

## ГИДРОХИМИЯ И ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

УДК 556.531:556.535.8 (470.22)

### ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ СИСТЕМЫ Р. КЕНТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕХНОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ

П. А. Лозовик, Н. Е. Галахина

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск*

На основании данных многолетних гидрохимических наблюдений (1970–2015 гг.) выявлены изменения химического состава воды хвостохранилища и системы р. Кенти в результате техногенного влияния Костомукшского ГОК. Установлено, что основное влияние на систему р. Кенти стали оказывать попуски воды из хвостохранилища, которые привели к существенному увеличению минерализации воды, концентрации  $K^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ , Ni, Li и к уменьшению содержания органического вещества по сравнению с природным состоянием. С использованием приоритетных показателей, отражающих техногенное влияние, выполнена оценка загрязнения воды хвостохранилища и водоемов системы р. Кенти.

Ключевые слова: антропогенное воздействие; Костомукшский ГОК; хвостохранилище; система р. Кенти.

#### **P. A. Lozovik, N. E. Galakhina. CHANGES IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE KENTI RIVER SYSTEM WATER UNDER HUMAN IMPACT**

Changes in the water chemical composition in the tailings pond and the Kenti lake-river system under the impact of the Kostomuksha mining and processing plant were determined using data of long-term hydrochemical observations (1970–2015). It was found that releases from the tailings pond influenced the Kenti river system the most, and led to a significant increase in water salinity, concentrations of  $K^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ , Ni and Li, and to a decrease in organic matter content in comparison with the natural state. Pollution of the tailings pond waters and Kenti river system was estimated using high-priority pollution indices.

Keywords: human impact; Kostomuksha mining and processing plant; tailings pond; Kenti lake-river system.

---

#### **Введение**

Костомукшский горно-обогатительный комбинат (ГОК) является крупнейшим

предприятием горнодобывающей промышленности Республики Карелия и на протяжении длительного времени (с 1982 г.) оказывает антропогенное воздействие на окружающую

среду. К источникам загрязнения воздушной и водной среды относятся выбросы в атмосферу, а также техногенные воды и отвалы вскрышных пород. Деятельность комбината связана с производством железных окатышей из руды Костомукшского и Корпангского месторождений. С 1994 г. с целью предотвращения затопления насосной станции производятся попуски воды из хвостохранилища в систему р. Кенти (их объемы в 1994–2010 гг. составляли 9–24 млн м<sup>3</sup> в год (в среднем 13,1)), которые осуществляются пропорционально водности года до достижения концентрации K<sup>+</sup> в контрольном створе 50 мг/л. Попуски воды из хвостохранилища явились существенным источником загрязнения водной среды. Цель работы заключалась в установлении закономерностей изменения химического состава водоемов системы р. Кенти в многолетнем плане в результате техногенного влияния.

Таблица 1. Гидрологические показатели озер системы р. Кенти [Озера..., 2013]

Озеро	h <sub>ср</sub> , м	F, км <sup>2</sup>	W, млн м <sup>3</sup>	τ, год
Поппалляярви	4,3	1,6	6,9	0,16
Койвас	4,1	21,4	87,7	0,61
Кенто	3,8	30,8	117	0,55

Река Кенти (рис. 1) протекает через ряд озер и впадает в оз. Среднее Куйто, ее протяженность составляет 75 км, а водосбор является частным водосбором р. Кеми [Влияние..., 1995]. Гидрологические показатели некоторых водоемов системы р. Кенти приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, верхнее оз. Поппалляярви является высокопроточным, а нижние озера системы характеризуются более замедленным водообменом.

Верхний водоем системы, оз. Костомукшское, превращен в хвостохранилище Костомукшского



Рис. 1. Карта-схема системы р. Кенти

Таблица 2. Органическое и взвешенное вещество, pH, O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в воде оз. Костомукшского за многолетний период

Год исследования	ЦВ, град.	ПО, мгО/л	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	O <sub>2</sub> , %	CO <sub>2</sub> , мг/л	pH	Взв. в-во, мг/л
1970	50	9,2	0,9	88*/31**	2,0*/9,6**	6,4	0,2
1972	80	13,1	0,3	69	5,7*/11,4**	6,9	1,1
1973	-	-	-	52	7,9*/15,1**	6,3	-
1974	72	10,4	1,0	93*/49**	5,3	6,6	2,0
1975	73	15,6	1,3	81	4,6	6,5	0,6
1976	55	9,4	2,0	85	3,9	6,6	1,3
1977	61	10,4	2,6	84	2,0*/4,8**	6,6	3,1
1978	70	12,7	0,6	79*/36**	5,2*/13,1**	6,4	1,3

Примечание. \*Поверхностный горизонт, \*\*придонный горизонт, прочерк – данные отсутствуют.

ГОК для оборотного водоснабжения комбината, а также для захоронения отходов производства (хвостов). В систему р. Кенти с 1994 г. осуществляются регулируемые попуски воды из хвостохранилища, которые и оказывают на нее основное техногенное влияние.

В основу работы положены многолетние гидрохимические материалы, собранные в результате комплексных исследований водоемов района Костомукши. Наблюдения за состоянием водных объектов системы р. Кенти ведутся с 70-х годов XX века и по настоящее время [Харкевич и др., 1980; Харкевич, Митина, 1984; Феоктистов, Ипатова, 1985; Феоктистов, Морозов, 1985; Феоктистов и др., 1992; Морозов, 1998; Поверхностные воды..., 2001; Лозовик, Калмыков, 2007; Лозовик и др., 2007, 2010; Кулакова, Лозовик, 2012]. Весь этот временной промежуток можно разделить на три периода:

1. 1970–1978 гг. – до эксплуатации железорудного месторождения, когда водоемы находились в естественном состоянии;
2. 1984–1993 гг. – период выхода комбината на проектные показатели, эксплуатация хвостохранилища в бессбросовом режиме;
3. 1994–2015 гг. – период регулируемых попусков воды из хвостохранилища в систему р. Кенти.

Химические анализы воды выполнялись по аттестованным методикам [Руководство..., 2009] в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН, аккредитованной в системе аккредитации аналитических лабораторий России. Достоверность химических анализов проверялась внутренним и внешним контролем. Последний осуществлялся в рамках международного проекта ICP-Waters [Intercomparison..., 2015] и внутрироссийского проекта «Межлабораторное сличение результатов анализа органического вещества и биогенных элементов в природных водах» [2015], проведенного лабораторией в 2015 г.

### Изменение химического состава воды хвостохранилища в многолетнем плане

В результате превращения озера Костомукшского в хвостохранилище произошло существенное изменение его гидрологического режима [Пальшин и др., 1994]. Так, уровень воды в озере поднялся со 157,12 до 180,30 м БС (июль 1993 г.), существенно увеличилась площадь зеркала (от 5,18 до 34,2 км<sup>2</sup>) и объем воды (от 0,017 до 0,430 км<sup>3</sup>). С вводом в эксплуатацию водоотводных каналов (южного и северо-западного) уменьшилась площадь водосбора хвостохранилища со 142 до 68,4 км<sup>2</sup>. Период условного водообмена в естественном состоянии составлял 0,23 года, а в настоящее время в соответствии со средними попусками воды из хвостохранилища – около 30 лет.

Анализ гидрохимического режима оз. Костомукшского в естественном состоянии выполнен по данным наблюдений ОВП КФ АН СССР в 1970–1978 гг. Вода оз. Костомукшского до превращения его в хвостохранилище характеризовалась невысокой минерализацией в пределах 17–30 мг/л. В 1970–1978 гг. самая высокая минерализация наблюдалась в зимний период, как правило, в придонных слоях воды, что обусловлено усилением подземного питания озера в это время года. По ионному составу вода относилась к гидрокарбонатному классу группы кальция.

Поскольку оз. Костомукшское было высокопроточным водоемом, это сказывалось на содержании органического вещества (ОВ) и его сезонной динамике. По величинам косвенных показателей содержания ОВ (цветность (ЦВ), перманганатная окисляемость (ПО)) вода оз. Костомукшского в естественном состоянии относилась к мезогумусному типу, а в отдельные годы – к мезополигумусному. Цветность воды за период 1970–1978 гг. изменялась в пределах 50–80 град., ПО – 9–13 мгО/л (табл. 2).

Таблица 3. Некоторые показатели химического состава воды оз. Костомукшского (1970–1978 гг.) и хвостохранилища (1984–2015 гг.)

