

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КИСЛЫХ ПОРОВЫХ ВОД ДЖИДИНСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА С ИЗВЕСТНЯКОМ

В. В. Дабаева, А. М. Плюснин

Геологический институт Сибирского отделения РАН, Россия

Поступила в редакцию 7 октября 2016 г.

Аннотация: Изучены особенности миграции и высаживания микроэлементов из поровых вод, находящихся в техногенных песках, при взаимодействии с известняком, равномерно распределенном в толще песков и внесенном в виде слоя. Установлено понижение концентрации ряда химических элементов в поровых водах при их нейтрализации известняком. На поверхности известняка и в слое формируются минеральные и аморфные формы новообразований, в которых связываются тяжелые, редкие и токсичные химические элементы. Полученные данные свидетельствуют о том, что известняк может использоваться для нейтрализации кислых поровых вод в техногенных отложениях и ограничения миграции ряда токсичных химических элементов границами хвостохранилища.

Ключевые слова: отходы горнодобывающей промышленности, фильтрация, нейтрализация, известняк.

Abstract: The article presents features of migration and precipitation of microelements from interstitial water in anthropogenic sands in reaction with lime-stone, which is equally spaced in the sand depth and applied as a layer. Decrease in concentration of some chemical elements in interstitial waters in case of lime neutralization is established. On the surface of lime-stone and in a layer appears the process of mineral and amorphous new formation forms creation, where heavy, rare and toxic chemical elements are being connected. The research data indicates that lime-stone can be used for neutralization of acid interstitial waters in anthropogenic depositions and for limitation of some toxic chemical elements migration by the borders of a tailing pond.

Key words: waste of the mining industry, filtration, neutralization, limestone.

Известно, что отходы добычи и переработки руд оказывают негативное воздействие на природу [1]. В то же время, их следует рассматривать как сложные, поликомпонентные системы, представляющие интерес для горнодобывающей промышленности. В связи с этим в последнее время в литературе интенсивно обсуждается проблема миграции металлов и других компонентов внутри и за пределы хвостохранилищ [3, 9]. Сейчас хвостовые хозяйства ГОКов рассматриваются как новый тип рудных объектов – техногенные месторождения, что связано с возможностью их вторичной переработки [7]. Рентабельность вторичной переработки определяется тем, что хвосты не требуют дробления, расположены вблизи предприятия, имеют выдержанный минеральный и фаци-

альный состав. Применение более совершенной технологии извлечения полезного компонента позволяет без особых затрат получать высококачественную товарную продукцию. Однако, как показали опытные работы по вторичной переработке хвостов, возникают проблемы связанные с окислительным преобразованием руды при длительном хранении. В частности, поровые воды, заключенные в толще хвостов переработки, со временем становятся кислыми, негативно воздействуя на состояние технологического оборудования фабрик. Но в этих водах накапливаются значительные концентрации многих химических элементов, включая благородные и редкоземельные. Эти компоненты также можно извлекать, увеличивая рентабельность вторичной переработки. Но для этого необходимо изменить технологию хранения отходов переработки – не стремиться к изолированию хвос-

тов от окружающей среды, а научиться регулировать процессы, протекающие в толще хвостохранилищ, оставляя их открытым и для газов и атмосферных вод. Одним из вариантов такого хранения может быть проточный реактор, который предусматривает высаживание растворенных токсичных и полезных компонентов из поровых вод в определенных местах хвостохранилища. Таким образом, создаются концентраты для последующего извлечения, а очищенные воды выводятся за его пределы.

С помощью эксперимента мы попытались выяснить общую направленность процессов, протекающих в толще песков при добавлении к ним в качестве нейтрализующего реагента известняк.

Преобразования техногенных песков при длительном хранении

В отвалах горных пород после складирования продолжают протекать физико-химические процессы, в результате которых возникают новые минеральные фазы, меняются формы нахождения химических элементов. Многие из них переходят в подвижное состояние и легко мигрируют на окружающую территорию [1].

При вскрытии сульфидсодержащих горных пород в процессе разработки, сульфиды становятся доступны агентам выветривания, происходит их окисление с образованием серной кислоты, сульфатов меди, цинка, железа и других токсикантов, которые попадают в поверхностные и проникают в подземные воды, накапливаются в почвах. Об-

разование токсикантов в сульфидсодержащих отвалах и загрязнение ими природы продолжается десятки и сотни лет.

Длительное хранение отходов горнодобывающих предприятий приводит к потере первоначальных качеств руды и сопровождается масштабной миграцией агрессивных компонентов, в том числе и рудных, в окружающую территорию, в результате чего техногенное месторождение обесценивается как источник минеральных ресурсов [11]. Особенно заметны изменения в массивных рудах – обломки этих руд покрываются корочкой гидрокислов железа, начинают шелушиться и рассыпаться. Продуктами окисления и эрозионных процессов являются вторичные минералы и кислые растворы [5, 17]. Отвалы горных пород распределяются на значительной площади и, практически, не изолированы от подземных водных систем и оказывают на них отрицательное воздействие [4]. В результате геохимической миграции формируются ореолы загрязнения вблизи хвостохранилищ, карьеров и других объектов горнообогатительных комбинатов [15].

