

ГИДРОХИМИЯ И ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

УДК 556.531.4:553.31

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В РАЙОНЕ КОРПАНГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Н. Е. Галахина, П. А. Лозовик

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, ФИЦ КарНЦ РАН,
Петрозаводск, Россия*

Рассмотрено изменение химического состава поверхностных вод, испытывающих влияние разрабатываемого Корпангского месторождения железных руд Костомукшского горно-обогатительного комбината. Установлено, что загрязнение водных объектов, находящихся в зоне его воздействия, происходит более быстрыми темпами по сравнению с Костомукшским месторождением. Отмечается тренд роста минерализации и содержания K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li и Ni в поверхностных водах. Дана оценка загрязненности водных объектов на основе общероссийских и региональных ПДК.

Ключевые слова: антропогенное воздействие; горнодобывающая промышленность; водные объекты; загрязнение; техногенные воды.

N. E. Galakhina, P. A. Lozovik. CHANGES IN SURFACE WATER CHEMICAL COMPOSITION AT KORPANGSKOYE IRON ORE DEPOSIT

The article describes the changes in the chemical composition of surface waters under the impact of the exploited Korpangskoye iron ore deposit of the Kostomuksha mining and processing plant. The rate of contamination of the water bodies within its impact zone was found to be higher than at the Kostomukshskoye iron ore deposit. There has been a growing trend in mineralization and the content of K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li and Ni in the surface waters. Contamination of the water bodies was assessed against national and regional maximum permissible concentrations.

Keywords: human impact; mining industry; water bodies; pollution; technogenic waters.

Введение

Горнодобывающая железорудная промышленность является одной из ведущих отраслей в Российской Федерации. Для нее характерно существенное влияние на окружающую среду

в связи с добычей полезных ископаемых, складированием вскрышных пород, проведением буровзрывных работ, созданием хвостохранилищ и наличием техногенных вод. В европейской части России крупными горно-обогатительными комбинатами (ГОК) являются Оле-

негорский, Ковдорский (Мурманская область), Михайловский (Курская область), Лебединский (Белгородская область) и Костомукшский (Карелия) [Калабин и др., 2002]. Ранее [Кулакова, Лозовик, 2012б] было подробно рассмотрено влияние Костомукшского ГОКа на водные объекты системы р. Кенти, в которую поступают техногенные воды комбината, деятельность которого связана с добычей и переработкой железистых кварцитов Костомукшского и Корпангского месторождений в железорудные окатыши. Цель данной работы заключалась в оценке воздействия Корпангского месторождения, разрабатываемого с 2007 г., на водные объекты, находящиеся в зоне его влияния.

Объекты и методы исследований

Для оценки влияния Корпангского месторождения на водную среду проводились наблюдения на водных объектах трех озерно-речных систем: Корпангийоки (бассейн оз. Среднее Куйто), Ливойоки и Тохтуринйоки (бассейн оз. Верхнее Куйто), расположенных на севере Республики Карелия (рис. 1). В табл. 1 приведены гидрологические характеристики этих систем. Значения длины рек и площади их водосборов взяты из [Гидрологическая..., 1965]. Расходные характеристики определены расчетным путем методом аналогии с использованием карт средне-многолетнего стока [Филатов и др., 2016].

В основу работы положены многолетние гидрохимические материалы (2007–2015 гг.), собранные в результате исследований водоемов района Костомукши. Химические анализы воды выполнялись по аттестованным методикам [Аналитические..., 2017; Руководство..., 2009, 2012] в лаборатории гидрохимии и гидрологии 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» [Лозовик, 2015], проведенного лабораторией в 2015 г.

Оценку загрязненности вод проводили путем расчета индекса загрязнения воды (ИЗВ) с использованием общероссийских предельно допустимых концентраций (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов, в соответствии с методическими рекомендациями [Временные..., 1986], и регионального индекса загрязненности воды (РИЗВ) с учетом региональных ПДК

Таблица 1. Гидрологические показатели речных систем Корпангийоки, Ливойоки и Тохтуринйоки

Table 1. Hydrologic indexes of the river systems Korpangiyoki, Livoyoki and Tokhturinyoki

Река River	L, км km	F _{в.с.} ¹ км ² km ²	W _{ст.} ¹ км ³ km ³	M, л/ сек·км ² l/sec·km ²	Q, м ³ /сек m ³ /sec
Корпангийоки Korpangiyoki	13	83,3	0,026	10,0	0,83
Ливойоки Livoyoki	78	714	0,29	13,0	9,28
Тохтуринйоки Tokhturinyoki	20	123	0,048	12,5	1,54

(РПДК): $РИЗВ = \frac{1}{n} \sum \frac{C_i}{РПДК_i}$. 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, SO₄²⁻ – 100 мг/л, NO₃⁻ – 9,1 мгN/л, NH₄⁺ – 0,5 мгN/л, Li – 80 мкг/л, Ni – 10 мкг/л [ГН 2.1.5.1315–03].

РПДК рассчитывались как среднегеометрическое значение ПДК элемента и его фоновой концентрации, и их величины для вышеуказанных веществ составляют: K⁺ – 5 мг/л, SO₄²⁻ – 16 мг/л, NO₃⁻ – 0,3 мгN/л, NH₄⁺ – 0,1 мгN/л, Li – 6,3 мкг/л, Ni – 2,2 мкг/л. Ранее [Лозовик, Кулакова, 2014] было обосновано, что расчет ИЗВ водных объектов в зоне действия предприятий железорудной промышленности целесообразнее проводить с учетом приоритетных показателей, отражающих загрязненность воды. В нашем случае к ним относятся: K⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, Li, Ni. Оценку загрязненности водных объектов в районе Корпангского месторождения по ИЗВ и РИЗВ проводили с использованием данных 2015 г., поскольку они отличались наибольшими значениями.

Дополнительно выполнялись вычисления комбинаторного индекса загрязненности воды (КИЗВ) и удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ), а также определялись критические показатели загрязненности воды (КПЗ), алгоритм расчета которых предложен в [РД 52.24.643–2002]. Расчет комбинаторных индексов проводился с учетом как ПДК, так и РПДК с использованием данных по содержанию O₂, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, K⁺, SO₄²⁻, Ca²⁺, Cl⁻, Mg²⁺, Na⁺, Ni, Fe_{общ}, Mn, Li, Cu и величине БПК₅, полученных в результате ежегодных зимних наблюдений за период 2011–2015 гг.

Химический состав рудничных вод западного карьера Корпангского месторождения

Рудничные воды Корпангского месторождения с 2013 г. поступают в основном в р. Кор-



Рис. 1. Карта-схема водных объектов района Костомукши: 1 – ручей Безымянный, 2 – р. Корпангийоки (исток), 3 – р. Корпангийоки (нижнее течение), 4 – р. Корпангийоки (устье), 5 – р. Толлойоки, 6 – протока В. Пиенжунги – Н. Пиенжунги, 7 – р. Тохтуринйоки, 8 – р. Ливо (ниже оз. Полвиярви), 9 – р. Ливо (выше оз. Полвиярви), 10 – р. Полвиярвийоки

Fig. 1. Schematic map of the water bodies in Kostomuksha district: 1 – Unnamed stream, 2 – River Korpangiyoki (headstream), 3 – River Korpangiyoki (downstream), 4 – River Korpangiyoki (river outlet), 5 – River Tolloyoki, 6 – Channel Verkhni Pienzhungi – Nizhni Pienzhungi, 7 – River Tokhturinyoki, 8 – River Livo (downstream from Lake Polviyarvi), 9 – River Livo (upstream from Lake Polviyarvi), 10 – River Polviyarviyoki

пангийоки и частично в р. Ливойоки. Их общий объем составляет около 11 млн м³ в год. Они существенно отличаются от рудничных вод Костомукшского месторождения. Их главная особенность – ионный состав: среди анионов