Год исследования	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Σ <sub>и</sub>	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Классификация по Алекину
	мг/л				мгN/л		
1970–1978	0,8	2,5*	21,1	6,5	0,11	0,006	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>
1984	59	31,2	247	8,0	0,06	0,24	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , K <sup>+</sup>
1987–1993	105	69,5	380	8,2	0,04	0,95	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , K <sup>+</sup>
1994–2015	158	228	609	8,0	0,3	7,5	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , K <sup>+</sup> (1994–1998 гг.) SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , K <sup>+</sup> (1998–2002 гг.) SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , K <sup>+</sup> (2003–2015 гг.)

Примечание. \*За содержание сульфатов взято среднерегиональное фоновое значение для водных объектов района Костомукши.

Содержание биохимически легкоокисляемых ВВ в воде озера было невысоким (БПК<sub>5</sub> – 0,3–1,3 мгО<sub>2</sub>/л), за исключением 1976 и 1977 г. (БПК<sub>5</sub> – 2,0–2,6 мгО<sub>2</sub>/л). Из отдельных органических веществ в воде оз. Костомукшского были определены нефтепродукты и летучие фенолы. Нефтепродукты обнаружены в низких концентрациях, и их содержание в единичных пробах не превышало 0,04 мг/л. Летучие фенолы в воде оз. Костомукшского присутствовали редко.

Величина pH находилась в пределах 6,3–6,9 на протяжении всего периода наблюдений. Максимальная концентрация СО<sub>2</sub> наблюдалась зимой (9,7–15,1 мг/л) и в придонных слоях летом (3,0–9,6 мг/л). Насыщение воды кислородом было выше 80 %, но ко дну в отдельные годы оно снижалось до 30 %.

Содержание железа в воде оз. Костомукшского на протяжении рассматриваемого периода исследований изменялось в пределах 0,19–1,56 мг/л, кремния – от 0,8 до 4,9 мг/л.

Вода указанного водоема отличалась низким содержанием фосфора. Концентрации минерального фосфора колебались в пределах 2–6 мкг/л, а общего – 10–20 мкг/л. Азот был представлен преимущественно органической формой (0,48–0,72 мгN/л). На втором месте находился аммонийный азот, его среднее содержание по сезонам года изменялось в пределах 0,07–0,16 мгN/л. Концентрация нитратов варьировала от <0,01 до 0,02 мгN/л. Нитритный азот найден в единичных пробах и не более 0,007 мгN/л.

Таким образом, в период 1970–1978 гг. в естественном состоянии оз. Костомукшское являлось мезогумусным водоемом, маломинерализованным, со слабокислой реакцией среды. В нем отмечалось низкое содержание биогенных элементов, а также высокие концентрации железа, что является типичной картиной для поверхностных вод Карелии.

В химическом составе оз. Костомукшского, превращенного в хвостохранилище, с вводом в эксплуатацию Костомукшского ГОК постепенно происходили существенные изменения, о чем свидетельствуют данные многолетних гидрохимических наблюдений лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН. Формирование химического состава воды хвостохранилища происходит за счет поступления оборотной воды с производственного цикла, рудничных вод, а также поверхностного притока с водосбора, выпадения атмосферных осадков на водную поверхность и испарения.

Данные, полученные в период 1984–1993 гг. (табл. 3), позволили проследить изменение гидрохимического режима хвостохранилища на разных стадиях его наполнения [Феоктистов, Сало, 1990].

Уже в 1984 г. минерализация воды превысила фоновые значения почти в 10 раз и составляла 247 мг/л, а в 1993 г. достигла 420 мг/л. Среди главных ионов в большей степени увеличилась доля калия, гидрокарбонатов и сульфатов.

Высокое содержание ионов K<sup>+</sup> обуславливает аномальные соотношения ионов щелочных металлов ([Na<sup>+</sup>]/[K<sup>+</sup>]) и щелочно-земельных к щелочным ([Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>]/[Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>]), нехарактерные для природных вод, что существенно сказывается на выживаемости некоторых гидробионтов [Дубровина и др., 1995]. Так, если в естественном состоянии эти соотношения составляли [Na<sup>+</sup>]/[K<sup>+</sup>] – 3,50 и [Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>]/[Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>] – 2,78, то к 1993 г. их значения снизились до 0,17 и 0,50 соответственно. По ионному составу вода хвостохранилища по сравнению с естественным состоянием оз. Костомукшского превратилась в гидрокарбонатно-калиевую (табл. 3). Кроме того, наблюдалось постоянное увеличение эквивалентной доли сульфатов и уменьшение гидрокарбонатов.

С превращением оз. Костомукшского в хвостохранилище в нем снизилось содержание

Таблица 4. Средние концентрации форм азота в воде хвостохранилища

Год исследования	N <sub>орг</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	мгN/л			
1984–1985	0,58	0,06	0,002	0,24
1987	0,72	0,00	0,001	0,21
1988	0,47	0,04	0,002	1,17
1989	-	0,08	0,002	1,72
1993	0,94	0,02	0	0,69

органического вещества. Величины ПО и цветности в 1993 г. составили 3,2 мгО/л и 29 град. против 12,7 и 70 в 1978 г. соответственно. Связано это с тем, что в водоеме происходило увеличение доли техногенных вод с низким содержанием ОВ по сравнению с приточными водами с водосборной территории.

В период 1984–1993 гг. отмечен рост концентрации некоторых форм азота (табл. 4), а именно нитратов, за счет поступления их в хвостохранилище с рудничными водами.

В период 1984–1993 гг. наблюдалось увеличение содержания такого микрокомпонента, как литий. Так, если его природные фоновые величины в водоемах района Костомукши <2 мкг/л, то к 1993 г. содержание в хвостохранилище возросло до 5,9 мкг/л. Загрязнения тяжелыми металлами (Cu, Ni, Pb, Cd, Zn) в указанные годы обнаружено не было.

На начальном этапе эксплуатации хвостохранилища в воде резко увеличилось содержание железа и взвешенных веществ. Так, в 1984 г. концентрация взвешенных веществ достигала 112 мг/л, по мере наполнения хвостохранилища количество взвеси и железа уменьшалось и в 1993 г. не превышало 2 и 0,1 мг/л соответ-

ственно. Высокие концентрации железа и взвешенных веществ, а также Р<sub>общ</sub> (в 1984–1985 гг. его содержание достигало 220–380 мкг/л, причем подавляющая часть находилась во взвешенном состоянии, а к 1993 г. оно снизилось до 20 мкг/л) в первые годы эксплуатации хвостохранилища связаны со взмучиванием естественных донных отложений, накопленных в оз. Костомукшском. В дальнейшем при аккумуляции пульпы на дне водоема, которая характеризуется большой плотностью, этот эффект был утрачен.

Таким образом, уже на начальном этапе эксплуатации хвостохранилища произошли изменения в его химическом составе. К 1993 г. вода в нем стала высокоминерализованной со слабощелочной реакцией среды, гидрокарбонатно-калиевого типа с низким содержанием органического вещества и железа.

С 1994 г. начались регулируемые попуски воды хвостохранилища в систему р. Кенти, и, согласно полученным гидрохимическим данным, в этот период происходит дальнейшее изменение химического состава воды хвостохранилища. Продолжается рост минерализации (рис. 2), значения которой к 2015 г. достигли 793 мг/л.

