



МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТА ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ. СОВРЕМЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ



Чита, 2010

**МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТА
ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ.
СОВРЕМЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ**

Труды III Всероссийского симпозиума с международным участием
«Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и
IX Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана
«Современное минералообразование»

29 ноября – 2 декабря 2010 г.
Чита, Россия

* * *

**MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF LANDSCAPE
OF MOUNTAIN-ORE TERRITORIES.
MODERN MINERAL FORMATION**

Labours of the 3th all-russian symposium with international participation
«Mineralogy and geochemistry of landscape of mountain-ore territories» and
labours of the 9th all-russian readings devoted to academician A.E. Fersman
«Modern mineral formation»

29th of November – 2 of December, 2010
Chita, Russia

УДК 549+551.4(075.8)

Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды III Всероссийского симпозиума с международным участием и IX Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана 29 ноября – 2 декабря 2010 г. Чита, Россия. Чита: 2010 - 168 с.

ISBN 978-5-85158-666-8

В сборнике представлены материалы III Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и IX Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование», в которых обсуждаются различные аспекты проблем минералогии и геохимии ландшафта горнорудных территорий, кор выветривания, зон окисления сульфидных месторождений, в том числе развивающихся в многолетнемерзлых горных породах. Приведены новые данные о биогеохимических потоках токсичных элементов, их захвате растениями. Рассмотрены общие проблемы геотехногенеза, современного минералообразования, геохимических барьеров, минералого-геохимические процессы в осадках содовых озер.

Сборник представляет интерес для специалистов в области процессов гипергенеза, геохимии ландшафта, географов, экологов.

Тексты докладов воспроизведены в авторской редакции с незначительной технической правкой.

© Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2010
Авторский коллектив

Mineralogy and geochemistry of landscape of mountain-ore territories. Modern mineral formation:

Labours of the 3th all-russian symposium with international participation and labours of the 9th all-russian readings devoted to academician A.E. Fersman 29th of November – of 2 december 2010, Chita, Russia. – 168 p.

ISBN

In the collection the materials of the 3th all-Russian symposium with international participation “Mineralogy and geochemistry of landscape of mountain-ore territories” and materials of the 9th all-Russian readings devoted to academician A.E. Fersman “Modern mineral formation” are presented, in which different aspects of problems of mineralogy and geochemistry of landscape of mountain-ore territories, crusts of weathering, zones of oxidation of sulphide deposits, including developing in perennial-frozen rocks are discussed. New data about biogeochemical streams of toxic elements, their hog by plants are given. General problems of geotechnogenesis and modern mineral formation are considered, mineralologic-geochemical processes in sediments of sodium lakes are considered.

The collection introduces interest for specialists in field of processes of hypergenesis, geochemistry of landscape, geographers, and ecologists.

Texts of reports are reproduced in author's editing with small technical correcting.

ISBN 978-5-85158-666-8

© Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, 2010

ОРГАНИЗАТОРЫ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ, ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ им. А.П. ВИНОГРАДОВА
ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ, ЭКОЛОГИИ И КРИОЛОГИИ
ПРАВИТЕЛЬСТВО ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ
РОССИЙСКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
ЧИТИНСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РОССИЙСКОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
ЧИТИНСКОЕ РЕГИОНАЛЬНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО
ЧИТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ И УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ
В ОБЛАСТИ НАУК О ЗЕМЛЕ, КНР
ЦЗИЛИНЬСКИЙ ОБЪЕДИНЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, КНР
ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ ЦЕНТР РАН

* * *

ORGANIZERS

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOLOGY, PETROGRAPHY, MINERALOGY AND
GEOCHEMISTRY OF ORE DEPOSITS
SIBERIAN BRANCH RAS
INSTITUTE OF GEOCHEMISTRY BY NAME A.P. VINOGRADOV
INSTITUTE OF NATURAL RESOURCES, ECOLOGY AND CRYOLOGY
GOVERNMENT OF TRANSBAIKALIA REGION
RUSSIAN MINERALOGICAL SOCIETY
CHITA BRANCH
RUSSIAN GEOLOGICAL SOCIETY
CHITA REGIONAL BRANCH
ZABAYKALSKY STATE HUMANITARIAN-PEDAGOGICAL UNIVERSITY
BY NAME N.G. CHERNYSHEVSKY
CHITA STATE UNIVERSITY
INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND STUDY CENTER OF NORTH-EASTERN ASIA
IN FIELD OF SCIENCES ABOUT EARTH, CHINA
TZYLIN UNITED UNIVERSITY, CHINA
ZABAYKALSKY CENTER RANS

