

УДК 556.114:546.3:549 (282.247.211)

ЛИТОФИЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ: ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ, СОДЕРЖАНИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЯ

П. А. Лозовик, Н. В. Кулик, Н. А. Ефременко

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
Петрозаводск, Россия*

Рассмотрен химический баланс и трансформация литофильных элементов (Fe, Mn, Si и Al) и тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Ni и Pb) в Онежском озере. Выявлено их поступление в озеро от различных источников (с речными водами, атмосферными осадками, подземным стоком, со сточными водами, дренажным стоком с селитебных территорий и со свалок бытовых отходов). Проведено нормирование допустимого поступления элементов в озеро с учетом его ассимиляционной способности и по принципу сохранения геохимического класса вод.

Ключевые слова: Онежское озеро; природная и антропогенно допустимые нагрузки; удерживающая способность; константа скорости трансформации; ассимиляционная способность озер.

P. A. Lozovik, N. V. Kulik, N. A. Efremenko. LITHOPHILE ELEMENTS AND HEAVY METALS IN LAKE ONEGO: SOURCES, CONCENTRATIONS AND TRANSFORMATION

The article deals with the chemical balance and transformation of lithophile elements (Fe, Mn, Si, and Al) and heavy metals (Cu, Zn, Cd, Ni, and Pb) in Lake Onego. They were found to arrive in the lake from various sources (streamflow, precipitation, base flow, sewage, runoff from residential areas, and leakage from municipal waste landfills). The permissible input of the elements to the lake was estimated taking into account its assimilation capacity and the requirement to maintain the geochemical class of the water.

Keywords: Lake Onego; natural and anthropogenically permissible loads; retention capacity; rate constant of transformation; assimilation capacity of lakes.

Введение

Литофильные элементы играют важную роль в объектах гидросферы. К таким элементам относятся Fe, Mn, Si и Al, которые широко распространены в земной коре, но растворимость их соединений в воде низкая. Одна из основных особенностей этих соединений – высокая

склонность к гидролизу. Исходя из констант гидролиза солей Al и Fe ожидать высоких концентраций Al^{3+} и Fe^{3+} в воде не приходится (на уровне микрограммовых количеств в литре воды). В то же время в природных водах за счет комплексообразования, кислотности среды и дефицита кислорода их содержание может достигать нескольких мг/л.

При тех рН, которые наблюдаются в природных водах, соли кремниевой кислоты полностью гидролизированы и в растворе присутствует только кремниевая кислота. Растворимость SiO_2 в воде достаточно низкая (20 мг/л).

Для тяжелых металлов (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni и др.) характерно низкое их содержание в природных водах, но одновременно они являются основными загрязняющими веществами водных объектов. Их количество и трансформация в водной среде в определенной степени детерминируются литофильными элементами. По формальным признакам Fe и Mn также относятся к тяжелым металлам, но их особая роль в объектах гидросферы, более высокое содержание (на уровне макрокомпонентов) и зачастую чисто природное происхождение дают основание выделять их в отдельную группу веществ. Поэтому изучение литофильных элементов и тяжелых металлов при их совместном присутствии представляет определенный интерес. В этой связи наиболее актуально их рассмотрение в экосистеме Онежского озера – крупного олиготрофного олигогумусного водоема, играющего важную роль в экономике и сохранении природного равновесия в регионе.

Целью работы было установить поступление в Онежское озеро литофильных элементов и тяжелых металлов от различных источников, а также выяснить их содержание и степень трансформации в озере.

Объекты и методы исследования

Поступление литофильных элементов и тяжелых металлов в Онежское озеро изучалось относительно основных источников формирования химического состава его воды. Прежде всего учитывалось их поступление с речными водами и атмосферными осадками. Наблюдения на 27 притоках Онежского озера проводились в различные сезоны года (2007–2008 и 2015–2016 гг.), что позволило получить средневзвешенные по стоку концентрации элементов и установить их вынос в озеро с речными водами.

Атмосферные осадки изучались в бассейне озера и на акватории летом и в период максимального снегонакопления. По литературным данным также рассмотрено поступление элементов с подземными водами, разгружающимися непосредственно в озеро, минуя гидрографическую сеть [Бородулина, 2010]. Из антропогенных источников исследованы сточные воды основных населенных пунктов, расположенных в бассейне озера и на его побережье,

а также вынос металлов с селитебных территорий и со свалок бытовых отходов.

Многолетние наблюдения (с 1993 по 2016 г.) проведены в различных районах Онежского озера (рис. 1). В целом исходная база данных насчитывала свыше 2000 элемент-определений. На основании химического баланса озера по каждому элементу вычислены удерживающая способность и кинетические характеристики трансформации веществ в озере по модели П. А. Лозовика [Лозовик и др., 2011], что позволило в конечном итоге оценить ассимиляционную способность водоема и осуществить нормирование допустимой антропогенной нагрузки на озеро по тяжелым металлам и литофильным элементам. Необходимые для расчета гидрологические сведения – по объему водного стока рек, а также стоку с различных территорий, объемам сточных вод и атмосферных осадков – заимствованы из работы [Лозовик и др., 2016].