После взаимодействия с водой содержание в поровых растворах кислоторастворимых, подвижных и водорастворимых форм тяжелых металлов может увеличиваться в 2-6 раз по сравнению с исходной концентрацией. Наиболее интенсивно это происходит в отходах, содержащих сульфидные минералы, что объясняется влиянием процессов сернокислого гидролиза на высвобождение этих

Таблица 1

Химический состав реагентов, использующихся в эксперименте, %

Компонент	Проба	
	Песок	Известняк
SiO ₂	52,20	10,80
TiO ₂	0,65	0,16
Al ₂ O ₃	12,20	2,90
Fe ₂ O ₃	5,20	0,82
FeO	1,91	0,47
MnO	0,20	0,06
MgO	4,60	1,18
CaO	5,81	46,34
Na ₂ O	2,14	0,54
K ₂ O	4,09	0,92
P ₂ O ₅	0,16	0,05
П.п.п.	4,71	34,99
Сумма	93,87	99,23
S	2,94	0,27
SO ₃	7,36	0,68

элементов из связанного состояния и образование большого количества геохимически активных соединений. В целом, для всех отходов горнодобывающего производства отмечено увеличение содержания кислоторастворимых и водорастворимых форм тяжелых металлов [2].

Если в почвогрунтах в естественных условиях металлы накапливаются преимущественно в поверхностном корневом слое, то в техногенных песках их содержание растет при переходе к более глубоким горизонтам. Это происходит в силу того, что в техногенных песках развита иллювиальная миграция, которая приводит к накоплению в нижних горизонтах тонкодисперсных частиц содержащих тяжелые металлы. Условия, существующие на поверхности хвостохранилища, способствуют формированию подвижных, легко растворимых соединений свинца, цинка, меди [13, 14]. Миграция вещества в условиях техногенеза происходит в тех же основных формах, что и в природных ландшафтах. В горнодобывающем производстве горные породы перерабатываются по общей схеме: извлечение из недр – переработка в технологических цепочках – складирование в хвостохранилищах. В результате деятельности горнодобывающей промышленности в нашей стране образованы миллиарды тонн хвостов обогащения, которые содержат в раскрытом, т.е. подготовленном для растворения и миграции различные эндогенные (неустойчивые в окислительных условиях) минералы, содержащие токсичные химические элементы. Освоение даже одного месторождения сопровождается огромным перемещением горных пород и их рассеиванием на большие расстояния. Только в результате деятельности одного Джидинского ГОКа в Республике Бурятия, извлечено из

недр и складировано более 40 млн. тонн отходов. Техногенный поток рассеяния молибдена, вольфрама, золота и других элементов, связанный в значительной степени с аварийными сбросами фабрики и периодическими размывами хвостохранилищ, протягивается на расстояние более 200 км [16].

Материал и методы исследований

Для экспериментов были взяты пески из хвостохранилища намывного типа Джидинского ГОКа, которые хранились более 40 лет. Основная масса хвостов представлена несцементированным, плохо отсортированным полевошпат-кварцевым песком. Из породообразующих минералов преобладает кварц, полевой шпат, амфиболы, хлорит, эпидот, мусковит, апатит. Рудные минералы представлены пиритом, гюбнеритом, шеелитом, халькопиритом, гидроокислами железа, галенитом, присутствует сфалерит. При хранении образовались сульфаты, гидроокислы, карбонаты железа, марганца, кальция магния, алюминия и других элементов [10]. Химический состав песков и поровых вод этого хвостохранилища приведен в работах [6, 8, 12]. Поровые воды, находящиеся в хвостохранилище, кислые, pH достигает 2,8, это определяет формирование в растворе очень высоких концентраций многих химических элементов, в том числе токсичных. В нейтральных условиях среды миграционная способность химических элементов значительно ниже [16]. Поэтому, нейтрализация растворов приводит к ограничению миграционной способности химических элементов в толще хвостохранилища. В качестве нейтрализатора в работе был выбран известняк месторождения Зун-Нарын, который располагается вблизи техногенного месторождения. Нейтрализующий материал дро-

Таблица 2

Микроэлементный состав используемых материалов

Компонент	Единица измерения	Проба	
		Песок	Известняк
Li	%	0,067	0,013
Rb	%	0,12	0,021
Zn	%	0,058	0,01
Pb	%	0,024	0,0097
Cr	г/т	315	<5
Co	г/т	30	<1
Ni	г/т	84	3,8
Cu	г/т	55	4,0
Be	г/т	40	<1
Au	г/т	0,04	0,013

