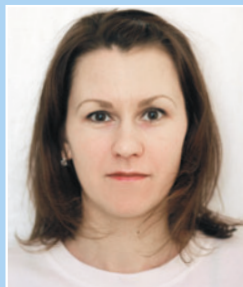


СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КАРЕЛИИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ, КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

© 2017 г. П.А. Лозовик, Н.Е. Галахина, И.Ю. Кравченко

ФГБУН «Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук», г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия

Ключевые слова: поверхностные воды, Онежское озеро, Ладожское озеро, Выгозерское водохранилище, антропогенное воздействие, качество воды, атмосферные осадки, водные экосистемы.



П.А. Лозовик

Н.Е. Галахина

И.Ю. Кравченко

Показано изменение состояния некоторых водных объектов Республики Карелия в результате антропогенного воздействия, а также роль атмосферных осадков в формировании химического

состава поверхностных вод. Дана оценка поступления биогенных элементов и органического вещества в Онежское и Ладожское озера от различных природных и антропогенных источников. Для Онежского озера установлена более высокая нагрузка от точечных источников по сравнению с рассеянными, чем для Ладожского. Представлено многолетнее изменение химического состава воды Выгозерского водохранилища, принимающего сточные воды Сегежского ЦБК, и системы р. Кенти, в которую поступают техногенные воды Костомукшского ГОКа. Установлено, что атмосферные осадки являются основным источником поступления биогенных элементов и тяжелых металлов, тогда как выпадение минеральных и органических веществ с осадками незначительно. Впервые дана оценка состояния водных объектов Карелии в результате воздействия природных, климатических и антропогенных факторов.

Карелия имеет хорошо развитую гидрографическую сеть, в которую входят около 27 тыс. рек и 61 тыс. озер. На состояние водных объектов Карелии существенное влияние оказывают природные, климатические и антропогенные факторы. Химический состав поверхностных вод Карелии

формируется в условиях труднорастворимых коренных пород Балтийского кристаллического массива, хорошо промытых четвертичных отложений и высокой заболоченности территорий. Природное качество вод изменяется в результате сброса сточных вод, сельскохозяйственного использования и загрязнения за счет атмосферных выпадений при трансграничных переносах. Цель работы – показать изменение состояния некоторых водных объектов Карелии (Онежское, Ладожское озера, Выгозерское водохранилище, водоемы и водотоки района Костомукши), подверженных антропогенному воздействию, а также выявить роль атмосферных выпадений в формировании химического состава поверхностных вод. В задачи исследования входила оценка внешней нагрузки на водоемы и изменений их состояния под действием различных факторов. Работа выполнена на основе многолетних гидрохимических данных, полученных в результате наблюдений за химическим составом атмосферных осадков и водных объектов Карелии.

ОНЕЖСКОЕ И ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРА

На формирование химического состава воды Ладожского и Онежского озер влияют речной сток, атмосферные осадки, выпадающие на поверхность озера, внутриводоемные процессы и поступление веществ от точечных и рассеянных источников загрязнения. Многолетние гидрохимические исследования северной части Ладожского и всей акватории Онежского озера, а также притоков озер и источников загрязнения, расположенных на побережье и в бассейне озер, позволили установить антропогенную и природную нагрузку на озера от всех источников формирования их воды (табл. 1, 2) [1, 2].

На основании проведенных исследований установлено, что природная нагрузка на Ладожское озеро с Карельской территории составляет: $P_{\text{общ}}$ – 321 т/год, $N_{\text{общ}}$ – 9009, взвешенные вещества – 29 250 т/год, ОБ (по ХПК) – 358 024 тО/год, а антропогенная: $P_{\text{общ}}$ – 335 т/год, $N_{\text{общ}}$ – 2574, взвешенные вещества – 43 903 т/год, ОБ (по ХПК) – 14 106 тО/год. В результате получено, что в выносе ОБ и $N_{\text{общ}}$ доминирует природный сток (70–94 %), а в поступлении $P_{\text{общ}}$ и взвешенных веществ – несколько превалирует антропогенный (55–60 %). Основной вклад в антропогенный сток вносят рассеянные сельскохозяйственные источники и ферелеводческие хозяйства.

Для Онежского озера природная фосфорная нагрузка составляет 567 т/год (61 % от общей), азотная – 10 491 т/год (70 %), органическая – 742 670 тО/год (93 %). Для Онежского озера в отличие от Ладожского характерна более высокая нагрузка от точечных источников по сравнению с рассеянными.

Современное состояние Онежского и Ладожского озер в большей степени соответствует природному состоянию, чем загрязненному. Одной из

Таблица 1. Поступление биогенных элементов (БЭ) и органического вещества (ОВ) в Онежское озеро

Источник	$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{общ}}$	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	$N_{\text{орг}}$	$N_{\text{общ}}$	ОВ^*
	т/год		тN/год					тO/год
Речные воды	159	657	900	34,6	1159	8079	10 173	744 246
Атмосферные осадки	12,8	64,0	640	6,4	1280	320	2246	12 800
Подземные воды	1,9	2,4	18	1,4	41,2	–	60,6	–
Сточные воды	144	174	277	4,1	1016	687	1984	34 301
Селитебные территории	4,4	6,1	11,8	0,6	145	222	379	930
Форелевые хозяйства	15,2	20,3	20	–	20	121	161	2741
Итого	337	924	1867	47,1	3661	9429	15 004	795 018
% от общих форм	36	100	12	0,3	24	63	100	100
Средневзвешенная концентрация в приточных водах (по стоку из озера): P , мкг/л; формы N , мгN/л; ОВ , мгO/л	17,9	49,1	0,10	0,003	0,20	0,50	0,80	42,3
Удерживающая способность, R	0,89	0,79	0,80	–	–	0,70	0,35	0,76

Примечание: * – по ХПК.