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ

Н.С. БОРТНИКОВ

академик РАН, Институт геологии, минералогии, петрографии и геохимии рудных месторождений РАН, Москва

М.И. КУЗЬМИН

академик РАН, академик РАН, директор Института геохимии СО РАН, сопредседатель, Иркутск

О. ТОМУРТОГОО

академик Академии наук Монголии, Улан-Батор

СҮНЬ ГЭ

профессор, директор Международного НИУ Ц Северо-Восточной Азии в области наук о Земле, Чаньчунь, КНР

ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

Н.А. Горячев – чл. корр.РАН, СВКНИИ ДВО РАН (Магадан), В.П. Зверева – д.г.-м.н., ДВГИ ДВО РАН (Владивосток), Ли Тиндуn – академик КАН, профессор Академии геологических наук Китая (КНР), А.М. Плюснин – д.г.-м.н., ГИН СО РАН (Улан-Удэ), В.М. Плюснин – д.г.н., Институт географии СО РАН (Иркутск), Т.Т. Тайсаев – д.г.н., БГУ (Улан-Удэ),

ОРГКОМИТЕТ

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ

Е.В Вишняков

зам. Председателя Правительства Забайкальского края

А.Б. Птицын

д.г.-м.н., директор ИПРЭК СО РАН

Ю.Н. Резник

д.т.н., ректор ЧитГУ

Г.А. Юргенсон

д.г.-м.н., Председатель Читинского отделения РМО

Сун Чуньлинь

профессор, проректор Цзилиньского университета

ЗАМЕСТИЕЛИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

А.Н. Тарабарко

к.г.-м.н., министр природных ресурсов и экологии Забайкальского края

В.С. Чечеткин

к.г.-м.н., исполнительный директор Читинского регионального отделения РосГео

А.А. Томских

к.г.н., проректор ЗабГГПУ

Янь Хуньцуйянь

профессор Колледжа наук о Земле Цзилиньского университета (КНР)

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Л.П. Чечель

ИПРЭК СО РАН

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА

О.В. Еремин, Л.В. Замана, К.И. Карасев, М.В. Константинов, В.В. Минин, В.П. Мязин, С.М. Синица, А.И. Трубачев, Р.А. Филенко, Н.Н. Чабан (Чита), Кузьмин В.И. (Москва), Н.С. Остапенко (Благовещенск), С.С. Потапов (Миасс), О.К. Смирнова (Улан-Удэ).

РЕДАКТОРСКАЯ ГРУППА

Г.А. Юргенсон (отв. редактор), Л.П. Чечель, Н.С. Балуев

ПОДДЕРЖКА

Грант РФФИ 10-05-06117-г

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемом читателю издании представлены Труды III-го Всероссийского симпозиума «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и IX-х Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана, проводящихся в Чите Читинским отделением Российского минералогического общества с 2006 года.

Коренное изменение общественно-экономической формации и обусловленное им замена плановой экономики на рыночную, в которой государство перестало играть определяющую роль в организации и финансировании горнодобывающей промышленности, привело к прекращению деятельности многих предприятий этой важнейшей отрасли народного хозяйства. Особенно это коснулось исторических горнорудных территорий, таких как Урал, Алтай, Забайкалье. В течение 1990-х это привело не только к безработице, но и к резкому усилению влияния инфраструктуры отрасли на экологическую ситуацию. Огромные техногенные массивы вскрытых горных пород, склады некондиционных руд, хвосты обогатительных фабрик оказались в сфере действия эрозионных, минералого-геохимических и других природных процессов. Их воздействие на техногенные массивы, ставшие неотъемлемыми компонентами природного ландшафта, привело к формированию новых, геотехногенных ландшафтов, характеризующихся спецификой миграции и концентрирования химических элементов и их соединений, в том числе токсичных. В этих условиях концентрирование подвижных элементов происходит на различной природы геохимических барьерах, в том числе и техногенных. Происходит интенсивное современное минералообразование, в определенной мере играющее роль самоочищения высокоминерализованных водотоков, дренирующих геотехногенные массивы. В этой связи важной областью исследований становится не только геохимия, но и минералогия ландшафтов. Поэтому неотъемлемой частью симпозиума, методически и органически связанной с ним, является проблема современного минералообразования, рассматриваемая в рамках Всероссийских чтений памяти выдающегося геохимика и минералога академика А.Е. Ферсмана.