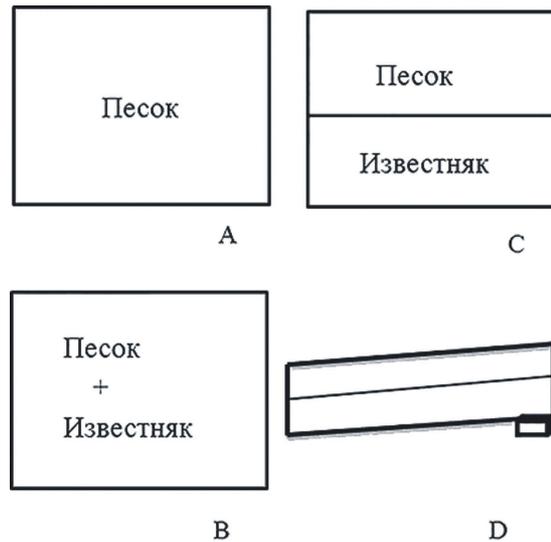


Рис. 1. Способы загрузки контейнеров: А – только песок; В – к песку добавлена крошка известняка в количестве 5 % (по объему), равномерно распределенная по всей толще; С – сверху песок, внизу слой известняка; D – положение контейнера на горизонтальной поверхности (один край по длине приподнят на 1 см)

бился и просеивался. В экспериментах использовалась фракция 0,5-1 мм.

В лаборатории инструментальных методов анализа ГИН СО РАН определен химический состав песка из хвостохранилища и известняка Барун-Нарынского месторождения, которые использовались в экспериментах (таблицы 1-3).

Песок содержит значительное количество окисленных форм железа и серы, вероятно, они присутствуют в форме сульфата железа, часть этих элементов находится в песках в восстановленных формах, в виде сульфидов. Среди микроэлементов пески выделяются высоким содержанием цинка, хрома и свинца. Значительно более низкое содержание этих элементов в известняке.

Загрузку из песка и известняка помещали в контейнер размером 420x320x165 см. Нейтрализатор в толще песков распределяли двумя способами. Первый – 5 % известняка равномерно распределяли по всей толще песка. Второй – из известняка в толще песка формировали отдельные слои (рис. 1). Толщина слоя известняка составляла 2 см, песка – 6 см. Для выявления нейтрализующего воздействия известняка и снижения в результате этого миграционной способности элементов один контейнер заполнялся только песком.

Через сформированную таким образом толщу пропусклась дистиллированная вода путем распыления сверху на поверхность песка. Вода инфильтровалась через песок и известняк, стекала по дну контейнера к наклоненному краю и выводилась в принимающий сосуд. Вода пропусклась

порциями по 100 мл. Общий объем дистиллированной воды, пропущенной через загрузку, 8100 мл в каждом эксперименте. Пробы были отобраны в начальный момент фильтрации в первый день и во время установления равновесного состояния. Содержание ионов сульфата определялось турбодиметрическим методом. Для определения микроэлементного состава растворов использовался атомно-эмиссионный спектральный анализ с индуктивно-связанной плазмой. Для изучения образовавшихся в процессе эксперимента минералов под биноклем отбирались измененные зерна известняка и тонкая фракция рыхлых новообразований, которая накапливалась на дне контейнера и в слое известняка. Качественный анализ проводился с помощью электронного сканирующего микроскопа LEO 1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания). Образцы были смонтированы на двухстороннем скотче на стеклянной подложке для исследования в режиме VP вакуумной системы микроскопа. При этом в области электронной пушки создавался высокий вакуум ($\approx 10^{-5}$ - 10^{-6} мм рт. ст.), а в камере образцов форвакуум ($\approx 10^{-2}$ -3 мм рт. ст.). Ошибка анализа на сумму составляла 2-4 масс. %.

При фильтрации поровых вод через толщу песка и нейтрализатора формируются растворы с широким спектром содержания химических элементов и значением pH. В фильтрате фиксируются высокие содержания сульфат-иона. Концентрация этого иона в фильтрующемся растворе возра-

Таблица 3

Значение pH и содержание сульфат-иона в экспериментальном растворе

*Шифр пробы	pH	Концентрация SO_4^{-2} , мг/дм ³
A1	2,56	3284,57
B1	5,61	1582,2
B2	7,18	1574
C1	5,31	2642,5
C2	6,68	1641,5

*Примечание: пробы B1, C1 – порции фильтрата после пропускания 100 мл дистиллированной воды, B2, C2 – пробы, отобранные после пропускания 8100 мл.

Таблица 4

Содержание рудных элементов в фильтратах, мкг/дм³

*Шифр пробы	A1	B1	B2	C1	C2
pH	2,61	5,35	6,50	5,65	6,69
Cu	3350	273	30	11	8
Zn	32830	19640	9880	81	31
Pb	190	<30	<30	<30	<30
Fe	104910	10090	5310	47	34
Mn	6840	6120	3730	140	33
Ni	660	510	320	10	<5
Co	1080	674	458	7.0	<5
Cr	30	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5

*Примечание A1 – в фильтратах прошедших через экспериментальную толщу техногенных песков, B1, B2 – в растворах после фильтрации через смесь песка с известняком, C1, C2 – в растворах после фильтрации через пески со слоем известняка.

