферу являются воздушные пылевые массы. Более высокие концентрации  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  могут наблюдаться вблизи крупных автомагистралей и городов [Скипин и др., 2007]. Масштабы использования ископаемого топлива так велики, что именно

сжигание угля, горючих сланцев и нефти вызывает основное загрязнение этими элементами, более интенсивное, чем металлургическое производство<sup>4</sup>.

По средней многолетней вербальной оценке вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды компоненты, значения

<sup>4</sup>Обзор загрязнения окружающей природной среды в Российской Федерации за 1998 год. М., 1999. 184 с.

геохимических фоновых концентраций которых как превысили, так и не превысили ПДК, можно разделить на три группы.

К первой группе с низким и очень низким вкладом отнесены рН, растворённый кислород, насыщение воды кислородом, ХПК,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ .

Ко второй группе относятся компоненты со средним вкладом краткосрочных аномалий в загрязнённость воды: БПК<sub>5</sub>, нитриты, фосфаты,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , СПАВ и  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Высоким и очень высоким вкладом отличаются компоненты третьей группы:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ , нефтепродукты,  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , что, по-видимому, указывает на частые сбросы сточных вод, содержащих эти компоненты, из точечных и диффузных источников загрязнения. Особенно велика разность между средним значением концентрации и медианой для нефтепродуктов, так как на фоне их отсутствия в воде (медиана всегда равна 0) периодически появляются высокие концентрации.

Значительные величины вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды для нитритного азота свидетельствует об устойчивой тенденции увеличения поступления "свежих" загрязнений со сточными водами. Одним из источников этого загрязнения являются ливневые стоки с селитебных и промышленных зон и сток, поступающий с сельскохозяйственных угодий.

### **Усреднённая по сезонам года оценка геохимических фоновых концентраций компонентов и вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво за период с 2000 по 2017 год**

Характерной особенностью реки Луги является повышенное грунтовое питание за счёт карстовых вод Силурийского плато, поэтому весеннее половодье и осенние паводки несколько смягчаются. Так как снеговое питание стока реки существенно преобладает над дождевым, годовой

ход стока воды характеризуется высоким весенним половодьем, низкой летне-осенней и зимней меженью.

В таблице 3 приведены средние многолетние значения геохимических фоновых концентраций химических компонентов в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво за период с 2000 по 2017 год, рассчитанные за год и за три периода года, соответствующие весеннему половодью, летне-осенней и зимней межени.

Сравнение значений геохимических фоновых концентраций показателей для всего года с величинами за отдельные гидрологические фазы показало, что по различию их изменений можно выделить семь групп. В первой, которая включает рН, нефтепродукты и СПАВ, величины геохимических фоновых концентраций сохранились равными за все периоды года. Следует отметить, что во все периоды года фоновой концентрацией для нефтепродуктов является их отсутствие.

Во второй группе из пяти химических компонентов ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ ) значения геохимических фоновых концентраций по сравнению со среднегодовыми возрастают в период весенних половодий и в ещё большей степени в период зимней межени, в то время как их величина в период летней межени снижается.

В третьей группе, включающей два компонента ХПК и  $\text{Cd}^{2+}$ , значения геохимических фоновых концентраций возрастают в период весенних половодий, а в остальные периоды года они не меняются.

Для содержания кислорода, насыщения воды кислородом, БПК<sub>5</sub> и  $\text{P}_{\text{мин}}$ , которые составили четвертую группу, характерно либо снижение, либо сохранение величин геохимических фоновых концентраций на уровне годовых в период весеннего половодья и летней межени и увеличение их в зимнюю межень.

В пятой группе, включающей только два компонента  $\text{Mn}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , величина геохимических фоновых концентраций значительно снижается весной и увеличивается в меженные периоды.

**Таблица 3.** Средние многолетние значения геохимических фоновых концентраций химических компонентов в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво за период с 2000 по 2017 год, рассчитанные за год и разные периоды года.

