

УДК: 574.2.043

ДИНАМИКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНЫХ ВОД И ПОЧВ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ОСВОЕНИЯ ШАНУЧСКОГО МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАМЧАТКА)

Ю.С. Литвиненко¹, Л.В. Захарихина²

¹«ЭкоГеоЛит», Москва, 119330; e-mail ecogeolit@mail.ru

²Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683002

Рост содержаний рудных элементов в природных водах территории освоения медно-никелевого месторождения отмечается при завершении эксплуатации карьера и переходе на подземную технологию добычи. Исключение составляет медь, содержание которой падает, что связано с уменьшением концентраций этого элемента в рудах на глубину.

Резкий рост содержаний рудных элементов в примыкающих к горно-добычному участку торфяных почвах на этапе открытой отработки месторождения связан с сейсмо-техногенным воздействием на болото массовых взрывов в карьере. Сейсмический удар вызывает десорбцию подвижных форм рудных элементов из ила глубинных горизонтов почв в болотные воды и обогащение этими элементами поверхностного торфа. При последующем переходе на подземную добычу концентрации в торфах Ni, Cu и Zn падают до значений ниже исходных, а величина показателя суммарного загрязнения Zc снижается с 162 до 47. Установлено устойчивое обратное соотношение содержаний рудных элементов в болотных водах и торфяных почвах.

Ключевые слова: медно-никелевый рудник, вода, почва, сейсмо-техногенное воздействие.

ВВЕДЕНИЕ

Знание особенностей гидрогеохимических изменений природных вод и геохимических преобразований почв в зонах воздействия горно-добычных работ на разных стадиях их развития имеет большое значение для проектирования и осуществления природоохранных мероприятий при освоении рудных месторождений и разработки методов экологического мониторинга. Это весьма актуально для Камчатки, где наряду с продолжающимися поисками и разведкой рудных месторождений, идет их активное промышленное освоение.

Работа выполнена на основе данных комплексного экологического мониторинга¹, проводившегося в период 2004-2012 гг. на территории действующего медно-никелевого рудника

Шануч силами ООО «ЭкоГеоЛит» по договору с горнорудной компанией «Геотехнология». Опубликование материалов, представленных в статье, согласовано с руководством горнодобывающего предприятия.

Цель работы – установление особенностей и основных факторов техногенных изменений гидрогеохимические и геохимические показатели природных вод и почв на различных этапах работы рудника.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Медно-никелевое месторождение Шануч расположено в западных отрогах Срединного хребта Центральной Камчатки в междуречье рек Ичи и Шануч (рис. 1). Руды характеризуются высокими концентрациями полезных компонентов, средние содержания которых составляют: Ni – 4.96%, Co – 0.16%, Cu – 0.76%. Главными минералами руд являются пирротин, пентландит, халькопирит, пирит, виоларит (Селянгин, 2003, 2006). На момент начала освоения, на месторождении выделялось два рудных тела,

¹Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. Отчеты о результатах работ по Программе комплексного экологического мониторинга при промышленной добыче и переработке руды Шанучского кобальт-медно-никелевого месторождения за 2002-2012 гг. Петропавловск-Камчатский: ЗАО НПК «Геотехнология». 1437 с.

расположенных в нижней части горного массива (рис. 1).

Горнодобывающее предприятие на месторождении действует с 2004 г. На территории рудника существуют два участка компактного расположения источников воздействия на окружающую среду – горно-добычной и селитебно-производственный. Разрабатываемые рудные тела месторождения, отработанный карьер и действующие эксплуатационные штольни расположены в нижней части северного склона горного массива Верхняя Тхонжа с абсолютной отметкой 1025 м. Селитебно-производственный участок

рудника, включает опытно-промышленную обогатительную фабрику и вахтовый поселок, располагается в 7 км восточнее на седловине водораздела рек Ичи и Шануч (рис. 1).

К подножью горы Верхняя Тхонжа (рис. 1) в зоне воздействия добычного участка примыкает южная окраина низинного болота, которое с севера ограничено руч. Саматкин, левым притоком р. Шануч. Воды ручьев, стекающих с северного склона горного массива, в том числе с территории горно-добычного участка, впадают в это болото и после фильтрации через торфяник попадают в руч. Саматкин и далее в реку Шануч.

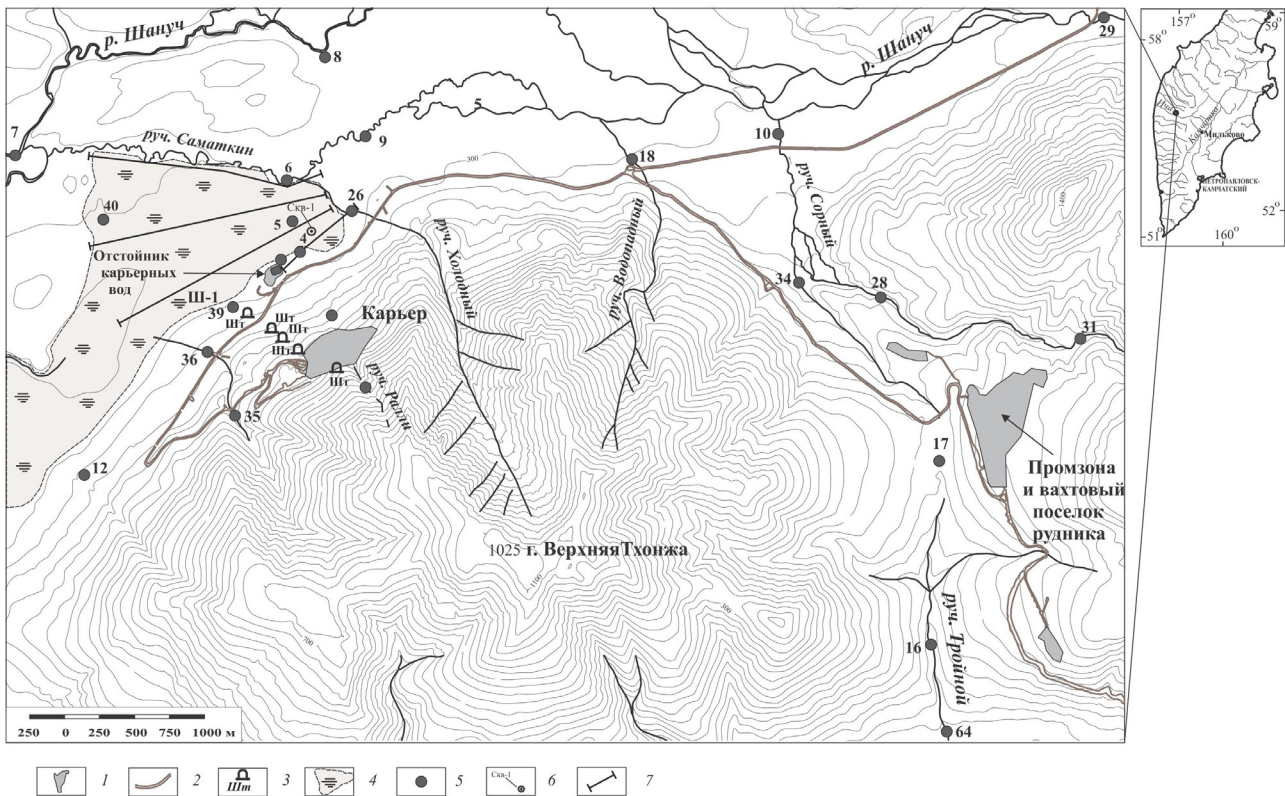


Рис. 1. Обзорная карта района исследований: 1 – производственные объекты рудника Шануч; 2 – дороги; 3 – штольни; 4 – контур Шанучского болота; 5 – точки отбора проб природных вод; 6 – скважина, 7 – геохимические профили с отбором водных и почвенных проб.

