УДК 632.15

М.В.ПАРШИНА, Д.С.КОРЕЛЬСКИЙ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМБИНАТА «СЕВЕРОНИКЕЛЬ» НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

Представленные исследования, проводимые в районе г.Мончегорска, направлены на определение механизмов и оценку уровня нарушения и загрязнения природной среды в ходе производственной деятельности ОАО «Североникель». Приведены результаты изучения степени трансформации и вероятности миграции загрязняющих компонентов из отходов на открытой площадке шлакоотвала за счет гипергенных процессов; выявлен высокий кислотный потенциал отвальных шлаков, который при сравнительно малых объемах инфильтрационных вод из-за глобальной эмиссии обусловливает значительный ущерб поверхностным водам, являющимся в районе единственным источником питьевого водоснабжения; предложена система мониторинга и оценки состояния почвенно-растительного покрова в лесных экосистемах, находящихся под воздействием ОАО «Североникель».

The research presented at paper carried out in area of Monchegorsk and directed on definition of mechanisms and an estimation of infringement and pollution level of an environment during industrial activity of factory «Severonikel». Results of research of transformation degree and migration probability of polluting components from waste on the open area solid wastes storage due to hypergenic processes are presented. The high acid potential of solid wastes is proved and it at rather small volumes infiltration waters causes significant damage to the superficial waters because of global issue. Damaged water is an unique source of drinking water supply in area of Monchegorsk. Also in work the system of monitoring and an estimation of a soil-vegetative cover condition in forest ecosystems impacted by factory «Severonikel» is offered.

Комбинат «Североникель» – одно из крупнейших предприятий Кольского полуострова по переработке медно-никелевого сырья для получения в виде готовой продукции цветных металлов и концентратов драгоценных металлов. В последние годы комбинат выбрасывает в атмосферу около 8 тыс.т/год полиметаллической пыли (никель, медь, кобальт, оксид марганца) и свыше 180 тыс.т/год сернистого ангидрида. Основными твердыми промышленными отходами металлургических предприятий являются шлаки пирометаллургического передела, образующиеся при рудно-термической электроплавке шихты. Выход шлаков при электроплавке составляет до 80 % от общей массы загруженной шихты. Основу шлаков электроплавки составляют кремнезем, закись железа, оксид магния, глинозем и оксид кальция. Кроме них, в шлаке содержится небольшое количество магнетита, ферритов, сульфидов и оксидов цветных металлов, со средним содержанием 0,3 % Ni, 0,25 % Cu, 0,05 % Co, 0,4 % Cr. Эти отходы, согласно действующему классификатору отходов, относятся к категории инертных, хотя в ряде случаев это не обосновано. Так, при длительном хранении под действием природных и техногенных факторов отходы претерпевают трансформацию, что способствует формированию в зоне гипергенеза дренажных вод, насыщенных поллютантами, а в районе расположения отвала способствуют формированию геохимических ореолов и потоков загрязнения.

Складирование огненно-жидких шлаков осуществляется переливом расплава с застывшими включениями из ковшей на бровку откоса отвала. Свежие слитые шлаки для скорейшего остывания заливаются водой, что приводит к их резкому охлаждению, растрескиванию на отдельности и расчленению на глыбы, щебень и дресву.

Неоднородная структура шлакоотвала, сложенного разнообразными по текстуре шлаками (в том числе пористыми и сильнопористыми), большое количество трещин и их разветвленность, большой объем технической воды способствуют трансформации техногенных отложений и миграции загрязняющих компонентов из тела отвала в окружающую среду.

Исследования степени трансформации и вероятности миграции загрязняющих компонентов включали отбор проб шлаков различного срока хранения в отвале, который обусловливает различия в структуре и химическом составе за счет гипергенных процессов, протекающих в отходах на открытой площадке шлакоотвала.

Подготовленные пробы анализировались в три этапа: 1) рутинным рентгеноспектральным фазовым анализом (РСФА); 2) специальным анализом – атомно-абсорбционной спектрометрией (ААС); 3) локальным анализом – растровой электронной микроскопией (РЭМ) и рентгеновским микроанализом (РМА).

В результате рутинного анализа, согласно разработанной схеме мониторинга, показано, что отвальные шлаки металлургического производства в основном состоят из диоксида кремния и оксидов железа, с содержанием следующих примесей, %: S 5-10, Cr 0,4, Ni 0,1, Cu 0,2, Co 0,05.