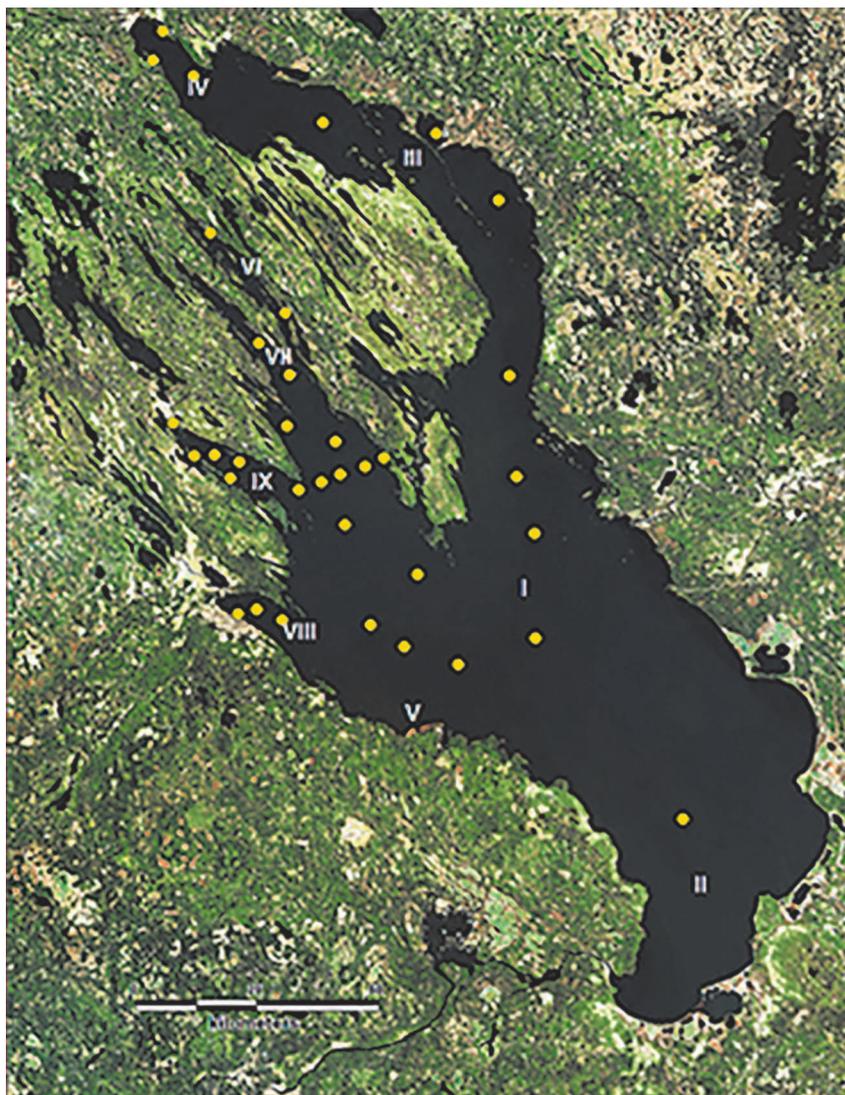
Отбор проб воды на химический анализ осуществлялся батометром Руттнера, для тяжелых металлов использовался пластиковый батометр.

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук». Определение Si осуществлялось фотометрическим методом в виде желтой кремниймолибденовой гетерополикислоты [РД 52.24.433-2005], Al – фотометрическим методом с эрихромцианом Р [Новиков и др., 1990], а с 2015 года – с хромазуролом S [РД 52.24.449-2008]. Остальные металлы определялись атомной абсорбцией: Fe, Mn – с атомизацией проб в пламени [ПНД Ф 14.1:2:4.139-98], Zn, Cu, Pb, Cd, Ni – с электротермической атомизацией проб [РД 52.24.377–2008; ГОСТ 31870-2012].

Достоверность химических анализов проверялась путем внутреннего и внешнего контроля. Последний проводился в рамках международного проекта ICP Waters [Intercomparison..., 2009, 2012, 2014, 2015]. Получена хорошая сходимость результатов анализа металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd).

Результаты и обсуждение

Для оценки поступления в Онежское озеро веществ с речными водами обследовано 27 его притоков, среди них три крупные реки Водла, Шуя и Суна, которые дают 58 % водного стока в озеро. Речной приток в озеро составляет 17,4 км³/год (или 73 % от общего притока).



Станции отбора проб на Онежском озере.

Здесь и в табл. 7: I – Центральный плес, Большое и Малое Онего, II – Южное Онего, III – Заонежский и Повенецкий заливы, IV – Большая губа Повенецкого залива, V – Петрозаводское Онего, VI – Уницкая губа, VII – Лижемская губа, VIII – Петрозаводская губа, IX – Кондопожская губа

Sampling stations on Lake Onego.

Here and in Tab. 7 lake area: I – Central Onego, Big and Small Onego, II – South Onego, III – Zaonezhsky and Povenets Gulfs, IV – Bolshaya (Big) Bay of Povenets Gulf, V – Petrozavodskoye Onego, VI – Unitskaya Bay, VII – Lizhemsкая Bay, VIII – Petrozavodskaya Bay, IX – Kondopozhskaya Bay

Наблюдения на реках проведены в различные сезоны. С учетом сезонного распределения стока рек получены средневзвешенные по стоку концентрации веществ в каждой реке. Далее на основании данных по водному стоку каждой реки вычислялась средневзвешенная по стоку концентрация элементов в речных водах, поступающих в озеро.

Для рек характерна высокая вариабельность содержания Fe и Mn, обусловленная различ-

ной гумусностью их воды (табл. 1). Высокая изменчивость концентраций характерна и для Al (от 17 до 415 мкг/л), что связано с наличием в бассейнах некоторых рек глинистых пород. Концентрация Si изменялась в достаточно узких пределах от 1,1 до 5,4 мг/л, и его содержание является типичным для поверхностных вод Карелии.

Что касается тяжелых металлов, то их содержание в речных водах находится на уровне

Таблица 1. Статистические показатели содержания элементов в водах притоков Онежского озера

Table 1. Statistical indicators of the elements content in the tributaries of Lake Onega

Показатель Statistical indicators	Fe	Mn	Si	Al	Zn	Cu	Cd
	мг/л mg/l			мкг/л µg/l			
Медиана Median	0,88	0,05	2,5	145	7,2	1,4	0,01
Среднее арифметическое Average	1,10	0,07	2,7	167	8,5	1,9	0,02
Стандартное отклонение Standard deviation	1,01	0,07	1,1	106	5,2	1,3	0,03
Среднее геометрическое Geometric mean	0,80	0,05	2,5	132	7,5	1,5	0,02
Min	0,08	0,01	1,1	17	2,6	0,2	0,01
Max	6,40	0,63	5,4	415	35,1	5,7	0,12
Средневзвешенная концентрация Weighted average concentration	0,79	0,06	2,1	174	10,1	1,4	0,02

Таблица 2. Статистические показатели содержания элементов в атмосферных осадках

Table 2. Statistical indicators of the elements content in atmospheric precipitation

Показатель Statistical indicators	Fe	Mn	Si	Al	Zn	Cu	Cd
	мг/л mg/l			мкг/л µg/l			
Медиана Median	0,04	0,003	0,02	12	4,7	0,6	0,03
Среднее арифметическое Average	0,05	0,005	0,02	14	7,7	0,6	0,04
Стандартное отклонение Standard deviation	0,01	0,001	0,002	4,6	4,2	0,3	0,05
Среднее геометрическое Geometric mean	0,03	0,004	0,02	14	5,3	0,5	0,03
Min	0,005	0,003	< 0,01	8	1,2	0,1	0,01
Max	0,570	0,006	0,06	24	15,6	1,2	0,30

региональных фоновых величин [Лозовик, Платонов, 2005]. Концентрации Cd, Ni, Pb намного ниже их ПДК для рыбохозяйственных водоемов, а содержание Cu и Zn зачастую превышает ПДК. Такая картина является характерной и для других рек региона, и это не связано с их загрязнением этими металлами, а, по-видимому, является отражением геохимических особенностей территорий.