Один из этих мелких водотоков – руч. Ралли еще до разработки месторождения размывал выходы на поверхность окисленных руд и поставлял в Шанучское болото повышенные количества рудных элементов². В результате воды болотного массива у подножья склона с рудной залежью по данным фоновых исследований имели низкий рН, варьирующий от 4.5 до 6.0 единиц, и высокую минерализацию от 40 до 185 мг/л (при местном фоне 20-23 мг/л). Болото выполняло роль при-

родного биогеохимического барьера на пути миграции рудничных вод в речную сеть бассейна р. Шануч. При начале добычных работ ручей был отведен в 10 м выше карьера в соседний водоток.

Оценка изменений эколого-геохимических параметров природных вод проведена с учетом данных, полученных по всей сети наблюдений (включая горно-добычный и селитебно-производственный участки) (рис. 1). Динамика геохимической трансформации почв территории анализируется на основе материалов мониторинга состояния подчиненного ландшафта, расположенного ниже горно-добычного участка рудника (Шанучское болото), так как максимально контрастные, отражающая основные технологиче-

² Кувакин Г.В., Захарихина Л.В. Отчет о полевых экологических и металлогенических исследованиях, проведенных Шанучским отрядом на месторождении Шануч в сентябре 2001 года. Петропавловск-Камчатский: НИГТЦ ДВО РАН. 2001. 17 с.

ские этапы освоения месторождения, изменения почв, были характерны именно для этой зоны.

В состав элементов, содержания которых превышало ПДК для вод рыбохозяйственного значения (ПДКр.х.), входили: Ni, Cu, Zn, Al, S, Cr, Mn, Fe, Co, Mo. Наиболее существенными вариациями концентраций характеризовались основные рудные элементы. Содержания других элементов, менялись не значительно и превышали установленный норматив в среднем от 1.1 до 1.3 ПДКр.х. В этой связи в работе приводятся детальные обсуждения поведения в водах основных рудных элементов. Для обсуждаемого месторождения таковыми являются: Ni, Cu, Co.

В почвах Шанучского болота контрастными изменениями содержаний (кроме Ni, Cu, Co) характеризовались также Pb и Zn, вариации концентраций которых приводятся в статье. При этом, наиболее характерные трансформации площадных преобразований были свойственны Ni, схемы распределения содержаний которого приводятся в виде геохимических карт.

Исследования по оценке фоновых состояний природных вод и почв были начаты силами Научно-исследовательского геотехнологического центра ДВО РАН в 1997-1998 гг.³ В настоящей статье используются данные фоновых изысканий 2002-2004 гг., которые явились началом непрерывных режимных наблюдений на месторождении, выполнявшиеся в течение последующей его отработки, ежегодно в одних и тех же лабораториях, без изменения применяемых методов анализов. Исследования проводились по точкам наблюдений и эколого-геохимическим профилям, как в зонах воздействия рудных объектов, так и на достаточном удалении от геохимических аномалий (рис. 1). Мониторинг осуществлялся в периоды освоения месторождения с 2002 по 2012 гг., в дальнейшем деятельность предприятия была временно приостановлена.

В природных водах изучались общая минерализация, содержания взвешенных веществ и химический состав. Взвешенные вещества устанавливались весовым методом. Химические элементы определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

Эколого-геохимическая оценка состояния почв в зоне воздействия горно-добычных работ проводилась по профилям с средним шагом опробования 40 м. Почвенные пробы отбирались из верхнего органогенного горизонта.

Микроэлементный состав почв определялся полуколичественным эмиссионным спектральным анализом (ПКЭСА). Перед анализом пробы

подвергались озолению. Преимущества этого анализа перед другими более точными аналитическими методами в быстроте и простоте выполнения, универсальности и массовости (за счет экономичности), возможности одновременно определять в малой навеске вещества большое число элементов. Меньшая точность определений содержаний химических элементов методом ПКЭСА относительно значительно более дорогостоящих количественных методов анализа почв в достаточной мере компенсировалась возможностью получения больших массивов данных и их статистической обработкой. Кроме того, проведенная нами ранее сравнительная оценка данных спектрального и количественного ICP-MS анализов, выполненная при установлении параметров регионального геохимического фона почв Камчатки, показала хорошую сходимость результатов (Литвиненко, Захарихина, 2008).

При комплексном экологическом мониторинге в районе медно-никелевого месторождения Шануч в почвах контролировались содержания Ni, Cu, Co, Cr, Mn, Zn, Pb и V. Все они не входят в число легколетучих элементов, для которых чувствительность определений рядовым методом ПКЭСА является неудовлетворительной (Хохлов, 1986). Предел определения содержаний элементов спектральным анализом ниже допустимых концентраций в почвах Ni в 8 раз, Cu в 6.6 раз, Zn в 3.7 раз и Pb в 3.2 раза.

Контроль аналитических исследований осуществлялся путем включения в партии проб зашифрованных дубликатов. Разница между результатами анализов основных и контрольных проб не превышала эмпирически установленной для каждого из элементов относительной погрешности. Полученные при анализе величины содержаний элементов пересчитывались на зольность почв.

Содержания подвижных форм рудных элементов в почвенных горизонтах, вскрытых скважинами в юго-восточной части Шанучского болота в 2005 г., были определены на ICP спектрометре.

Эколого-геохимическое состояние почв в зоне влияния Шанучского рудника оценивалось в каждой точке пробоотбора по суммарному показателю загрязнения $Z_c = \sum Kc_i - (n-1)$, где Kc_i – коэффициент концентрации i -го микроэлемента в почве, равный отношению его фактического содержания в точке наблюдения (C_i) к местному фону (C_{fi}), n – число элементов, включенных в расчет (Саега и др., 1990).

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения Z_c имеет следующие категории: допустимая – менее 16, умеренно-опасная – 16-32, опас-

³ *Поляев В.А.* Проект на проведение предварительных эколого-геохимических исследований на месторождении Шануч в 1997 году. Петропавловск-Камчатский: НИГТЦ ДВО РАН. 1997. 32 с.