**Table 3.** Average long-term geochemical background concentrations of chemical components in the Luga River section at Tolmachevo Urban Village from 2000 to 2017, calculated for the year and for different periods of the year.

Группы	Компоненты	Размерность	Геохимические фоновые концентрации за период:			
			весенних паводков	летней-осенней межени	зимней межени	всего года
1	pH	-	7,28*	7,29	7,30	7,30
	Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0	0	0	0
	СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,02	0,02
2	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	<b>0,03**</b>	<b>0,00</b>	<b>0,05</b>	0,02
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	<b>0,019</b>	<b>0,0105</b>	<b>0,028</b>	0,017
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	<b>0,550</b>	<b>0,380</b>	<b>0,765</b>	0,475
	Fe <sub>общ</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	<b>0,485</b>	<b>0,395</b>	<b>0,500</b>	0,420
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<b>22,20</b>	<b>19,60</b>	<b>24,80</b>	20,45
3	ХПК	мгО/дм <sup>3</sup>	<b>37,5</b>	36,0	36,0	36,0
	Cd <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<b>0,0002</b>	0,0001	0,0001	0,0001
4	O <sub>2</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	<b>7,95***</b>	<b>6,60</b>	<b>9,40</b>	8,30
	O <sub>2</sub> %	%	<b>60,50</b>	65,00	<b>66,00</b>	65,00
	БПК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	<b>1,0</b>	1,0	<b>1,1</b>	1,0
	P <sub>мин</sub>	мгP/дм <sup>3</sup>	<b>0,013</b>	0,015	<b>0,017</b>	0,015
5	Mn <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<b>0,0450</b>	<b>0,0655</b>	<b>0,0620</b>	0,0615
	Ca <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<b>35,75</b>	<b>49,30</b>	<b>50,60</b>	47,20
6	Mg <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<b>11,1</b>	<b>15,7</b>	<b>13,7</b>	14,5
	Cl <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<b>10,4</b>	<b>12,2</b>	<b>10,2</b>	11,6
7	Cu <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<b>0,0031</b>	0,0032	<b>0,0031</b>	0,0032
	Pb <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<b>0,0029</b>	0,0027	<b>0,0020</b>	0,0027

По сравнению со среднегодовой величиной:

7,28\* - значения не меняются;

**0,03\*\* - значения увеличиваются;**

**7,95\*\*\* – значения уменьшаются**

Есть сходство и в сезонных изменениях геохимических фоновых концентраций Mg<sup>2+</sup> и Cl<sup>-</sup>, величина которых увеличивается только в период летне-осенней межени, в остальные сезоны года их значение ниже годового. Эти компоненты образуют шестую группу.

Сезонные изменения значений геохимических фоновых концентраций Pb<sup>2+</sup> и Cu<sup>2+</sup> (седьмая группа) различны и иногда даже противоположны. Так, в период весеннего паводка концентрация для Pb<sup>2+</sup> максимальна, в то время как для Cu<sup>2+</sup> она ниже годовой; в период

летне-осенней межени геохимические фоновые концентрации сохраняются для обоих компонентов на уровне годовых значений, а в период зимней межени для обоих компонентов снижаются.

Вероятно, увеличение геохимических фоновых концентраций в период весеннего половодья вызвано поступлением соответствующих компонентов в воду реки при максимальных расходах воды, разливах реки, эрозии берегов; для периода межени, особенно зимней, – большей ролью в питании реки грунтовых вод. Смена соответствующих условий вызывает разнонаправленный ход сложных процессов, влияющих либо на снижение, либо на увеличение геохимических фоновых концентраций.

Наиболее важными химическими и физико-химическими процессами являются: растворение и образование малорастворимых соединений. Кроме того, большую роль играют кислотно-основные взаимодействия неорганических веществ. Следует учитывать и восстановительно-окислительные реакции, комплексообразование металлов с неорганическими и органическими лигандами, а также распределение соединений между жидкой и твёрдой фазами в результате адсорбции и ионного обмена [Линник, Набиванец, 1986].