В атмосферных осадках концентрации всех литофильных элементов низкие, и они намного меньше, чем в речных водах, а вот содержание тяжелых металлов находится на том же уровне (табл. 2). Объем осадков, выпадающих на поверхность озера, в среднем составляет 6,3 км³/год (или 26 % от общего притока) [Лозовик и др., 2016].

Объем сточных вод, поступающих в бассейн озера, невысокий – 0,07 км³/год (или 0,3 % от общего притока) [Лозовик и др., 2016]. В сточных водах отмечено повышенное содержание всех металлов за исключением Fe (табл. 3). Для Cu и Zn это обусловлено тем, что

при водоподготовке и водоподаче используются оцинкованные трубы, а также детали, изготовленные из меди.

Аналогичная картина по Cu и Zn отмечается для ливневых вод и дренажных вод с селитебных территорий и со свалок бытовых отходов (табл. 4 и 5). Объем стока с селитебных территорий на водосборе при среднем слое стока 360 мм составляет 9770 тыс. м³ (или 0,04 % от общего притока), а объем стока дренажных вод со свалок бытовых отходов, поступающих в бассейн озера, невысокий – 3940 тыс. м³/год (или 0,02 % от общего притока) [Лозовик и др., 2016]. Для последних характерно наиболее высокое содержание Cd по сравнению с другими водами (табл. 4 и 5).

Что касается подземных вод, разгружающихся в озеро минуя гидрографическую сеть, то для них характерно повышенное содержание Mn, Zn, Cu и Cd по сравнению с речными водами [Бородулина, 2010, 2011] (табл. 6). Количество подземных вод, поступающих непосредственно в озеро, минуя гидрографическую сеть,

Таблица 3. Статистические показатели содержания элементов в сточных водах

Table 3. Statistical indicators of the elements content in sewage

Показатель Statistical indicators	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd
	мг/л mg/l		мкг/л µg/l		
Медиана Median	0,55	0,17	33,0	6,4	0,06
Среднее арифметическое Average	0,65	0,27	36,9	20,1	0,06
Стандартное отклонение Standard deviation	0,51	0,30	28,7	55,0	0,04
Среднее геометрическое Geometric mean	0,45	0,15	26,8	6,0	0,05
Min	0,10	0,02	6,6	1,0	0,01
Max	1,98	1,10	107,0	211,0	0,20
Средневзвешенная концентрация Weighted average concentration	0,33	0,20	29,7	4,1	0,08

Таблица 4. Статистические показатели содержания элементов в ливневых и дренажных водах с селитебных территорий

Table 4. Statistical indicators of the elements content in stormwater and runoff from residential areas

Показатель Statistical indicators	Fe	Mn	Si	Al	Zn	Cu	Cd
	мг/л mg/l			мкг/л µg/l			
Медиана Median	1,42	0,27	3,8	31	7,1	4,2	0,10
Среднее арифметическое Average	4,30	0,32	3,9	59	7,4	5,0	0,12
Стандартное отклонение Standard deviation	9,46	0,23	1,5	82	4,2	3,7	0,09
Среднее геометрическое Geometric mean	1,69	0,25	3,6	35	6,4	4,0	0,09
Min	0,5	0,1	1,7	6	2,5	1,1	0,01
Max	43,1	0,9	6,5	307	18,3	13,4	0,30

невелико (0,14 км³/год, или 0,6 % от общего притока) [Лозовик и др., 2016].

Концентрации всех литофильных элементов, а также Zn в воде Онежского озера намного меньше, чем во всех источниках формирования химического состава его воды (табл. 7). Связано это с их трансформацией в озере и захоронением в донных отложениях. Содержание Cu, Pb, Ni и Cd в воде Онежского озера находится на том же уровне, что и в речных водах и атмосферных осадках. Поскольку концентрации этих элементов в приточных водах весьма низкие, внутриводоемные процессы не приводят к какому-либо их изменению. Из отдельных участков озера выделяются Петрозаводская и Кондопожская губы – повышенным содержанием Fe, Mn, Si, а также Южное Онего – низкими концентрациями Si (0,1 мг/л) и Уницкая губа – повышенным его содержанием (0,6 мг/л).

Таблица 5. Статистические показатели содержания элементов в дренажных водах со свалок бытовых отходов

Table 5. Statistical indicators of the elements content in drainage water from landfills

Показатель Statistical indicators	Fe	Mn	Zn	Cu
	мг/л mg/l		мкг/л µg/l	
Медиана Median	5,8	0,03	15	2,6
Среднее арифметическое Average	14,4	0,32	17	3,2
Стандартное отклонение Standard deviation	19,8	0,59	11	2,3
Среднее геометрическое Geometric mean	7,3	0,07	14	2,6
Min	2	0,02	7	1,1
Max	43,9	1,2	31	6,4

Таблица 6. Статистические показатели содержания элементов в подземных водах

Table 6. Statistical indicators of the elements content in groundwater

Показатель Statistical indicators	Fe	Si	Mn	Al	Zn	Cu	Cd
	мг/л mg/l			мкг/л µg/l			
Медиана Median	0,2	2,6	24,4	35	36	2,5	0,06
Min	< 0,01	0,5	0,1	0,15	0,5	0,5	< 0,01
Max	89,4	10,3	6355	770	1800	100	21