экологических проблем для озер является их эвтрофирование. В настоящее время Онежское озеро достигло допустимой фосфорной нагрузки на водоем и концентрация $P_{\text{общ}}$ составляет 9 мкг/л против 6 мкг/л в природном состоянии. В Ладожском озере в связи с уменьшением внешней фосфорной нагрузки отмечается снижение концентрации $P_{\text{общ}}$ до 12–15 мкг/л, что почти в два раза меньше, чем в 1980-е годы.

Имеющиеся данные по балансу БЭ и ОВ позволяют оценить удерживающую способность озер по этим элементам. Наибольший интерес в этой связи представляет удерживающая способность озера к $P_{\text{общ}}$ как основному лимитирующему биогенному элементу и $N_{\text{орг}}$ как главному компоненту, отражающему трансформацию соединений азота в озере. Определить удерживающую способность (R) для $P_{\text{общ}}$ и ОВ не представляет особого труда, что касается форм N , то здесь есть свои особенности. Содержание NO_3^- в озерах выше, чем в приточных водах, это связано с превращением $N_{\text{орг}}$ в нитраты в ходе процессов аммонификации и нитрификации. Органическое вещество в озере представлено автохтонным и аллохтонным ОВ, в состав которых входит $N_{\text{орг}}$. При образовании автохтонного ОВ использу-

ются нитраты. Поэтому удерживающую способность озера к $N_{орг}$ следует рассматривать по отношению к $N_{орг}$, входящему в состав аллохтонного ОБ. Учитывая, что доля аллохтонного ОБ в озерах около 60 %, примем этот же процент и за долю аллохтонного $N_{орг}$. Тогда концентрация $N_{орг}$ аллохтонного происхождения в Онежском озере будет $0,25 \cdot 0,6 = 0,15$ мг/л, в Ладожском – $0,34 \cdot 0,6 = 0,20$ мг/л.

Таблица 2. Поступление веществ от точечных и рассеянных источников загрязнения в Ладожское озеро

Источники загрязнения	Приемник	Взвешенные вещества		ОВ (по ХПК)		ЛОВ по (БПКполн)		Р _{общ}		N _{общ}	
		т/год	% от общ. стока	тО/год	% от общ. стока	тО ₂ /год	% от общ. стока	т/год	% от общ. стока	т/год	% от общ. стока
Точечные	Ладожское озеро	205	0,3	933	0,25	275	0,4	17	2,5	98	0,9
	Водосбор	56,5	0,1	286	0,08	173	0,2	10,5	1,6	117	1,0
Итого по точечным		261,5	0,4	1219	0,33	448	0,6	27,5	4,1	215	1,9
Рассеянные сельскохозяйственные	Водосбор	41 902	57,5	4645	1,2	28 853	37,5	286	42,7	1695	14,8
Рассеянные форелеводческих хозяйств	Ладожское озеро	1313	1,8	7001	1,9	1723	2,2	73,1	10,9	457	4,0
	Водосбор	162	0,2	863	0,2	213	0,3	9,5	1,4	60	0,5
Итого по рассеянным		43 377	59,5	12 509	3,4	30 789	40,1	368,6	55,1	2212	19,3
Всего по антропогенным источникам		43 638	59,9	13 728	3,7	31 237	40,6	396,1	59,2	2427	21,2
Природный сток	Ладожское озеро	29 250	40,1	358 024	96,3	45 630	59,4	273	40,8	9009	78,8
Общий сток в Ладожское озеро, включая точечные, рассеянные и природные источники		72 888	100,0	371 752	100,0	76 867	100,0	669,1	100,0	11 436	100,0
Удерживающая способность, R		–		0,70		–		0,63		–	

Используя формулу связи удерживающей способности с периодом водообмена озера (τ) и константой скорости трансформации веществ (k) в озере $R = k\tau/(1 + k\tau e^{-1/\tau})$ [3], можно рассчитать указанную константу и ассимиляцию вещества в водоеме (As): $As = k \cdot C_{оз} \cdot V_{стока}(\tau + 1)$ [4].

На основании проведенных расчетов установлено, что в год в озерной котловине Онежского озера аккумулируется 624 т $P_{общ}$ (67 % от его внешнего поступления), азота органического – 6122 т (65 % от внешней нагрузки), аллохтонного ОВ – 545 411 тО/год (69 % от внешней нагрузки) [5]. Для Ладожского озера ассимиляция $P_{общ}$ составляет 2222 т/год (60 % от притока), ОВ – 1299 тыс. т/год (64 % от притока). Благодаря внутриводоемным процессам существенно снижаются концентрации $P_{общ}$, $N_{орг}$ и ОВ, поступающих в озера с приточными водами.

Изучение продукции и деструкции ОВ в Онежском и Ладожском озерах с использованием новой кинетической модели [6] позволило получить низкие величины продукции и деструкции ОВ в вегетационный период в Онежском (4,2 мгО₂/л) и Ладожском (4,5 мгО₂/л) озерах, которые находятся на уровне олиготрофных водоемов. Годовая первичная продукция в воде Онежского озера в 2014–2015 гг. составляла 7,6–8,6 мгО₂/л в год, в Ладожском 7,3–8,9, что также соответствует типично олиготрофным водоемам. Следует отметить, что заливы обоих озер по первичной продукции больше соответствовали самим озерам, чем приточным водам залива. По содержанию $P_{общ}$ большинство заливов Онеги и Ладоги отвечают мезотрофному типу, а по величине продукции – олиготрофному.

ВЫГОЗЕРСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Выгозерское водохранилище, созданное в 1933 г., является крупнейшим водохранилищем Карелии. Длительное время оно было подвержено воздействию сточных вод Сегежского ЦБК. Анализ и обобщение гидрохимической информации за многолетний период (1964–2011 гг.) показали, что в функционировании водохранилища можно выделить пять основных этапов: до 1976 г., когда в водоем сбрасывались неочищенные сточные воды; 1976–1981 гг. – ввод в строй станции биологической очистки (СБО) промышленных сточных и хозяйственно-бытовых вод г. Сегежи при низкой эффективности их очистки; 1982–1985 гг. – вывод СБО на проектные показатели по ХПК и БПК; 1985–1991 гг. – сброс нормативно-очищенных сточных вод и высокая биогенная нагрузка на водоем; 1992–2011 гг. – сокращение производства на комбинате и снижение антропогенной нагрузки на Выгозерское водохранилище [7]. Каждому из указанных выше этапов отвечает определенная реакция водных экосистем на антропогенное воздействие.

До ввода в строй СБО, когда выпуск неочищенных сточных вод комбината осуществлялся в залив Лайкоручей, наибольшее загрязнение наблюдалось в приустьевой части р. Сегежи и захватывало всю западную часть Северного Выгозера [8]. Распределение загрязненных вод имело отличительные особенности для зимнего периода и открытой воды. Зимой наибольшее загрязнение вод наблюдалось в придонных слоях, а в безледоставный период – по всей акватории и глубине западной части Северного Выгозера [8]. Отдельные параметры качества воды представлены в табл. 3.

Таблица 3. Химические показатели воды в зимний период, 1965 г. [8]

Район	Горизонт, м	O ₂ , %	Цветность, град.	ПО	БО	БПК ₅ , мгO ₂ /л	Σ _и	SO ₄ ²⁻	Alk, мгHCO ₃ ⁻ /л
				мгO/л			мг/л		
Устье р. Сегежи	0,5	88	33	6,9	16,2	2,6	25	2,2	13,4
	5,0	92	34	7,2	14,5	–	24	2,5	12,4
	7,5	41	120	51,4	105,1	27,2	66	15,6	32,2
Центр Северного Выгозера	0,5	95	50	11,1	26,2	4,2	25	3,5	10,6
	5,0	86	49	10,1	22,1	2,8	27	3,5	12,4
	10,0	56	50	14,5	30,0	2,4	27	5,0	17,0
	13,5	0	78	39,2	84,5	12,7	–	–	40,8
о. Белая гора	0,5	82	34	7,9	19,5	2,6	–	–	13,8
	5,0	79	33	7,9	–	2,0	26	3,3	13,2
	9,1	<1	162	36,6	71,7	–	89	24,8	39,4
Лайкоручей	0,5	0	–	193	320	54	254	54	92
	1,5	0	–	199	330	47	246	56	104

Примечание: пробы воды отбирались на поверхностном, промежуточных и придонном горизонтах.

В 1982–1985 гг., когда СБО была выведена на проектные показатели, поверхностные слои воды в зимний период фактически соответствовали чистым незагрязненным водам (БПК₅ – 1,1 мгO₂/л при фоновом 1,0; P_{общ} – 18 мкг/л; ХПК – 20 мгO/л) (табл. 4). Тогда как придонные слои представляли слаборазбавленные сточные воды (кратность разбавления по P_{общ} – 3,7, по ХПК – 3,1). Фактически в западной части Северного Выгозера, начиная с 7-метровой изобаты, наблюдались загрязненные воды, в Надвоицком заливе – с 10, а в центре – с 15-метровой.

Для летнего и осеннего периодов в эти годы отмечалась более четкая зональность в распределении загрязненных вод, чем весной (табл. 5). В целом можно выделить следующие зоны загрязнения: I – зона поступления неочищенных сточных вод, а также вторичного загрязнения воды за счет

донных отложений (залив Лайкоручей); II – Мозог-губа и примыкающая к ней акватория озера (до о. Лейостров). Мозог-губа является естественным отстойником биологически очищенных сточных вод; III – зона трансформации загрязненных вод зоны II (Сегежский и Центральный плес, Майгуба); IV – зона взаимодействия загрязненных вод зоны III с водами остальной части Северного Выгозера (Надвоицкий залив, Сенная губа).

Таблица 4. Химический состав воды Северного Выгозера в зимний период (по материалам наблюдений 1982–1986 гг.)

Водные слои	$\Sigma_{и'}$, мг/л	O_2 , %	ХПК, мгО/л	$P_{общ'}$, мкг/л	Взвешенные вещества, мг/л	БПК ₅ , мгО ₂ /л
Поверхностные слои (условно чистые)	32	85	20	18	0,5	1,1
Промежуточные (грязные)	64	47	49	89	2,1	6,7
Придонные (разбавленные сточные воды)	190	3	113	424	7,0	25
Средневзвешенный состав	35	70	30	37	1,5	3,4

Таблица 5. Химический состав воды Северного Выгозера в весенний, летний и осенний периоды в 1982–1986 гг.