доминируют Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ (по данным 2015 г.), что является отражением как техногенного влияния (наличие NO₃⁻), так и природных особенностей подземных вод, поступающих в карьер. В многолетнем плане в составе рудничной

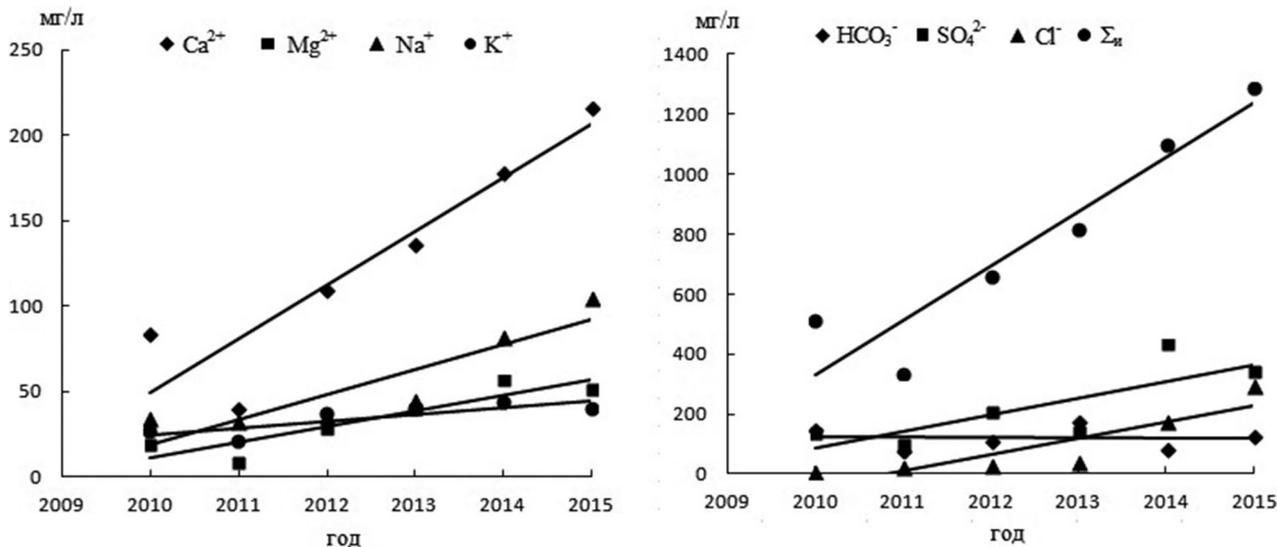


Рис. 2. Изменение минерализации и ионного состава рудничной воды западного карьера Корпангского месторождения

Fig. 2. Change of mineralization and ionic composition of the mine water at the Western open-pit mine of the Korpangskoye deposit

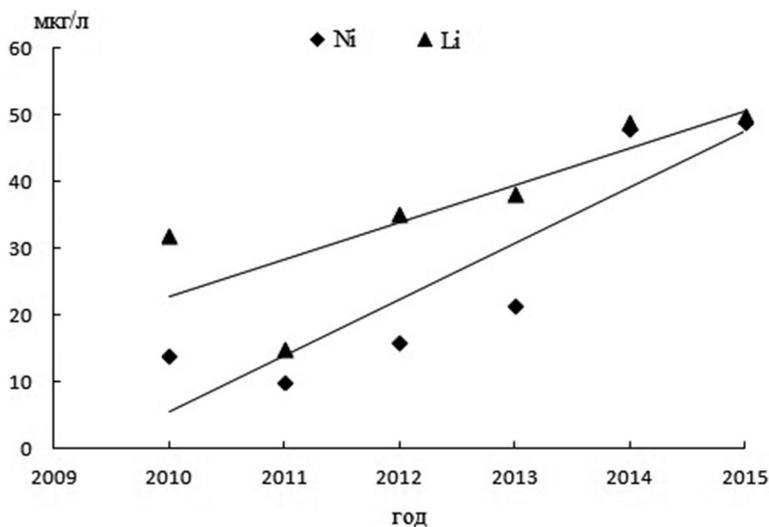


Рис. 3. Динамика содержания Ni и Li в рудничной воде западного карьера Корпангского месторождения

Fig. 3. Dynamics of the Ni and Li content in the mine water at the Western open-pit mine of the Korpangskoye deposit

воды наблюдается тренд роста минерализации ($\Sigma_{и}$) воды и всех главных ионов, за исключением гидрокарбонатов, концентрация которых постепенно снижается (рис. 2), что было характерно и для хвостохранилища Костомукшского ГОКа [Лозовик, Галахина, 2017].

Второй отличительной особенностью рудничных вод западного карьера является высокое содержание азотсодержащих веществ, особенно нитратов (до 92 мгN/л) и аммония (до 54 мгN/л).

В микроэлементном составе отмечается высокая концентрация Ni и Li, имеющая тенденцию роста за многолетний период (рис. 3).

В рудничной воде западного карьера наблюдается низкая концентрация органического вещества (ОВ) (цветность (ЦВ) – 6,5 град., перманганатная окисляемость (ПО) – 2,6 мгO₂/л, биохимическое потребление кислорода (БПК₅) – 1,2 мгO₂/л), что характерно для всех типов техногенных вод Костомукшского ГОКа.

Таблица 2. Некоторые показатели химического состава поверхностных вод Корпангского месторождения (май 2007 г.)

Table 2. Some indicators of the chemical composition of the surface waters of the Korpangskoye deposit (May 2007)

Объект Water body	K ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Σ _и	pH	ЦВ, град. Colour, grad.	ПО, мгО/л COD _{Mn} , mgO/l	БПК ₅ , мгО ₂ /л BOD ₅ , mgO ₂ /l	NO ₃ ⁻	N _{орг} N _{org}
	мг/л mg/l								мгN/л mgN/l	
Система р. Корпангийоки Korpangiyoki river system										
Р. Корпангийоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	0,6	2,9	5,2	12,4	6,5	40	9,4	1,0	<0,01	0,18
Ручей из ламбы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	0,9	2,1	5,5	12,0	6,5	55	14,2	1,0	0,14	0,13
Р. Корпангийоки (нижнее течение) River Korpangiyoki (downstream)	2,0	4,8	3,8	14,8	6,4	52	11,7	1,4	0,01	0,30
Система р. Ливо Livo river system										
Оз. Полвиярви (р. Полвиярвийоки) Lake Polviyarvi (River Polviyarviyoki)	3,8	30	9,2	57,8	6,7	80	12,3	0,9	0,81	0,71
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	1,1	8,0	4,2	19,9	6,3	80	14,3	3,7	0,04	0,58
Оз. Ливоярви (р. Толлойоки) Lake Livoyarvi (River Tolloyoki)	1,1	8,9	4,2	20,3	6,4	60	14,3	1,7	0,02	0,38
Система р. Тохтуринйоки Tokhturinyoki river system										
Р. Тохтуринйоки River Tokhturinyoki	0,3	2,5	4,8	11,5	6,1	80	16,8	1,0	<0,01	0,38
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhni Pienzhungi – Nizhni Pienzhungi	0,5	1,7	5,7	12,1	6,5	60	14,7	1,9	<0,01	0,54

Химический состав водных объектов Корпангского месторождения железных руд до его эксплуатации

До начала разработки Корпангского месторождения была проведена гидрохимическая съемка водных объектов в этом районе и получены фоновые характеристики воды.

Все водные объекты Корпангского месторождения, за исключением р. Полвиярвийоки, имели очень низкую минерализацию (11–20 мг/л), невысокую щелочность воды (4,2–9,2 мгHCO₃/л) и слабокислую реакцию среды (pH 6,1–6,7) (табл. 2).