Таблица 7. Статистические показатели содержания литофильных элементов и тяжелых металлов в воде Онежского озера

Table 7. Statistical indicators of the lithophile elements and heavy metals content in the water of Lake Onego

Район озера Lake Onego area	Объем, км ³ Volume, km ³	Стат. показатель Statistical indicator	Fe	Mn	Si	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
			мг/л mg/l			мкг/л µg/l				
I	217,2	Median	0,07	0,01	0,22	1,2	0,8	0,20	0,02	0,30
		Min	0,01	0,00	0,12	0,2	0,4	0,05	0,01	0,03
		Max	0,23	0,07	0,39	11,7	6,1	6,10	1,10	1,40
II	10	Median	0,07	0,01	0,12	8,4	1,7	1,50	0,05	-
		Min	0,01	0,01	0,07	4,6	1,3	0,60	0,04	-
		Max	0,22	0,02	0,41	21,0	6,1	9,00	0,27	-
III	26,7	Median	0,08	0,02	0,42	3,8	0,7	0,50	0,08	0,40
		Min	0,04	0,00	0,18	0,2	0,5	0,10	0,01	0,20
		Max	0,14	0,20	0,59	14,6	4,4	4,30	1,30	2,60
IV	3,8	Median	0,05	0,01	0,50	4,4	1,4	0,40	0,07	0,70
		Min	0,04	0,01	0,20	2,0	0,5	0,10	0,02	0,40
		Max	0,10	0,05	1,90	6,7	12,9	0,50	0,13	4,10
V	8,6	Median	0,07	-	0,39	-	-	-	-	0,03
		Min	0,07	-	0,31	-	-	-	-	-
		Max	0,08	-	0,46	-	-	-	-	-
VI	1,8	Median	0,09	0,03	0,61	3,5	0,6	0,30	-	0,20
		Min	0,04	0,03	0,39	1,1	0,6	0,20	0,02	0,20
		Max	0,28	0,04	1,16	5,8	0,9	0,70	-	-
VII	4,7	Median	0,04	0,01	0,39	21,0	1,0	-	-	-
		Min	0,04	0,01	0,24	20,0	1,0	-	-	-
		Max	0,08	0,02	1,80	22,0	1,0	-	-	-
VIII	1,2	Median	0,17	0,03	0,40	5,7	1,2	0,20	0,02	0,28
		Min	0,05	0,01	0,08	1,0	0,4	0,05	0,01	0,10
		Max	0,87	0,09	2,50	45,0	28,0	8,00	0,28	1,09
IX	4,7	Median	0,15	0,02	0,70	4,7	1,0	0,27	0,03	0,29
		Min	0,02	0,01	0,00	0,4	0,4	0,05	0,01	0,03
		Max	0,68	0,07	1,76	50,0	21,0	8,00	2,40	1,00
Объем обследованных участков Volume of the studied sites	278,7		Средневзвешенная концентрация Weighted average concentration							
			0,08	0,01	0,26	2,26	0,87	0,03	0,27	0,29

Примечание. Прочерк – нет данных.

Note. The line means no data.

В сравнении с морскими водами содержание Fe, Mn и Al в воде озера выше, Si – одного порядка [Алекин, Ляхин, 1984], а содержание Cu и Zn меньше, чем в океанической воде. Поскольку химические элементы в воде морей и океанов находятся большей частью в виде растворимых соединений, то их концентрации в морской воде следует считать предельными. Поэтому содержание Cu и Zn в воде Онежского озера близко к предельному их содержанию в морской воде.

Имеющиеся данные по источникам формирования химического состава воды озера позволяют получить химический баланс водоема по изучаемым элементам и оценить вклад каждого источника в поступление элементов в озеро (табл. 8).

Как видно из табл. 8, основной вклад по всем элементам дают речные воды (68–98 % от общего поступления каждого в отдельности). По некоторым элементам (Zn, Cu) значима роль атмосферных осадков (13–30 %). Подземный сток в пределах 1–3 % отражается на поступлении Cu, Zn, Mn. Что касается антропогенных источников (сточных вод, селитебных территорий и свалок), то их роль несущественна (поступление менее 1 % от общего).

На основании химического баланса озера можно установить его удерживающую способность (R) по отдельным элементам, а также константы скорости их трансформации, ассимиляционную способность озера и ассимиляцию веществ в нем.

Удерживающая способность рассчитывалась по формуле:

$$R = \frac{\bar{C}_{пр} - \bar{C}_{оз}}{\bar{C}_{пр}},$$

где $\bar{C}_{пр}$, $\bar{C}_{оз}$ – средневзвешенные концентрации вещества в приточных водах и в озере соответственно. Под приточными понимаются все воды, которые поступают в озеро (речные, подземные, от антропогенных источников и с атмосферными осадками). Средневзвешенная концентрация веществ в них рассчитывается по стоку из озера, т. е. с учетом испарения воды с поверхности озера. Для расчета средневзвешенной концентрации веществ в приточных водах необходимо поступление веществ (табл. 8) разделить на объем стока из озера (18,8 км³/год).

По уравнению связи R с периодом водообмена озера и константой скорости трансформации веществ в них можно вычислить значение последней [Лозовик и др., 2011]:

$$R = \frac{k\tau}{1 + k\tau e^{-\frac{1}{\tau}}} \text{ или } k\tau = \frac{R}{1 - R e^{-\frac{1}{\tau}}}.$$

За ассимиляционную способность водного объекта принимается истинная скорость трансформации вещества в его воде, определяемая как произведение концентрации на константу скорости трансформации: $V = kC$, а за величину ассимиляции вещества в водном объекте As – произведение скорости на объем воды [Лозовик, 2015]. Для рек ассимиляция будет выражаться произведением скорости на среднегодовой сток реки в данном створе: $As_{рек} = kC_{р} V_{сток}$. Для озер необходимо учитывать ассимиляцию вещества непосредственно в озерной котловине: $As_{оз} = kC_{оз} V_{оз}$ и за ее пределами, рассчитываемую по стоку воды из озера: $As_{сток} = kC_{оз} V_{сток}$. Суммарная ассимиляция вещества в озерных системах будет равна $As = kC_{оз} (V_{оз} + V_{сток}) = kC_{оз} V_{сток} (t + 1)$. Последнее уравнение является общим и для озер и рек, только для последних $t = 0$ [Лозовик, 2010, 2015].