В многолетнем плане отмечается увеличение концентрации всех ионов, особенно К<sup>+</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, но при этом наблюдается слабое снижение содержания гидрокарбонатов (рис. 2). Лабораторными опытами было установлено, что увеличение выщелачивания сульфатов связано с окислением сульфидов, содержащихся в виде примесей в рудах Костомукшского и Корпангского месторождений [Кулакова, Лозовик, 2011]. Известно, что окисление пирита железа сопровождается образованием серной кислоты, в присутствии которой будут

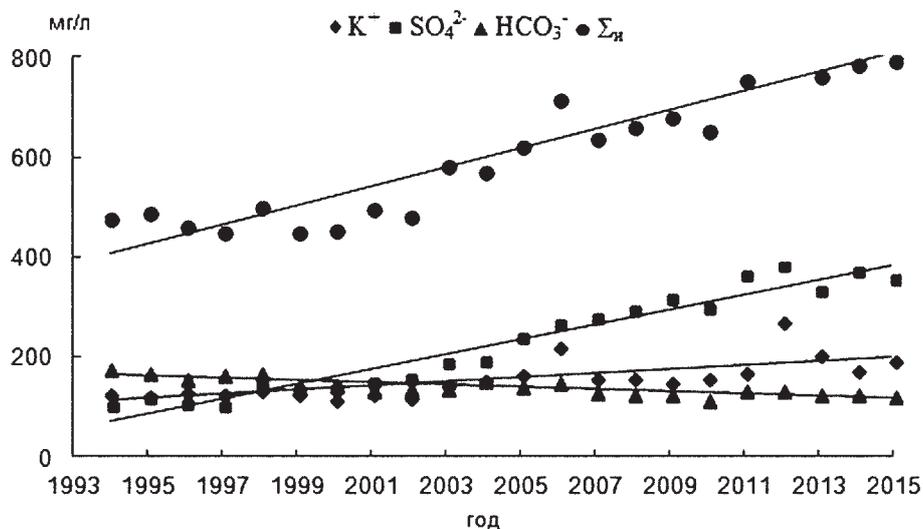


Рис. 2. Многолетняя динамика минерализации, содержания K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> в воде хвостохранилища

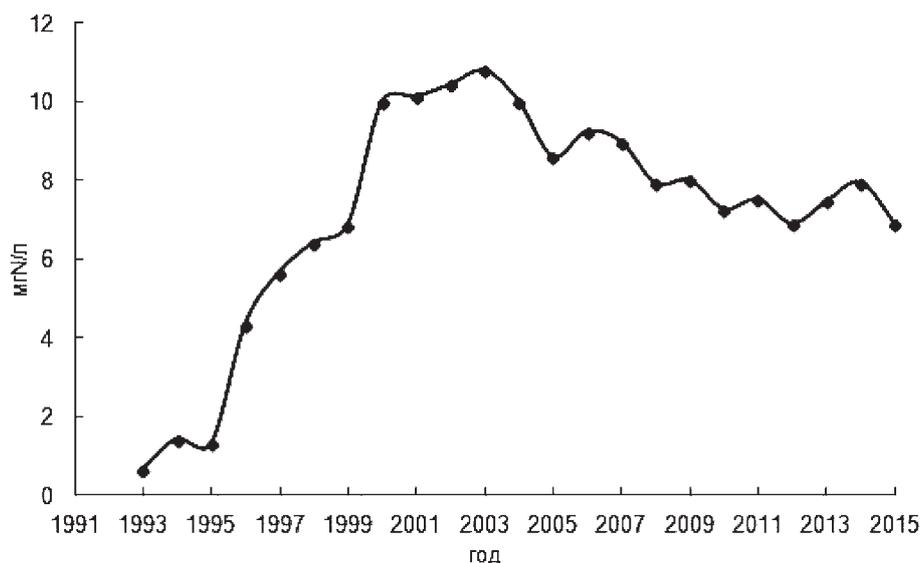


Рис. 3. Многолетнее изменение содержания  $\text{NO}_3^-$  в воде хвостохранилища

разлагаться гидрокарбонаты. По этой причине и отмечается тренд уменьшения их содержания за последние десятилетия.

В связи с постоянным увеличением содержания калия и сульфатов в воде хвостохранилища произошли изменения в ионном составе, и она стала соответствовать сульфатному классу группы калия. Соотношение ионов щелочных металлов и щелочно-земельных к щелочным остается аномальным, как и на начальном этапе эксплуатации хвостохранилища, сохраняется на одном уровне и в среднем составляет 0,19 и 0,63 соответственно.

В период 1994–2002 гг. наблюдалось увеличение содержания нитратов, а в последующие годы оно стабилизировалось, и с 2004 г. наметилась тенденция его снижения (рис. 3). Содержа-

ние аммония в воде хвостохранилища низкое (средняя концентрация за весь рассматриваемый период составляет 0,06 мгN/л), несмотря на высокое его поступление с рудничными водами. По-видимому, происходит частичное улетучивание  $\text{NH}_3$  из воды хвостохранилища, имеющей слабощелочную реакцию среды, а также его превращение в другие формы азота в результате протекания микробиологических процессов.

Содержание железа и кремния в рассматриваемый период было достаточно стабильным. Средняя концентрация  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  невысокая (0,25 мг/л), и она ниже, чем среднерегionalный фон, характерный для поверхностных вод Карелии (0,43 мг/л) [Лозовик, 2006]. Содержание кремния находится на уровне региональных природных величин и составляет в среднем 2,4 мг/л.

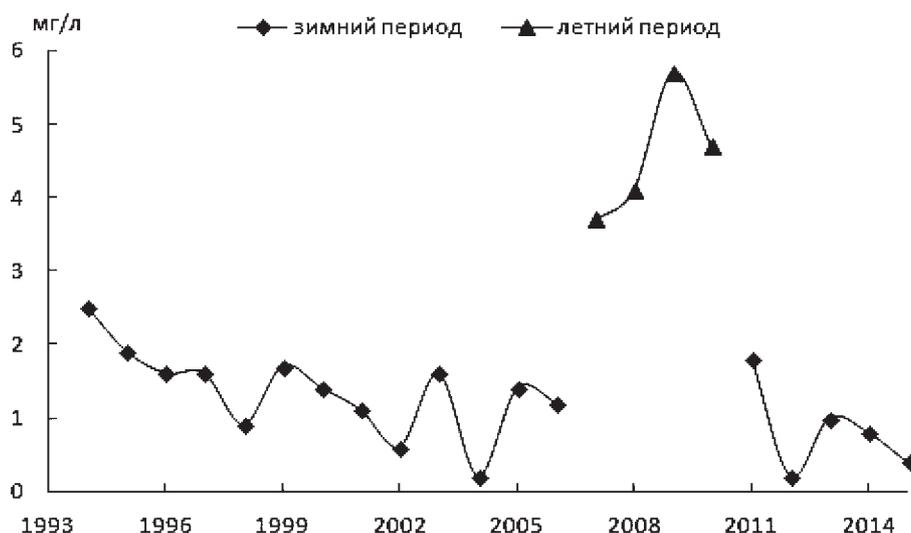


Рис. 4. Изменение содержания взвешенного вещества в поверхностном горизонте воды хвостохранилища в зимний и летний периоды

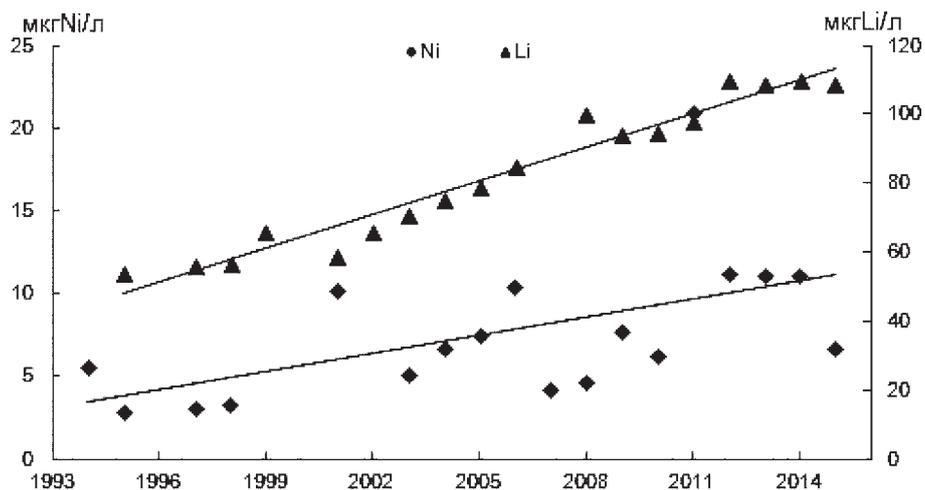


Рис. 5. Содержание лития и никеля в воде хвостохранилища в 1994–2015 гг.

Что касается органического вещества, то его содержание к настоящему времени существенно снизилось по сравнению с предыдущим периодом, судя по величине его косвенных показателей. Так, перманганатная окисляемость и цветность в 2015 г. составили 0,9 мгО/л и 4 град. против 3,2 и 29 в 1993 г. соответственно.

Содержание взвешенного вещества достаточно стабильное в зимний период и в среднем составляет 1,2 мг/л (рис. 4). В летний период 2007–2010 гг. наблюдалось повышение концентрации взвешенных веществ в среднем до 4,6 мг/л за счет гидродинамических процессов.