По этим показателям часть объектов относятся к среднещелочным слабокисло-нейтральным, а часть – к слабощелочным слабокислым. Фактически они все располагаются на границе двух классов вод: средне- и слабощелочных. Такая картина характерна для многих объектов Костомукшского заповедника и Калевальского района [Поверхностные..., 2001]. По преобладающим ионам по классификации О. А. Алекина [1970] выделяются две группы объектов: гидрокарбонатного класса группы кальция и сульфатного класса группы кальция. Последняя группа обусловлена антропогенным влиянием – поступлением техноген-

ных вод с промплощадки, что подтверждается также высоким содержанием сульфатов в воде рек Полвиярвиюки (30 мг/л) и Ливо (8 мг/л). Указанный уровень концентраций в этих объектах не наблюдается в природных водах района Костомукши.

Органическое вещество в исследованных водных объектах было представлено в основном стойким к биохимическому окислению ОВ гумусовой природы. Косвенные показатели содержания ОВ колеблются в следующих пределах: ЦВ – 40–80 град., ПО – 9,4–16,8 мгО/л, БПК₅ – 0,9–1,9 мгО₂/л (табл. 2). По этим показателям с учетом содержания Fe_{общ} объекты Корпангского месторождения относятся к мезо-, мезополигумусному классу вод, типичному не только для района Костомукши, но и для всего Карельского гидрографического района.

Концентрация фосфора общего изменялась в пределах 12–29 мкг/л и соответствовала большей частью уровню мезотрофных водоемов средней продуктивности. Концентрация аммония во всех объектах, за исключением р. Ливо, отвечала природным фоновым значениям (0,01–0,08 мгN/л). Повышенное содержание NH₄⁺ в водах р. Ливо (0,23 мгN/л) с учетом высоких величин БПК₅ (3,7 мгО₂/л) свидетельствует о слабом хозяйственно-бытовом загрязнении ее воды. Что касается нитритов, то их содержание очень низкое (< 5 мкгN/л). Концентрация нитратов в большинстве объектов находилась на уровне чувствительности метода их определения (< 0,01–0,04 мгN/л), и только в двух объектах (ручье из ламбы и оз. Полвиярви) она намного выше (табл. 2). Повышенное количество нитратов в ламбе на фоне низкого содержания N_{орг} по сравнению с другими объектами связано с атмосферным питанием этого водоема. В атмосферных осадках всегда больше нитратов, чем N_{орг}. Так, среднее содержание NO₃⁻ в снеговых водах для северных регионов составляет 0,19 мгN/л, N_{орг} – 0,08 мг/л [Лозовик, Потапова, 2006]. Что касается оз. Полвиярви, то в нем повышенное содержание NO₃⁻ связано с проведением взрывных работ в ходе обустройства карьера. Содержание N_{орг} во всех объектах находится на уровне региональных величин (0,13–0,71 мг/л). В целом в водных объектах Корпангского месторождения наблюдалось два вида распределения форм азота:

N _{орг}	>>	N-NH ₄ ⁺	>	N-NO ₃ ⁻	>>	N-NO ₂ ⁻
0,5		0,03		0,01		0,001

и

N-NO ₃ ⁻	>	N _{орг}	>>	N-NH ₄ ⁺	>>	N-NO ₂ ⁻
0,8		0,7		0,05		0,005.

Первое является типичным для поверхностных вод гумидной зоны, второе – для водных объектов с атмосферным питанием, что наблюдалось в ламбе, или подверженных антропогенному влиянию, как это имело место в оз. Полвиярви.

Содержание кислорода во всех объектах, кроме р. Тохтуринйоки, было на уровне 73–87 % насыщения. Слабый дефицит кислорода очень часто наблюдается во многих гумусных водоемах региона. Наименьшее содержание кислорода было отмечено в воде р. Тохтуринйоки (4,7 мг/л, 43 % насыщения) при наибольшем количестве углекислого газа (14,5 мг/л) по сравнению с другими объектами, в которых кислотность изменялась в пределах 4,2–7,8 мгСО₂/л. В этой же реке наблюдалось и наименьшее содержание взвешенных веществ (1,4 мг/л) против остальных (2,0–4,3 мг/л). Повышенная кислотность воды, низкое содержание О₂ и взвешенных веществ, по-видимому, связаны с поступлением подземных вод в р. Тохтуринйоки.

Содержание литофильных элементов в обследованных водных объектах в рассматриваемый период было типичным для поверхностных вод региона: Fe (0,2–0,6 мг/л), Si (2,3–3,0 мг/л), Mn (21–52 мкг/л) (табл. 3). Водные объекты Корпангского месторождения характеризовались низким содержанием тяжелых металлов (Cu – 0,2–1,4 мкг/л, Ni – 0,2–0,9, Pb – <0,05–0,4 мкг/л) и лития (< 0,1–4 мкг/л, медиана 0,4 мкг/л) (табл. 3). Указанные значения для Li, Ni и Pb в большинстве проб существенно ниже ПДК и находятся на уровне региональных фоновых величин.

Таким образом, проведенные исследования водных объектов в районе Корпангского месторождения позволили установить фоновые характеристики вод до его эксплуатации: K⁺ – 0,8 мг/л, SO₄²⁻ – 2,3 мг/л, NH₄⁺ – 0,03 мгN/л, NO₃⁻ – 0,02 мгN/л, N_{орг} – 0,3 мг/л, Mn – 35 мкг/л, Fe – 0,43 мг/л, взвешенное вещество – 2,6 мг/л. Указанные выше параметры согласуются с аналогичными показателями для других водных объектов района Костомукши [Поверхностные..., 2001].

Изменение химического состава поверхностных вод в районе Корпангского месторождения в результате его эксплуатации

В результате разработки Корпангского месторождения техногенное влияние затронуло все исследуемые озерно-речные системы, но наиболее сильно оно проявляется в ручье

Таблица 3. Литофильные элементы и тяжелые металлы в водных объектах Корпангского месторождения (май 2007 г.)

Table 3. Lithophilic elements and heavy metals in the water bodies of the Korpangskiye deposit (May 2007)

Объект Water body	Fe	Mn	Si	Li	Ni	Pb	Cu
	мг/л mg/l			мкг/л µg/l			
Система р. Корпангийоки Korpangiyoki river system							
Р. Корпангийоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	0,22	0,05	2,3	0,6	0,7	0,40	0,9
Ручей из ламбы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	0,51	0,03	2,5	0,1	0,2	0,30	0,6
Р. Корпангийоки (нижнее течение) River Korpangiyoki (downstream)	0,41	0,04	2,3	<0,1	0,4	0,10	0,7
Система р. Ливо Livo river system							
Оз. Полвиярви (р. Полвиярвийоки) Lake Polviyarvi (River Polviyarviyoki)	0,33	0,03	2,6	4	0,4	<0,05	0,2
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	0,57	0,03	2,3	0,4	0,9	0,40	1,4
Оз. Ливоарви (р. Толлойоки) Lake Livoyarvi (River Tolloyoki)	0,53	0,05	2,4	<0,1	1,0	0,05	0,4
Система р. Тохтуринйоки Tokhturinyoki river system							
Р. Тохтуринйоки River Tokhturinyoki	0,46	0,02	2,5	<0,1	0,2	<0,05	0,9
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhni Pienzhungi – Nizhni Pienzhungi	0,43	0,03	3,0	<0,1	0,2	0,30	0,2

Безымянном, принимающем рудничные воды из западного карьера (табл. 4).

В верхней части ручья состав воды близок к составу рудничных вод этого карьера. Σ_i достигает 1230 мг/л, среди анионов, как и по всему ручью, доминируют SO_4^{2-} , NO_3^- и Cl^- , а в составе катионов – Ca^{2+} . Высокая в этих водах и эквивалентная доля NH_4^+ . Именно наличие в водах ручья NH_4^+ и NO_3^- в больших количествах свидетельствует о формировании в ручье техногенно измененных вод, близких по генезису к рудничным. Поступление вод ручья в р. Корпангийоки привело к загрязнению ее нижнего участка, вода которого соответствует нитратно-кальциевому типу с высокой долей SO_4^{2-} и Cl^- . Даже в истоке реки из оз. Корпанги отмечено изменение ионного состава воды: из гидрокарбонатной кальциевой она превратилась в нитратно-гидрокарбонатную кальциевую.