Таблица 5

Содержание редкоземельных элементов, мкг/дм³

Шифр пробы	A1	B1	B2	C1	C2
La	69	32	7	<5	<5
Ce	145	52	<10	<10	<10
Nd	83	25	<5	<5	<5
Sm	22	10	<10	<10	<10
Eu	8	3	<10	<10	<10
Gd	29	9	<5	<5	<5
Dy	28	9,8	<5	<5	<5
Ho	7	<5	<5	<5	<5
Er	16	<5	<5	<5	<5
Tm	2	<2	<2	<2	<2
Yb	23	6	<0,2	<0,2	<0,2
Lu	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Y	280	75	<10	<10	<10

стает быстро, в течение нескольких минут, пока вода проходит через экспериментальную установку. По нашему мнению, происходит растворение сульфатных, гидросульфатных солей разных ме-

таллов – продуктов разложения сульфидных минералов, которые накопились в толще хвостов переработки за длительное время хранения песков в окислительной обстановке. В результате реакции

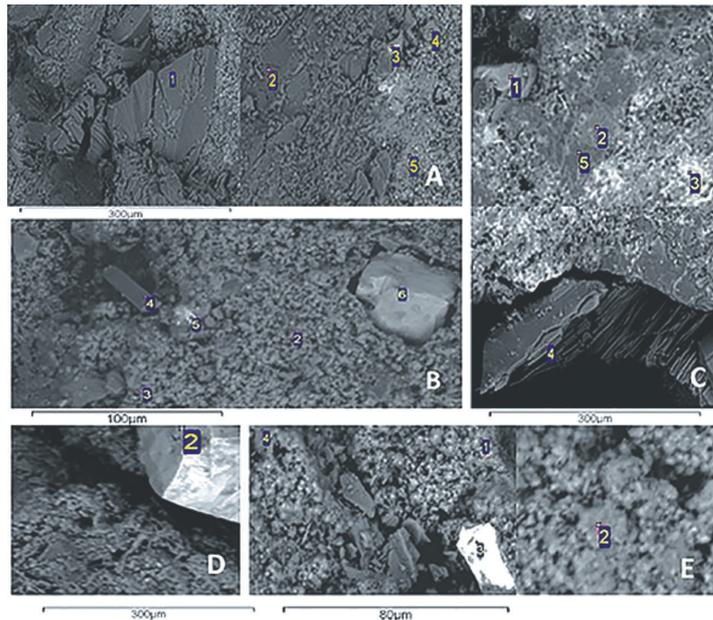


Рис. 2. Новообразования в частицах известняка из эксперимента с равномерным распределением их в толще песка. А: 1, 2 – ангидрит, 3 – пирит, 4 – портландит, 5 – оксид железа с примесью кремния, алюминия, титана; В: 2, 3 – сернокислое железо с примесью кремния, алюминия, титана, натрия, калия, 4 – гипс, 5 – шеелит, 6 – пирит; С: 1 – флюорит, 2 – оксид железа, 3 – оксид железа с примесью свинца, 4 – гипс, 5 – фенакит; D: 2 – пирит; Е: 1, 2 – фториды железа с примесями натрия и калия, 3 – шеелит, 4 – фторид железа (номера на рисунках соответствуют участкам, где произведен микроанализ)

гидролиза этих солей (в основном сульфата железа) формируется кислая среда, образуются гидроокислы металлов и в растворе накапливается сульфат-ион (таблица 3).

Рудные элементы переходят в раствор, их концентрация приведена в таблицах 4-5. В дальнейшем, часть из них осаждается на щелочном, карбонатном барьерах, образуя вторичные минералы. В песке после пропускания через них 8 литров дистиллированной воды содержание золота снижается до 0,003 г/т, в известняке – до 0,0075 г/т. В инфильтрующемся через пески растворе фиксируется высокая концентрация золота – 0,2 мкг/л.

Полученные данные свидетельствуют о том, что с добавлением известняка увеличивается рН фильтратов, и это способствует уменьшению содержания металлов. Такая ситуация, вероятно, связана с их осаждением на карбонатном барьере.

По данным атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой фильтрат с низким значением рН содержит значительные концентрации железа, меди, цинка. При взаимодействии раствора с известняком фиксируется снижение концентрации ряда элементов, которые частично связываются в минеральные фазы. Наиболее интенсивно из раствора удаляется железо.

При добавлении к пескам известняка происходит высаживание из раствора различных минералов. Как показали исследования на электронном микроскопе, преобладающей формой минералов, ассоциирующих на поверхности карбоната, являются сульфаты. Из раствора при взаимодействии с кальцитом, на его поверхности интенсивно кристаллизуется ангидрит с размером зерен до 70 мкм, который окружен оксидами железа и включениями портландита. Здесь же в микрокристаллической массе среди гидроксидов кальция отмечается пирит, поверхность которого размыта (рис. 2А). Вероятно, он вымыт током движущегося раствора из песков.

Химический состав микровключений в исследуемых образцах представлен в таблице 6.

На поверхности частично преобразованного зерна кальцита выделяется образование гипса, представленное прозрачным удлиненным кристалликом размером 4 мкм, который окружен шеелитом. Кальций в этом новообразовании частично замещается железом. Примесными компонентами являются алюминий (Al – 0,91 %), калий (K – 0,35 %). Среди рыхлой массы на поверхности частично прореагировавшего с раствором известняка выделяется пирит с размером зерна 6 мкм (рис. 2В).