По сравнению с бессбросовым периодом эксплуатации хвостохранилища в 1995–2014 гг. отмечается тренд роста содержания лития (от 55 мкг/л в 1995 г. до 110 мкг/л в 2014 г.) и в меньшей степени никеля – в пределах 5–21 мкг/л (рис. 5). Содержание других микроэлементов (Cr, Cu) находится на уровне региональных фоновых величин.

Таким образом, в последнее десятилетие в воде хвостохранилища отмечается стабилизация ряда химических показателей (содержания нитратов, железа, взвешенных веществ и никеля), но продолжают расти концентрации калия, сульфатов и лития, а также наблюдается увеличение минерализации воды и уменьшение ее щелочности. Такая тенденция связана с многократным использованием воды хвостохранилища для водоснабжения комбината.

#### Изменение химического состава воды системы р. Кенти в многолетнем плане

Анализ многолетних данных показал, что с вводом в эксплуатацию Костомукшского ГОК произошли существенные изменения

и в химическом составе воды озера системы р. Кенти (табл. 5, 6). В период бессбросового режима эксплуатации хвостохранилища основное антропогенное влияние приходилось на оз. Окунево в результате поступления фильтрационных вод. Это отразилось в основном на повышении содержания минеральных компонентов, и в первую очередь ионов калия. К 1993 г.  $\Sigma_{и}$  в воде оз. Окунево достигла 360 мг/л. При этом снизилось содержание ОВ и возросло значение рН (7,4). В озерах Поппаллярви и Койвас также произошло увеличение минерализации, но в меньшей степени, чем в оз. Окунево. Водные объекты, расположенные ниже оз. Койвас, находились в состоянии, близком к естественному.

Начиная с 1994 г. основное антропогенное воздействие на систему р. Кенти стали оказывать попуски воды из хвостохранилища. К источникам техногенного влияния также можно отнести воды северо-западного канала, принимающего сток с отвалов вскрышных пород, а в последнее время и рудничные воды с Корпангского месторождения, которые поступают по Безымянному ручью в р. Корпангийоки, приток оз. Койвас. Определенный вклад в загрязнение системы вносит и южный канал.

Техногенное воздействие ограничивается системой р. Кенти и, благодаря значительному разбавлению вод в устье р. Кенти водами, поступающими из оз. Верхнее Куйто, почти не затрагивает оз. Среднее Куйто, поэтому ионный состав его воды не отличается от природного. Среднегодовой расход воды в устье р. Кенти составляет 263,1 млн м<sup>3</sup>/год, а с учетом стока из оз. В. Куйто – 352 млн м<sup>3</sup>/год.

Поступление техногенных вод при попусках воды из хвостохранилища в еще большей степени отразилось на минерализации воды и ее

Таблица 5. Некоторые показатели химического состава воды системы р. Кенти при ее естественном состоянии (1977–1978 гг.) и при бес сбросовом режиме эксплуатации хвостохранилища (1993 г.)

Озеро	1977–1978 гг.					1993 г.				
	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Σ <sub>и</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мгN/л	pH	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Σ <sub>и</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мгN/л	pH
	мг/л					мг/л				
Окуневое	1,2	5,3	24,5	<0,01	6,6	49	153	361	0,32	7,4
Поппалярви	2,0	7,0	23,7	<0,01	6,6	11	43	99	0,33	7,2
Койвас	2,4	5,7	20,3	<0,01	6,6	4	9	32	0,02	7,0
Кенто	2,1	5,5	18,3	-	6,6					
Ср. Куйто	-	-	21,3*	0,1*	6,0–6,98*					

Примечание. Здесь и в табл. 6: \*данные 1982–1983 гг. Прочерк – нет данных.

Таблица 6. Косвенные показатели содержания органического вещества в водоемах системы р. Кенти и оз. Среднее Куйто при их естественном состоянии (1977–1978 гг.) и при бес сбросовом режиме эксплуатации хвостохранилища (1993 г.)

Озеро	1977–1978 гг.				1993 г.		
	ПО	ХПК	БПК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	ЦВ, град.	ПО	БПК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	ЦВ, град.
	мгO/л				мгO/л		
Окуневое	10,9	19,8	0,7	51	11,2	0,6	64
Поппалярви	12,0	20,4	0,8	48	12,2	0,9	71
Койвас	10,0	17,3	0,9	39	10,1	0,8	48
Кенто	10,7	17,6	1,0	35			
Ср. Куйто	8,8*	18,7*	0,6*	44*			

ионном составе, чем это было до 1994 г. Так, Σ<sub>и</sub> в среднем (по данным 2001–2015 гг.) изменяется в пределах от 485 в оз. Окуневом до 121 мг/л в оз. Кенто, и только в оз. Ср. Куйто ее значение больше соответствует фоновым (25 мг/л).

В многолетнем плане наблюдается тренд роста минерализации воды системы р. Кенти (рис. 6). При этом соотношение главных ионов меняется мало в связи с тем, что воды системы разбавляются приточными водами с низкими

концентрациями веществ в них. Вода верхних озер (Окуневое, Поппалярви) относится к сульфатно-калиевому типу, а нижних (Койвас, Кенто) – к сульфатно-калиево-кальциевому. Вода оз. Ср. Куйто вблизи устья р. Кенти соответствует гидрокарбонатному классу группы кальция, магния, т. е. природному типу вод. Поступление вод из В. Куйто способствует разбавлению вод р. Кенти, что сказывается на минерализации воды (существенное ее снижение) и на соотношении ионов.

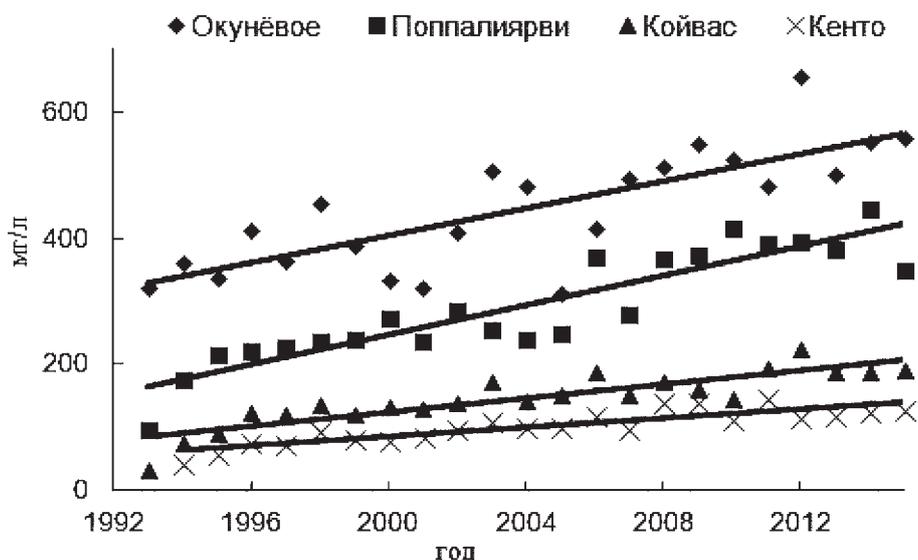


Рис. 6. Многолетняя динамика Σ<sub>и</sub> в водоемах системы р. Кенти

Таблица 7. Органическое и взвешенное вещество, pH, O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в водоемах системы р. Кенти в летний период 2010 г.

Озеро	ЦВ, град.	ПО, мгО/л	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	O <sub>2</sub> , % насыщ. (пов./дно)	CO <sub>2</sub> , мг/л (пов./дно)	pH (пов./дно)	Взв. в-во, мг/л
Окуневое	8	4,2	1,4	93/98	0/0,2	8,0/8,3	2,0
Поппалиярви	12	4,6	0,8	90/98	1,1/1,4	8,0/7,8	1,9
Койвас	20	6,0	0,4	84/84	3,4	7,1/7,5	1,7
Кенто	27	7,6	0,6	84/78	4,3	7,3/7,4	1,8
Ср. Куйто	30	7,7	0,6	84/84	3,5/4,0	6,9/6,8	1,9

Таблица 8. Органическое и взвешенное вещество, pH, O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в водоемах системы р. Кенти в зимний период 2014 г.