Достаточно сильное минеральное загрязнение отмечается по системе р. Ливо, особенно оно проявляется в р. Полвиярвийоки. В воде реки наблюдаются тренды роста мине-

рализации и всех ионов, за исключением HCO_3^- (рис. 4). Такая картина характерна и для системы р. Кенти, в которую поступают техногенные воды Костомукшского ГОКа [Лозовик, Кулакова, 2017]. В ионном составе преобладают Ca^{2+} и SO_4^{2-} , наличие последних указывает на техногенное влияние. Подвержена антропогенному воздействию, но в меньшей степени, и система р. Тохтуринйоки, что подтверждается появлением в ионном составе ее воды нитратов.

Следует отметить, что загрязнение водных объектов района Корпангского месторождения сульфатами происходит более быстрыми темпами по сравнению с Костомукшским месторождением. Это согласуется с результатами экспериментов по выщелачиванию минеральных компонентов из руды Костомукшского и Корпангского месторождений [Кулакова, Лозовик, 2011, 2012а], в ходе которых наблюдалась максимальная скорость поступления SO_4^{2-} именно из руды Корпангского месторождения.

В водных объектах Корпангского месторождения к 2015 г. сильнее стало проявляться азотное загрязнение, главным образом нитратами

Таблица 4. Ионный состав воды в водных объектах Корпангского месторождения (2008–2015 гг.)
Table 4. Ionic composition of the water bodies of the Korpangskoye deposit (2008–2015)

Объект Water body	$\Sigma_{\text{Ca}^{2+}}$ $\Sigma_{\text{Mg}^{2+}}$	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Классификация по Алекину Alekin's classification
Ручей Безымянный** Unnamed stream**	1230	223	54,3	119	38,4	101	340	245	SO ₄ , Cl, NO ₃ , Ca
Система р. Корпангиййоки Korpangiyoki river system									
Ручей из ламбы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	$\frac{67,7}{10,0 - 126}$	$\frac{48,6}{1,9 - 110}$	$\frac{13,6}{0,5 - 31,3}$	$\frac{26,6}{1,2 - 59,1}$	$\frac{5,6}{0,2 - 15,9}$	$\frac{9,2}{4,6 - 10,2}$	$\frac{79}{0,5 - 235}$	$\frac{46,4}{0,6 - 98,2}$	SO ₄ , NO ₃ , Ca
Р. Корпангиййоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	$\frac{25,5}{11,2 - 68,4}$	$\frac{2,0}{1,5 - 2,4}$	$\frac{0,7}{0,6 - 0,9}$	$\frac{1,5}{1,2 - 1,8}$	$\frac{0,7}{0,4 - 1,1}$	$\frac{6,4}{4,4 - 8,7}$	$\frac{2,2}{1,6 - 3,3}$	$\frac{0,8}{0,6 - 1,0}$	NO ₃ , HCO ₃ , Ca
Р. Корпангиййоки (устье) River Korpangiyoki (river outlet)	$\frac{29,9}{6,9 - 65,0}$	$\frac{3,1}{1,8 - 16,7}$	$\frac{1,3}{0,6 - 5,0}$	$\frac{2,3}{1,2 - 7,7}$	$\frac{0,7}{0,4 - 3,6}$	$\frac{9,0}{6,0 - 13,5}$	$\frac{4,2}{1,3 - 25,1}$	$\frac{0,9}{0,4 - 17,0}$	NO ₃ , Ca
Система р. Ливо Livo river system									
Р. Ливо (выше оз. Полвиярви) River Livo (upstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{36,8}{19,5 - 72,1}$	$\frac{4,1}{2,6 - 4,7}$	$\frac{2,4}{1,3 - 3,0}$	$\frac{2,2}{2,0 - 2,5}$	$\frac{1,5}{0,7 - 2,4}$	$\frac{8,2}{5,2 - 9,7}$	$\frac{13,2}{5,2 - 18,3}$	$\frac{0,8}{0,7 - 0,8}$	SO ₄ , Ca, Mg
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{36,5}{15,0 - 85,8}$	$\frac{4,9}{3,5 - 5,6}$	$\frac{2,5}{1,4 - 3,3}$	$\frac{2,3}{1,6 - 2,7}$	$\frac{1,7}{1,1 - 2,7}$	$\frac{8,3}{6,1 - 12,3}$	$\frac{15,6}{10,2 - 19,9}$	$\frac{1,0}{0,7 - 1,4}$	SO ₄ , Ca, Mg
Р. Полвиярвиййоки River Polviyarviyoki	$\frac{95,5}{31,6 - 258}$	$\frac{30,8}{10,4 - 43,7}$	$\frac{10,1}{3,1 - 14,9}$	$\frac{8,1}{3,6 - 13,7}$	$\frac{11,4}{4,5 - 20,5}$	$\frac{31,3}{19,3 - 49,9}$	$\frac{99,8}{26,7 - 118}$	$\frac{4,3}{1,6 - 19,5}$	SO ₄ , Ca
Р. Толлоййоки River Tolloyoki	$\frac{30,5}{9,0 - 61,0}$	$\frac{4,8}{2,9 - 5,9}$	$\frac{2,5}{1,3 - 3,1}$	$\frac{2,4}{1,6 - 2,8}$	$\frac{1,5}{0,6 - 2,7}$	$\frac{8,4}{6,3 - 10,4}$	$\frac{15,2}{7,4 - 18,8}$	$\frac{1,1}{0,7 - 1,5}$	SO ₄ , Ca
Система р. Тохтуриййоки Tokhturiyoki river system									
Р. Тохтуриййоки River Tokhturiyoki	$\frac{32,1}{9,5 - 105}$	$\frac{3,2}{1,5 - 5,8}$	$\frac{1,0}{0,5 - 1,9}$	$\frac{2,6}{1,4 - 3,7}$	$\frac{0,9}{0,2 - 1,4}$	$\frac{10,4}{2,6 - 18,2}$	$\frac{1,6}{0,4 - 5,1}$	$\frac{1,5}{0,7 - 3,4}$	HCO ₃ , A _{опрт} , NO ₃ , Ca
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhniy Pienzhungi – Nizhniy Pienzhungi	$\frac{30,2}{11,4 - 86,5}$	$\frac{2,1}{1,6 - 3,0}$	$\frac{0,8}{0,5 - 1,1}$	$\frac{2,4}{1,6 - 3,0}$	$\frac{0,6}{0,4 - 1,0}$	$\frac{8,1}{5,2 - 10,5}$	$\frac{1,6}{1,1 - 2,3}$	$\frac{0,9}{0,6 - 1,5}$	HCO ₃ , A _{опрт} , Ca, Na

Примечание. Здесь и далее: в числителе – среднее значение, в знаменателе – минимальное и максимальное значения.

*С учетом NH₄⁺ и NO₃⁻; **в 2015 г.

Note. Here and elsewhere: mean value is given in the numerator, minimal and maximal values – in the denominator.

*Inclusive of NH₄⁺ and NO₃⁻; **in 2015.