ная – 32-128 и чрезвычайно опасная – более 128. Допустимые валовые концентрации (ОДК и ПДК) рассматриваемых элементов в почвах составляют: Ni – 40 мг/кг, Cu – 66 мг/кг, Zn – 110 мг/кг и Pb – 32 мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06).

Местный фон микроэлементов в почвах контролируемой территории определялся ежегодно по одним и тем же точкам опробования, находящимся на значительном удалении от геохимических аномалий, природных и техногенных источников загрязняющих веществ.

В прикладной геохимии доказано, что распределение микроэлементов в природных средах наиболее близко аппроксимируется логнормальным законом (Перельман, 1988; Соловов, 1985; Соловов и др., 1990; Ярошевский, 1996). Исходя из этого, в качестве местного фона и средних аномальных содержаний микроэлементов в почвах приняты их средние геометрические значения концентраций, соответственно, на фоновых и аномальных участках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В период проведенных экологических исследований освоения месторождения Шануч проводилось в три этапа:

1 этап – активное строительство объектов инфраструктуры рудника и подъездных дорог (2004-2006 гг.).

2 этап – опытно-промышленная добыча руды карьерным способом с применением буровзрывных работ, в том числе массовых взрывов (2007-2009 гг.).

3 этап – добыча руды подземным способом из штолен с применением буровзрывных работ (2010-2012 гг.).

Изменения состава природных вод. Динамика изменений природных вод территории по содержаниям в них рудных элементов за наблюдаемый период была различной. Схожее поведение было характерно для Ni и Co. Несущественный рост содержаний этих элементов начался в 2004 г. в момент строительства объектов рудника (рис. 2, табл. 1). Далее, на начальном этапе отработки карьера, концентрации Ni и Co в водах снизились, но начиная с 2008 г., при достижении проектной мощности по добыче руды открытым способом, наблюдался закономерный резкий рост содержаний рудных элементов в водах с максимальным пиком при завершающей стадии добычи руды из карьера в 2009 г.

На первой стадии подземной отработки месторождения при проходке штолен, сопровождающейся проходкой в основном по вмещающим породам, ситуация по содержанию в водах Ni и Co заметно улучшилась. В 2011 г. при достижении проектной мощности рудника по

подземной добыче руды концентрации Ni и Co в водах территории вновь существенно выросли.

Максимальный пик содержаний в водах Cu наблюдался на первом этапе освоения месторождения в период активного строительства рудника в 2005 г. Позже, на начальной стадии открытой отработки месторождения, концентрации Cu в водах территории снизились, аналогично динамике изменений содержаний Ni и Co. Начиная с 2008 г., при активной добыче руды открытым способом, вновь наблюдался некоторый рост содержаний элемента в водах.

В отличие от Ni и Co при завершающей стадии добычи руды из карьера в 2009 г. пик концентраций в водах Cu не отмечался. Кроме того, на третьем этапе освоения месторождения при проходке штолен и добыче руды подземным способом концентрации меди в водах территории постепенно снижались, достигнув уровня существенно ниже фоновых значений. Данная динамика изменений содержаний меди в водах территории может быть связана с вертикальной зональностью руд месторождения, выражающейся в обогащении этим элементом приповерхностной части рудных тел в сравнении с более глубокими горизонтами. Этим же объясняется и снижение содержаний меди в водах до уровня ниже фонового показателя после отработки карьера. Природные воды в районе карьера изначально имели повышенные содержания Cu за счет дренажа выходов на поверхность окисленных руд месторождения, обогащенных этим рудным элементом.

С целью интегральной оценки качества природных вод по гидрогеохимическому составу был использован показатель суммарного превышения концентраций химических элементов над действующими ПДКр.х. ($\Sigma C/PDKр.х.$). Последний в той или иной степени отражает последовательное изменение содержаний в природных водах других химических элементов, содержания которых не существенно, но превышали установленный норматив.

Динамика изменений данного показателя загрязнения природных вод на первых двух этапах освоения месторождения была схожа с особенностями изменений содержаний в водах основных рудных элементов. Однако, на этапе карьерной отработки месторождения характерный максимальный пик концентраций при завершающей стадии добычи руды из карьера в 2009 г. не наблюдался. Наиболее активный рост показателя суммарного превышения ПДКр.х. отмечался ранее в 2008 г. при активной добыче руды открытым способом, а в 2009 г. этот показатель существенно снизился. Новый рост $\Sigma C/PDKр.х.$ наблюдался при переходе на подземную добычу руды.

Таблица 1. Гидрохимические показатели природных вод территории Шанучского рудника в период с 2002 по 2012 гг.

Показатели	2002 г.	2004 г.	2005 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
	Фон	Строительство инфраструктур туры рудника	Добыча руды карьерным способом		Добыча руды подземным способом				
Никель, мкг/л, n=15									
Среднее значение	20.6±46.1	44.5±29.6	38.2±113.1	19.4±41.6	71.1±177.8	153.4±323.0	87.8±157.9	147.5±275.0	159.0±107.8
Размах содержаний	0.31-124.1	1.0-120.0	1.0-360.0	0.5-141.6	0.4-670.0	1.0-980.0	0.2-450.0	0.6-670.0	0.4-370.0
Медь, мкг/л, n=15									
Среднее значение	4.83±7.94	5.25±6.12	7.24±10.52	3.78±10.40	6.09±10.11	4.28±9.67	2.76±6.15	2.78±6.83	2.4±5.15
Размах содержаний	0.86-22.60	1.00-22.00	0.70-36.00	0.50-39.90	0.70-35.00	0.50-30.00	0.50-21.00	0.50-21.00	0.80-21.00
Кобальт, мкг/л, n=15									
Среднее значение	0.63±1.21	0.83±0.25	2.27±3.33	0.34±0.83	2.85±8.19	3.83±8.25	2.03±3.83	3.94±7.30	4.3±3.73
Размах содержаний	0.02-3.49	0.25-1.00	0.50-9.00	0.10-3.20	0.01-31.00	0.06-25.00	0.05-12.00	0.04-21.00	0.06-25.00
Сумма С/ПДКр.х., n=15									
Среднее значение	11.55±14.51	25.65±12.39	29.03±48.13	14.21±16.43	61.75±200.63	14.25±19.99	15.98±25.84	23.01±43.41	26.03±25.84
Размах содержаний	1.58-45.00	12.39-41.30	1.80-182.60	3.00-68.20	2.00-548.60	1.23-50.00	1.70-71.40	1.30-92.60	1.70-91.40
Минерализация, мг/л, n=17									
Среднее значение	0.012±0.002	0.011±0.008	0.017±0.012	0.014±0.004	0.019±0.003	0.023±0.011	0.021±0.007	0.021±0.010	0.22±0.011
Размах содержаний	0.002-0.016	0.008-0.018	0.011-0.030	0.004-0.021	0.0030.-022	0.011-0.023	0.007-0.030	0.010-0.040	0.011-0.023
Взвешенные вещества, мг/л, n=17									
Среднее значение	2.17±0.16	36.96±59.57	69.45±216.18 2.5	9.49±13.68	4.95±2.97	2.19±0.26	9.96±20.49	2.15±0.24	2.10±0.26
Размах содержаний	2.0-2.5	2.0-221.0	2.0-906.0	2.0-52.8	2.0-9.0	2.0-2.5	2.0-68.0	2.0-2.5	2.0-2.5

Примечание. Исследования выполнены в Аналитическом сертификационном испытательном центре (АСИЦ) ВИМС г. Москва, в аккредитованной лаборатории ОАО «Камчатгеология» и аккредитованном Аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Аналитики Л.Н. Гарцева, Н.И. Гончарова, А.А. Дергачева, В.В. Дунин-Барковская, Е.С. Тонких.

ДИНАМИКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ

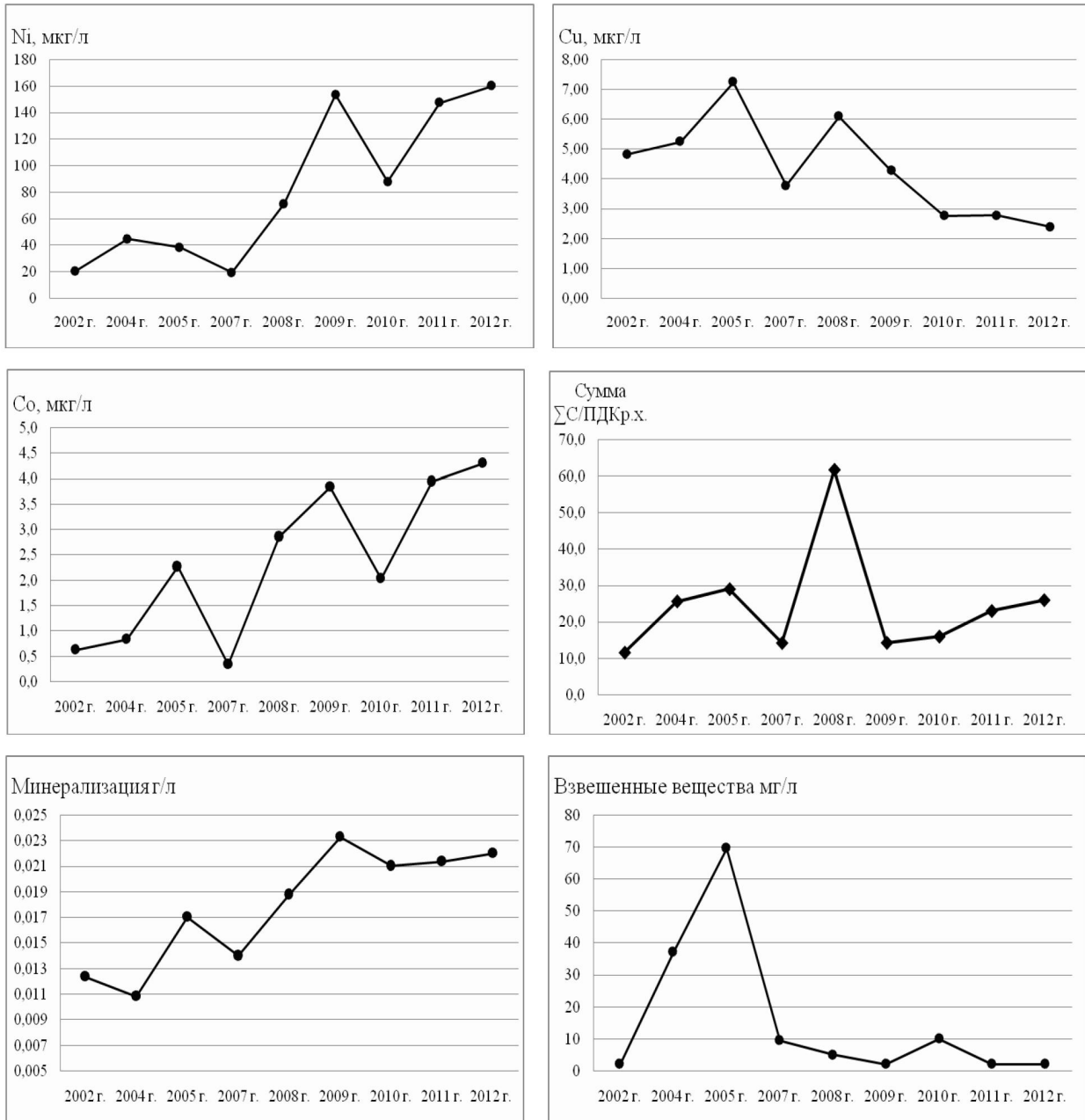


Рис. 2. Динамика гидрохимических преобразований природных вод территории Шанучского рудника в период 2002-2012 гг.

Изменение общей минерализации природных вод в обсуждаемый период освоения месторождения, в целом, было схоже с динамикой преобразования вод по содержанию Ni и Co. Наблюдались характерные пики общей минерализации вод в период активного строительства объектов рудника (2005 г.), в завершающей стадии добычи руды из карьера в (2009 г.) и при достижении проектной мощности подземной добычи руды (2011 г.). Отличало динамику изменений в водах данного показателя меньшая контрастность вариации при его росте и падении. Основным компонентом, влияющим на общую минерализацию вод на месторождении, является сульфат-ион, с которым данный показатель

имеет тесную положительную корреляционную связь.

Наиболее резкий рост содержания в поверхностных водах взвешенных веществ наблюдался в период строительства объектов рудника в 2004-2006 гг., сопровождающегося активным проведением больших объемов земляных работ на территории месторождения (рис. 1).

Далее, начиная с 2006 по 2009 гг., отмечалась стабилизация ситуации по содержанию взвешенных веществ в воде с незначительным ростом этого показателя в 2010 г. при завершении добычных работ в карьере и переходом предприятия на подземный способ добычи руды, проходке штолен и строительства дополнительных объектов рудника.

Геохимическая трансформация торфяных почв в подчиненном ландшафте. Технологические этапы освоения месторождения находят отражение в особенностях геохимической трансформации торфяных почв, развитых в подчиненном болотном ландшафте, примыкающем к северной границе горно-добычного участка Шанучского рудника.

В 2004 г., до начала строительного этапа и отработки месторождения основные рудные компоненты месторождения Ni, Cu и Co образовали контрастные аномалии в почвах над выходами рудных тел, которые прослеживались вниз по склону вдоль руч. Ралли и далее в почвах Шанучского болота (рис. 1). В болотных почвах площади ореолов заметно увеличивались и существенно возрастала их контрастность⁴.