На Симпозиуме и Чтениях представлены доклады по этим и другим, не менее важным направлениям и процессам, происходящим в ландшафтах. Эти процессы находятся в центре внимания специалистов в сопредельных областях минералогии гипергенеза, геохимии и биогеохимии.

В последние годы все большее внимание уделяется этическим проблемам освоения недр, геологическая общественность обращается к проблеме геоэтики, а также сохранения геологического природного наследия.

На симпозиум представлены доклады по четырем направлениям:

- 1) минералого-геохимические процессы в природных и геотехногенных ландшафтах,
- 2) коры выветривания и зона окисления в ландшафтах горнорудных территорий
- 3) биогеохимия биоты в природных ландшафтах и зоне геотехногенеза,
- 4) минералого-геохимические проблемы экосистем горнорудных районов и геологическое природное наследие.

IX-е Чтения памяти академика А.Е. Ферсмана охватывают проблемы современного гипергенного минералообразования, геохимических барьеров и криоминералогенеза. Эта тематика приурочена к Годичному собранию Читинского отделения Российской минералогического общества, на котором рассмотрены также основные результаты работы отделения и задачи на 2011 год.

Как и на предыдущих двух симпозиумах, круг проблем, затронутых авторами докладов, свидетельствует о необходимости комплексного минералого-геохимического и геоэкологического изучения ландшафтов горнорудных территорий как единых и целостных геосистем с целью решения триединой задачи:

- 1) познания природных процессов, формирования геохимических ландшафтов в том числе,
- 2) прогноза и поисков традиционных и новых видов минерального сырья и

3) научного обоснования природоохранных и эколого-социальных управлеченческих решений.

Оргкомитет полагает, что симпозиум 2012 года будет содержать материалы не только о концентрациях химических элементов в биоте, но и о формах нахождения их в ней. На повестку дня выходит также проблема миграции токсичных элементов в трофических цепях: растения → травоядные домашние животные → человек.

Материалы, присланные авторами, публикуются в авторской редакции с минимальными редакторскими правками технического характера.

*Ответственный за выпуск,
доктор геолого-минералогических наук, проф.
Г.А. Юргенсон*

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
1. Минералого-геохимические процессы в природных и геотехногенных ландшафтах. Геотехногенные месторождения.....	7
Барабашева Е.Е., Секисов А.Г., Стремецкая Е.О. Особенности биогеохимической и ядерно-геохимической ассоциируемости рудообразующих элементов	7
Замана Л.В., Вахнина И.Л. Техногенные ландшафты и гидрогоеохимия Любавинского рудного поля (Юго-Восточное Забайкалье)	11
Копейкин В.А. Геохимический барьер на ^{90}Sr	16
Корешкова Ю.В., Юргенсон Г.А. Формы нахождения мышьяка в почвогрунтах Шерловогорского горнорудного района.....	19
Макаров В.Н. Геохимические потоки рассеяния в Северо-Янском оловоносном районе	22
Матель Н.Л. Особенности влияния металлов на растворимость золота в гидротермальных растворах золоторудного месторождения Сухой Лог (Ленский район).....	27
Панова Е.Г., Олейникова Г.А., Гавриленко В.В. Геохимия наночастиц в техногенных ландшафтах	29
Рогова В.П. Урановое минералообразование на месторождениях Восточной Сибири и Монголии	33
Трубачев А.И., Секисов А.Г. Геотехногенные месторождения золота Восточного Забайкалья.....	38
Юсупов Д.В., Радомская В.И. Формирование биогеохимических аномалий золота и ртути рудного поля Покровского месторождения	41
Оюун Ж., Мөнхжаргал Ш., Цэндээ Б., Цэрэнхүү Ч., Одончимэг С. Физико-химические исследования редкоземельных элементов в почвах и водах промышленных районов Монголии в решении экологических проблем	46
2. Коры выветривания и зона окисления в ландшафтах горнорудных территорий.....	54
Русанов Г.Г. Гипергенные новообразования в корах выветривания западных предгорий Рудного Алтая.....	54
Смирнова О.К., Дампилова Б.В. Динамика форм нахождения свинца, цинка, меди и их биодоступность в лежальных хвостах обогащения сульфидно-вольфрамовых руд	58
Эпова Е.С. Геэкологические аспекты выщелачивания меди из окисленных руд Удоканского месторождения	62
3. Биогеохимия биоты в природных ландшафтах и зоне геотехногенеза	66
Горбань Д.Н., Солодухина М.А., Юрженсон Г.А., Филенко Р.А. Висмут и свинец в полыни Гмелина (<i>Artemisia Gmelinii</i>) в природно-техногенном ландшафте Шерловогорского горнорудного района.....	66
Дорошкевич С.Г. Биогеохимические особенности природных ландшафтов Хилокской впадины Забайкалья	70