В таблице 4 приведены многолетние за период с 2000 по 2017 год оценки вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды для разных компонентов в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво, рассчитанные за год и за разные периоды года.

Все изученные химические компоненты по вкладу краткосрочных аномалий в загрязнённость воды в разные периоды года условно можно разделить на четыре группы.

Для семи показателей первой группы: рН,  $O_2$ ,  $O_2\%$ , ХПК,  $Fe_{общ}$ ,  $Ca^{2+}$  и  $Cl^-$  оценки вклада краткосрочных аномалий во все сезоны года остались на очень низком или низком уровне.

Во второй группе, в которой годовая оценка вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды была средней (только для  $Mg^{2+}$  очень низкой), отнесены шесть компонентов:  $Mg^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ,  $P_{мин}$ , СПАВ и БПК<sub>5</sub>. Для всех компонентов, кроме  $Mg^{2+}$ , годовая оценка краткосрочных аномалий снижалась до низкой и очень низкой в зимнюю межень, а также для  $SO_4^{2-}$  и  $P_{мин}$  в период весеннего половодья и для  $NO_3^-$  в летне-осеннюю межень. Для  $Mg^{2+}$  она повышалась до средней только в период весеннего половодья.

К третьей группе отнесены два компонента:  $Pb^{2+}$  и  $Mn^{2+}$ . Годовая оценка вклада их краткосрочных аномалий в загрязнённость воды была средней. Оценка вклада для  $Pb^{2+}$  увеличивалась в периоды межени и снижалась во время весеннего половодья. Для  $Mn^{2+}$  она поднималась до высокой во время весеннего половодья и снижалась в период летне-осенней межени.

Постоянно высоким или очень высоким в течение всех периодов года был вклад краткосрочных аномалий в загрязнённость воды пяти химических компонентов:  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и нефтепродуктов, выделенных в четвёртую группу.

Очень высокие и высокие значения вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость воды соответствующими химическими компонентами указывают, вероятно, на частые сбросы из точечных и диффузных источников загрязнения сточных вод, содержащих эти компоненты. Следует отметить, что для нефтепродуктов они, по-видимому, имеют невысокие концентрации, так как не влияют на изменение геохимических фоновых концентраций.

**Таблица 4.** Средние многолетние оценки вклада краткосрочных аномалий ( $E_1\%$ ) в загрязнённость воды в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво за период с 2000 по 2017 год, рассчитанные за разные периоды года и за год.

**Table 4.** Average long-term estimates of the contribution of short-term anomalies ( $E_1\%$ ) to water pollution in the Luga River section at Tolmachevo Urban from 2000 to 2017, calculated for different periods of the year and for the year.