Средние содержания в почвах болота в точках многолетнего повторного опробования составляли Ni – 232 мг/кг; Cu – 213 мг/кг; Co – 5.9 мг/кг; Zn – 21.8 мг/кг и Pb – 2.4 мг/кг (рис. 3). Таким образом, еще до начала освоения месторождения Шануч, в торфяных почвах подчиненного ландшафта наблюдались значительные превышения допустимых концентраций основных рудных элементов Ni (в среднем в 5.8 раз) и Cu (в среднем в 3.2 раза). Усредненный показатель суммарного загрязнения (Zc) составлял 44 единицы, что отвечает опасной категории загрязнения почв (рис. 3).

Насыщение торфов рудными элементами происходило естественным путем, за счет поступления в него вод ручья Ралли, размывавшего до начала горно-добычных работ выходы на поверхность окисленных руд месторождения. Распространение аномальных концентраций рудных элементов в торфянике было подчинено гидрологии болота. Вытянутые формы ореолов определялись внутриболотными потоками вод, имеющими общее направление стока с юго-восточной части болота (район конуса выноса руч. Ралли) на север и северо-запад в сторону разгрузки вод в руч. Саматкин. Наибольшее площадное распространение имели аномальные концентрации Ni, которые в отличие от аномалий Cu и Co достигали берега руч. Саматкин (рис. 1).

Для характеристики глубинных горизонтов торфяных почв в 2005 г. были пробурены две скважины (ручная проходка) в 80 м на северо-восток от места впадения в болото руч. Ралли (рис. 1) глубиной 266 и 200 см.

Описание почвенного разреза, вскрытого скважиной № 1, приведено с использованием

традиционных почвенных индексов, обозначающих генетические горизонты: OT – горизонт, слабо разложившегося торфа; T₁₋₈ – торфяные горизонты; D – почвопостилающий горизонт.

OT, 0-14 см. Красноовато-бурый мохово-травянистый торф со степенью разложения до 15%, различимы стебли осоки, обилие живых корней, отслаивается.

T₁, 14-26 см. Торфяной, очень темно-бурый, степень разложения средняя до 25%, уплотненный («спрессованный»), влажный.

T₂, 26-40 см. Бурый, степень разложения средняя – до 25%, влажный, со значительной примесью (до 50%) черного илистого минерального вещества.

T₃, 40-150 см. Аналогичен вышележащему, с меньшей примесью минеральной составляющей (до 30%).

T₄, 150-180 см. Темнее и влажнее предыдущих торфяных горизонтов, степень разложения до

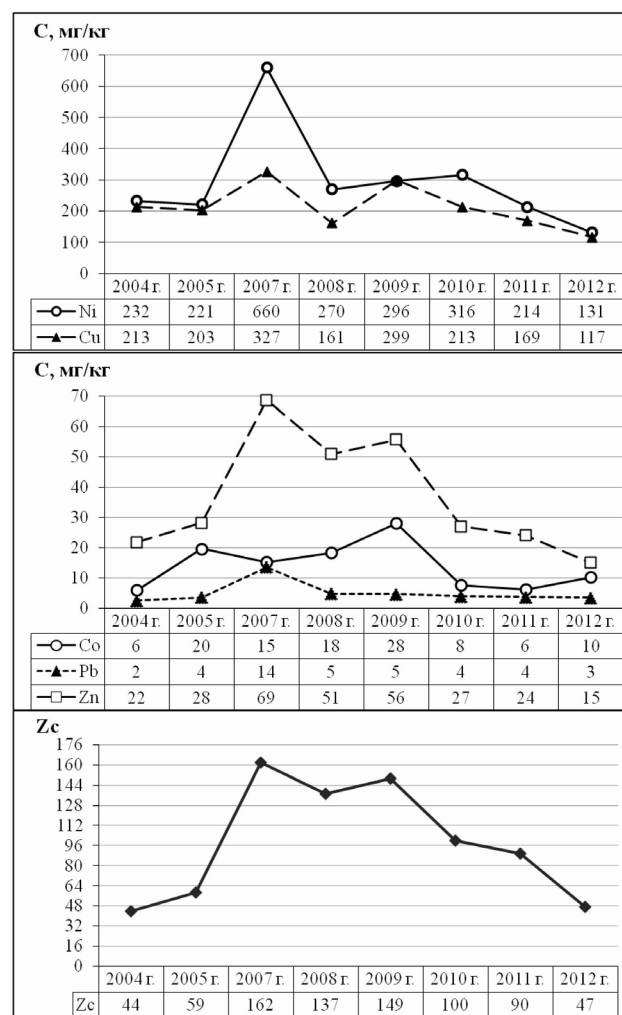


Рис. 3. Динамика изменений валовых концентраций (С, мг/кг) основных рудных и сопутствующих элементов месторождения Шануч и значений суммарного показателя загрязнения Zc в торфяных почвах Шанучского болота в период наблюдений с 2004 по 2012 гг.

⁴Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. Отчет о результатах работ по Программе комплексного экологического мониторинга при промышленной добыче и переработке руды Шанучского кобальт-медно-никелевого месторождения за 2004-2005 гг. Петропавловск-Камчатский: ЗАО НПК «Геотехнология». 157 с.

35%, хорошо мажется, заметна примесь тонко илистой минеральной фракции (до 50%).

T₃, 180-200 см. Бурый, сухой, «спрессованный», мажется, степень разложения средняя – до 25%.

T₆, 200-220 см. Аналогичен T₂.

T₇, 220-240 см. Аналогичен T₅.

T₈, 240-255 см. Аналогичен T₂.

D, 255-266 см. Желтый средний песок, озерные отложения.

Почва Шанучского болота представлена серией горизонтов торфа, степень разложения которого увеличивается с глубиной. С поверхности развит водонасыщенный живой очес, состоящий преимущественно из сфагновых мхов.

Глубинные горизонты, как правило, имеют степень разложения 20-35% и содержат значительную примесь илистого материала (до 50%). Реже встречаются торфяные горизонты без минеральной примеси.

В наибольшей степени подвижными формами Ni (до 1779.5 мг/кг, т.е. до 445 ПДК) и Co (до 85.9 мг/кг, т.е. до 17 ПДК) насыщены торфяники, имеющие значительную примесь илистого вещества со средней степенью разложения торфа (рис. 4). Максимальные концентрации подвиж-

ных форм Cu (до 715 мг/кг, то есть до 238 ПДК) приурочены к поверхностному торфяному горизонту с низкой степенью разложения без примеси илистой фракции. В среднем подвижные формы основных рудных элементов составляют 10-25 % от их валовых количеств в торфяных горизонтах.

Значительно меньшие содержания подвижных форм рудных элементов установлены в горизонтах песчаных озерных отложений: Ni до 72.6 мг/кг, Cu до 52.1 мг/кг и Co до 5.0 мг/кг.

На этапе активного строительства на горно-добычном участке рудника в 2005 г. значимых изменений валовых содержаний в торфяных почвах Шанучского болота Ni и Cu относительно 2004 г. не наблюдалось (рис. 3). Установлен заметный рост концентраций Co в 3.3 раза, слабое увеличение содержаний Zn и Pb и показателя Zс до 59 (опасная категория загрязнения почв).