Леонова Г.А., Бобров В.А., Кривоногов С.К. Биогеохимическая характеристика разновидностей озерных сапропелей Сибирского региона.....	74
Решетова С.А. Пыльца Шерловогорского горнорудного района как индикатор негативных факторов окружающей среды	78
Солодухина М.А. Мышьяк в почвообразующих породах, почвах и древесных растениях Шерловогорского горнорудного района Забайкальского края.....	82
Трегубов О.Д. Биогеохимия зеленых мхов горнотундровых ландшафтов: экологический и геологический аспекты	87
4. Годичное собрание Читинского отделения Российской минералогического общества. IX-е Чтения памяти академика А.Е. Ферсмана. Современное гипергенное минералообразование. Геохимические барьеры. Криоминералогенез.....	91
Блинов И.А., Маляренок М.Н., Вализер Н.И. Экспериментальное сульфатное минералообразование и окисление первичных колчеданных руд Летнего месторождения (Оренбургская область).....	91
Ерёмин О.В., Сергутская О.С., Юргенсон Г.А. О термодинамическом равновесии сульфат-карбонатных растворов в анаэробной среде (на примере озёрной воды Шерловогорского карьера).....	94
Остапенко Н.С., Нерода О.Н. Гипс из коры выветривания Покровского золото-серебряного месторождения и его генезис.....	98
Сергутская О.С., Юргенсон Г.А., Филенко Р.А. Сульфаты магния и меди с различным числом молекул кристаллизационной воды	103
Серебренникова Н.В. Осадки озера Доронинское, обстановка и динамика его седimentогенных процессов	105
Тарасевич Д.А., Чарыкова М.В., Кривовичев В.Г., Яковенко О.С. Синтез и свойства некоторых селенитов и арсенатов, образующихся в зонах окисления селен- и мышьяксодержащих сульфидных руд.....	111
Чечель Л.П. Равновесия в системе вода-порода в водных потоках рассеяния молибденового месторождения Шахтама (Восточное Забайкалье)	116
Юргенсон Г.А. Современное минералообразование в геотехногенных ландшафтах.....	120
Юргенсон Г.А., Борисова М.С., Филенко Р.А., Никитин Д.А. Новые данные о сульфатах магния Ключевского месторождения золота	129
5. Минералого-геохимические проблемы экосистем горнорудных районов. Геологическое природное наследие	136
Бардамова И.В., Смирнова О.К. Использование природных сорбентов для очистки рудничных вод Джидинского месторождения	136
Вильмова Е.С. Первое применение палеоихнофауны в палеэкологии и стратиграфии континентальных отложений верхнего мезозоя Забайкалья.....	139
Гусев А.И. Биогеохимические индикаторы техногенного загрязнения экосистем горнорудными предприятиями Алтая	142
Зверева В.П., Савченко А.В., Костина А.М. Оценка и прогноз воздействия сухих хвостов Комсомольского района на гидросферу методом физико-химического моделирования.....	146
Кучумова Ю.А., Борхонова Е.В. Современное состояние подземных вод в зоне влияния Улан-Удэнского промышленного узла	150