Для оценки перехода загрязняющих элементов из шлаков в окружающую среду, использовался специальный анализ методом ААС. Для этого были предварительно приготовлены вытяжки из проб, отобранных из отвала, согласно Nordic test. Эксперимент показал, что вымываемость элементов существенно зависит от возраста образца отхода. Образцы отходов, образованных в начале функционирования отвала, изначально содержат меньшее количество тяжелых металлов и соединений серы и хрома. Максимальная вымываемость отмечена у проб отходов среднего возраста (15 лет) и характеризуется следующими данными, мг/л: Cr 10-20, Ni 1,5-2, Cu 5-8, Co 0,5-1,5, S 7-11.

Интенсивность миграции для рассматриваемых отходов увеличивается с ростом трещиноватости отвала, которая достаточно быстро растет для отходов с высокой плотностью в тяжелых условиях Севера, характеризуемых широким диапазоном температур, сильными ветрами и большим количеством кислых осадков.

Для перехода сульфидов Ni, Cu, Co из твердой в растворенную форму в кислой среде достаточно атмосферной влаги, вследствие чего миграция поллютантов из трещиноватой породы становится высоковероятной при влажном климате Мурманской области. Повышению интенсивности миграции тяжелых металлов способствует увеличение кислотности инфильтрационных вод вследствие сильного загрязнения воздуха диоксидом серы.

Исследования техногенного массива предприятия «Североникель» показали, что отходы металлургического производства при хранении подвергаются вымыванию с формированием кислых дренажных вод и трансформацией в новые кристаллохимические фазы. В результате минеральная система переходит в предельно неравновесное состояние, характеризующееся повышенной химической активностью, что способствует диспергации тяжелых металлов и их миграции с водами.

Исследования негативного воздействия техногенных массивов на поверхностные и подземные воды позволило установить, что формирование дренажных вод и миграция загрязняющих компонентов (рис.1) определяются физико-химическими процессами метаморфизации инфильтрационных вод (растворение отходов, десорбция пород зоны аэрации). Складирование сульфидсодержащих пород сопряжено с опасностью формирования кислых дренажных вод, вследствие загрязнения поверхностных или подземных вод фильтрующимися через массив сульфидсодержащих отходов ионами H^+ в процессе окисления сульфидных минералов в окислительной обстановке по схеме для пирита

$$FeS_2 + 7/2\ O_2 + H_2O \rightarrow FeSO_4 + H_2SO_4;$$

$$2FeSO_4 + H_2SO_4 + SO_2 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + H_2O;$$

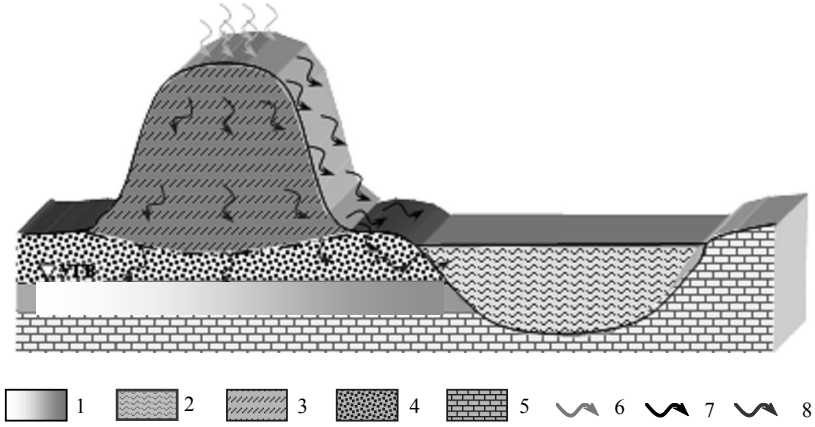


Рис.1. Схема негативного воздействия техногенного массива на природные воды

1 и 2 – грунтовые и поверхностные воды; 3 – отходы; 4 – породы зоны аэрации; 5 – водовмещающие породы; 6 – атмосферные воды; 7 – дренажные воды; 8 – воды поверхностного стока

$$FeS_2 + Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O + 3O_2 \rightarrow$$

$$\rightarrow 3Fe_2(SO_4)_3 + H_2SO_4,$$

для Cu, Ni, Co

$$MeS + O_2 + 2H_2O \rightarrow Me^{2+} + 4H^+ + SO_4^{2-};$$

$$MeS + MeSO_4 + H_2O \rightarrow 2MeSO_4 + H_2SO_4.$$

Процесс формирования кислоты (скорость и пределы падения pH дренажных вод, вид зависимости концентрации ионов H^+ от времени) определяется концентрацией сульфидных минералов в отходах, степенью их кристаллизации, содержанием в отходах нейтрализующих кислотность минералов и их типом (карбонатов, глинистых минералов, фельдшпатов).