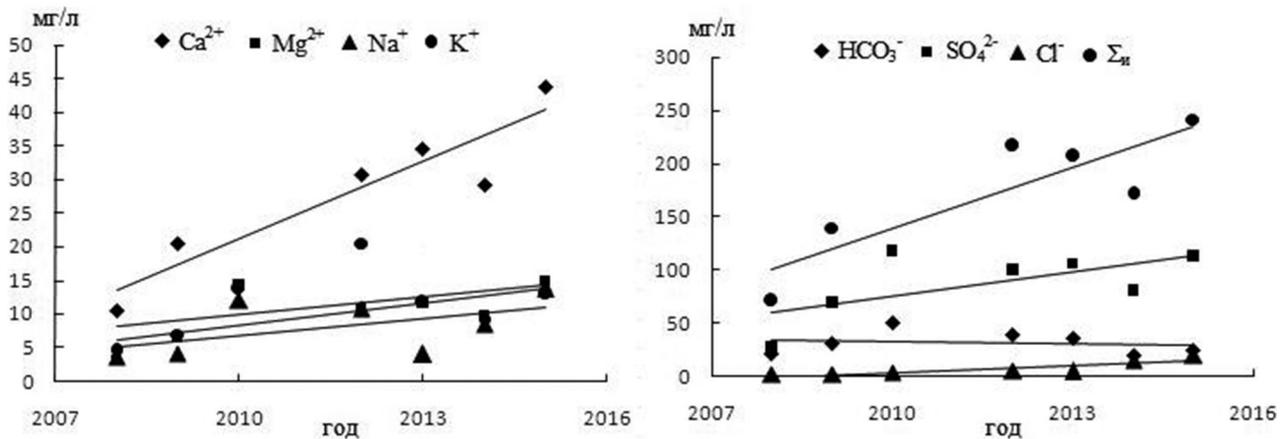


Рис. 4. Изменение минерализации и ионного состава воды р. Полвиярвийоки

Fig. 4. Change of mineralization and ionic composition of the water in the River Polviyarviyoki

Таблица 5. Содержание форм азота в водных объектах района Корпангского месторождения в 2008–2015 гг., мгN/л

Table 5. Content of nitrogen forms in the water bodies of the Korpangskoye deposit in 2008–2015, mgN/l

Объект Water body	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	N _{опр}
Ручей Безымянный* Unnamed stream*	17,8	0,442	91,5	0,03
Система р. Корпангийоки Korpangiyoki river system				
Ручей из ламбы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	<u>4,90</u> 0,02 – 9,82	<u>0,01</u> 0,001 – 0,014	<u>33,9</u> 0,01 – 68,4	<u>6,2</u> 0,3 – 17,8
Р. Корпангийоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	<u>0,04</u> 0,02 – 0,08	<u>0,001</u> < 0,001 – 0,003	<u>0,05</u> 0,01 – 1,92	<u>0,47</u> 0,32 – 0,68
Р. Корпангийоки (устье) River Korpangiyoki (river outlet)	<u>0,38</u> 0,02 – 1,20	<u>0,005</u> < 0,001 – 0,012	<u>5,3</u> 0,01 – 19,6	<u>0,39</u> 0,25 – 8,5
Система р. Ливо Livo river system				
Р. Ливо (выше оз. Полвиярви) River Livo (upstream from Lake Polviyarvi)	<u>0,02</u> 0,01 – 0,03	<u>0,001</u> < 0,001 – 0,001	<u>0,12</u> 0,01 – 0,17	<u>0,40</u> 0,32 – 0,48
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	<u>0,03</u> 0,01 – 0,13	<u>0,002</u> < 0,001 – 0,004	<u>0,35</u> 0,13 – 0,63	<u>0,44</u> 0,27 – 0,72
Р. Полвиярвийоки River Polviyarviyoki	<u>0,34</u> 0,10 – 1,47	<u>0,019</u> 0,007 – 0,035	<u>7,4</u> 0,43 – 9,8	<u>2,26</u> 0,68 – 7,7
Р. Толлойоки River Tolloyoki	<u>0,03</u> 0,01 – 0,06	<u>0,001</u> < 0,001 – 0,004	<u>0,33</u> 0,02 – 0,57	<u>0,50</u> 0,34 – 0,72
Система р. Тохтуринйоки Tokhturinyoki river system				
Р. Тохтуринйоки River Tokhturinyoki	<u>0,02</u> 0,01 – 0,06	<u>0,001</u> < 0,001 – 0,003	<u>0,02</u> < 0,01 – 0,38	<u>0,41</u> 0,31 – 0,51
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhonii Pienzhungi – Nizhnii Pienzhungi	<u>0,06</u> 0,01 – 0,18	<u>0,001</u> < 0,001 – 0,004	<u>0,03</u> < 0,01 – 1,62	<u>0,49</u> 0,33 – 0,67

Примечание. Здесь и далее: *в 2015 г.

Note. *in 2015.

и в некоторых объектах аммонием (табл. 5). Отмечается высокое содержание этих веществ в устье р. Корпангийоки (NH₄⁺ до 1,20 мгN/л, NO₃⁻ до 19,6 мгN/л) и ручье Безымянном (верхний участок: NH₄⁺ – 17,8 мгN/л, NO₃⁻ – 91,5 мгN/л; нижний участок: NH₄⁺ – до 9,8 мгN/л, NO₃⁻ – до

68,4 мгN/л). Начиная с 2013 г. наблюдается повышение концентрации NO₃⁻ в устье р. Корпангийоки (до 19,6 мгN/л) и р. Тохтуринйоки (до 1,6 мгN/л). Эти данные свидетельствуют о существенном загрязнении поверхностных вод в районе Корпангского месторождения азотсодержа-

Таблица 6. Содержание литофильных элементов и тяжелых металлов в водных объектах района Корпангского месторождения в 2008–2015 гг.

Table 6. Content of lithophylic elements and heavy metals in the water bodies of the Korpangskoye deposit in 2008–2015

Объект Water body	Fe _{общ} Fe _{tot}	Mn	Li	Al	Ni	Cr	Cu
	мг/л mg/l		мкг/л µg/l				
Ручей Безымянный* Unnamed stream*	0,26	0,15	28	17	3,5	0,2	0,2
Система р. Корпангийоки Korpangiyoki river system							
Ручей из лампы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	$\frac{0,62}{0,21 - 1,37}$	$\frac{0,11}{0,04 - 0,17}$	$\frac{15}{2 - 28}$	$\frac{34}{17 - 70}$	$\frac{1,4}{0,3 - 3,5}$	$\frac{0,2}{0,2 - 0,3}$	$\frac{0,3}{0,2 - 0,4}$
Р. Корпангийоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	$\frac{0,33}{0,22 - 0,61}$	$\frac{0,11}{0,02 - 0,53}$	$\frac{3}{2 - 7}$	$\frac{53}{11 - 111}$	$\frac{0,5}{0,2 - 0,9}$	$\frac{0,4}{0,1 - 0,8}$	$\frac{0,8}{0,3 - 1,8}$
Р. Корпангийоки (устье) River Korpangiyoki (river outlet)	$\frac{1,43}{0,54 - 3,16}$	$\frac{0,22}{0,02 - 0,65}$	$\frac{4}{< 2 - 5,3}$	$\frac{38}{6 - 66}$	$\frac{0,4}{0,1 - 0,7}$	$\frac{0,3}{0,1 - 0,5}$	$\frac{0,4}{0,3 - 0,8}$
Система р. Ливо Livo river system							
Р. Ливо (выше оз. Полвиярви) River Livo (upstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{0,76}{0,69 - 0,86}$	$\frac{0,09}{0,02 - 0,37}$	$\frac{2}{< 2 - 2}$	$\frac{56}{19 - 124}$	$\frac{0,8}{0,2 - 1,5}$	$\frac{0,5}{0,4 - 0,8}$	$\frac{3,6}{0,6 - 5,7}$
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{0,69}{0,58 - 0,80}$	$\frac{0,04}{0,02 - 0,09}$	$\frac{2}{< 2 - 2}$	$\frac{54}{14 - 135}$	$\frac{0,7}{0,3 - 1,2}$	$\frac{0,4}{0,3 - 0,6}$	$\frac{1,5}{0,2 - 3,2}$
Р. Полвиярвийоки River Polviyarviyoki	$\frac{0,51}{0,38 - 0,77}$	$\frac{0,11}{0,03 - 0,24}$	$\frac{10}{5 - 12}$	$\frac{39}{5 - 108}$	$\frac{7,2}{0,5 - 25,0}$	$\frac{0,4}{0,1 - 0,6}$	$\frac{0,8}{0,3 - 1,0}$
Р. Толлойоки River Tolloyoki	$\frac{0,66}{0,53 - 0,75}$	$\frac{0,06}{0,03 - 0,23}$	$\frac{2}{< 2 - 2}$	$\frac{57}{8 - 143}$	$\frac{0,7}{0,2 - 1,3}$	$\frac{0,4}{0,2 - 0,5}$	$\frac{0,5}{0,3 - 9,8}$
Система р. Тохтуринйоки Tokhturinyoki river system							
Р. Тохтуринйоки River Tokhturinyoki	$\frac{1,87}{0,79 - 5,8}$	$\frac{0,22}{0,03 - 0,73}$	$\frac{3}{< 2 - 5}$	$\frac{77}{10 - 167}$	$\frac{0,5}{0,2 - 1,2}$	$\frac{0,5}{0,4 - 0,7}$	$\frac{0,7}{0,3 - 1,6}$
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhonii Pienzhungi – Nizhnii Pienzhungi	$\frac{1,38}{0,93 - 1,89}$	$\frac{0,08}{0,02 - 0,23}$	$\frac{2}{< 2 - 2}$	$\frac{72}{27 - 183}$	$\frac{0,3}{0,1 - 0,6}$	$\frac{0,4}{0,2 - 0,5}$	$\frac{0,6}{0,2 - 1,4}$