Зоны загрязнения воды	$\Sigma_{и'}$, мг/л	O_2 , %	ХПК, мгО/л	$P_{общ'}$, мкг/л	Взвешенные вещества, мг/л	БПК ₅ , мгО ₂ /л
весна						
Водная масса Северного Выгозера	30	71	32	44	не определено	2,8
лето						
Зона I + II	77	48	66	190	6,5	5,3
Зона III + IV	22	82	23	33	2,2	0,6
осень						
Зона I + II		77	47	120	3,0	2,0
Зона III + IV		87	27	35	1,9	1,2

С введением в строй станции биологической очистки сточных вод наряду с загрязнением водоема стало проявляться его эвтрофирование. Перенос выпуска сточных вод в Мозог-губу привел к тому, что все сточные воды аккумулировались в водохранилище в зимний период, тогда как ранее отмечался их частичный вынос за пределы водохранилища. Разбавление сточных вод в придонных слоях зимой достигало лишь 4-кратного уровня. В результате аккумуляции сточных вод в водохранилище за весь период ледостава наблюдалось высокое загрязнение воды в весенний период.

В связи с сокращением производства на Сегежском ЦБК в начале 1990-х годов происходило и снижение антропогенной нагрузки на водоем. Как

следствие, к 2010-м годам показатели качества воды Выгозерского водохранилища в период открытой воды стали приближаться к природным фоновым величинам. Наблюдения 2007–2011 гг. на Выгозерском водохранилище в летний период показали реакцию водоема на снижение антропогенной нагрузки – все химические параметры больше отражали природное состояние водохранилища. Так, $\Sigma_{\text{и}}$ в его воде изменялась в пределах 8–16 мг/л, содержание БЭ ($P_{\text{мин}}$, $P_{\text{общ}}$, формы азота) отвечало природным фоновым показателям (табл. 6), а насыщение воды кислородом в большинстве проб достигало 72–95 % (табл. 7).

Таблица 6. Биогенные элементы в воде Выгозерского водохранилища в летний период 2007–2011 гг. (средние значения за указанный период наблюдений)

Водные участки	$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{общ}}$	$N_{\text{орг}}$	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	$N_{\text{общ}}$
	мкг/л		мгN/л				
Район Лейгубы	2	21	0,38	0,03	0,08	<0,001	0,49
Устье р. Сегежи							
2007–2009 гг.	<1	12	0,38	0,01	0,05	<0,001	0,44
2010–2011 гг.	<1	8	0,40	0,03	0,14	0,001	0,57
Северное Выгозеро	2	16	0,37	0,02	0,06	<0,001	0,45
Центральная часть	1	16	0,38	0,03	0,06	<0,001	0,47
Юго-восточная часть	2	29	0,41	0,02	0,04	0,001	0,47
Южная часть	2	23	0,43	0,03	0,04	<0,001	0,50

Таблица 7. Растворенные газы, рН и взвешенное вещество в воде Выгозерского водохранилища в летний период 2007–2011 гг. (средние значения и пределы колебаний за указанный период наблюдений)

Водные участки	O_2		Acid, мг CO_2 /л	рН	Взв. в-во, мг/л
	мг/л	%			
Район Лейгубы	<u>8,6</u> 8,2–9,0	<u>88</u> 85–91	<u>2,7</u> 1,8–3,1	<u>6,9</u> 6,8–7,0	<u>1,6</u> 1,0–3,0
Усть р. Сегежи	<u>8,5</u> 7,9–8,9	<u>92</u> 88–95	<u>2,3</u> 2,0–3,2	<u>6,7</u> 6,5–7,0	<u>2,3</u> 1,2–2,8
Северное Выгозеро	<u>8,2</u> 3,3–8,8	<u>80</u> 32–95	<u>3,9</u> 1,8–10,8	<u>6,7</u> 6,4–7,0	<u>1,2</u> 0,3–2,6
Центральное Выгозеро	<u>8,4</u> 7,4–8,7	<u>85</u> 72–86	<u>3,3</u> 2,2–7,7	<u>6,7</u> 6,5–7,0	<u>1,2</u> 0,3–2,6
Юго-восточная часть*	<u>7,5</u> 3,3–8,4	<u>75</u> 34–91	<u>4,1</u> 2,4–9,7	<u>6,5</u> 6,4–6,7	<u>1,9</u> 1,1–2,7
Южная часть	<u>8,2</u> 8,1–8,6	<u>85</u> 83–88	<u>3,8</u> 2,6–6,4	<u>6,2</u> 6,0–6,6	<u>2,4</u> 2,3–3,7

Примечание: * – период наблюдений 2009–2011 гг.

ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ КОСТОМУКШИ

Примером водных объектов на территории Республики Карелия, качество воды которых формируется в результате техногенного воздействия, являются водоемы и водотоки района Костомукши, находящиеся в зоне влияния Костомукшского горно-обогатительного комбината. Предприятие функционирует с 1982 г., основное влияние комбината на водные объекты выражается в поступлении техногенных вод, среди которых можно выделить:

- рудничные воды, которые на Костомукшском месторождении закачиваются в хвостохранилище, а на Корпанском – по Безымянному ручью поступают в р. Корпангийоки, приток оз. Койвас, их общий объем составляет около 9 млн м³/год;
- попуски воды из хвостохранилища в систему р. Кенти, их объем зависит от водности года и в среднем достигает около 14 млн м³/год;
- фильтрационные воды, поступающие из хвостохранилища и с отвалов вскрышных пород.

В определенной степени к техногенным можно отнести и воды отводных каналов (северо-западный и южный), поскольку в первый стекают воды с отвалов вскрышных пород, а второй принимает воды от всех источников загрязнения. Особенности техногенных вод являются их высокая минерализация и аномальное соотношение главных катионов, а также значительное количество азотсодержащих веществ, микроэлементов (Ni, Li, Mn) и Al (в воде, фильтрующейся с отвалов) [9–11]. Для этих вод характерны низкие концентрации органического вещества и $P_{\text{общ}}$.