Химический состав основных микровключений, представленных на рисунке 2, %

Минерал	Si	Al	Fe	Ca	K	F	W	S	O
Ангидрит	0,55	0,27	1,88	21,96				18,02	61,61
Ангидрит	0,83	0,29	1,55	23,12				20,4	96,99
Пирит			43,37					51,22	
Портландит			4,89	45,98					47,5
Гипс	1,69	0,63	2,44	21,33	0,35			18,59	100,62
Шеелит		0,91	3,77	13,41	0,41		57,92	2,04	31,99
Флюорит	3,51	0,49	1,53	50,04		69,33			

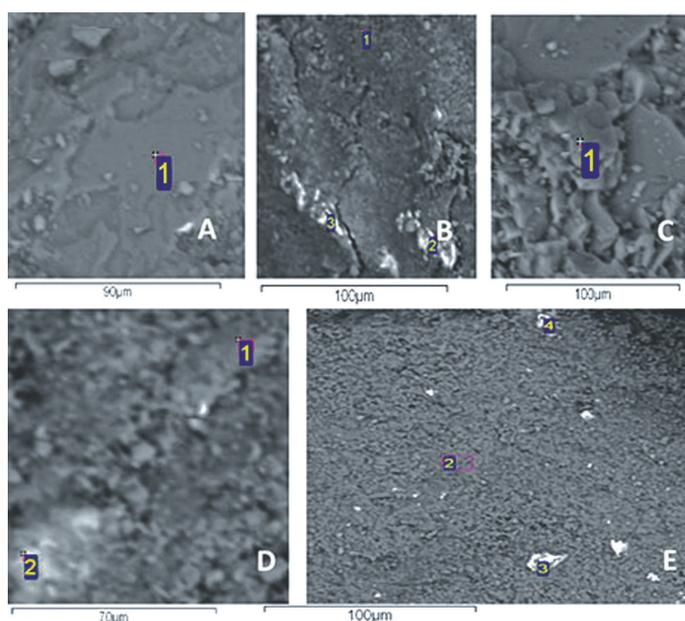


Рис. 3. Микровключения карбонатных зерен, отобранных из слоя известняка А: 1 – кальцит с примесью железа; В: 1 – оксид кальция с примесью фтора, 2, 3 – окислы меди; С: оксид кальция с примесью магния и меди; D: 1 – пироксен, 2 – оксид железа и цинка; Е: 2 – оксид кальция с примесью магния, алюминия, кремния, 3, 4 – кристаллы, состоящие в основном из железа, с высоким содержанием диспрозия ($\approx 1,8\%$).

Новообразования, представленные тонкой взвесью, содержат пластинчатый гипс трещиноватой текстуры, флюорит размером 5 мкм, здесь встречается фенакит в виде тонкослойной пленки, окруженной сернокислым железом с примесью свинца (Pb – 6,45 %) (рис. 2С). Среди рыхлой аморфной массы обнаружены кристаллы пирита (рис. 2D), шеелита с примесью рения (Re – 3,26) и фтора (F – 5,92), которые вымыты из толщи песков потоком воды.

При взаимодействии с кислой поровой водой на поверхности зерен карбоната формируются сульфаты железа, гидроксид кальция (портландит), что обусловлено кристаллизацией их при нейтрализации раствора вблизи поверхности.

Результаты эксперимента показали, что при увеличении интенсивности потока фильтрации поро-

вых вод происходит вымывание из техногенных песков кристаллов таких минералов, как пирит, флюорит, шеелит, фенакит. Благодаря эффективно-му рН-буферирующему потенциалу известняка катионы металлов частично из растворов переходят в твердую фазу, связываясь с ионами кальция.

При добавлении в песок известняка в виде слоя частицы кальцита после взаимодействия с кислыми поровыми водами приобретают более неровную аморфную поверхность, что не позволяет уверенно диагностировать микровключения (рис. 3). В слое почти не встречаются сульфидные соединения, возможно это обусловлено тем, что основной формой связывания микроэлементов являются гидроксиды. Кальций частично замещается железом. Среди примесных компонентов чаще встречается магний (таблица 7).

Химический состав микровключений представленных на рисунке 3

Проба	№ и.уч.	Химические элементы, %								
		A	1	Mg	Ca	Cu	O			
		0,51	36,76	36,34	57,78					
B	1	Si	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	S		
		0,21					36,53	33		
	2	0,32	0,74			0,34	38,75	50,66		
	3	6,41	1,47	66,28	0,42		12,39	23,21		
C	1	0,51	36,76	36,34	57,78					
D	1	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Ca	Zn	S	O
		27,04	0,43	3,95	6,11	10,59	15,64	1,4		79,67
	2	1,33		2,46	45,62		7,07	58,13	0,59	0,69
E	2	Si	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na		
		0,93	1,59	0,41		0,26	37,37			
	3	5,91	2,28	78,82	0,44		6,95	0,69		
	4	3,84	1,87	76,38	0,56		6,85			

Зерна известняка представлены микрокристаллической массой кальцита, связанным с железом (рис. 3). Химический состав характеризуется преобладанием на поверхности частиц известняка железа с примесью алюминия и магния (O – 70,36; Ca – 36,34; Fe – 24,31; Al – 0,33; Mg – 0,28, Σ 107,3, %).