Полученные расчетные параметры, указанные выше, представлены в табл. 9.

Как видно из табл. 9, наибольшая удерживающая способность отмечается для Fe (0,89) и Si (0,87). Высокие ее значения характерны для Mn, Al, Zn (0,78–0,83), тогда как для меди она низкая (0,40). Последнее, по-видимому, связано с тем, что содержание меди как в приточных водах, так и в озерных незначительное и внутриводоемные процессы слабо отражаются на ее трансформации. По-видимому, по этой причине не удалось вычислить удерживающую способность озера по Cd, Ni, Pb.

В соответствии со значениями R получены и константы скорости трансформации элементов. Наибольшие значения k отмечены для Fe (0,35 год⁻¹) и Si (0,30 год⁻¹). Согласно константе время полупревращения ($t_{1/2}$) Fe в озерной системе составляет 2 года, Si – 2,3 года. Для Mn, Al и Zn получены близкие значения констант (0,19–0,24 год⁻¹) и большие – времени полупревращения (2,9–3,6 года). Для меди установлено самое низкое значение константы (0,04 год⁻¹) и самое высокое время полупревращения (17,3 года). По-видимому, по химическому балансу меди в озере не представляется возможным точно вычислить константу скорости ее превращения. Логичнее было ожидать близкое значение k для Cu и Zn, а в действительности получили весьма разные значения.

Ассимиляционная способность Онежского озера, т. е. скорость удаления из водной среды литофильных элементов и тяжелых металлов, составляет (в мкг/л в год): для Fe – около

Таблица 8. Содержание элементов и их поступление в Онежское озеро в зависимости от различных источников (2007–2008 гг.)

Table 8. Content of elements and their input into Lake Onego depending on various sources (2007–2008)

Элемент Element		Речной сток Streamflow	Атмосферные осадки Precipitation	Подземные воды Groundwater	Сточные воды Sewage	Селитебные территории Residential areas	Свалки Landfills	Всего Total
Fe	Концентрация, мг/л Concentration, mg/l	0,79	0,04	0,20	0,33	1,42	5,8	0,75*
	Поступление, т Input, tons	13746	252	28	22	14	23	14685
	Доля поступления, % Share of input, %	96,6	1,8	0,2	0,2	0,1	1,2	100
Mn	Концентрация, мг/л Concentration, mg/l	0,06	0,003	0,20	0,20	0,32	0,03	0,06*
	Поступление, т Input, tons	1044	19	28	13	3	0,1	1107
	Доля поступления, % Share of input, %	93,4	1,8	2,7	1,3	0,3	0,5	100
Si	Концентрация, мг/л Concentration, mg/l	2,1	0,02	2,6	3,9	3,9	3,9	2,0*
	Поступление, т Input, tons	36540	126	364	266	38	15	37349
	Доля поступления, % Share of input, %	97,9	0,3	1,0	0,7	0,1	< 0,1	100
Zn	Концентрация, мкг/л Concentration, µg/l	10,1	4,7	36,0	29,7	7,4	15,0	11,3*
	Поступление, т Input, tons	176	30	5	2	0,1	0,1	213
	Доля поступления, % Share of input, %	82,7	14,0	2,4	0,9	< 0,1	< 0,1	100
Cu	Концентрация, мкг/л Concentration, µg/l	1,4	0,6	2,5	4,1	5,0	6,4	1,5*
	Поступление, т Input, tons	24	4	0,4	0,3	0,1	0,03	29
	Доля поступления, % Share of input, %	84,1	13,4	1,2	0,9	0,2	0,1	100
Al	Концентрация, мкг/л Concentration, µg/l	174	10	35	174	31	174	165*
	Поступление, т Input, tons	3028	63	5	12	0,3	7	3109
	Доля поступления, % Share of input, %	97,4	2	0,2	0,4	< 0,1	< 0,1	100
Cd	Концентрация, мкг/л Concentration, µg/l	0,02	0,03	0,06	0,08	0,12	0,13	0,03*
	Поступление, т Input, tons	0,4	0,2	0,008	0,01	< 0,01	< 0,001	1
	Доля поступления, % Share of input, %	67,6	30,0	1,3	0,9	0,2	0,1	100

Примечание. *Средневзвешенная концентрация в приточных водах.

Note. *Weighted average concentration in inflowing water.

28, Si – 78, Al – 7, Mn – 2,4, Zn – 0,5, Cu – 0,04 (табл. 9).

Наибольшая ассимиляционная способность отмечается для Fe, Si и Al. Для Mn и Zn она одного порядка (0,5–2,4 мкг/л в год), а для Cu – наименьшая (0,04 мкг/л в год). Последняя

величина, возможно, занижена в связи с неточным установлением удерживающей способности озера по этому элементу.

Ассимиляция веществ оценена непосредственно для озера и в истоке из озера. В связи со значительным периодом водообмена

Таблица 9. Удерживающая способность Онежского озера к различным элементам, их ассимиляция в озере и кинетические параметры трансформации

Table 9. Retention capacity of Lake Onego to various elements, their assimilation in the lake and kinetic parameters of transformation

Параметры Parameters	Fe	Mn	Si	Al	Zn	Cu
	мг/л mg/l			мкг/л µg/l		
\bar{C}_{lake}	0,08	0,01	0,26	37	2,30	0,90
\bar{C}_{np} \bar{C}_{inflow}	0,75	0,06	2,0	165	11,3	1,5
R	0,89	0,83	0,87	0,78	0,80	0,41
k, год ⁻¹ k, year ⁻¹	0,35	0,24	0,30	0,19	0,21	0,04
$t_{1/2}$, год $t_{1/2}$, year	2,0	2,9	2,3	3,66	3,3	17,3
u, мкг/л в год u, µg/l per year	28,6	2,34	78,0	7,0	0,48	0,04
$As_{оз}$, т/год As_{lake} , tons/year	8204	703	22854	2051	141	11,7
$As_{сток}$, т/год As_{drain} , tons/year	526	45	1466	132	9	0,8
As , т/год As , tons/year	8730	748	24320	2183	150	12,5