Строительные работы не оказали заметного влияния на общую структуру комплексной геохимической аномалии в Шанучском болоте, на характер площадного распространения аномальных концентраций основных рудных элементов и форму их ореолов. В 2005 г. геохимическое поле болота было оконтурено дополнительными профилями с севера и запада. Установлено, что наиболее контрастные и обширные по площади аномалии в болотных почвах до начала освоения месторождения образовывал Ni (рис. 5). Его максимальные концентрации, как и по данным опробования 2004 г., тяготели к юго-западной части болота, к конусу выноса руч. Ралли. Форма ореолов Ni в сочетании с полевыми наблюдениями внутриболотных течений свидетельствуют о наличии общей водной миграции химических элементов с юго-восточной части болота на север и северо-запад с разгрузкой в руч. Саматкин.

В 2006 г. во время завершения основных строительных работ на руднике и прохождении эксплуатационного карьера мониторинговые наблюдения на месторождении не проводились.

В начале этапа карьерной добычи, после отведения вод руч. Ралли в соседний водоток (рис. 5) был исключен их контакт с выходами окисленных руд месторождения. В это же время сток карьерных вод (атмосферные осадки) и вод руч. Ралли ниже карьера был перехвачен полотном рудовозной дороги и по нагорному кювету отведен в отстойник на юго-запад от конуса выноса ручья (рис. 5). Поступление вод, насыщенных рудными элементами, в юго-восточную часть болота прекратилось. С этого момента на площади болота началось смещение наиболее концентрированных геохимических ореолов на запад и юго-запад.

Несмотря на проведенные гидротехнические мероприятия, на начальном этапе активной добычи руды из карьера в 2007 г. средние кон-

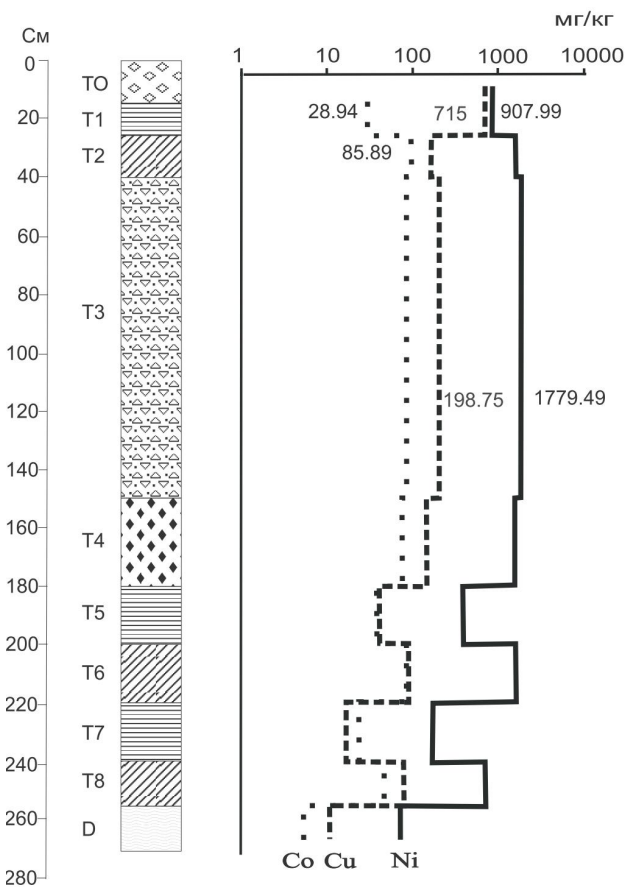
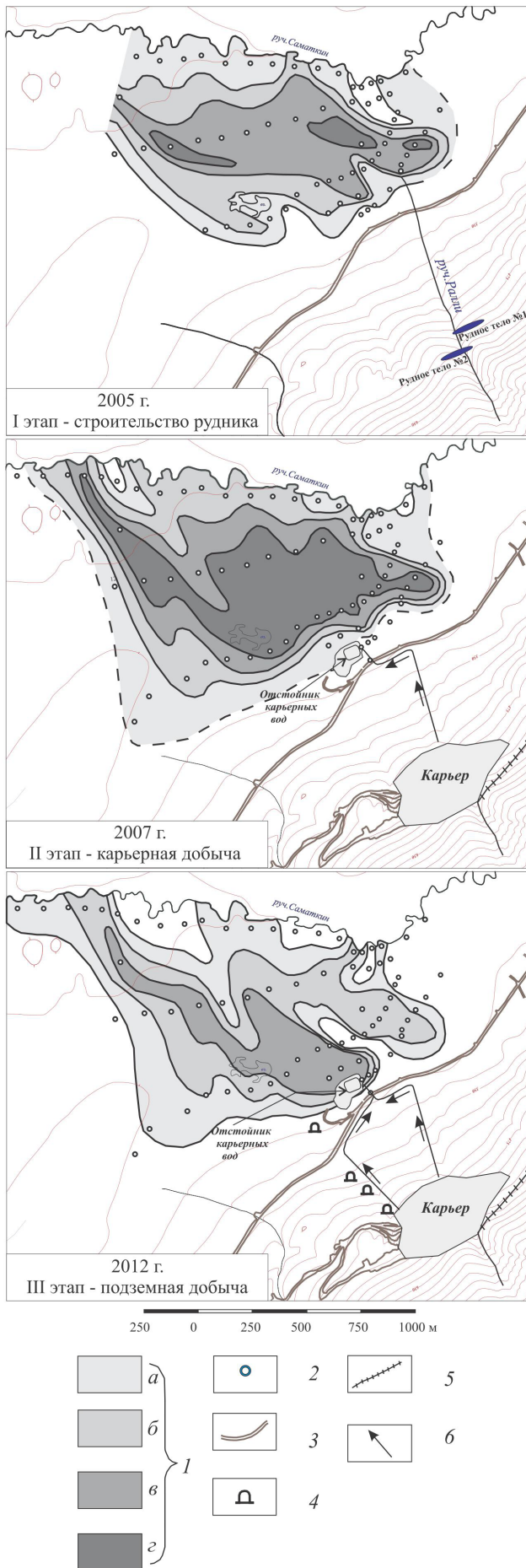


Рис. 4. Распределение подвижных форм рудных элементов в глубинных горизонтах торфяных почв, вскрытых скважиной № 1 в юго-восточной части Шанучского болота. Местоположение скважины представлено на рис. 1.



центрации рудных элементов в торфах болота в точках повторного опробования резко выросли (рис. 3). Наибольший рост отмечен для Ni, Pb и Zn. Показатель Zc увеличился в 3.7 раз, достигнув значения 162 единицы, что соответствует чрезвычайно опасной категории загрязнения почв. Значительные изменения установлены на этом этапе освоения месторождения и в структуре аномального геохимического поля Шанучского болота (рис. 5). Резко увеличились площади ореолов с повышенными концентрациями рудных элементов и особенно Ni (рис. 5). Поле с максимальными содержаниями в почвах Ni > 1000 мг/кг (> 25 ОДК) занимало обширную площадь в центральной, юго-восточной и северо-восточной частях болота, многократно превышающую исходную территорию с такими концентрациями элемента. Резкий рост содержания элементов в почвах установлен, в том числе, на значительном удалении от потоков болотных вод, то есть данные изменения не обнаруживают связи с гидрологическими процессами.