Следует отметить, что поверхность зерна представлена тонкокристаллической пленкой. На поверхности осаждается медь в виде окислов.

Среди тонкокристаллической массы кальцита выделяется зерно пироксена в окружении аморфных образований, содержащих цинк (химический состав представлен, %: O – 79,67; Ca – 15,64; Fe – 6,11; Si – 27,04; Zn – 1,4; Al – 0,33; Mg – 0,28, Σ 144,95). Здесь также фиксируется аморфный агрегат, характеризующийся сложным составом, % – (O – 0,69; Fe – 45,62; Zn – 58,13; Ca – 7,07; Al – 2,46; Si – 1,33; S – 0,59, Σ 124,62). На поверхности карбонатного барьера формируются микровключения разного компонентного состава (таблица 7). В частности встречаются ангидрит, гипс, порландит, железистые соединения (рис. 2, 3).

На изученных участках преобразования кальцита аморфные фазы соединений металлов представлены чаще всего окислами железа. Среди микрокристаллической массы кальцита формируются агрегаты размером до 7 мкм, состоящие в основном из железа (\approx 84 %) с примесью марганца (\approx 0,6 %). Основными примесями в микровключениях являются Na, K, Mg, Ti. Следует отметить, что в отобранных зернах кальцита, распределен-

ного по всей толще песка, встречаются включения с примесями фтора (\approx 8,3 %), что свидетельствует о высаживании фтора из раствора в виде флюорита.

Итак, в толще техногенных песков происходит мобилизация в поровое пространство подготовленного выветриванием подвижного материала. В кислых растворах находятся высокие содержания рудных, редкоземельных элементов. Взаимодействие известняка с кислыми поровыми водами приводит к нейтрализации растворов и снижению концентрации ряда элементов в фильтрате. Использование небольшого количества данного нейтраллизатора приводит к изменению миграционной способности некоторых компонентов – тяжелых металлов, редкоземельных элементов, происходит образование микрофаз на карбонатном барьере. Среди минеральных новообразований обнаруживаются сульфаты, оксиды, карбонаты разных металлов сложного химического состава. В аморфных образованиях отмечается повышенное содержание железа, меди, цинка, реже свинца, щелочноземельных элементов, примесей натрия, калия, магния, вероятно, они осаждались из раствора на поверхности известняка, который выполняет функцию щелочного барьера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алампиева Е. В. Поведение токсикантов в хвостах горно-обогажительного производства на медноколчеданном месторождении / Е. В. Алампиева, Е. Г. ПANOVA // Известия Российского государственного педа-

гогического университета им. А. И. Герцена. – 2012. – № 147. – С. 144-151.

2. Бачурин Б. А. Оценка техногенно-минеральных образований горного производства как источников эмиссии тяжелых металлов / Б. А. Бачурин // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование : труды 2 Всероссийского симпозиума с международным участием 8-х Всероссийских чтений памяти академика А. Е. Ферсмана. – Чита : Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2008. – С. 8-9.

3. Дампилова Б. В. Исследование нейтрализации кислых отходов обогащения сульфидно-вольфрамовых руд при их вторичной переработке / Б. В. Дампилова, О. К. Смирнова, А. М. Плюснин // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19, № 2. – С. 56-59.

4. Котельникова А. Л. Проблемы экологически безопасного использования и утилизации отходов медеплавильного производства / А. Л. Котельникова, В. Ф. Рябинин, Г. Г. Кориневская // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 1. – С. 111-112.

5. Куликова М. А. Обоснование необходимости формирования защитного экрана для отсыпки отвалов при разработке месторождений / М. А. Куликова // Записки Горного института. – 2013. – Т. 203. – С. 185-189.

6. Плюснин А. М. Миграция токсичных элементов в толще намывного хвостохранилища Джидинского ГОКа / А. М. Плюснин, Д. И. Жамбалова, В. В. Дабаева // 5-й Всероссийский симпозиум «Минералогия и геохимия ландшафтов горнорудных территорий» и 12-й Всероссийские чтения памяти академика А. Е. Ферсмана по проблемам: «Рациональное природопользование» и «Современное минералообразование». – Чита : Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2014. – С. 54-60.

7. Плюснин А. М. Природные гидрогеологические системы, формирование химического состава и реакция на техногенное воздействие (на примере Забайкалья) / А. М. Плюснин, В. И. Гунин. – Улан-Удэ : Издательство Бурятского научного центра СО РАН, 2001. – 137 с.

8. Плюснин А. М. Проблемы хранения и переработки отходов разработки рудных месторождений / А. М. Плюснин, Б. В. Дампилова, Д. И. Жамбалова // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр : материалы 13-й Международной конференции. – Москва : Российский университет дружбы народов, 2014. – С. 28-30.

9. Попов Ю. В. Роль современного минералообразования в миграции элементов в природно-технической системе горных выработок барит-полиметаллического месторождения / Ю. В. Попов, Р. А. Цицуашвили // Экология и защита окружающей среды : сборник тезисов докладов. – Минск, 2014. – С. 296-298.