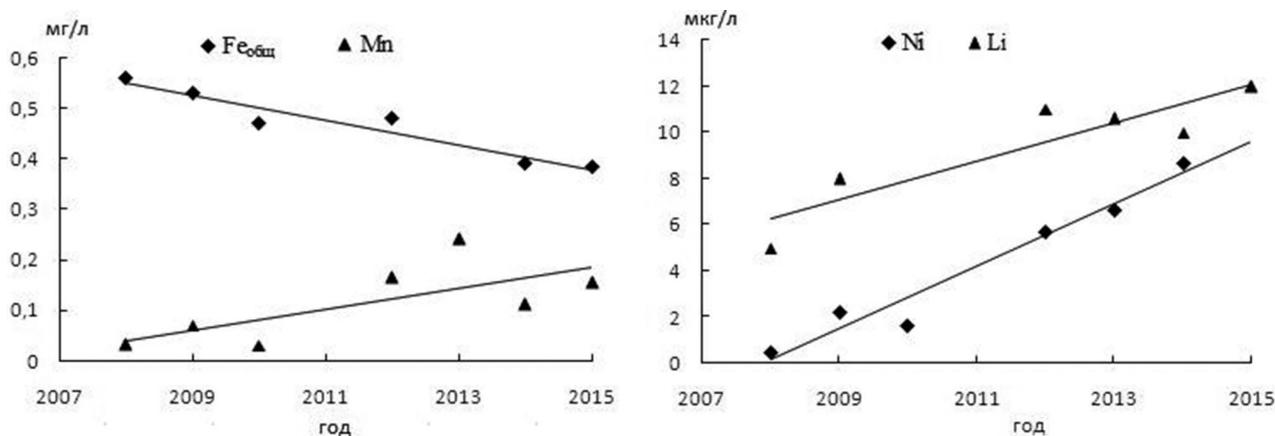


Рис. 5. Изменение содержания Fe_{общ}, Mn, Ni и Li в р. Полвиярвийоки

Fig. 5. Dynamics of the Fe_{tot}, Mn, Ni and Li content in the River Polviyarviyoki

Таблица 7. Органическое и взвешенное вещество, pH, O₂ и CO₂ в водных объектах района Корпангского месторождения в 2008–2015 гг.

Table 7. Organic and suspended matters, pH, O₂ and CO₂ in the water bodies of the Korpangskoye deposit in 2008–2015

Объект Water body	ЦВ, град. Colour, grad.	БПК ₅ , мгО ₂ /л BOD ₅ , mgO ₂ /l	ПО, мгО/л COD _{Mn} , mgO/l	O ₂ , % насыщ. % saturation	CO ₂ , мг/л mg/l	pH
Ручей Безымянный* Unnamed stream*	12	0,9	2,3	58	13,0	7,4
Система р. Корпангийоки Korpangiyoki river system						
Ручей из лампы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	$\frac{53}{36 - 75}$	$\frac{1,1}{0,8 - 1,7}$	$\frac{10,2}{5,9 - 16,4}$	$\frac{76}{73 - 78}$	$\frac{10,0}{8,0 - 12,3}$	$\frac{6,4}{6,1 - 6,6}$
Р. Корпангийоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	$\frac{38}{20 - 56}$	$\frac{1,3}{0,3 - 3,6}$	$\frac{10,2}{7,2 - 2,9}$	$\frac{76}{57 - 99}$	$\frac{7,9}{2,9 - 13,1}$	$\frac{6,3}{6,0 - 6,6}$
Р. Корпангийоки (устье) River Korpangiyoki (river outlet)	$\frac{57}{41 - 66}$	$\frac{0,9}{0,2 - 1,7}$	$\frac{9,7}{8,6 - 11,1}$	$\frac{71}{60 - 86}$	$\frac{12,6}{5,3 - 18,8}$	$\frac{6,5}{6,1 - 6,8}$
Система р. Ливо Livo river system						
Р. Ливо (выше оз. Полвиярви) River Livo (upstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{88}{54 - 136}$	$\frac{0,7}{0,5 - 1,1}$	$\frac{13,8}{10,6 - 16,1}$	$\frac{78}{56 - 84}$	$\frac{7,6}{6,8 - 8,6}$	$\frac{6,5}{6,2 - 6,8}$
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{83}{40 - 132}$	$\frac{1,3}{0,3 - 4,7}$	$\frac{13,7}{10,4 - 16,8}$	$\frac{79}{56 - 90}$	$\frac{7,2}{3,3 - 9,1}$	$\frac{6,5}{6,3 - 6,9}$
Р. Полвиярвийоки River Polviyarviyoki	$\frac{51}{23 - 80}$	$\frac{0,9}{0,6 - 1,6}$	$\frac{11,6}{7,0 - 17,4}$	$\frac{84}{57 - 91}$	$\frac{7,4}{4,2 - 11,4}$	$\frac{7,1}{6,9 - 7,6}$
Р. Толлойоки River Tolloyoki	$\frac{77}{60 - 122}$	$\frac{1,3}{0,3 - 3,6}$	$\frac{12,8}{10,3 - 14,3}$	$\frac{81}{57 - 92}$	$\frac{6,4}{3,6 - 8,9}$	$\frac{6,5}{6,3 - 6,8}$
Система р. Тохтуринйоки Tokhturinyoki river system						
Р. Тохтуринйоки River Tokhturinyoki	$\frac{127}{85 - 300}$	$\frac{1,3}{0,7 - 2,97}$	$\frac{18,0}{13,3 - 23,8}$	$\frac{51}{32 - 63}$	$\frac{22,7}{9,9 - 46,8}$	$\frac{6,1}{5,7 - 6,8}$
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhni Pienzhungi – Nizhnii Pienzhungi	$\frac{83}{61 - 120}$	$\frac{0,9}{0,3 - 1,6}$	$\frac{13,4}{11,5 - 15,8}$	$\frac{75}{59 - 92}$	$\frac{12,0}{2,9 - 16,7}$	$\frac{6,4}{6,1 - 7,0}$

щими веществами, связанном с буровзрывными работами в карьере.

Как следствие поступления рудничных вод в поверхностные водные объекты Корпангского месторождения отмечается повышенное содержание в их воде Li, Ni и Mn, тогда как концентрация Fe меньше в наиболее загрязненных водоемах, чем в более чистых (табл. 6). Из всех объектов больше выделяется р. Полвиярвийоки, в которой наблюдается тренд роста содержания Mn, Ni и Li и уменьшение концентрации Fe (рис. 5).