Отсутствие в этот период скачка фоновых концентраций рудных и сопутствующих элементов (табл. 2) исключает возможность наличия систематической ошибки анализа, которая могла привести к таким масштабным изменениям.

Резкое повышение концентраций рудных элементов в торфяных почвах, не смотря на незначительные изменения их количеств в поступающих в болото водах, мы связываем с проведением на этом этапе освоения месторождения массовых взрывов в карьере.

Массовые взрывы сопровождалась сильным сейсмо-техногенным воздействием на болото, которое при полевых исследованиях отмечалось в северной части болота на правом берегу руч. Саматкин в 1.5 км от карьера. В результате сейсмического удара в глубинных горизонтах обводненных торфяных почв, обогащенных илистым материалом с очень высокими концентрациями подвижных форм рудных элементов (рис. 4), происходили десорбционные процессы. Слабо связанные подвижные формы элементов из сорбированного состояния на поверхности илистых частиц переходили в кислые болотные воды. Далее из болотных вод рудные элементы усваивались сфагнумом и испытывали вторичную сорбцию торфом приповерхностного горизонта почв.

Рис. 5. Схема площадного распределения содержания Ni в поверхностных почвенных горизонтах Шанучского болота: 1 – содержания Ni в мг/кг (валовый состав): а – 30-100, б – 100-300, в – 300-1000, г – > 1000; 2 – точки отбора проб почв; 3 – дороги; 4 – штольни; 5 – отвод руч. Ралли; б – направление стока карьерных и штольневых вод.

Таблица 2. Фоновые концентрации основных рудных и сопутствующих элементов Шанучского месторождения в торфяных почвах исследуемой территории.

Элементы	Годы исследований							
	2004	2005	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ni	19.3	14.0	8.42	5.1	2.95	16.68	7.09	8.79
Cu	16.01	16.0	11.79	4.14	18.59	4.73	9.08	10.00
Co	1.74	1.22	1.18	0.92	1.3	1.88	1.32	1.33
Pb	1.74	1.40	1.8	3.28	2.79	1.88	1.66	1.99
Zn	6.5	4.9	8.4	18.79	17.88	12.94	20.12	11.28

Примечание. Исследования выполнены в аккредитованной лаборатории ОАО «Камчатгеология». Аналитики Н.И. Гончарова, Е.С. Тонких.

Благодаря повышенной водности ручьев и обводненности болота, наблюдавшихся нами летом 2007 г.⁵, происходил активный вынос болотных вод, обогащенных рудными элементами. По пути их стока происходило дополнительное обогащение верхних горизонтов торфяников. В результате сформировался контрастный линейно вытянутый ореол, трассирующий разгрузку болотных вод в руч. Саматкин (рис. 5).

Дальнейшее эколого-геохимическое опробование болота показало, что, не смотря на продолжение проведения массовых взрывов, уже на следующий год после описанных выше событий 2007 г. произошло резкое падение в торфяных почвах содержаний Ni и заметное снижение концентраций Cu, Zn и Pb (рис. 3). При этом многократно увеличивается вынос металлов при разгрузке болотных вод в руч. Саматкин. Так на выходе из болота (точка наблюдения 40) содержание Ni в воде увеличивается с 85.5 мкг/л в 2007 г. до 670 мкг/л в 2008 г. с последующим падением до 280 мкг/л в 2009 г.

При резком повышении в болотных водах содержаний рассматриваемых элементов произошло включение мха – сфагнума, составляющего основу изучаемых нами поверхностных торфяных горизонтов, полибарьерного механизма (Литвиненко, Захарихина, 2012).

Суть полибарьерности заключается в наличии у мхов нескольких хорошо выраженных барьеров накопления химических элементов разного уровня. Последовательное достижение каждого из этих барьеров в результате роста концентраций химических элементов в питательной среде (болотные воды) приводит к прекращению пропорционального роста и падению концентраций их во мхах. При дальнейшем росте содержаний химических элементов в питающей среде

и достижении критических значений барьеры «прорываются» и наблюдается новый, как правило, резкий рост концентраций элементов во мхах до барьера следующего уровня.

Новый, менее интенсивный рост концентраций рудных элементов в болотных почвах, наблюдавшийся в 2009 г. (рис. 3), также является следствием проявления у мхов, упомянутых полибарьерных свойств. На протяжении всего этапа карьерной добычи руд, значения показателя суммарного загрязнения Zc в торфяниках превышали величину 128, что соответствует чрезвычайно опасной категории загрязнения почв.

Переход предприятия в 2010 г. на технологию добычи руд из штолен сопровождался слабым, затихающим увеличением в торфяных почвах усредненных валовых содержаний Ni и значительным падением концентраций остальных изучаемых элементов (рис. 3). Существенно снизилось значение показателя Zc = 100, почвы перешли в категорию опасного загрязнения.

Далее, на протяжении этого этапа, с 2010 по 2012 гг. в почвах наблюдалось устойчивое падение содержаний всех рассматриваемых элементов за исключением Co, обнаруживающего слабый рост содержаний в 2012 г. (рис. 3). Концентрации в торфах Ni, Cu и Zn в 2012 г. упали до значений ниже исходных по состоянию на 2004 г. За этот же период произошло дальнейшее уменьшение усредненного значения показателя суммарного загрязнения Zc до 47 (в 2004 г. – Zc = 44). За 5 лет с момента максимального загрязнения почв Шанучского болота (2007 г.) величина показателя снизилась в 3.4 раза.

Заметно изменилась к 2012 г. структура аномального геохимического поля болота (рис. 5). Резко уменьшились в размере и сместились на юго-запад площади с повышенными валовыми концентрациями в почве Ni, значительно снизилась контрастность аномалии в западной и юго-западной частях болота относительно состояния на 2004 г. Исчезло поле с содержаниями Ni > 1000 мг/кг. Более четко проявился в почвах линейно вытяну-

⁵ Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. Отчет о результатах работ по Программе комплексного экологического мониторинга при промышленной добыче и переработке руды Шанучского кобальт-медно-никелевого месторождения за 2007-2008 гг. Петропавловск-Камчатский: ЗАО НПК «Геотехнология». 163 с.

тый ореол вдоль стока загрязненных металлами вод от отстойника до места разгрузки в руч. Саматкин (рис. 5).

Все эти изменения в почвах происходили на фоне введения в эксплуатацию штолен, которые стали новыми источниками сточных вод, загрязненных рудными элементами (рис. 5). В результате произошло увеличение концентраций этих элементов в суммарном стоке вод через отстойник в болото.