Многолетний мониторинг водных объектов района Костомукши показал существенное изменение состава их вод [12, 13]. В воде хвостохранилища за период с 1994 г. по настоящее время величина $\Sigma_{\text{и}}$ увеличилась почти в два раза (с 400 до 800 мг/л), содержание SO_4^{2-} – в шесть раз (с 60 до 350 мг/л) (рис. 1).

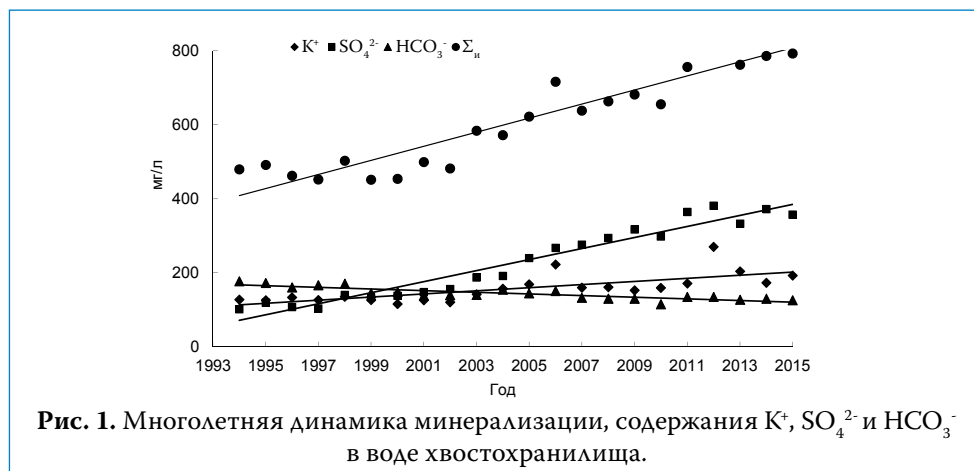
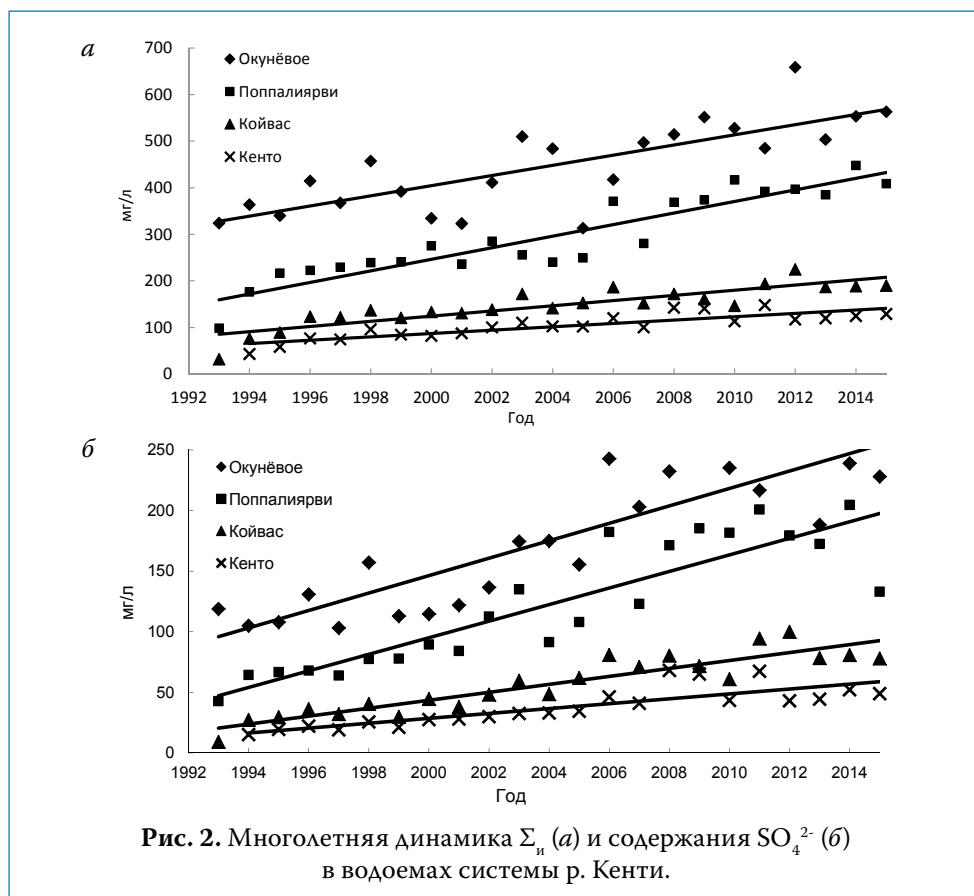
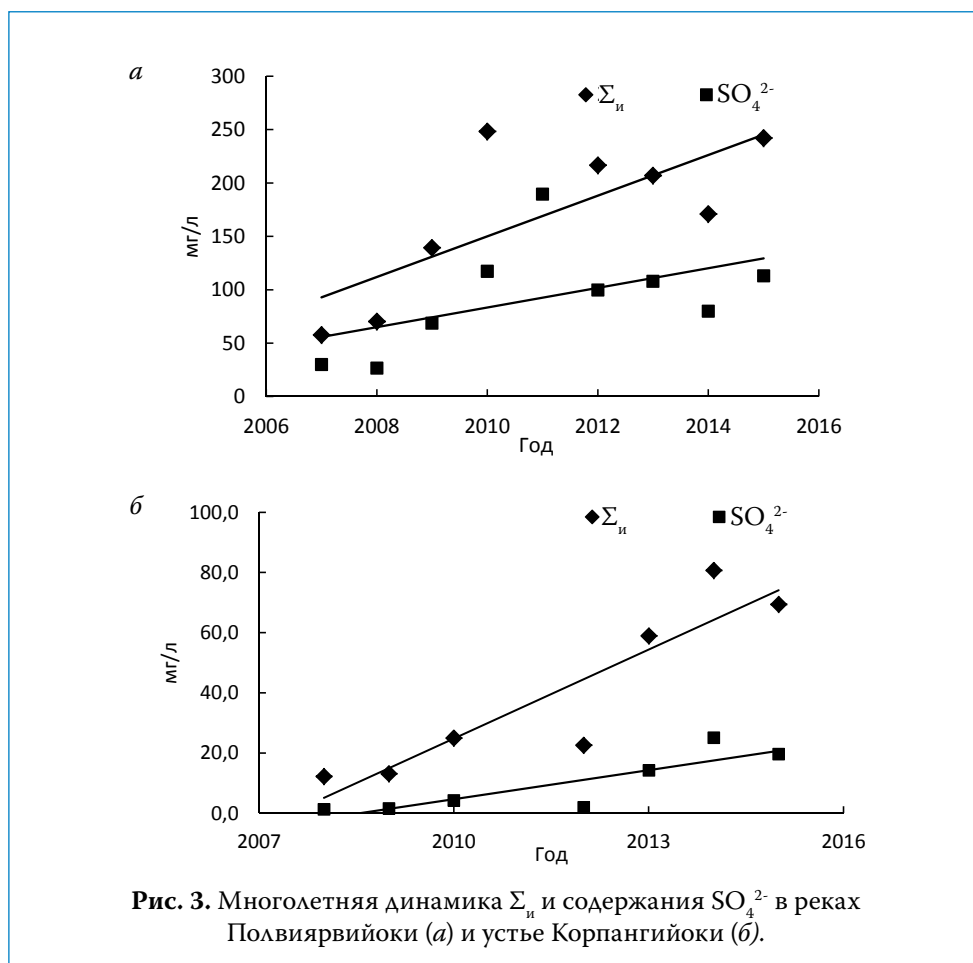