Озеро	ЦВ, град. Pt-Co шк.	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	ПО, мгО/л	O <sub>2</sub> , % насыщ.	CO <sub>2</sub> , мг/л	pH	Взв. в-во, мг/л
Окуневое (пов.)	70	0,9	7,3	91	5,2	7,4	1,0
Окуневое (5,0 м)	< 5	1,1	1,4	93	1,3	7,6	0,6
Поппалиярви (пов.)	44	0,7	8,1	73	9,1	7,3	0,6
Поппалиярви (7,0 м)	32	0,6	6,0	78	7,4	7,4	0,8
Койвас (пов.)	74	0,7	13,3	71	10,6	7,3	0,3
Койвас (11,0 м)	30	0,8	7,4	60	13,2	7,1	0,6
Кенто (пов.)	120	1,4	16,1	73	15,2	6,5	1,3
Кенто (15,0 м)	20	0,9	6,8	50	11,1	7,0	0,4
Ср. Куйто (пов.)	33	0,7	8,6	79	4,7	9,9	0,6
Ср. Куйто (10,0 м)	28	0,6	7,5	76	5,0	6,8	0,8

Если сравнить ионный состав воды озер системы р. Кенти со средневзвешенным техногенных вод, то можно констатировать, что воды озер Койвас и Кенто почти в точности соответствуют по средневзвешенному соотношению ионов техногенным водам. Верхние озера отличаются от последних повышенной эквивалентной долей K<sup>+</sup>. Озера Окуневое и Поппалиярви находятся под прямым влиянием попусков воды из хвостохранилища в связи с их малыми размерами и небольшим притоком с водосбора. Нижние озера, как более крупные, с учетом их замедленного водообмена по сравнению с верхними обладают большей консервативностью к изменению ионного состава воды.

Высокие концентрации ионов калия в водоемах обуславливают аномальное соотношение щелочных металлов и щелочно-земельных к щелочным, которое к настоящему времени выровнялось по системе и в среднем (за последние 10 лет) составляет 0,29 и 1,12 соответственно.

Анализируя многолетнюю динамику содержания K<sup>+</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> в воде системы р. Кенти, следует отметить тренд его увеличения по всем озерам системы.

Низкое содержание ОВ наблюдается в верхних озерах – приемниках техногенных вод, в нижних – сказывается влияние боковых притоков, и кон-

центрации ОВ выше (табл. 7, 8). В природном состоянии картина была другой. В верхних озерах, как более проточных, концентрация ОВ была выше, чем в нижних. Насыщение воды кислородом изменяется в пределах 78–98 %, концентрация CO<sub>2</sub> – 0,1–4,3 мг/л, взвешенных веществ – 1,7–2,0 мг/л в период открытой воды, а зимой – 50–93 %, 5,0–15,3 и до 1,3 мг/л соответственно. Значения pH колеблются от 8,3 в оз. Окуневом до 7,4 в оз. Кенто в период открытой воды, а в зимний период их величины ниже – 7,6 и 6,5 соответственно. Полученные данные по содержанию O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> и взвеси свидетельствуют, что попуски воды из хвостохранилища несущественно сказываются на газовом режиме водоемов и содержании взвешенных веществ. В то же время попуски способствуют повышению pH воды, но его величины находятся в пределах биологического оптимума pH (6,5–8,5).

В зимний период по всем водоемам системы отмечается стратификация химического состава воды, что связано с большим распространением техногенных вод, как более тяжелых, в придонных слоях, а речных вод с водосбора, как более легких, – в поверхностных. Так, цветность воды в оз. Окуневом у дна была <5 град., а на поверхности – 70, в оз. Кенто – 20 и 120 град. соответственно. Кроме того, поверхностные слои воды системы р. Кенти отличаются

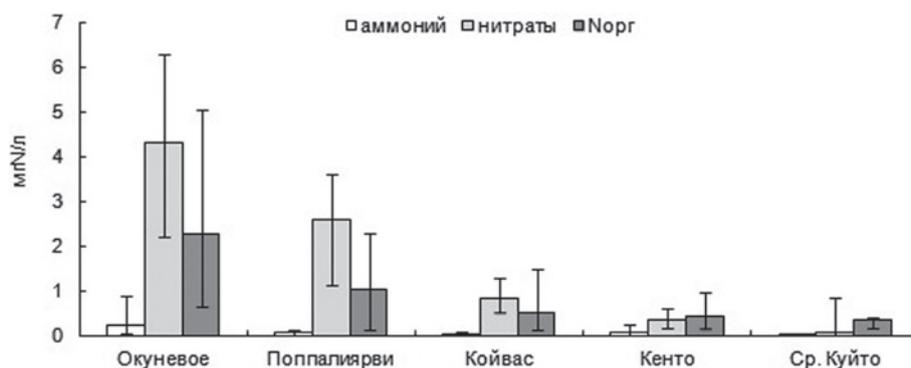


Рис. 7. Концентрация азотсодержащих соединений в водоемах системы р. Кенти и оз. Среднее Куйто (2001–2015 гг.)

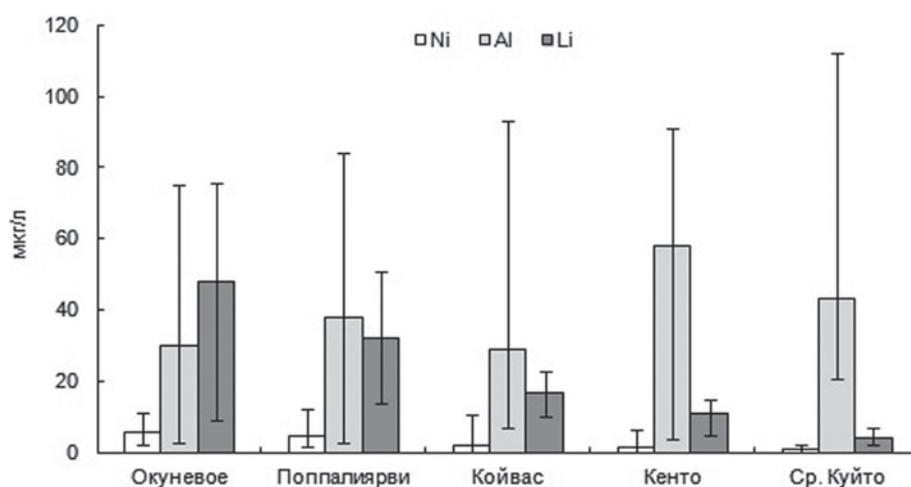


Рис. 8. Содержание микроэлементов в системе р. Кенти и оз. Среднее Куйто (2001–2015 гг.)

большими величинами ПО (6,0–16,1 мгО/л), тогда как в придонных эти значения снижаются и могут достигать 1,4 мгО/л, как это имело место в оз. Окуневое.

Вторым последствием техногенного влияния является азотное загрязнение системы р. Кенти. Анализ среднемноголетнего содержания нитратов позволил выявить закономерное уменьшение их концентраций от верхних озер системы к нижним (рис. 7). Среди азотсодержащих веществ  $\text{NO}_3^-$  являются доминирующими, и только к нижнему течению р. Кенти и в оз. Ср. Куйто на первое место выходит  $\text{N}_{\text{орг}}$ , что является типичным для поверхностных вод Карелии. Следует отметить, что в самой системе содержание  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_2^-$  достаточно низкое. Вода реки хорошо насыщена кислородом, и процессы нитрификации в ней идут как в природных водах, без каких-либо отклонений.

Следует отметить, что в многолетнем плане содержание нитратов в воде верхних озер (Окуневое, Поппаллярви) системы р. Кенти имеет тенденцию роста, тогда как в нижних (Койвас, Кенто) оно относительно стабильно.

Микроэлементный состав, за исключением лития и никеля, полностью соответствует природным фоновым показателям. Концентрации Li и Ni закономерно уменьшаются от верхних озер к нижним за счет разбавления приточными водами, а концентрация алюминия – напротив, растет (рис. 8). Последнее связано с его большим поступлением с приточными водами, имеющими слабокислую реакцию среды.

Анализируя многолетнюю динамику содержания Li и Ni в системе р. Кенти (рис. 9), следует отметить тренд увеличения концентрации Li по всем озерам, тогда как концентрация Ni изменяется в меньшей степени.

Таким образом, попуски воды из хвостохранилища привели к еще большим изменениям химического состава воды системы р. Кенти, и наиболее существенно это отразилось на величине минерализации, содержании калия, сульфатов, нитратов, лития и никеля. Техногенное влияние закономерно уменьшается к устью р. Кенти за счет боковой приточности и мало проявляется в оз. Ср. Куйто.