В таких условиях, основная причина резкого падения содержаний рудных элементов в торфяных почвах на этапе подземной добычи связана с прекращением проведения массовых взрывов в карьере и, следовательно, с прекращением сейсмо-техногенного воздействия на болото.

Во всех точках комплексного опробования на площади Шанучского болота, проводимого на протяжении всего периода наблюдений, установлено устойчивое обратное соотношение содержаний рудных элементов в болотных водах и торфяных почвах. Это наглядно видно на примере содержаний Ni в изучаемых средах в точке наблюдений 5 (рис. 1), расположенной в юго-восточной части болота (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамику эколого-геохимических изменений природных вод и почв, подверженных тех-

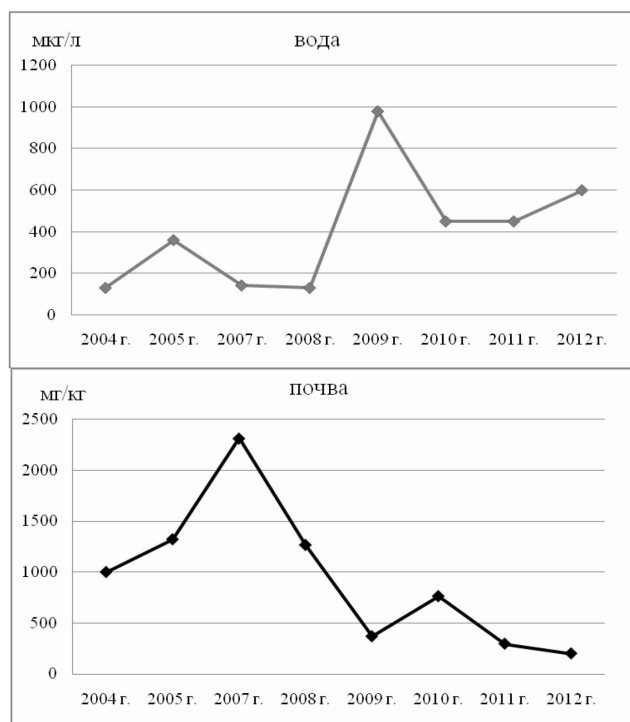


Рис. 6. Соотношение содержаний Ni в болотных водах и торфяных почвах (валовые содержания) в юго-восточной части Шанучского болота (точка наблюдений 5).

ногенному воздействию горно-добычных работ при освоении рудных месторождений, во многом определяют этапы развития рудника, отличающиеся набором основных технологических процессов и объемом работ. Это должно учитываться при проведении комплексного экологического мониторинга в районах действующих горнодобывающих предприятий.

В период активного строительства объектов инфраструктуры Шанучского рудника, наблюдался значительный рост в поверхностных водах взвешенных веществ, а также несущественный рост концентраций рудных и сопутствующих элементов и общей минерализации. Значимых изменений валовых содержаний рудных элементов в торфяных почвах Шанучского болота не отмечалось. Основными источниками слабого загрязнения почв на этом этапе являются выхлопные газы строительной техники и пыление участков земляных работ. После завершения этапа строительства и в начале этапа карьерной обработки месторождения, происходит нормализация ситуации по содержанию в водах взвешенных веществ и отмечается рост содержаний в водах рудных и сопутствующих им элементов.

На начальном этапе добычи руды из карьера средние концентрации рудных элементов в торфах болота резко выросли. Наибольший рост отмечен для Ni, Pb и Zn. Показатель Zc достиг значения 162 единицы, что соответствует чрезвычайно опасной категории загрязнения почв. Резко увеличились площади ореолов с повышенными концентрациями рудных элементов. Эти изменения связаны с сейсмо-техногенным воздействием на болото массовых взрывов в карьере. Сейсмический удар вызывает взмучивание и подъем к поверхности из глубинных горизонтов почв илистых частиц, обогащенных подвижными формами рудных элементов, и десорбцию последних из ила в болотные воды и обогащение ими поверхностного торфа.

При переходе на подземный этап освоения месторождения наблюдается новый рост содержаний в водах рудных элементов, за исключением Cu, содержание которой в период подземного освоения в водах падает ниже фоновых значений, что возможно связано с зональностью месторождения, приповерхностная часть которого относительно обогащена медью в сравнении с более глубокими штольневными горизонтами.

Концентрации в торфах Ni, Cu и Zn на этапе подземной добычи упали до значений ниже исходных, а величина показателя суммарного загрязнения Zc снизилась с 162 до 47 (в 2004 г. Zc = 44). За весь период наблюдений установлено устойчивое обратное соотношение содержаний рудных элементов в болотных водах и торфяных почвах.

Список литературы

- ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве». 2006. 40 с. (www.gosthelp.ru/)
- Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В.* Полибарьерность мхов при формировании техногенных биогеохимических аномалий // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 2. Вып. 20. С. 38-47
- Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В.* Почвенные провинции Камчатки и их геохимическая характеристика // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 1. Вып. 11. С. 83-97.
- Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010. № 20. 123 с. (<http://www.75.rpn.gov.ru/>).
- Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 234 с.
- Селянгин О.Б.* Петрология никеленосных базитов Шанучского рудного поля // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 2. С. 33-35.
- Селянгин О.Б.* Кортландит-амфиболовый пироксенит – горнблендитовая серия расслоенного никеленосного интрузива Восточно-Геофизический, Шанучское рудное поле, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. С. 8-30.
- Соловов А.П.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 294 с.
- Хохлов В.В.* Многоэлементный спектральный анализ в геологии. Л.: Недра, 1986. 200 с.
- Ярошевский А.А.* Применение математики в геохимии: некоторые типы задач и методы решения // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 7. С. 39-47.

**DYNAMICS OF ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHANGES
IN NATURAL WATERS AND SOIL AT DIFFERENT STAGES OF DEVELOPMENT
OF SHANUCH COPPER-NICKEL DEPOSITS (KAMCHATKA)**

Yu.S. Litvinenko¹, L.V. Zakharikhina²

¹*EcoGeoLit Ltd., Moscow, 117447 e-mail ecogeolit@mail.ru*

²*Research Geotechnological Centre, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002*

Increased contents of ore elements in natural waters within the territory of copper-nickel deposit development is revealed at the end of the quarry exploitation and after the transition to underground mining technology. An exception is the copper which content falls due to the decrease in concentration of this element with depth. Sharp increase in the contents of ore elements in the adjacent to the mine site mining and peat soils at the stage of open mine development is caused by man-made and seismic impacts on the marsh produced by massive explosions in the quarry. Seismic shock causes desorption of mobile forms of ore elements from deep horizons of silt soil in swamp water and as well as the enrichment of the surface peat by these elements. In the subsequent transition to underground mining, concentrations of Ni, Cu and Zn in peat are falling below baseline while the value of the total pollution index Z_c is reduced from 162 to 47. The authors revealed a stable invert correlation of ore element contents in the marsh waters and peat soils.

Keywords: copper-nickel mine, water, soil, man-made and seismic impact.