Группы	Компоненты	Размерность	Весенний паводок		Летне-осенняя межень		Зимняя межень		Год	
			$E_1\%$	Вербальная оценка вклада	$E_1\%$	Вербальная оценка вклада	$E_1\%$	Вербальная оценка вклада	$E_1\%$	Вербальная оценка вклада
1	pH	-	-0,14	Очень низкий	1,45	Очень низкий	0,68	Очень низкий	0,75	Очень низкий
	O <sub>2</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	0,03	Очень низкий	2,00	Очень низкий	-1,42	Очень низкий	-2,29	Очень низкий
	O <sub>2</sub> %	%	5,18	Низкий	1,99	Очень низкий	2,13	Очень низкий	2,14	Очень низкий
	XПК	мгО/дм <sup>3</sup>	0,21	Очень низкий	-0,04	Очень низкий	3,83	Очень низкий	2,01	Очень низкий
	Fe <sub>общ</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	8,78	Низкий	-3,12	Очень низкий	8,80	Низкий	8,58	Низкий
	Ca <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	7,14	Низкий	-6,44	Низкий	0,47	Очень низкий	-3,52	Очень низкий
	Cl <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	-5,52	Низкий	-0,25	Очень низкий	9,26	Низкий	-1,16	Очень низкий
2	Mg <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	14,29	Средний	2,13	Очень низкий	4,39	Очень низкий	2,64	Очень низкий
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	24,84	Средний	2,29	Очень низкий	0,08	Очень низкий	15,38	Средний
	P <sub>зав</sub>	мгP/дм <sup>3</sup>	20,68	Средний	7,06	Низкий	5,86	Низкий	10,71	Средний
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	7,00	Низкий	16,92	Средний	1,40	Очень низкий	14,72	Средний
	СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	10,26	Средний	21,05	Средний	-2,35	Очень низкий	10,31	Средний
	БПК <sub>5</sub>	мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	11,76	Средний	14,77	Средний	4,87	Очень низкий	13,77	Средний
3	Pb <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	7,90	Низкий	29,11	Высокий	40,74	Высокий	25	Средний
	Mn <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	35,14	Высокий	7,15	Низкий	10,60	Средний	12,02	Средний
4	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	48,57	Высокий	100,00	Очень высокий	36,57	Высокий	63,17	Очень высокий
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мгN/дм <sup>3</sup>	61,83	Очень высокий	67,16	Очень высокий	42,93	Высокий	58,64	Очень высокий
	Cu <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	33,97	Высокий	31,92	Высокий	41,28	Высокий	34,69	Высокий
	Cd <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	62,50	Очень высокий	70,78	Очень высокий	70,90	Очень высокий	75	Очень высокий
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	100,00	Очень высокий	100,00	Очень высокий	100,00	Очень высокий	100	Очень высокий	

### Выводы

1. Использование медианы как статистического параметра, лежащего в центре распределения ряда данных в качестве геохимической фоновой концентрации, показало, что её значения для таких компонентов, как ХПК,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  превышают, а для величины насыщения воды кислородом находится ниже ПДК для рыбохозяйственного применения.

2. В основе многолетнего формирования геохимической фоновой концентрации этих компонентов в пределах данной части речного бассейна реки Луги лежат природные региональные особенности, изменённые деятельностью человека: сток реки Луги и главного её притока реки Оредеж через болота и заболоченные почвы, влияние питания реки грунтовыми водами и высокая освоенность территории.

3. Сравнение многолетних значений геохимических фоновых концентраций компонентов для года с величинами за отдельные гидрологические фазы позволило по различиям их изменений выделить семь групп. Показано, что в разные периоды для разных компонентов происходит либо увеличение, либо уменьшение его значений, а в некоторых случаях оно остаётся неизменным. Смена соответствующих условий вызывает разнонаправленный ход сложных процессов, влияющих либо на снижение, либо на увеличение геохимических фоновых концентраций.

4. По средней многолетней оценке вклада краткосрочных аномалий в загрязнённость

воды химические показатели разделяются на три группы.

К первой группе с низким и очень низким вкладом отнесены рН, растворённый кислород, насыщение воды кислородом, ХПК,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ . Оценки для всех этих компонентов, кроме  $\text{Mg}^{2+}$ , во все сезоны года остались на очень низком или низком уровне.

Ко второй группе относятся компоненты со средним вкладом краткосрочных аномалий: БПК<sub>5</sub>, нитраты, фосфаты,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , СПАВ и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Во второй группе в разные сезоны года оценки колебались от средних до очень низких, кроме оценок для  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ , которые колебались от средних до высоких.

Высоким и очень высоким вкладом краткосрочных аномалий во все периоды года отличаются компоненты третьей группы:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ , нефтепродукты,  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , что, по-видимому, вызвано антропогенным характером их поступления в речную воду из точечных и диффузных источников загрязнения сточных вод, содержащих эти компоненты.

5. Методика, разработанная в ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», может быть использована для оценки состояния водного объекта в определённый отрезок времени.

С её помощью можно охарактеризовать не только загрязнённость водотока в конкретном месте и в конкретное время, используя значения геохимических фоновых концентраций, но и оценить вклад краткосрочных аномалий в загрязнённость воды для каждого компонента.