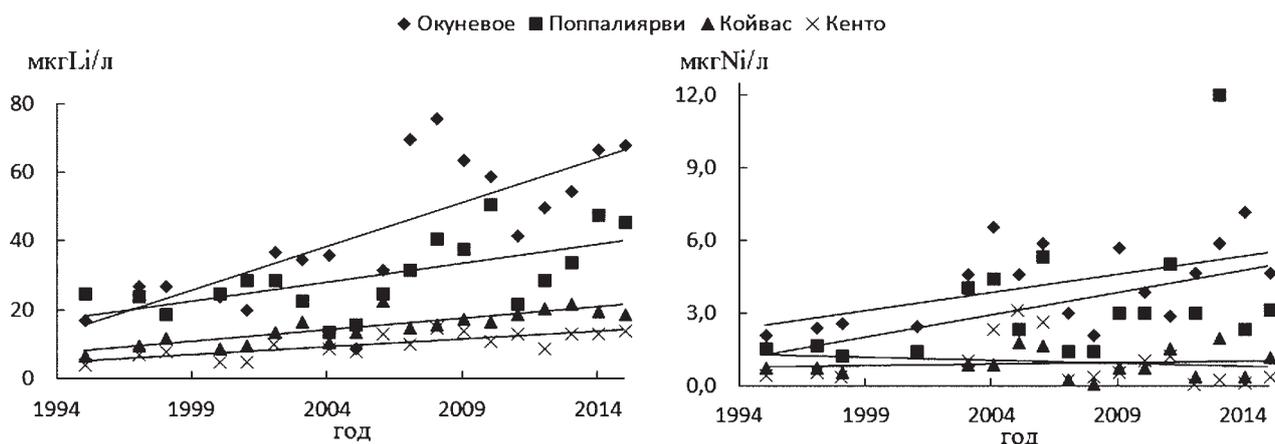


Рис. 9. Многолетняя динамика содержания Li и Ni в водоемах системы р. Кенти

### Характеристика загрязненности водоемов системы р. Кенти и оз. Среднее Куйто

На основании анализа многолетней изменчивости химического состава воды хвостохранилища и системы р. Кенти установлено, что показателями, в наибольшей степени отражающими антропогенное влияние Костомукшского ГОК, являются величина минерализации воды, соотношение главных катионов, содержание  $K^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ , Ni и Li.

С использованием приоритетных показателей загрязнения воды ( $K^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ , Li, Ni) проведена оценка загрязненности хвостохранилища, системы р. Кенти и оз. Ср. Куйто путем расчета индекса загрязнения воды с использованием общероссийских ПДК (ИЗВ) и региональных ПДК (ИЗВ<sub>рег</sub>) [Лозовик, Кулакова, 2014] согласно методическим рекомендациям [Временные..., 1986]. Расчет ИЗВ выполнялся по следующей формуле:  $ИЗВ = 1/n \sum \frac{C_i}{ПДК_i}$ , где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го компонента,  $ПДК_i$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го компонента,  $n$  – количество показателей.

Наряду с ИЗВ был выполнен расчет ИЗВ<sub>рег</sub>, который осуществлялся по аналогичной формуле, но с использованием региональных предельно допустимых концентраций (РПДК). В РПДК учитывается не только ПДК, но и региональный геохимический фон элементов [Лозовик, Платонов, 2005]. В качестве ПДК элементов использовались следующие значения:  $K^+$  – 50 мг/л,  $SO_4^{2-}$  – 100 мг/л,  $NO_3^-$  – 9,1 мгN/л, Li – 80 мкг/л, Ni – 10 мкг/л [Перечень..., 1999]. РПДК рассчитывалось как среднегеометрическое значение ПДК элемента и его фоновой концентрации. Значения РПДК для вышеуказанных веществ составляют:  $K^+$  –

5 мг/л,  $SO_4^{2-}$  – 16 мг/л,  $NO_3^-$  – 0,3 мгN/л, Li – 6,3 мкг/л, Ni – 2,2 мкг/л.

Дополнительно к расчету ИЗВ выполнялись вычисления комбинаторного индекса загрязненности (КИЗВ) и удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ), а также количества показателей, по которым наблюдается наибольшая степень загрязненности воды (КПЗ), алгоритм их расчета предложен в РД 52.24.643–2002. Расчет комбинаторных индексов производился по содержанию  $O_2$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $K^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ , Ni,  $Fe_{общ}$ , Mn, Li, Al, Cu и величине БПК<sub>5</sub>.

Расчет индексов загрязненности произведен для различных периодов: 1995 г. – когда начались пуски воды из хвостохранилища в систему р. Кенти, а также 2011–2015 гг. (КИЗВ, УКИЗВ), 2015 г. – ИЗВ и ИЗВ<sub>рег</sub>.

По ИЗВ (табл. 9), полученным для 1995 г., к категории «чистых» относятся хвостохранилище и все водоемы системы р. Кенти, за исключением оз. Кенто, которое, как и оз. Ср. Куйто, – «очень чистое».

По региональным ПДК картина загрязненности иная. Хвостохранилище являлось «очень грязным», оз. Окунево, Поппалярви – «грязное», оз. Койвас – «умеренно загрязненное», оз. Кенто, Ср. Куйто – «чистое». В 2015 г. загрязненность водоемов изменилась. Согласно полученным ИЗВ, хвостохранилище, озера Окунево и Кенто превратились в «умеренно загрязненные», тогда как озера Поппалярви, Койвас и Ср. Куйто сохранили свой статус. По региональным ПДК хвостохранилище и оз. Окунево стали «чрезвычайно грязными», оз. Поппалярви – «очень грязным», Койвас, Кенто – «загрязненными», а оз. Ср. Куйто сохранило свою категорию «чистого» водоема.

Полученные КИЗВ и УКИЗВ (табл. 9) также отражают закономерное изменение

Таблица 9. ИЗВ, ИЗВ<sub>пер</sub>, КИЗВ и УКИЗВ хвостохранилища, системы р. Кенти и оз. Среднее Куйто в разные годы

Объект	ИЗВ	ИЗВ <sub>пер</sub>	КИЗВ	УКИЗВ	КПЗ
	1995 г.				
Хвостохранилище	0,9	9,6	36,8	2,8	2 (Fe, Al)
Оз. Окуневое	0,5	4,4	25,8	2,0	2 (Fe, Mn)
Оз. Поппалиярви	0,5	4,9	21,4	1,6	0
Оз. Койвас	0,2	1,7	16,4	1,3	0
Оз. Кенто	0,1	0,8	20,8	1,6	1 (Mn)
Оз. Ср. Куйто	0,04	0,2	8,0	0,6	0
	2015 г.		2011–2015 гг.		
Хвостохранилище	1,7	17,1	67,7	4,8	3 (Fe, Mn, Cu)
Оз. Окуневое	1,4	13,7	48,4	3,5	3 (Fe, Mn, Cu)
Оз. Поппалиярви	0,9	9,1	46,2	3,3	3 (Fe, Mn, Cu)
Оз. Койвас	0,4	4,0	29,6	2,1	2 (Mn, Cu)
Оз. Кенто	1,3	2,4	36,8	2,6	3 (Fe, Mn, Cu)
Оз. Ср. Куйто	0,1	0,4	28,8	2,1	2 (Mn, Cu)

загрязненности хвостохранилища и водоемов системы р. Кенти в многолетнем плане. В 1995 г. хвостохранилище относилось к категории «загрязненное», водоемы системы р. Кенти являлись «слабо загрязненными», а оз. Ср. Куйто было «условно чистое», тогда как к 2015 г. хвостохранилище стало характеризоваться как «грязное», оз. Окуневое, Поппалиярви – «очень загрязненное», оз. Койвас, Кенто и даже Ср. Куйто – «загрязненное». Среди КПЗ в водоемах в основном выявлены Fe, Mn и Cu, отражающие региональную специфику вод, а не их загрязнение.

## Заключение

Анализ многолетних гидрохимических материалов (1970–2015 гг.) показал, что в результате функционирования Костомукшского ГОК произошли существенные изменения в химическом составе воды его хвостохранилища и системы р. Кенти по сравнению с природным состоянием.

В воде хвостохранилища увеличилось содержание большинства минеральных компонентов, особенно  $K^+$ ,  $SO_4^{2-}$ , а также  $NO_3^-$ , наблюдаются низкие концентрации Fe, Mn, Al,  $NH_4^+$ , но повышенные Li и Ni. В то же время отмечается тенденция уменьшения концентрации  $HCO_3^-$ .