10. Рыбникова Л. С. Шахтные воды затопленных медноколчеданных рудников Урала: техногенные мес-

торождения или жидкие отходы? Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр / Л. С. Рыбникова, П. А. Рыбников // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр : материалы 13-й Международной конференции. – Москва : Российский университет дружбы народов, 2014. – С. 33-35.

11. Селезнев С. Г. Отвалы Аллареченского сульфидного медно-никелевого месторождения как новый геолого-промышленный тип техногенных месторождений / С. Г. Селезнев, Н. А. Степанов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2011. – № 5. – С. 32-40.

12. Смирнова О. К. Джидинский рудный район (проблемы состояния окружающей среды) / О. К. Смирнова, А. М. Плюснин. – Улан-Удэ : Издательство Бурятского научного центра СО РАН, 2013. – 181 с.

13. Смирнова О. К. Особенности нахождения тяжелых металлов в геотехногенных ландшафтах Джидинского вольфрамо-молибденового комбината / О. К. Смирнова, А. Е. Сарапулова, А. А. Цыренкова // Геоэкология: Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2010. – № 4. – С. 54.

14. Смирнова О. К. Формы нахождения свинца, цинка, меди и молибдена в почвогрунтах и отходах обогащения руд джидинских месторождений / О. К. Смирнова, А. Е. Сарапулова // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование : труды 2-го Всероссийского симпозиума с международным участием 8-х Всероссийских чтений памяти академика А. Е. Ферсмана. – Чита : Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2008. – С. 118-119.

15. Шерстюк Н. П. Активизация гипергенных процессов в районах добычи полезных ископаемых (на примере криворожско-кремненчугской железорудной зоны) / Н. П. Шерстюк // Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений : доклады научно-практической конференции. – Екатеринбург : Институт горного дела Уральского отделения РАН, 2013. – С. 160-162.

16. Юргенсон Г. А. Геотехногенез как процесс геолого-минералогического преобразования техногенных массивов / Г. А. Юргенсон // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование : труды 2-го Всероссийского симпозиума с международным участием 8-х Всероссийских чтений памяти академика А. Е. Ферсмана. – Чита : Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2008. – С. 230-231.

17. Nordstrom D. K. Estimating natural background groundwater chemistry, Quest a molybdenum mine, New Mexico / D. K. Nordstrom, G. S. Plumlee. – URL : <http://researchgate.net/publication/236342927>.