Рис. 1. Многолетняя динамика минерализации, содержания K^+ , SO_4^{2-} и HCO_3^- в воде хвостохранилища.

Отмечаются рост концентрации K^+ , Li и уменьшение содержания HCO_3^- . Концентрация NO_3^- в последние годы стабилизировалась и стала относительно постоянной, но остается на высоком уровне (около 10 мгN/л).

Основное антропогенное влияние на водные объекты системы р. Кенти оказывают попуски воды из хвостохранилища и сток из отводных каналов. Как следствие, в настоящее время по всей системе сформировался техногенно измененный сульфатно-калиевый тип вод. В химическом составе воды всех объектов системы отмечено существенное увеличение $\Sigma_{и}$, содержания K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li и Ni по сравнению с их природным состоянием. В настоящее время $\Sigma_{и}$ от верхних озер к нижним изменяется от 450 до 200 мг/л, содержание K^+ – от 120 до 20, SO_4^{2-} – от 220 до 40 мг/л, NO_3^- – от 4,5 до 0,3 мгN/л, Li – от 65 до 8 и Ni – от 4 до 0,5 мкг/л. Во всех объектах системы наблюдается ежегодный прирост концентрации всех указанных компонентов и величины $\Sigma_{и}$ (рис. 2). Связано это с тем, что вода из хво-





при технологической переработке происходит дальнейшее выщелачивание веществ из руды и сопутствующих пород.

Введение в эксплуатацию Корпангского месторождения привело к расширению техногенного влияния на водные объекты района Костомукши. В настоящее время наблюдается загрязнение вод нижнего участка р. Корпангийоки, являющейся приемником рудничных вод с западного карьера, а также р. Полвиярвийоки (бассейн оз. В. Куйто), дренирующей водосборную территорию вблизи этого карьера. Как и в случае влияния Костомукшского месторождения, отмечается рост $\Sigma_{и}$, содержания K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li и Ni в водотоках Корпангского месторождения (рис. 3). Причем увеличение степени загрязнения здесь происходит более быстрыми темпами, чем было на Костомукшском месторождении.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Важную роль в формировании химического состава поверхностных вод играют атмосферные осадки. Для оценки вклада атмосферной составляющей в химический баланс поверхностных вод Карелии использовали данные по химическому составу зимних атмосферных осадков за период с 1996 по 2015 гг. Объемы выпадения химических веществ с атмосферными осадками на территорию Карелии рассчитаны с использованием медианных значений химических показателей [14–16]. Количество осадков оценивалось по среднегодовым данным [17, 18].

В среднем с атмосферными осадками на сушу поступает 1,2 г/(м²год) солей и такое же количество органического вещества – 1,1 г/(м²год). Выпадение сильных кислот, закисляющих поверхностные воды, составило 6,3 ммоль-экв/(м²год). Сравнение данных по содержанию SO₄²⁻, Cl⁻, P_{мин}, P_{общ}, N_{общ} и Si в поверхностных водах и атмосферных осадках показало, что они находятся в пределах одного порядка, но их концентрация в осадках меньше, чем в водных объектах. Поступление биогенных веществ с атмосферными осадками составило: аммония 41–151, нитратов 89–241 мгN/(м²год), минерального и общего фосфора 0,9 и 5,3 мг/(м²год) соответственно. Атмосферные осадки являются основным источником поступления на сушу минеральных форм азотсодержащих веществ, но потребление их водной растительностью и водными организмами приводит к утилизации и способствует низкому содержанию этих веществ в поверхностных водах.

Объем выпадения литофильных элементов практически одинаковый на всей территории республики, исключение составляет алюминий, а также фториды (106 мг/(м²год)) в зоне влияния Надвоицкого алюминиевого завода.