Наибольшее воздействие на систему р. Кенти оказывают попуски воды из хвостохранилища, которые осуществляются с 1994 г. в среднегодовом объеме 13,1 млн м<sup>3</sup>/год, что привело к росту величины минерализации, содержания калия, сульфатов, нитратов, лития и никеля по всем водоемам системы. По системе р. Кенти от верхних озер к нижним

отмечается закономерное снижение всех показателей за счет разбавления, тогда как концентрация алюминия, напротив, возрастает, и это связано с его поступлением с водосборной территории с приточными водами, имеющими слабокислую реакцию среды. В то же время по сравнению с природным состоянием уменьшилось содержание ОВ в связи с низким их количеством в техногенных водах. Следует отметить, что антропогенное влияние фактически не затрагивает оз. Среднее Куйто благодаря большому разбавляющему эффекту вод, поступающих в устье р. Кенти из оз. Верхнее Куйто.

Оценка загрязненности хвостохранилища и водоемов системы р. Кенти, выполненная для различных периодов функционирования комбината, показала ее возрастание в многолетнем плане. Результаты расчетов индексов загрязненности воды по региональным ПДК дали высокую степень загрязнения хвостохранилища и верхних озер системы (до уровня «чрезвычайно грязных») и более низкую – нижних (в пределах «загрязненных»). Согласно расчетам КИЗВ и УКИЗВ по РД 52.24.643–2002 выявлено наибольшее загрязнение вод Fe, Mn и Cu, но оно не связано с антропогенным влиянием, а отражает региональную специфику вод.

*Авторы выражают глубокую благодарность к. т. н. М. Б. Зобкову и М. В. Калмыкову за помощь в сборе гидрохимического материала.*

## Литература

*Влияние техногенных вод горно-обогатительного комбината на водоемы системы реки Кенти / Под*

ред. В. И. Кухарева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1995. 100 с.

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

*Дубровина Л. В., Калинкина Н. М., Лозовик П. А.* Факторы токсичности для гидробионтов техногенных вод Костомукшского ГОКа // Влияние техногенных вод горно-обогатительного комбината на водоемы системы реки Кенти. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1995. С. 15–25.

*Кулакова Н. Е., Лозовик П. А.* Экспериментальное выщелачивание руды Костомукшского и Корпангского железорудных месторождений // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 98–102.

*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.

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

*Лозовик П. А.* Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: автореф. дис. ... докт. хим. наук. М., 2006. 56 с.

*Лозовик П. А., Калмыков М. В., Дубровина Л. В.* Водоемы района Костомукши. Озерно-речная система Кенти. Химический состав техногенных вод // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 100–106.

*Лозовик П. А., Калмыков М. В.* Водоемы района Костомукши. Озерно-речная система Кенти. Химический состав воды озерно-речной системы р. Кенти // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 106–112.

*Лозовик П. А., Калмыков М. В., Кулакова Н. Е.* Многолетняя динамика изменения режима системы р. Кенти под влиянием техногенных вод Костомукшского ГОКа // Материалы III Всероссийской конференции «Экологические проблемы Северных регионов и пути их решения». Апатиты: КНЦ РАН, 2010. Часть 1. С. 203–208.

*Лозовик П. А., Кулакова Н. Е.* Методические подходы к оценке водных объектов в зоне действия предприятий горнодобывающей промышленности // Водные ресурсы. 2014. № 4. С. 429–438. doi: 10.7868/S0321059614040117

*Межлабораторное сличение* результатов анализа органического вещества и биогенных элементов в природных водах. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 66 с.

*Морозов А. К.* Водоемы района Костомукши. Озерно-речная система Кенти. Химический состав воды // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга

1992–1997 гг. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1998. С. 129–133.

*Озера Карелии.* Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

*Пальшин Н. И., Сало Ю. А., Кухарев В. И.* Влияние Костомукшского ГОКа на экосистему р. Кенти. Гидрологические и гидрохимические аспекты // Исследование и охрана водных ресурсов бассейна Белого моря (в границах Карелии). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1994. С. 140–161.

*Перечень* рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 303 с.

*Поверхностные воды* Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2001. 165 с.

*РД 52.24.643–2002.* Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Росгидромет. Ростов-на-Дону, 2002. 50 с.

*Руководство* по химическому анализу поверхностных вод суши / Ред. Л. В. Боевой. Ростов-на-Дону: НОК, 2009. Часть 1. 1044 с.

*Феоктистов В. М., Ипатов Р. Г.* О химическом составе воды верхнего участка системы р. Кенти // Исследование некоторых элементов экосистемы Белого моря и его бассейна: опер.-информ. материалы. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1985. С. 45–47.

*Феоктистов В. М., Морозов А. К.* О содержании микроэлементов в водотоках Костомукшского железорудного месторождения // Исследование некоторых элементов экосистемы Белого моря и его бассейна: опер.-информ. материалы. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1985. С. 48–50.

*Феоктистов В. М., Сало Ю. А.* Режим эксплуатации хвостохранилища Костомукшского ГОКа. Практические рекомендации. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1990. 42 с.

*Феоктистов В. М., Тимакова Т. М., Калугин А. И.* Влияние Костомукшского ГОКа на водную систему Кенти – Кенто // Водные ресурсы Карелии и экология. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1992. С. 63–78.

*Харкевич Н. С., Фрейндлинг В. А., Басов М. И.* Современный гидрологический и гидрохимический режим вод бассейна р. Кенти: опер.-информ. материалы. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1980. С. 25–28.

*Харкевич Н. С., Митина И. Ф.* Об изменениях в химическом составе воды озер бассейна р. Кенти в связи с антропогенным воздействием // Исследования Онежской губы и водоемов бассейна Белого моря: опер.-информ. материалы. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1984. С. 20–22.

*Intercomparison 1529:* pH, Conductivity, Alkalinity, NO<sub>3</sub>-N, Cl, SO<sub>4</sub>, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni, and Zn // Norwegian Institute for Water Research, Oslo. September 2015. 86 p.