Таблица 10. Допустимые нагрузки на Онежское озеро литофильными элементами и некоторыми тяжелыми металлами, т/год

Table 10. Permissible load of the lithophile elements and some heavy metals on Lake Onego, tons/year

Вид нагрузки Type of load	Fe	Mn	Si	Al	Zn	Cu
Природная Natural	14026	1091	37030	3096	211	28
Допустимая антропогенная Permissible man-induced	8730	748	24320	2193	150	13
Допустимая общая нагрузка Permissible total	22756	1839	61350	5279	361	41
$C_{доп}^*$ $C_{permissible}^*$	мг/л mg/l			мкг/л µg/l		
	0,13	0,017	0,42	62	3,8	1,3
$C_{фон}$ $C_{background}$	0,08	0,01	0,26	37	2,3	0,9
$C_{доп}/C_{фон}$ $C_{permissible}/C_{background}$	1,63	1,71	1,62	1,68	1,65	1,44

Примечание. *Концентрация в озере, отвечающая допустимой нагрузке.

Note. *Concentration in the lake corresponding to the permissible load.

Онежского озера ($t = 15,6$ года) озерная ассимиляция намного больше, чем в истоке из озера. Для водоемов с большим t , каким является Онежское озеро, характерна значительная аккумуляция веществ в озерной котловине. Так, озерная ассимиляция Fe и Si в Онежском озере достигает 30–35 %, а Mn, Al и Zn – около 21 % от запаса этих элементов в озере, а от их годового притока – в среднем 65 %.

Поскольку в бассейне Онежского озера и на его побережье отсутствуют значимые источники загрязнения озера металлами и антропогенная составляющая по тяжелым металлам

в стоке в озеро менее 1 %, можно считать, что наблюдаемые концентрации металлов и, по-видимому, литофильных элементов близки к природным фоновым для этого озера. С учетом данного обстоятельства можно вычислить допустимую нагрузку этими элементами на озеро, принимая допустимую антропогенную нагрузку равной ассимиляции вещества в озере в его природном состоянии [Лозовик и др., 2016]

Исходя из вышеизложенного выполнены расчеты допустимой нагрузки на озеро по исследованным элементам (табл. 10). Согласно общей нагрузке и допустимой антропогенной

с учетом удерживающей способности водоема концентрации элементов в воде озера увеличатся несущественно (табл. 10), в среднем по всем шести элементам в 1,62 раза. Установленная концентрация будет соответствовать содержанию элементов в воде, характерному для той же категории водоемов, к которой Онежское озеро относится в современный период. Повышение концентрации элементов в озере согласуется с другим принципом нормирования допустимой антропогенной нагрузки: увеличение концентрации вещества в озере не должно приводить к изменению геохимического класса вод, и оно должно быть не более $\sqrt{2,5}$ -кратного по сравнению с его природным содержанием, т. е. не более чем в 1,58 раза [Лозовик, 2006]. Наибольшие изменения будут характерны для Al (с 37 до 68 мкг/л), Zn (с 2,3 до 4,0 мкг/л) и Cu (с 0,9 до 1,6 мкг/л). Но они будут находиться на уровне региональных фоновых величин по этим металлам, и загрязнение озера металлами будет незначительным.

Заключение

Основное поступление литофильных элементов и тяжелых металлов в Онежское озеро связано с речным стоком (68–97 % от общего поступления каждого элемента в отдельности). Существенна роль атмосферных осадков в балансе Cd (30 %), Zn (14 %) и Cu (13 %). Определенный вклад дают подземные воды по Mn, Zn, Cu и Cd (1,3–2,4 %). Антропогенные источники (сточные воды, селитебные территории и свалки бытовых отходов) вносят несущественный вклад, менее 1 %. На основании данных по химическому балансу озера рассчитана удерживающая способность водоема к литофильным элементам и тяжелым металлам, а также кинетические параметры их трансформации. Наибольшая удерживающая способность и константа скорости трансформации характерна для Si и Fe ($R \approx 0,88$, $k \approx 0,33 \text{ год}^{-1}$). Для Mn, Al и Zn их значения были несколько ниже, чем для Fe и Si ($R \approx 0,80$, $k \approx 0,21 \text{ год}^{-1}$). Самые низкие R и k отмечены для Cu ($R = 0,4$, $k = 0,04 \text{ год}^{-1}$), что, по-видимому, связано с невозможностью точно установить скорость трансформации Cu в озере в связи с низкими и близкими концентрациями его в воде озера и приточных водах. По этой же причине не удалось рассчитать R и k для Ni, Cd и Pb. Наибольшая ассимиляция в озере отмечается для Si (24320 т/год), Fe (8730 т/год) и Al (2183 т/год). Меньшие величины характерны для Mn (748 т/год), Zn (150 т/год) и Cu (13 т/год). С учетом природной ассимиляционной способности озера получены допустимая антропоген-

ная и общая нагрузки на озеро литофильными элементами и тяжелыми металлами. При их достижении произойдет увеличение концентраций элементов в озере в 1,6 раза, что согласуется с оценкой допустимой нагрузки по принципу сохранения геохимического класса вод. Это увеличение будет соответствовать природному типу вод и не скажется на состоянии озера.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН).

Литература

- Алекин О. А., Ляхин Ю. И. Химия океана. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 344 с.
- Бородулина Г. С. Оценка подземного стока в Онежское озеро // Ресурсы подземных вод: Современные проблемы изучения и использования: Материалы междунар. науч. конф. (Москва, 13–14 мая 2010 г). М.: МАКС Пресс, 2010. С. 270–276.
- Бородулина Г. С. Роль подземного стока в формировании химического состава поверхностных вод Карелии // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 108–116.
- ГОСТ 31870-2012. Вода питьевая: определение содержания элементов методами атомной спектроскопии. Ввод в действие 01.01.2014. М.: Стандартинформ, 2013. 20 с.
- Лозовик П. А. Ассимиляционная способность водоемов к органическому веществу и фосфору общему // Современные проблемы гидроэкологии: Тезисы докладов IV Междунар. науч. конф., посвящ. памяти Г. Г. Винберга (Санкт-Петербург, 11–15 октября 2010 г.). СПб., 2010. 108 с.
- Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Дис. ... докт. хим. наук. Петрозаводск, 2006. 481 с.
- Лозовик П. А. Нормирование допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты с экологических и геохимических позиций // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года»: Сб. науч. трудов конф. (Петрозаводск, 6–11 июля 2015 г.). Петрозаводск, 2015. С. 446–452.
- Лозовик П. А., Бородулина Г. С., Карпечко Ю. В., Кондратьев С. А., Литвиненко А. В., Литвинова И. А. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натуральных наблюдений // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 5. С. 35–52. doi: 10.17076/lim303
- Лозовик П. А. Оценка состояния и загрязнения водных объектов и нормирование допустимой антропогенной нагрузки на них с учетом процессов, происходящих в водной среде // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод: Мат-лы науч. конф. с междунар. участием (Ростов-на-Дону, 8–10 сентября 2015 г.). Ростов-на-Дону: Гидрохим. ин-т, 2015. С. 252–256.