Попов В.Б., Разгильдеева И.И. К вопросу о времени возникновения древнего горнорудного ремесла в Забайкалье (на основе археологических материалов Хентей-Чикойского нагорья)	152
Синица С.М. Новые данные о плиоцен-эоплейстоценовых палеоэкосистемах Забайкалья.....	156
Флешлер В.И., Юргенсон Г.А. О радиоактивности некоторых «нерадиоактивных» объектов горного промысла	158
Авторский указатель	165

Научное издание

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТА ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ.
СОВРЕМЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ

Труды III Всероссийского симпозиума с международным участием
и IX-х Всероссийских чтений памяти академика А.Е. Ферсмана

29 ноября – 2 декабря 2010 г., Чита, Россия

Утверждено к печати ученым советом
Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

Статьи печатаются в авторской редакции
с незначительными правками в основном технического характера

На обложке фото *P.A. Филенко*
Верстка *Н.С. Балуев*
Дизайн обложки *Н.С. Балуев, Г.А. Йоргенсон*

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Барабашева Е.Е. – 7
Бардамова И.В. – 136
Блинов И.А. – 91
Бобров В.А. – 74
Борисова М.С. – 129
Борхонова Е.В. – 159

Вализер Н.И. – 91
Вахнина И.Л. – 11
Вильмова Е.С. – 139

Гавриленко В.В. – 29
Горбань Д.Н. – 66
Гусев А.И. – 142

Дампилова Б.В. – 58
Дорошкевич С.Г. – 70

Ерёмин О.В. – 94

Замана Л.В. – 11
Зверева В.П. – 146

Копейкин В.А. – 16
Корешкова Ю.В. – 19
Костина А.М. – 146
Кривовичев В.Г. – 111
Кривоногов С.К. – 74
Кучумова Ю.А. – 150

Леонова Г.А. – 74

Макаров В.Н. – 22
Маляренок М.Н. – 91
Матель Н.Л. – 27
Мөнхжаргал Ш. – 46

Нерода О.Н. – 98
Никитин Д.А. – 129

Одончимэг С. – 46
Олейникова Г.А. – 29
Остапенко Н.С. – 98
Оюун Ж . – 46

Панова Е.Г. – 29
Попов В.Б. – 152

Радомская В.И. – 41
Разгильдеева И.И. – 152
Решетова С.А. – 78
Рогова В.П. – 33
Русанов Г.Г. – 54

Савченко А.В. – 146
Секисов А.Г. – 7; 38
Сергутская О.С. – 94; 103

Серебренникова Н.В. – 105
Синица С.М. – 156
Смирнова О.К. – 58; 136
Солодухина М.А. – 66; 82
Стремецкая Е.О. – 7

Тарасевич Д.А. – 111
Трегубов О.Д. – 87
Трубачев А.И. – 38

Филенко Р.А. – 66; 103; 129
Флешлер В.И. – 158

Цэндээ Б. – 46
Цэрэнхүү Ч. – 46

Чарыкова М.В. – 111
Чечель Л.П. – 116

Эпова Е.С. – 62

Юргенсон Г.А. – 19; 66; 94; 103;
120; 129; 158
Юсупов Д.В. – 41

Яковенко О.С. – 111

1. МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДНЫХ И ГЕОТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ

ОСОБЕННОСТИ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ И ЯДЕРНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ АССОЦИИРУЕМОСТИ РУДООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

E.E. Барабашева¹, А.Г. Секисов², Е.О. Стремецкая¹

¹Читинский госуниверситет, Чита, Россия, barabasheva@mail.ru

²Читинский филиал BUL CO РАН, sekisovag@mail.ru

FEATURES OF BIOGEOCHEMICAL AND NUCLEUR-GEOCHEMICAL CONNECTIONS OF THE ORE FORMING ELEMENTS

E.E. Barabasheva¹, A.G. Sekisov², E.O. Stremnetskay¹

¹Chita State University, Chtita, Russia, barabasheva@mail.ru

²Chita branch of Mining Institute SB RAS, Chtita, Russia, sekisovag@mail.ru

The article deals with biogeochemical connections amange ore forming elements. It is installed, that nuclear structure of ore forming elements and its biochemical propertys are able to provide migration and accumulation at the beginning of deposition.