Атмосферные осадки являются одним из источников поступления тяжелых металлов в водоемы: Pb – 0,01; Cd – 0,04; Cu – 0,43; Zn – 4,6 мг/(м²год). Значительное содержание Pb, Zn, Cd в атмосферных осадках связано с большим количеством их антропогенных источников. Высокая удерживающая способность почв приводит к тому, что они не поступают в водные объекты, а задерживаются на водосборной территории.

Вклад атмосферной составляющей в поступление Si, Fe, минеральных (по Σ_и) и органических веществ в поверхностные воды незначителен (рис. 4). Результаты исследования показали, что поступление K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, OВ, Si и Fe в поверхностные воды связано с процессами выщелачивания на водосборной территории. С учетом испарения доля солей в минерализации поверхностных вод Карелии достигает 21 %. Аналогичную величину составляет и доля органических веществ. Поступление Cl⁻, большей частью SO₄²⁻, а также P_{общ} связано в основном с атмосферными осадками. Так, доля SO₄²⁻, Cl⁻ в среднем составила 56 и 83 % соответственно.

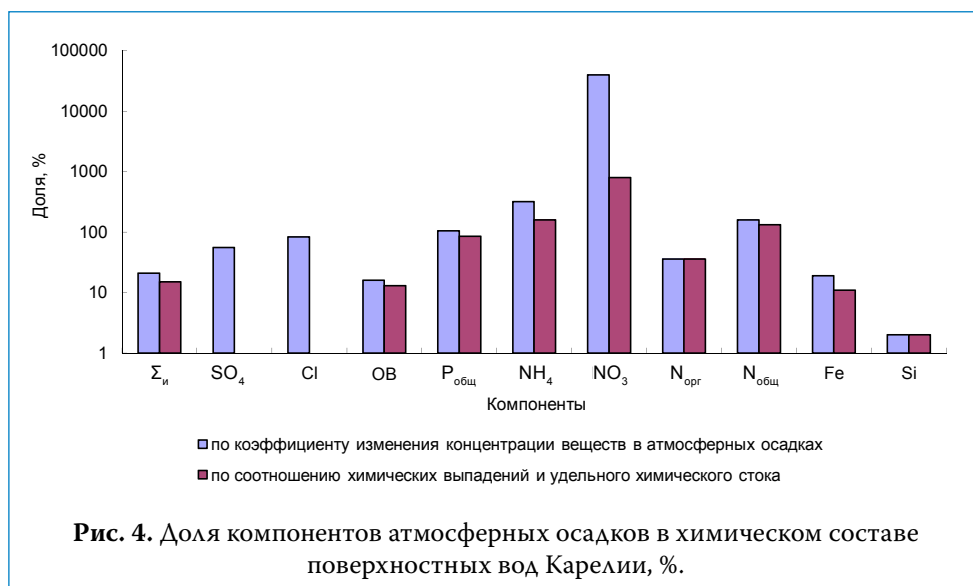


Рис. 4. Доля компонентов атмосферных осадков в химическом составе поверхностных вод Карелии, %.

Доля общего фосфора за счет атмосферных осадков составляет 86 %. Что касается соединений азота, то выпадение аммония и нитратов с атмосферными осадками выше, чем их поступление в водоемы с водосборной территории. Содержание общего азота в атмосферных осадках и поверхностных водах имеет близкие значения, что связано с постоянством общего азота в объектах гидросферы [19]. В атмосферных осадках, как правило, преобладают неорганические формы азота (NH_4^+ , NO_3^-), а в поверхностных водах, за редким исключением, органические. Поэтому формальный расчет доли этих компонентов дает очень высокие значения. Аммоний и нитраты активно потребляются на суше и в воде, и, как следствие, наблюдаются низкие их концентрации в поверхностных водах. Аналогичная картина отмечается для тяжелых металлов (Pb, Zn, Cd) и Al. Вынос их в поверхностные воды ограничен удерживающей способностью почв.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы об изменениях в состоянии некоторых водных объектов Карелии в результате влияния природных, климатических и антропогенных факторов.

Современное состояние Онежского и Ладожского озер в большей степени соответствует природному состоянию, чем загрязненному. Низкие величины продукции и деструкции органических веществ в вегетационный период в Онежском ($4,2 \text{ мгO}_2/\text{л}$) и Ладожском ($4,5 \text{ мгO}_2/\text{л}$) озерах находятся на уровне олиготрофных водоемов.

Установлено, что природная нагрузка на Ладожское озеро с Карельской территории составляет: $P_{\text{общ}}$ – 321 т/год, $N_{\text{общ}}$ – 9009, взвешенные вещества – 29 250 т/год, органическое вещество (по ХПК) – 358 024 тО/год; антропогенная нагрузка: $P_{\text{общ}}$ – 335 т/год, $N_{\text{общ}}$ – 2574, взвешенные вещества – 43 903 т/год, органическое вещество (по ХПК) – 14 106 тО/год. В результате получено, что в выносе органического вещества и $N_{\text{общ}}$ доминирует природный сток (70–94 %), а в поступлении $P_{\text{общ}}$ и взвешенных веществ несколько превалирует антропогенный (55–60 %). Для Онежского озера природная фосфорная нагрузка составляет 567 т/год (61 % от общей), азотная – 10 491 т/год (70 %), органическая – 742 670 тО/год (93 %). Для Онежского озера в отличие от Ладожского характерна более высокая нагрузка от точечных источников по сравнению с рассеянными. Благодаря внутриводоемным процессам, существенно снижается концентрации $P_{\text{общ}}$, $N_{\text{орг}}$ и ОВ, поступающих в озеро с приточными водами.