Аналогично железу изменяется содержание ОВ: меньше всего его в ручье Безымянном, а больше всего в реках Тохтуринйоки и Ливо, принимающих поверхностный сток с заболоченных территорий (табл. 7).

Величина pH во всех объектах варьирует от слабокислой реакции среды (pH = 6,1) до

околонеutralной (pH = 7,4). Более высокие значения pH обусловлены техногенным влиянием. В поверхностных водах Корпангского месторождения отмечается удовлетворительное насыщение воды кислородом (в среднем 51–84 %). Техногенное влияние не сказывается на кислородном режиме, поскольку во всех объектах величины БПК₅ сравнительно низкие (в среднем 0,7–1,3 мгО₂/л). Концентрации взвешенных веществ составляют в среднем 1,1–4,4 мг/л, что является типичным для речных вод региона.

Анализируя многолетнюю динамику химического состава поверхностных вод района Корпангского месторождения с момента его эксплуатации, следует отметить тренд увеличения Σ_и содержания K⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, Li и Ni. Аналогичная картина была характерна и для водоемов Костомукшского месторождения, принимающих

Таблица 8. Загрязненность водных объектов района Корпангского месторождения
Table 8. Water contamination rate of the water bodies of the Korpangskoye deposit

Объект Water body	КИЗВ Combinatorial water pollution index	УКИЗВ Specific combinatorial water pollution index	КПЗ Critical pollution indicators	Характеристика повторяемости и уровня загрязненности of frequency and levels of contamination	с учетом ПДК with account of MPC			с учетом РПДК with account of RMPС						
					2	3	4	5	6	7	8	9		
1														
Система р. Корпангиййоки Korpangiyoki river system														
Ручей из ламбы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	52	3,3	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , Mn	Характерная загрязненность среднего и высокого уровня Typical contamination at medium and high levels	114	7,1	Ca ²⁺ , Na ⁺ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , Li	Характерная загрязненность среднего, высокого и экстремально высокого уровня Typical contamination at medium, high or extremely high levels						
Р. Корпангиййоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	26	1,6	Mn	Устойчивая загрязненность среднего уровня Stable contamination at a medium level	19	1,2	0	Неустойчивая загрязненность среднего уровня Unstable contamination at a medium level						
Р. Корпангиййоки (устье) River Korpangiyoki (river outlet)	38	2,4	Fe _{общ.} , Mn	Устойчивая загрязненность среднего уровня Stable contamination at a medium level	50	3,2	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	Устойчивая загрязненность низкого уровня Stable contamination at a low level						
Система р. Ливо Livo river system														
Р. Ливо (выше оз. Полвиярви) River Livo (upstream from Lake Polviyarvi)	28	1,8	Fe _{общ.} , Cu	Устойчивая загрязненность среднего уровня Stable contamination at a medium level	18	1,1	0	Устойчивая загрязненность низкого уровня Stable contamination at a low level						
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	28	1,8	Fe _{общ.}	Устойчивая загрязненность среднего уровня Stable contamination at a medium level	19	1,2	0	Устойчивая загрязненность низкого уровня Stable contamination at a low level						

Окончание табл. 8
Table 8 (continued)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Р. Полвиярвиюки River Polvijarviyoki	46	2,9	Fe _{общ.} , Mn	Неустойчивая и устойчивая загрязненность низкого и среднего уровня Unstable and stable contamination at low and medium level	89	5,6	SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , Ni	Неустойчивая и устойчивая загрязненность низкого и среднего уровня Unstable and stable contamination at low and medium levels
Р. Толлойоки River Tolloyoki	31	1,9	Fe _{общ.} , Mn, Cu	Характерная и устойчивая загрязненность среднего уровня Typical and stable contamination at a medium level	30	1,9	0	Характерная и устойчивая загрязненность среднего уровня Typical and stable contamination at a medium level
Система р. Тохтуринюки Tokhturiynyoki river system								
Р. Тохтуринюки River Tokhturiynyoki	30	1,9	Fe _{общ.} , Mn	Устойчивая загрязненность высокого уровня Stable contamination at a high level	30	1,9	Fe _{общ.}	Устойчивая загрязненность высокого и среднего уровня Stable contamination at medium and high levels
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhni Pienzhungi-Nizhni Pienzhungi	27	1,7	Fe _{общ.} , Mn	Неустойчивая и устойчивая загрязненность среднего уровня Unstable and stable contamination at a medium level	17	1,1	0	Неустойчивая и устойчивая загрязненность среднего уровня Unstable and stable contamination at a medium level

техногенные воды Костомукшского ГОКа [Кулакова, Лозовик, 2012б; Лозовик, Галахина, 2017].

Оценка загрязненности поверхностных вод в районе Корпангского месторождения

Согласно ИЗВ все рассматриваемые объекты относятся к «чистым» и «очень чистым», за исключением «очень грязного» ручья Безымянный (ИЗВ = 9,1) и «грязного» ручья из ламбы (ИЗВ = 5,0). По региональным ПДК загрязненность вод иная. К «чистым» относятся только воды рек Ливо, Толлойоки и протоки В. Пиенжунги – Н. Пиенжунги. Для остальных объектов степень загрязнения изменяется от «умеренно загрязненных» до «чрезвычайно грязных» (ИЗВ = 1,3–90). В последнюю категорию попадают воды не только ручья Безымянный, но и устья р. Корпангийоки.

Что касается загрязненности по КИЗВ и УКИЗВ (табл. 8), то ее можно охарактеризовать следующим образом. Большинство водотоков в районе Корпангского месторождения являются «слабо загрязненными» (КИЗВ – 26–31, УКИЗВ – 1,6–1,9). К ним относятся исток р. Корпангийоки, реки Тохтуринйоки, Ливо и Толлойоки, а также протока В. Пиенжунги – Н. Пиенжунги. В качестве КПЗ в указанных водотоках выявлены $Fe_{\text{общ}}$, Mn и Cu, но эти компоненты отражают региональную специфику вод, а не их загрязнение. Вода р. Полвиярвийоки и устья р. Корпангийоки относится к «загрязненным», ручей из ламбы – «очень загрязненный».

Загрязненность водных объектов Корпангского месторождения согласно КИЗВ и УКИЗВ, рассчитанных с учетом РПДК, получилась совершенно иная. Особо выделяется «грязный» ручей из ламбы, принимающий рудничные воды западного карьера Корпангского месторождения. Среди рек наибольшие значения КИЗВ и УКИЗВ получены для «грязной» р. Полвиярвийоки. Устье р. Корпангийоки является «очень загрязненным», остальные – «слабо загрязненные». В качестве КПЗ выявлены отражающие техногенное влияние компоненты: SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- , Li.

Заключение

Анализ многолетних гидрохимических данных по водным объектам Корпангского месторождения показал, что в результате его разработки в реках происходит нарастание загрязнения. Наиболее сильно оно проявляется в руч. Безымянный, р. Полвиярвийоки и в устье р. Корпангийоки. Слабое загрязнение отмечено и в р. Тохтуринйоки. В химическом составе воды наметился

тренд роста величины Σ_i , а также содержания K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li и Ni, что было характерно и для водоемов Костомукшского месторождения.

Расчеты региональных индексов загрязненности воды показывают высокую степень загрязнения руч. Безымянный («чрезвычайно грязный»), устья р. Корпангийоки («чрезвычайно грязная») и р. Полвиярвийоки («очень грязная»), а также «умеренно загрязненные» воды в истоке р. Корпангийоки и р. Тохтуринйоки. По общероссийским ПДК выявлено загрязнение только руч. Безымянный, остальные объекты могут быть отнесены к категории чистых вод, что не соответствует действительности. Полученные для водных объектов района Корпангского месторождения КПЗ согласно РД 52.24.643–2002 отражают в большей степени региональную специфику вод, чем их загрязнение. Это подтвердили расчеты, выполненные по той же методике с учетом РПДК, позволившие выявить среди показателей загрязненности компоненты, отражающие техногенное влияние предприятия.