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

Лозовик П. А., Рыжаков А. В., Сабылина А. В. Процессы трансформации, круговорота и образования веществ в природных водах // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 21–29.

РД 52.24.377-2008. Массовая концентрация алюминия, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, марганца, меди, молибдена, никеля, свинца, серебра, хрома и цинка в водах. Методика выполнения измерений методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией проб. Утв. Росгидромет 25.08.2008, ввод в действие 01.11.2008, актуализация 01.01.2019. Ростов-на-Дону, 2008. 29 с.

РД 52.24.449-2008. Массовая концентрация алюминия в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом. Утв., ввод в действие Росгидромет 04.06.2008. Ростов-на-Дону, 2008. 29 с.

РД 52.24.433-2005. Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. Методика выполнения измерений фотометрическим методом в виде желтой формы молибдодокремниевой кислоты. Утв. Росгидромет 30.06.2005, ввод в действие 01.07.2005, актуализация 01.01.2019. Ростов-на-Дону, 2005. 25 с.

Новиков Ю. В., Ласточкина К. О., Болдина З. Н. Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина, 1990. 440 с.

References

Alekin O. A., Lyakhin Yu. I. Khimiya okeana [Ocean chemistry]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 344 p.

Borodulina G. S. Otsenka podzemnogo stoka v Onezhskoe ozero [Assessment of the underground flow into Lake Onego]. *Resursy podzemnykh vod: Sovr. probl. izucheniya i ispol'zovaniya: Mat. mezhdunar. nauch. konf. (Moskva, 13–14 maya 2010 g.)* [Groundwater resources: Modern probl. of study and use: Proceed. int. sci. conf. (Moscow, May 13–14, 2010)]. Moscow: MAKSS Press, 2010. P. 270–276.

Borodulina G. S. Rol' podzemnogo stoka v formirovaniy khimicheskogo sostava poverkhnostnykh vod Karelii [Role of groundwater flow to lakes of the Onega watershed in formation of the chemical composition of lake water]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2011. No. 4. P. 108–116.

GOST 31870–2012. Voda pit'evaya: opredelenie soderzhaniya elementov metodami atomnoi spektrometrii [Drinking water. Determination of elements content by atomic spectrometry methods]. Vvod. v deistvie 01.01.2014 [commissioning 01.01.2014]. Moscow: Standartinform, 2013. 20 p.

Lozovik P. A. Assimilyatsionnaya sposobnost' vo doemov k organicheskomu veshchestvu i fosforu obshchemu [Assimilation capacity of water bodies to organic matter and phosphorus]. *Sovr. probl. gidroekol.: Tezisy dokl. IV Mezhdunar. nauch. konf., posvyashch. pamyati G. G. Vinberga (Sankt-Peterburg, 11–15 okt. 2010 g.)* [Modern probl. of aquatic ecol.: Abs. 4th int. sci.

ПНД Ф 14.1:2:4.139–98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций железа, кобальта, марганца, меди, никеля, серебра, хрома и цинка в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Утв. Госкомэкологией России 25.06.1998. М., 1998 (изд. 2010 г.). 22 с.

Intercomparison 0923: pH, Cond, HCO₃, NO₃-NO₂, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn: ICP Waters Report 98/2009; NIVA-rapport 5845 / Norwegian Institute for Water Research; H. Hovind. Oslo, 2009. 73 p.

Intercomparison 1226: pH, Cond, Alk, NO₃-N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn: ICP Waters report 111/2012; NIVA-rapport 6412 / Norwegian Institute for Water Research; I. Dahl. Oslo, 2012. 90 p.

Intercomparison 1428: pH, Conductivity, Alkalinity, NO₃-N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn: ICP Waters report 120/2014; NIVA-rapport 6718 / Norwegian Institute for Water Research; Dr. C. Escudero-Oñate. Oslo, 2014. 88 p.

Intercomparison 1529: pH, Conductivity, Alkalinity, NO₃-N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn: ICP-Waters-report 123/2015; NIVA-rapport 6910 / Norwegian Institute for Water Research; Dr. C. Escudero-Oñate. Oslo, 2015. 86 p.

Поступила в редакцию 06.02.2020

conf. to commemorate professor G. G. Winberg (Oct. 11–15, 2010, St. Petersburg, Russia)]. St. Petersburg, 2010. 108 p.

Lozovik P. A. Hidrogeokhimicheskie kriterii sostoyaniya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony i ikh ustoi-chivosti k antropogennomu vozdeistviyu [Hydrogeochemical criteria of the state of surface water in humid zone and their tolerance to anthropogenic impact]: DSc (Dr. of Chem.) thesis. Petrozavodsk, 2006. 481 p.

Lozovik P. A. Normirovanie dopustimoi antropogennoi nagruzki na vodnye ob'ekty s ekologicheskikh i geokhimicheskikh pozitsii [Normalizing the permissible anthropogenic load on water objects from ecological and geochemical positions]. *Nauch. obespechenie realizatsii "Vodnoi strategii Rossiiskoi Federatsii na period do 2020 goda": sb. nauch. trudov konf. (Petrozavodsk, 6–11 iyulya 2015 g.)* [Sci. support for the implementation of the Water strategy of the Russian Federation for the period up to 2020: proceed. conf. (Petrozavodsk, July 6–11, 2015)]. Petrozavodsk, 2015. P. 446–452.