REFERENCES

1. Alampieva E. V. Povedenie toksikantov v khvostakh gorno-obogatitel'nogo proizvodstva na mednokolchedanom mestorozhdenii / E. V. Alampieva, E. G. Panova // *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A. I. Gertsena*. – 2012. – № 147. – S. 144-151.
2. Bachurin B. A. Otsenka tekhnogenno-mineral'nykh obrazovaniy gornogo proizvodstva kak istochnikov emissii tyazhelykh metallov / B. A. Bachurin // *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy. Sovremennoe mineraloobrazovanie : trudy 2 Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem 8-kh Vserossiyskikh chteniy pamyati akademika A. E. Fersmana*. – Chita : Institut prirodnnykh resursov, ekologii i kriologii SO RAN, 2008. – S. 8-9.
3. Dampilova B. V. Issledovanie neytralizatsii kislykh otkhodov obogashcheniya sul'fidno-vol'framovykh rud pri ikh vtorichnoy pererabotke / B. V. Dampilova, O. K. Smirnova, A. M. Plyusnin // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. – 2015. – T. 19, № 2. – S. 56-59.
4. Kotelnikova A. L. Problemy ekologicheskii bezopasnogo ispol'zovaniya i utilizatsii otkhodov medeplavil'nogo proizvodstva / A. L. Kotelnikova, V. F. Ryabinin, G. G. Korinevskaya // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. – 2012. – № 1. – S. 111-112.
5. Kulikova M. A. Obosnovanie neobkhodimosti formirovaniya zashchitnogo ekrana dlya otsypki otvalov pri razrabotke mestorozhdeniy / M. A. Kulikova // *Zapiski Gornogo instituta*. – 2013. – T. 203. – S. 185-189.
6. Plyusnin A. M. Migratsiya toksichnykh elementov v tolshche namyvnoy khvostokhranilishcha Dzhidinskogo GOKa / A. M. Plyusnin, D. I. Zhambalova, V. V. Dabaeva // *5-y Vserossiyskiy simpozium «Mineralogiya i geokhimiya landshaftov gornorudnykh territoriy» i 12-y Vserossiyskie chteniya pamyati akademika A. E. Fersmana po problemam : «Ratsional'noe prirodopol'zovanie» i «Sovremennoe mineraloobrazovanie»*. – Chita : Institut prirodnnykh resursov, ekologii i kriologii SO RAN, 2014. – S. 54-60.
7. Plyusnin A. M. Prirodnye gidrogeologicheskie sistemy, formirovanie khimicheskogo sostava i reaktsiya na tekhnogennoe vozdeystvie (na primere Zabaykal'ya) / A. M. Plyusnin, V. I. Gunin. – Ulan-Ude : Izdatel'stvo Buryatskogo nauchnogo tsentra SO RAN, 2001. – 137 s.
8. Plyusnin A. M. Problemy khraneniya i pererabotki otkhodov razrabotki rudnykh mestorozhdeniy / A. M. Plyusnin, B. V. Dampilova, D. I. Zhambalova // *Resursovo-proizvodyashchie, malootkhodnye i prirodookhrannyye tekhnologii osvoeniya nedr : materialy 13-y Mezhdunarodnoy konferentsii*. – Moskva : Rossiyskiy universitet druzhby narodov, 2014. – S. 28-30.
9. Popov Yu. V. Rol' sovremennogo mineraloobrazovaniya v migratsii elementov v prirodno-tekhnicheskoy sisteme gornyykh vyrabotok barit-polimetallicheskogo mestorozhdeniya / Yu. V. Popov, R. A. Tsitsuashvili // *Ekologiya i zashchita okruzhayushchey sredy : sbornik tezisev dokladov*. – Minsk, 2014. – S. 296-298.
10. Rybnikova L. S. Shakhtnye vody zatoplennykh mednokolchedannykh rudnikov Urala: tekhnogennyye mestorozhdeniya ili zhidkie otkhody? Resursovo-proizvodyashchie, malootkhodnye i prirodookhrannyye tekhnologii osvoeniya nedr / L. S. Rybnikova, P. A. Rybnikov // *Resursovo-proizvodyashchie, malootkhodnye i prirodookhrannyye tekhnologii osvoeniya nedr : materialy 13-y Mezhdunarodnoy konferentsii*. – Moskva : Rossiyskiy universitet druzhby narodov, 2014. – S. 33-35.
11. Seleznev S. G. Otvaly Allarechenskogo sul'fidnogo medno-nikelevogo mestorozhdeniya kak novyy geologopromyshlennyy tip tekhnogennykh mestorozhdeniy / S. G. Seleznev, N. A. Stepanov // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. – 2011. – № 5. – S. 32-40.
12. Smirnova O. K. Dzhidinskiy rudnyy rayon (problemy sostoyaniya okruzhayushchey sredy) / O. K. Smirnova, A. M. Plyusnin. – Ulan-Ude : Izdatel'stvo Buryatskogo nauchnogo tsentra SO RAN, 2013. – 181 s.
13. Smirnova O. K. Osobennosti nakhozhdeniya tyazhelykh metallov v geotekhnogennykh landshaftakh Dzhidinskogo vol'framo-molibdenovogo kombinata / O. K. Smirnova, A. E. Sarapulova, A. A. Tsyrenkova // *Geoekologiya: Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*. – 2010. – № 4. – S. 54.
14. Smirnova O. K. Formy nakhozhdeniya svintsya, tsinka, medi i molibdena v pochvogruntakh i otkhodakh obogashcheniya rud dzhidinskikh mestorozhdeniy / O. K. Smirnova, A. E. Sarapulova // *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy. Sovremennoe mineraloobrazovanie : trudy 2-go Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem 8-kh Vserossiyskikh chteniy pamyati akademika A. E. Fersmana*. – Chita : Institut prirodnnykh resursov, ekologii i kriologii SO RAN, 2008. – S. 118-119.
15. Sherstyuk N. P. Aktivizatsiya gipergennykh protsessov v rayonakh dobychi poleznykh iskopaemykh (na primere krivorozhsko-kremenchugskoy zhelezorudnoy zony) / N. P. Sherstyuk // *Tekhnologicheskaya platforma «Tverdye poleznye iskopaemye» : tekhnologicheskie i ekologicheskie problemy otrabotki prirodnnykh i tekhnogennykh mestorozhdeniy : doklady nauchno-prakticheskoy konferentsii*. – Ekaterinburg : Institut gornogo dela Ural'skogo otdeleniya RAN, 2013. – S. 160-162.
16. Yurgenson G. A. Geotekhnogenez kak protsess geologo-mineralogicheskogo preobrazovaniya tekhnogennykh massivov / G. A. Yurgenson // *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy. Sovremennoe mineraloobrazovanie : trudy 2-go Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem 8-kh Vserossiyskikh chteniy pamyati akademika A. E. Fersmana*. – Chita : Institut prirodnnykh resursov, ekologii i kriologii SO RAN, 2008. – S. 230-231.

17. Nordstrom D. K. Estimating natural background groundwater chemistry, Quest a molybdenum mine, New

Mexico / D. K. Nordstrom, G. S. Plumlee. – URL : <http://researchgate.net/publication/236342927>.

Дабаева Виктория Валерьевна
аспирант второго года обучения Геологического института СО РАН, г. Улан-Удэ, E-mail: dv.viktoriya@mail.ru

Dabaeva Victoria Valerievna
Post-graduate of Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, E-mail: dv.viktoriya@mail.ru

Плюснин Алексей Максимович
доктор геолого-минералогических наук, зам. директора Геологического института СО РАН, зав. лабораторией гидрогеологии и геоэкологии, г. Улан-Удэ, E-mail: plyusnin@gin.bscnet.ru

Plyusnin Alexey Maximovitch
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director of Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Hydrogeology and Geoecology, Ulan-Ude, E-mail: plyusnin@gin.bscnet.ru