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

Литература

Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.

Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Ред. П. А. Лозовик, Н. А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 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.

Гидрологическая изученность. Карелия и Северо-Запад. Л.: Гидрометеиздат, 1965. Т. 2. 699 с.

ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Калабин Г. В., Воробьев А. Е., Джанянц А. В., Салазкин М. Г. Исследование техногенного воздействия железорудных карьеров европейской части России на окружающую среду // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 12. С. 8–13.

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. Поступление минеральных веществ в результате выщелачивания из руды Костомукшского и Корпангского месторожде-

ний // Концепции естественно-научного образования в вузе и школе в условиях перехода на Федеральные государственные стандарты: Сб. ст. науч.-практ. конф., посв. 80-летию ЕГФ КГПА (Петрозаводск, 6–7 ноября 2012 г.). Петрозаводск: КГПА, 2012а. С. 102–107.

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. 2012б. № 2. С. 18–25.

Лозовик П. А., Галахина Н. Е. Изменение химического состава воды системы р. Кенти в результате техногенного влияния // Труды КарНЦ РАН. 2017. № 3. С. 21–35. doi: 10.17076/lim309

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

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., Потапова И. Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территорию Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33, № 1. С. 111–118.

Лозовик П. А., Ефременко Н. А., Родькина И. С., Степанова И. А., Ефремова Т. А., Птица А. И., Зоб-

кова М. В., Дмитриева Ю. Ф. Межлабораторное сличение результатов анализа органического вещества и биогенных элементов в природных водах. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 66 с.

Поверхностные воды Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия / Отв. ред. П. А. Лозовик и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 165 с.

РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. 50 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 1 / Под ред. Л. В. Боевой. Ростов-н/Д.: НОК, 2009. 1044 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 2 / Под ред. Л. В. Боевой. Ростов-н/Д.: НОК, 2012. 720 с.

Филатов Н. Н., Литвиненко А. В., Богданова М. С. Водные ресурсы Северного экономического района России: состояние и использование // Водные ресурсы. 2016. Т. 43, № 5. С. 502–514. doi: 10.7868/S0321059616050059

Intercomparison 1429: pH, Conductivity, Alkalinity, NO₃-N, Cl, SO₄, 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 14.11.2017

References

Alekin O. A. Osnovy gidrokhimii [Fundamentals of hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970. 442 p.

Analiticheskie, kineticheskie i raschetnye metody v gidrokhimicheskoi praktike [Analytical, kinetic, and computational methods in hydrochemical practice]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017. 272 p.

Filatov N. N., Litvinenko A. V., Bogdanova M. S. Vodnye resursy Severnogo ekonomicheskogo raiona Rossii: sostoyanie i ispol'zovanie [Water resources of the Northern economic region of Russia: the state and use]. Vodnye resursy [Water Resources]. 2016. Vol. 43, no. 5. P. 779–790. doi: 10.1134/S0097807816050055

Gidrologicheskaya izuchennost'. Kareliya i Severo-Zapad [State of hydrological knowledge. Karelia and North-West]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965. Vol. 2. 699 p.

GN 2.1.5.1315-03. Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khozyaistvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya [The maximum permissible concentrations (MPC) of chemical substances in water of water objects of drinking and cultural-domestic water use].

Kalabin G. V., Vorob'ev A. E., Dzhanyants A. V., Salazkin M. G. Issledovanie tekhnogenного воздействия zhelezorudnykh kar'erov Evropeiskoi chasti Rossii na okruzhayushchuyu sredyu [The study of man's impact of iron ore pits in the European part of Russia on the en-

vironment]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Informational and Analytical Bull.]. 2002. No. 12. P. 8–13.

Kulakova N. E., Lozovik P. A. Eksperimental'noe vyshchelachivanie rudy Kostomukshskogo i Korpangskogo zhelezorudnykh mestorozhdenii [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. Postuplenie mineral'nykh veshchestv v rezul'tate vyshchelachivaniya iz rudy Kostomukshskogo i Korpangskogo mestorozhdenii [Mineral substances leaching from the Kostomuksha and Korpanga iron ore deposits]. Kontseptsii estestvennonauchnogo obrazovaniya v vuze i shkole v usloviyakh perekhoda na Federal'nye gosudarstvennye standarty. Sb. st. nauch.-prakt. konf., posv. 80-letiyu EGF KGPA (Petrozavodsk, 6–7 noyabrya 2012 g.) [Conceptions of Natural Sciences in College and School in the context of new Federal State Standards: Coll. of Papers, Scientific and Practical Conf. Dedicated to the 80th Anniv. of the Faculty of Geography and Natural Sciences of KSPA (Petrozavodsk, November 6–7, 2012)]. Petrozavodsk: KGPA, 2012. P. 102–107.

Kulakova N. E., Lozovik P. A. Analiz vliyaniya Kostomukshskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata na okruzhayushchuyu sredyu s uchetom prirodno-tekhnogennykh 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: khimiya i ekologiya*, 2012. No. 2. P. 18–25.

Lozovik P. A., Galakhina N. E. *Izmenenie khimicheskogo sostava vody sistemy r. Kenti v rezul'tate tekhnogenogo vliyaniya* [Changes in the chemical composition of the Kenti river system water under human impact]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2017. No. 3. P. 21–35. doi: 10.17076/lim309

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. 41, no. 4. P. 464–472. doi: 10.7868/S0321059614040117

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]. *Geoekologiya* [Geoecology]. 2005. No. 6. P. 527–532.

Lozovik P. A., Potapova I. Yu. *Postuplenie khimicheskikh veshchestv s atmosferynymi osadkami na territoriyu Karelii* [Input of chemical substances with atmospheric precipitation onto the territory of Karelia]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2006. No. 1. P. 104–111. doi: 10.1134/S009780780601012X

Lozovik P. A., Efremenko N. A., Rod'kina I. S., Stepanova I. A., Efremova T. A., Ptitsa A. I., Zobkova M. V., Dmitrieva Yu. F. *Mezhlaboratornoe slicheniye rezul'tatov analiza organicheskogo veshchestva i biogennykh elementov v prirodnykh vodakh* [Inter-labora-

tory comparison of chemical analysis of organic matter and biogenic elements results in environmental waters]. *Petrozavodsk: KarRC RAS*, 2015. 66 p.

Poverkhnostnye vody Kaleval'skogo raiona i territorii Kostomukshi v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya [Surface waters of the Kalevala and Kostomuksha areas under anthropogenic influence]. *Petrozavodsk: KarRC RAS*, 2001. 165 p.

RD 52.24.643-2002. Metod kompleksnoi otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod sushi po gidrokhimicheskim pokazatelyam [A method of complex assessment of surface waters pollution by hydrochemical parameters]. *St. Petersburg: Gidrometeoizdat*, 2003. 50 p.

Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi [Manual on chemical analysis of surface waters]. Part 1. *Rostov-na-Donu: NOK*, 2009. 1044 p.

Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi [Manual on chemical analysis of surface waters]. Part 2. *Rostov-na-Donu: NOK*, 2012. 720 p.

Vremennyye metodicheskie ukazaniya po kompleksnoi otsenke kachestva poverkhnostnykh i morskikh vod [Temporary recommended practices for quality integral assessment of surface and sea waters]. *Utv. Goskomgidrometom SSSR 22.09.1986 g. No. 250–1163. Moscow*, 1986. 5 p.

Intercomparison 1429: pH, Conductivity, Alkalinity, NO₃-N, Cl, SO₄, 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 November 14, 2017

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Галахина Наталия Евгеньевна

младший научный сотрудник лаб. 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: kulakovanata@mail.ru
тел.: (8142) 576541

Лозовик Петр Александрович

зав. лабораторией гидрохимии и гидрогеологии, 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:

Galakhina, Natalia

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

Lozovik, Pyotr

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