Снижение кислотного потенциала шлаков при длительном хранении происходит за счет вымывания сульфидных металлов в окружающую среду, т.е. уже свершившегося факта формирования кислых вод. Высокий кислотный потенциал характерен для образцов отвальных шлаков комбината «Североникель», находящихся в отвале 10-15 лет.

Анализ вымываемости серы из твердых отходов за 35 лет функционирования шлакоотвала (рис.2) позволил сделать следующие выводы:

1) вероятность образования кислых вод возрастает со временем функционирования отвала, за счет окисления серы в зоне гипергенеза;

2) через 15 лет с начала функционирования отвала вероятность образования кислых вод достигает максимума, но затем остается практически на одном уровне за счет повышения трещиноватости вновь поступивших отходов.

На участке складирования шлакоотвала при сравнительно малых объемах инфильтрационных вод из-за глобальной эмиссии загрязнителей наносится значительный ущерб поверхностным водам, являющимся в районе единственным источником питьевого водоснабжения.

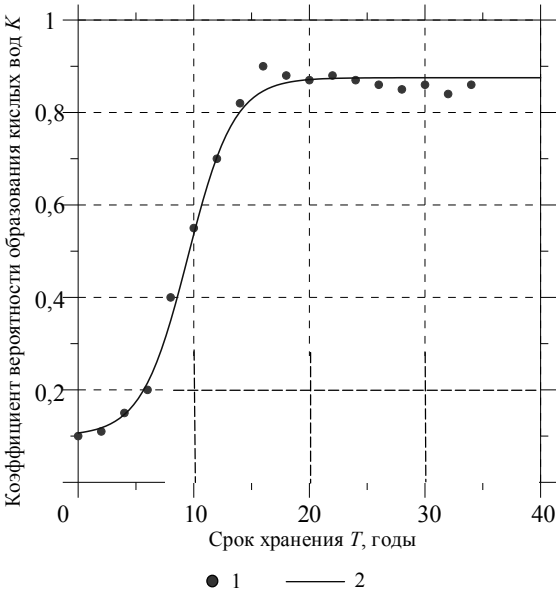


Рис.2. Диаграмма вероятности образования кислых вод

1 – экпериментальные данные; 2 – аналитическая аппроксимация $K = 0{,}1 + \exp(0{,}5T - 5)/[1 + 1{,}29\exp(0{,}5T - 5)]$

В результате комплекса лабораторных исследований установлено, что воды при инфильтрации через тело отвала насыщаются загрязняющими веществами со следующими значениями концентраций, мг/л: Ni 2, Cu 8, Co 1,5, Cr 20 (pH = 3), что приводит к формированию кислотных техногенных ореолов площадью 58 км^2 и потоков загрязнения протяженностью 15-20 км.

Результатом проявления технической или экологической опасности шлакоотвала выступает эколого-экономический ущерб, наносимый приповерхностным отложениям, поверхностным и подземным водам, населению и биотическим компонентам (растениям, животным, микроорганизмам).

Основной целью проводимых в настоящий момент исследований является мониторинг и оценка состояния почвенно-растительного покрова в лесных экосистемах, находящихся под воздействием ОАО «Североникель». Многочисленные исследования показали, что в радиусе более 100 км от крупных промышленных центров и агломераций и 50 км от больших металлургических предприятий и тепловых электростанций расположены зоны выпадения кислых осадков, где экосистемы находятся под влиянием избыточного поступления серы и других поллютантов. Вблизи предприятий, выбрасывающих двуокись серы, pH почвы иногда достигает 2,1-2,8.

По данным ОАО «Центрально-Кольская экспедиция», производственная деятельность комбината «Североникель» оказывает заметное негативное влияние на обширную территорию (см. таблицу). Зона очень высокого уровня загрязнения (значения суммарного показателя загрязнения превышают 128) составляет площадь 1400 км^2 и характеризуется максимальными уровнями годовых выпадений Ni и Cu.