Lozovik P. A., Borodulina G. S., Karpechko Yu. V., Kondrat'ev S. A., Litvinenko A. V., Litvinova I. A. Biogennaya nagruzka na Onezhskoe ozero po dannym naturnykh nablyudenii [Nutrient load on Lake Onego according to field data]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 5. P. 35–52. doi: 10.17076/lim303

Lozovik P. A. Otsenka sostoyaniya i zagryazneniya vodnykh ob'ektov i normirovanie dopustimoi antropogennoi nagruzki na nikh s uchetom protsessov, prois-

khodyashchikh v vodnoi srede [State estimation and pollution of water objects and rationing of permissible anthropogenic load with account of processes happening in aquatic environment]. *Sovr. probl. gidrokhim. i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod*: Mat. nauch. konf. s mezhdunar. uch. (Rostov-na-Donu, 8–10 sent. 2015 g.) [Modern probl. of hydrochem. and monitoring of surface water quality: Proceed. sci. conf. with int. part. (Rostov-on-Don, Sept. 8–10, 2015)]. Rostov-on-Don: Gidrokhim. in-t, 2015. P. 252–256.

Lozovik P. A., Platonov A. V. Opredelenie regional'nykh predel'no dopustimyykh kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv na primere Karel'skogo gidrograficheskogo raiona [Determination of regional maximum permissible concentrations of pollutants by the example of Karelia hydrographic region]. *Geoekol., inzhenernaya geol., gidrol., geokriologiya* [Geoecol., engineering geol., hydrol., geocryology]. 2005. No. 6. P. 527–532.

Lozovik P. A., Ryzhakov A. V., Sabylina A. V. Protsessy transformatsii, krugovorota i obrazovaniya veshchestv v prirodnykh vodakh [Processes of matter transformation, cycles and formation in natural waters]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2011. No. 4. P. 21–29.

RD 52.24.377-2008. Massovaya kontsentratsiya alyuminiya, berilliya, vanadiya, zheleza, kadmiya, kobal'ta, margantsa, medi, molibdena, nikelya, svintsa, serebra, khroma i tsinka v vodakh. Metodika vypolneniya izmerenii metodom atomnoi absorptsii s elektrotermicheskoj atomizatsiei prob [Mass concentration of aluminum, beryllium, vanadium, iron, cadmium, cobalt, manganese, copper, molybdenum, nickel, lead, silver, chromium and zinc in waters. Method of performing measurements using the atomic absorption method with electrothermal atomization of samples]. Approved by Roshydromet 25.08.2008, commissioning 01.11.2008, updating 01.01.2019. Rostov-on-Don, 2008. 29 p.

RD 52.24.449-2008. Massovaya kontsentratsiya alyuminiya v vodakh. Metodika vypolneniya izmerenii fotometricheskim metodom [Mass concentration of aluminum in waters. Method of performing measurements by photometric method]. Approved, put into operation by Roshydromet. Rostov-on-Don, 2008. 29 p.

RD 52.24.433-2005. Massovaya kontsentratsiya kremniya v poverkhnostnykh vodakh sushi. Metodika

vypolneniya izmerenii fotometricheskim metodom v vide zheltoi formy molibdokremnievoi kisloty [Mass concentration of silicon in the surface waters of the land. Method of performing photometric measurements in the form of yellow form of molybdenum-silicon acid]. Approved by Roshydromet 30.06.2005, commissioning 01.07.2008, updating 01.01.2019. Rostov-on-Don, 2005. 25 p.

Novikov Yu. V., Lastochkina K. O., Boldina Z. N. Metody issledovaniya kachestva vody vodoemov [Methods for investigating water quality in reservoirs]. Moscow: Meditsina, 1990. 440 p.

PND F 14.1:2:4.139-98. Kolichestvennyi khimicheskii analiz vod. Metodika vypolneniya izmerenii massovykh kontsentratsii zheleza, kobal'ta, margantsa, medi, nikelya, serebra, khroma i tsinka v probakh pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vod metodom atomno-absorbtsionnoi spektrometrii [Quantitative chemical analysis of water. Methods for measuring mass concentrations of iron, cobalt, manganese, copper, nickel, silver, chromium, and zinc in drinking water, natural water, and wastewater samples using atomic absorption spectrometry]. Approved by the State Committee of ecology of Russia 25.06.1998. Moscow, 1998 (ed. 2010). 22 p.

Intercomparison 0923: pH, Cond, HCO₃, NO₃-NO₂, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn: ICP Waters Report 98/2009; NIVA-rapport 5845. Norwegian Institute for Water Research; H. Hovind. Oslo, 2009. 73 p.

Intercomparison 1226: pH, Cond, Alk, NO₃-N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn: ICP Waters report 111/2012; NIVA-rapport 6412. Norwegian Institute for Water Research; I. Dahl. Oslo, 2012. 90 p.

Intercomparison 1428: pH, Conductivity, Alkalinity, NO₃-N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn: ICP Waters report 120/2014; NIVA-rapport 6718. Norwegian Institute for Water Research; Dr. C. Escudero-Oñate. Oslo, 2014. 88 p.

Intercomparison 1529: pH, Conductivity, Alkalinity, NO₃-N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn: ICP-Waters-report 123/2015; NIVA-rapport 6910. Norwegian Institute for Water Research; Dr. C. Escudero-Oñate. Oslo, 2015. 86 p.

Received February 06, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Лозовик Петр Александрович

Д. х. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030

CONTRIBUTORS:

Lozovik, Pyotr

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia

Кулик Наталья Владимировна

младший научный сотрудник лаборатории гидрохимии
и гидрогеологии

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,

Федеральный исследовательский центр

«Карельский научный центр РАН»

пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030

эл. почта: nadiet11@rambler.ru

Ефременко Наталья Анатольевна

главный химик лаборатории гидрохимии и гидрогеологии

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,

Федеральный исследовательский центр

«Карельский научный центр РАН»

пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030

эл. почта: efremna@mail.ru

Kulik, Natalia

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences

50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia

e-mail: nadiet11@rambler.ru

Efremenko, Natalia

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences

50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia

e-mail: efremna@mail.ru