Поступила в редакцию 11.02.2016

## References

- Dubrovina L. V., Kalinkina N. M., Lozovik P. A. Faktory toksichnosti dlya gidrobiontov tekhnogennyh vod Kostomukshskogo GOKa [Potential toxic factors of wastewater from the Kostomuksha iron-ore mining and concentration mill for aquatic organisms]. Vliyanie tekhnogennyh vod gorno-obogatitel'nogo kombinata na vodoemy sistemy reki Kenti [The effect of wastewater from iron-ore mining and concentration mill on water bodies of the Kenti River system]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1995. P. 15–25.
- Feoktistov V. M., Ipatova R. G. O himicheskom sostave vody verhnego uchastka sistemy r. Kenti [On the chemical composition of water in the upper Kenti River system]. Issledovanie nekotoryh elementov ekosistemy Belogo morya i ego bassejna. Oper.-inform. materialy [Study of some elements of the ecosystem of the White Sea and its basin. Substantive information materials]. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1985. P. 45–47.
- Feoktistov V. M., Morozov A. K. O sodержanii mikroelementov v vodotokah Kostomukshskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya [Trace element content in the watercourses of the Kostomuksha iron-ore deposit]. Issledovanie nekotoryh elementov ekosistemy Belogo morya i ego bassejna: oper.-inform. materialy [Study of some elements of the ecosystem of the White Sea and its basin. Substantive information materials]. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1985. P. 48–50.
- Feoktistov V. M., Salo Yu. A. Rezhim ehkspluatatsii hvostohranilishcha Kostomukshskogo GOKa. Prakticheskie rekomendatsii [Operational mode of tailings pond of the Kostomuksha mining and processing plant. Practical recommendations]. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1990. 42 p.
- Feoktistov V. M., Timakova T. M., Kalugin A. I. Vliyanie Kostomukshskogo GOKa na vodnyu sistemu Kenti – Kento [The effect of the Kostomuksha iron-ore mining and concentration mill on the Kenti-Kento system]. Vodnye resursy Karelii i ekologiya [Karelian water resources and ecology]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1992. P. 63–78.
- Harkevich N. S., Frejndling V. A., Basov M. I. Sovremennyy gidrologicheskij i gidrohimicheskij rezhim vod bassejna r. Kenti: oper.-inform. materialy [Current hydrological and hydrochemical condition of the Kenti River basin. Express information materials]. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1980. P. 25–28.
- Harkevich N. S., Mitina I. F. Ob izmeneniyah v himicheskom sostave vody ozer bassejna r. Kenti v svyazi s antropogennym vozdejstviem [On changes in chemical composition of water in the lakes of the Kenti River basin under anthropogenic load]. Issledovaniya Onezhskoj guby i vodoemov bassejna Belogo morya: oper.-inform. materialy [Studies of Onega Bay and water bodies of the White Sea basin. Express information materials]. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1984. P. 20–22.
- Kulakova N. E., Lozovik P. A. Ehksperimental'noe vyshchelachivanie rudy Kostomukshskogo i Korpangskogo zhelezorudnyh mestorozhdenij [Experimental leaching of ore from the Kostomuksha and Korpanga iron ore deposits]. Trudy KarNTs RAN [Trans. KarRC RAS]. 2011. No. 4. P. 98–102.
- Kulakova N. E., Lozovik P. A. Analiz vliyaniya Kostomukshskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata na okruzhayushchuyu sredu s uchetom prirodno-tekhnogennyh faktorov formirovaniya i transformatsii vod [Kostomuksha mining and processing plant impact on the environment: natural and man-made factors in the formation and transformation of waters]. Voda: himiya i ekologiya [Water: chemistry and ecology]. 2012. No. 2. P. 18–25.
- Lozovik P. A., Platonov A. V. Opredelenie regional'nyh predel'no dopustimyh koncentracij zagryaznyayushchih veshchestv na primere Karel'skogo gidrograficheskogo rajona [Determination of regional maximum permissible concentrations of pollutants by the example of Karelia hydrographic region]. Geoekologiya [Geoecology]. 2005. No. 6. P. 527–532.
- Lozovik P. A. Gidrogeohimicheskie kriterii sostoyaniya poverhnostnyh vod gumidnoj zony i ih ustojchivosti k antropogennomu vozdejstviyu [Hydrogeochemical criteria of the condition of surface water in the humid zone and its resistance to anthropogenic impact]: Summary of PhD (Dr. of Chem.) thesis. Moscow, 2006. 56 p.
- Lozovik P. A., Kalmykov M. V., Dubrovina L. V. Vodoemy rajona Kostomukshi. Ozero-rechnaya sistema Kenti. Himicheskij sostav tekhnogennyh vod [Water bodies of the Kostomuksha area. The Kenti lake-river system. Chemical composition of wastewater]. Sostoyanie vodnyh ob'ektov Respubliki Kareliya. Po rezul'tatam monitoringa 1998–2006 gg. [The state of water bodies of the Republic of Karelia by the results of monitoring in 1998–2006]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2007. P. 100–106.
- Lozovik P. A., Kalmykov M. V. Vodoemy rajona Kostomukshi. Ozero-rechnaya sistema Kenti. Himicheskij sostav vody ozerno-rechnoj sistemy r. Kenti [Water bodies of the Kostomuksha area. The Kenti lake-river system. Chemical composition of water in the lake-river system of the Kenti River]. Sostoyanie vodnyh ob'ektov Respubliki Kareliya. Po rezul'tatam monitoringa 1998–2006 gg. [The state of water bodies of the Republic of Karelia by the results of monitoring in 1998–2006]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2007. P. 106–112.
- Lozovik P. A., Kalmykov M. V., Kulakova N. E. Mnogoletnyaya dinamika izmeneniya rezhima sistemy r. Kenti pod vliyaniem tekhnogennyh vod Kostomukshskogo GOKa [Long-term dynamics of the Kenti River system regime effected by the wastewater of the Kostomuksha iron-ore mining and concentration mill]. Materialy III Vserossijskoj konferencii "Ehkologicheskie problemy Severnyh regionov i puti ih resheniya" [Proc. 3<sup>rd</sup> all-Russian conf. "Ecological problems of Northern regions and ways of their solution"]. Apatity: KNC RAN, 2010. Part. 1. P. 203–208.
- Lozovik P. A., Kulakova N. E. Metodicheskie podkhody k otsenke vodnykh ob'ektov v zone deistviya predpriyatii gornodobyvayushchei promyshlennosti [Methodological approaches to pollution assessment in water bodies within the operation zone of mining plants]. Vodnye resursy [Water Resources]. 2014. Vol. 4, no. 4. P. 464–472. doi: 10.7868/S0321059614040117
- Mezhlaboratornoe slichenie rezul'tatov analiza organicheskogo veshchestva i biogennyh elementov v prirodnyh vodah [Interlaboratory comparison of results of chemical analysis of organic substances and biogenic elements in natural waters]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2015. 66 p.

Morozov A. K. Vodoemy rajona Kostomukshi. Ozero-rechnaya sistema Kenti. Himicheskij sostav vody [Water bodies of the Kostomuksha area. The Kenti lake-river system. Chemical composition of water]. Sovremennoe sostoyanie vodnyh ob'ektov Respubliki Kareliya. Po rezul'tatam monitoringa 1992–1997 gg, [Present-day state of water bodies of the Republic of Karelia by the results of monitoring in 1992–1997]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1998. P. 129–133.

Ozera Karelii. Spravochnik [Lakes of Karelia. Reference book]. Eds N. N. Filatov, V. I. Kukharev. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2013. 464 p.

Pal'shin N. I., Salo Yu. A., Kuharev V. I. Vliyanie Kostomukshskogo GOKa na ekosistemu r. Kenti. Gidrologicheskie i gidrohimicheskie aspekty [The effect of the Kostomuksha iron-ore mining and concentration mill on the ecosystem of the Kenti River. Hydrological and hydrochemical aspects]. Issledovanie i ohrana vodnyh resursov bassejna Belogo morya (v granicah Karelii) [Study and conservation of water resources of the White Sea basin (within the boundaries of Karelia)]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1994. P. 140–161.

Perechen' rybohozyajstvennyh normativov: predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) i orientirovano bezopasnyh urovnej vozdejstviya (OBUV) vrednyh veshchestv dlya vody vodnyh ob'ektov, imeyushchih rybohozyajstvennoe znachenie [Guidelines for fishery regulations: maximum permissible concentrations (MPCs) and approximately safe impact levels (ASILs) of pollutants for water and aquatic objects of fishery importance]. Moscow: VNIRO, 1999. 303 p.

Poverhnostnye vody Kaleval'skogo rajona i territorii Kostomukshi v usloviyah antropogennogo vozdejstviya [Surface waters of the Kalevala and Kostomuksha areas under anthropogenic influence]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2001. 165 p.

RD 52.24.643–2002. Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagryaznennosti poverhnostnyh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam [The method for integral assessment of the degree of surface water pollution based on hydrochemical parameters]. Rostov-na-Donu, 2002. 50 p.

Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushi [Guidelines for chemical analysis of surface waters]. Ed. L. V. Boevoy. Rostov-na-Donu: NOK, 2009. 1044 p.

Vliyanie tekhnogennyh vod gorno-obogatitel'nogo kombinata na vodoemy sistemy reki Kenti [The effect of wastewater from the iron-ore mining and concentration mill on water bodies of the Kenti River system]. Ed. V. I. Kuharev. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1995. 100 p.

Vremennye metodicheskie ukazaniya po kompleksnoj ocenke kachestva poverhnostnyh i morskikh vod [Temporary methodological instructions on integrated assessment of quality of surface and sea waters]. Approved by the USSR Goskomgidromet 22.09.1986 g. № 250–1163. Moscow, 1986. 5 p.

Intercomparison 1529: pH, Conductivity, Alkalinity, NO<sub>3</sub>-N, Cl, SO<sub>4</sub>, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni, and Zn. Norwegian Institute for Water Research, Oslo. September 2015. 86 p.

Received February 11, 2016

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Лозовик Петр Александрович

зав. лабораторией гидрохимии и гидрогеологии, д. х. н.  
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030  
эл. почта: lozovik@nwpi.krc.karelia.ru  
тел.: (8142) 576541

### Галахина Наталья Евгеньевна

младший научный сотрудник лаб. гидрохимии и гидрогеологии  
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030  
эл. почта: kulakovanata@mail.ru  
тел.: (8142) 576541

## CONTRIBUTORS:

### Lozovik, Petr

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: lozovik@nwpi.krc.karelia.ru  
tel.: (8142) 576541

### Galahina, Natal'ja

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: kulakovanata@mail.ru  
tel.: (8142) 576541