Реакция Выгозерского водохранилища на антропогенное воздействие Сегежского ЦБК менялась в различные этапы его функционирования. Так, до ввода в строй СБО наибольшее загрязнение вод наблюдалось в приустьевой части р. Сегежи и захватывало всю западную часть Северного Выгозера. Зимой наибольшее загрязнение вод отмечалось в придонных слоях, а в безледоставный период – по всей акватории и в придонных слоях западной части озера. В период, когда работа СБО была выведена на проектные показатели, поверхностные слои воды в зимний период, фактически, соответствовали чистым незагрязненным водам, тогда как придонные представляли собой слабозабавленные сточные воды. Наряду с загрязнением водоема стало проявляться его эвтрофирование. Как следствие снижения антропогенной нагрузки, в настоящее время показатели качества воды Выгозерского водохранилища в период открытой воды приближаются к природным фоновым величинам.

В результате техногенного влияния Костомукшского ГОКа по всей системе р. Кенти сформировался техногенно измененный сульфатно-калиевый тип вод. В химическом составе воды всех объектов системы отмечено существенное увеличение $\Sigma_{\text{и}}$, содержания K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li и Ni по сравнению с их природным состоянием.

Атмосферные осадки играют существенную роль в формировании химического состава поверхностных вод. Они являются основным источником поступления биогенных элементов и тяжелых металлов. Выпадение минеральных и органических веществ с атмосферными осадками на сушу незначительное – до 1,2 г/(м²год).

В результате проведенного исследования удалось впервые установить влияние природных, климатических и антропогенных факторов на формирование химического состава вод водных объектов Карелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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 натурных наблюдений // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 5. С. 35–52.
2. Кондратьев С.А., Шмакова М.В., Маркова Е.Г., Лозовик П.А., Брюханов А.Ю., Чичкова Е.Ф. Биогенная нагрузка на Онежское озеро от рассеянных источников по результатам математического моделирования // Известия РГО. 2016. Т. 148. Вып. 5. С. 53–64.
3. Лозовик П.А., Рыжиков А.В., Сабылина А.В. Процессы трансформации, круговорота и образования веществ в природных водах // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 21–28.
4. Лозовик П.А. Оценка состояния и загрязнения водных объектов и нормирование допустимой антропогенной нагрузки на них с учетом процессов, происходящих в водной среде // мат-лы научн. конф. с междунар. участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Ч. 2. Ростов-на-Дону, 2015. С. 252–256.
5. Лозовик П.А. Современное состояние и изменение экосистемы Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища). Оценка ассимиляционной способности к фосфорной и органической нагрузкам и нормирование допустимого антропогенного воздействия на водные объекты по кинетической и гидрохимическим моделям // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада Европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск, 2015. С. 88–95.
6. Лозовик П.А. Продукция и деструкция органического вещества в водных объектах по кинетической модели его трансформации в природных водах // Материалы всеросс. научн. конф. «Водная стихия: опасности, возможности и прогнозирования, управления и предотвращения угроз». Новочеркасск. 2013. С. 348–355.
7. Лозовик П.А. Многолетняя динамика химического состава воды Выгозерского водохранилища и реки Нижний Выг как результат влияния природных и антропогенных факторов // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада Европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск. 2015. С. 226–247.
8. Харкевич Н.С. Влияние сточных вод Сегежского целлюлозно-бумажного комбината на химический состав и качество вод р. Сегежи и Выгозера // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск. 1969. С. 30–59.
9. Лозовик П.А., Калмыков М.В., Кулакова Н.Е. Многолетняя динамика изменения режима системы р. Кенти под влиянием техногенных вод Костомукшского ГОКа // Материалы конф. «Экологические проблемы Северных регионов и пути их решения». Ч. 1. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2010. С. 203–208.

10. 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.
11. Галахина Н.Е., Лозовик П.А. Формирование химического состава поверхностных вод в зоне влияния Костомукшского ГОК'а // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: материалы V Всеросс. научн. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Апатиты: КНЦ РАН, 2014. С. 128–132.
12. Кулакова Н.Е., Лозовик П.А. Оценка состояния водных объектов района Костомукши по результатам многолетнего мониторинга // Науки о Земле: задачи молодых: материалы 64-ой научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Петрозаводск. 2012. С. 50–58.
13. 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: материалы всеросс. научн. конф., посвящ. 70-летию КарНЦ РАН. Петрозаводск. 2016. С. 25–27.
14. Лозовик П.А., Потапова И.Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территорию Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 1. С. 111–118.
15. Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 200 с.
16. Потапова И.Ю. Роль атмосферных осадков в формировании химического состава поверхностных вод Карелии // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 134–138.
17. Атлас Карельской АССР. М.: ГУГК СССР, 1989. 40 с.
18. Онежское озеро. Атлас. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 75–81.
19. Лозовик П.А., Бородулина Г.С. Соединения азота в поверхностных и подземных водах Карелии // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 6. С. 694–704.

Сведения об авторах:

Лозовик Петр Александрович, д-р хим. наук, зав. лабораторией, ФГБУН «Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук» (ИВПС КарНЦ РАН), Россия, Республика Карелия, 185030, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50; e-mail: lozovik@nwpi.krc.karelia.ru

Галахина Наталия Евгеньевна, младший научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук» (ИВПС КарНЦ РАН), Россия, Республика Карелия, 185030, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50; e-mail: kulakovanata@mail.ru

Кравченко Ирина Юрьевна, научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук» (ИВПС КарНЦ РАН), Россия, Республика Карелия, 185030, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50; e-mail: irina_potapova@inbox.ru