### Литература

- Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши: в 15 т. Т. 1. РСФСР: в 26 вып. Вып. 5. Бассейны рек Балтийского моря, Ладожского и Онежского озёр.* Л.: Гидрометеиздат, 1986. 689 с.
- Зерцалов В.И.* Луга. Путеводитель. Л.: Лениздат, 1972, 199 с.
- Зырин Н.Г., Каплунова Е.В., Сердюкова А.В.* Нормирование содержания тяжелых металлов в

### References

- Gosudarstvennyi vodnyi cadstr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushy: v 15 t. T. 1. RSFSR: v 26 vyp. Vyp. 5. Basseiny rek Baltiiskogo morya, Ladozhskogo i Onezhskogo ozer [Long-term data on the regime and resources of land surface water: in 15 volumes. Volume 1. RSFSR: in 26 issue. Issue 5. River basins of the Baltic Sea, Ladoga and Onega Lakes].* Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1986. 689 p. (In Russian).

системе почва-растения // Химия в сельском хозяйстве. 1985. №6. С. 45–48.

Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 268 с.

Медведев И.Ф., Деревягин С.С. Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов: Ракурс, 2017. 178 с.

Монахов С.К., Есина О.И., Монахова Г.А., Татарников В.О. Геоэкологические показатели загрязнения морей: методы расчета и применения. Астрахань: Издатель Сорокин Р.В., 2014. 82 с.

Романова А.А. Закономерности многолетнего изменения химического состава природных вод района деревни Даймище (Гатчинский район Ленинградской области). Магистерская диссертация. СПб, 2016. 80 с.

Скипин Л.Н., Ваймер А.А., Квашнина Ю.А., Судакова И.К. Загрязнение кадмием и свинцом почв в зоне автомагистрали // Плодородие. 2007. №3 (36). С. 37–38.

Linnik P.N., Nabivanets B.I. *Formy migratsii metallov v presnykh poverkhnostnykh vodakh* [Forms of metal migration in fresh surface waters]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1986. 268 p. (In Russian).

Medvedev I.F., Derevyagin S.S. *Tyazhelye metally v ekosistemakh* [Heavy metals in ecosystems]. Saratov, Publ. Rakurs, 2017. 178 p. (In Russian).

Monakhov S.K., Esina O.I., Monakhova G.A., Tatarnikov V.O. *Geoekologicheskie pokazateli zagryazneniya morei: metody rascheta i primeneniya* [Geoenvironmental indices of marine environmental pollution: calculation method and application]. Astrakhan: Publisher Sorokin R.V., 2014. 82 p. (In Russian; abstract in English).

Romanova A.A. *Zakonomernosti mnogoletnego izmeneniya khimicheskogo sostava prirodnykh vod raiona derevni Daimishche (Gatchinskii raion Leningradskoi oblasti)*. Magisterskaya dissertatsiya [Regularities of long-term changes in the chemical composition of natural waters in the area of the village of Daimishche (Gatchinsky district of the Leningrad region). Master's dissertation]. St. Petersburg, 2016. 80 p. (In Russian).

Skipin L.N., Vaimer A.A., Kvashnina Yu.A., Sudakova I.K. *Zagryaznenie kadmiem i svintsom pochv v zone avtomagistrali* [Cadmium and lead contamination of soils in the highway area]. *Plodorodie* [Fertility], 2007, no. 3 (36), pp. 37–38. (In Russian).

Zertsalov V.I. *Luga. Putevoditel'* [Luga. Guide]. Leningrad, Publ. Lenizdat, 1972, 199 p. (In Russian).

Zyrin N.G., Kaplunova E.V., Serdyukova A.V. *Normirovanie sodержaniya tyazhelykh metallov v sisteme pochva-rasteniya* [Rationing of the content of heavy metals in the soil-plant system]. *Khimiya v sel'skom khozyaistve* [Chemistry in agriculture], 1985, no. 6, pp. 45–48. (In Russian).