Содержание подвижных форм химических элементов и pH в почвах сосновых лесов в районе воздействия комбината «Североникель»

Направление	Расстояние от источника загрязнения, км	Горизонт почвы	Его мощность, см	Содержание, мг/кг почвы (в вытяжке 1,0 н. раствора HCl)			
				Ni	Cu	Fe	Mg
ЮЗ	60	Зона начальной стадии нарушения лесных экосистем					
		A_0	0-5	14	16	580	75
		A_0A_1	5-6	7,7	5,0	320	55
		A_2	6-13	<5	<5	170	<5
		B	13-30	<5	<5	585	5,0
ЮЮЗ	30	Зона частичного нарушения лесных экосистем					
		A_0	0-0,5	70	105	700	30
		A_0A_1	0,5-2,0	30	30	495	10
		A_1A_2	2-4	<5	<5	Не определялось	<5
		A_2	4-23	<5	<5		7,0
		B	23-56	<5	<5	100	8,0
						1220	
ЮЮЗ	15	Зона сильно разрушенных лесных экосистем					
		A_0	0-0,5	615	1110	1260	25
		A_0A_1	0,5-2,0	545	865	1430	20
		A_2	4-23	35	12	290	<5
		B	23-56	22	8,0	1800	35
ЮЮЗ	8	Зона полного разрушения лесных экосистем (деградации)					
		A_0	0-1	1390	2490	3720	50
		A_0A_1	1-3	1025	1020	1340	20
		A_2	3-4	Не определялось			
		B_1	4-18	50	25	5520	15
		B_2	18-55	40	13	4100	20
		C	55 и более	16	8,5	1010	45

В Мурманской области, на территориях, подверженных непосредственному атмосферному воздействию ОАО «Североникель», был отобран основной материал в виде проб почв и растительности. Исследования проводились совместно с сотрудниками Ботанического института им. В.Л.Комарова РАН, которые осуществляют собственные геоботанические изыскания на постоянных пробных площадях (ППП) на Кольском полуострове с 1984 г. Сбор данных осуществлялся в различном объеме на 12 ППП с применением как общепринятых методов пробоотбора, так и усовершенствованных применительно к объектам и задачам выполняемых исследований.

Для более подробного изучения неоднородности почвенного покрова и отбора проб почв с наружной стороны ППП закладывались прикопки, представляющие собой квадратные шурфы 30 × 30 см и глубиной до 50 см. Принцип описания и отбора проб аналогичен работе с почвенными разрезами, но как более экспрессный позволяет закладывать от 10-20 прикопок на одной пробной площади, что дает более полные данные о физико-химических свойствах лесной подстилки. На различном расстоянии от комбината и на фоновых территориях на ППП отбирались пробы верхних почвенных горизонтов, а именно A_0, A_1, A_2 (где возможно) и BFH. Это позволяет определить как общую степень загрязненности почв на различном расстоянии от предприятия, так и получить распределение накопления тяжелых металлов по различным горизонтам. В фоновых зонах пробы отбирались посредством усреднения с нескольких прикопок. В зоне воздействия комбината пробы усреднялись с четырех прикопок в углах квадратов 2 × 2 м, отстоящих друг от друга на 10 м, что дополнительно позволяет определить миграцию в пределах одной ППП. Для получения полной картины инфильтрации и аккумуляции тяжелых металлов было заложено несколько почвенных разрезов. Анализ отобранных образцов проводился на рентгенофлуоресцентном спектрометре ED2000 фирмы «Oxford Instruments» (Великобритания).

Параллельно с оценкой содержания тяжелых металлов в лесных почвах в настоящее время проводятся исследования химического состава хвои деревьев и растений нижних ярусов. Необходимость подобных исследований подтверждается тем, что определенные ранее на данной территории средние содержания в горизонте A_0 подвижного Ni составляют 186 мг/кг (46 ПДК), а Cu – 368 мг/кг (122 ПДК), что превышает предел насыщения мхов, традиционно используемых для оценки годовых выпадений тяжелых металлов. На фоновых пробных площадях отбирались основные представители растительного мира данного региона: сосна и ель сибирская (хвоя за последние 5 лет), кустарнички черники, брусники, голубики, дерена шведского и Impetrum (лиственная фитомасса), мхи и лишайники (Pleurozium schreberi), гилокомиум блестящий (Hylocomium splendens), ягель (Cladina stellaris). Далее в пределах ППП отбирались образцы всех растений, представленных на пробной площади и входящих в список отобранных ранее на фоновых участках. Отбор проб проводился усреднением образцов. Дополнительно на двух ППП, находящихся в зоне влияния комбината, был произведен отбор хвои ели сибирской, матурных и вергинильных особей индивидуально по деревьям с описанием состояния. Количественный анализ планируется проводить с использованием атомно-абсорбционного спектрометра АА-6300 фирмы Shimadzu (Япония).

Полученные результаты лягут в основу дальнейшей работы, предполагающей создание методики определения зон и уровней воздействия предприятий металлургической промышленности на природную среду европейской части Севера России.

Исследования выполняются при поддержке Американского фонда гражданских исследований и развития для независимых государств (CRDF).