Вопрос о закономерном участии живых организмов в процессах рудогенеза в настоящее время является объектом пристального внимания со стороны геологов-рудников. Еще в работах В.И. Вернадского прозвучала концепция единой связи органического мира и геологической составляющей [1].

В основу предлагаемой систематизации форм биогеохимической ассоциируемости рудообразующих элементов положены принципы оценки характера и степени взаимосвязи с органическим веществом (+ связь установлена, - связь не установлена; количество + и - определяет степень связи в относительных баллах) (табл. 1).

Таблица 1
Систематизация форм биогеохимической ассоциируемости рудообразующих элементов

Характер и степень их связи с органическим веществом	Группы ассоциирующих рудообразующих элементов						
	S, P, Ca, Mg	Si, Fe, Cu	U, Th	Au, Ag	Mo, Se	Pb, Zn	W, Sn
1.Непосредственная концентрация рудообразующих элементов в живых клетках и макробиоте	+	+	-	-	-	-	-
	+	+	-	-	-	-	-
	+	+					
	+						
2.Рудообразующие элементы, переводимые в растворимые формы микроорганизмами или бактериями	+	+	+	+	-	-	-
	+	+	+	+	-	-	-
	+	+					
	+						
3.Рудообразующие элементы, накапливающиеся в результате процессов сорбции и биосорбции органическим веществом	+	+	+	+	+	+	-
	+	+	+	+	+	+	-
	+	+					
	+						
4.Рудообразующие вещества, мигрирующие в форме органических комплексов	+	+	+	+	+	+	+
	+	+	+	+	+	+	+
	+	+					
	+						

Живые организмы, особенно микробиота, могут переводить основные рудообразующие элементы S, Fe, Cu и др. в миграционно активное состояние и обратно, в результате своей жизнедеятельности накапливать их непосредственно или создавать условия, обеспечивающие их аккумуляцию в осадочных, а затем в метаморфических породах.

Петроорганическим комплексом критериев рудоносности площадей может являться наличие в окружающих осадочных породах более древнего, чем предполагаемое оруденение, органического углерода. При этом, содержание органического углерода определяется не изотопным методом, особенно для палеозойских и более древних пород, а по сингенетическим включениям углистого вещества и содержанию дополнительных элементов, имеющих с ним биогеохимическую связь (азот, водород, сера, фосфор). Концентрация этих элементов может определять степень трансформации органического вещества при диагенезе и контактном метаморфизме.

Собственно рудные элементы, ассоциирующие с определенным генотипом интрузивных пород, в первичных ореолах рассеяния также начинают проявлять выраженную специализированную дифференциацию на фоне роста или снижения их концентраций. При этом наблюдается значительная изменчивость в относительно малых интервалах опробования. Например, для никеля основными элементами-спутниками в первичных ореолах рассеяния и, в целом, в мafических породах являются кобальт, медь, хром, а на уровне минерального парагенезиса в медно-никелевых рудах - только медь и кобальт (никель - хромовые руды пока не известны).

По характеру и степени связи с органическим веществом рудообразующие элементы могут иметь: 1) прямое отношение к организмам, непосредственно образовываясь и концентрируясь в живых клетках и тканях палеобиоты; 2) опосредованную или остаточную связь с органическим веществом, как правило, переводясь из минеральной среды в растворимые формы микроорганизмами или бактериями; 3) только потенциальную связь с органическим веществом, накапливаясь в результате процессов сорбции и биосорбции органическими остатками при осадконакоплении; 4) связь с органическим веществом только в виде переноса в форме органических комплексов.

Элементы первой группы – рудные - кальций, магний, петрогенные – сера, фосфор активно участвуют во всех процессах связи с органическим веществом, перечисленных выше. Это элементы, непосредственно концентрирующиеся в живых клетках и тканях как макро-, так и микробиоты.

Для элементов второй группы (рудные – железо, медь, петрогенные – кремний) наблюдается некоторое снижение функций концентрации в клетках и тканях палеобиоты. В основном, это элементы, для которых характерна бактериофильность, т.е. образование в результате окислительно-восстановительной деятельности бактерий.

В третью группу входят уран и торий, нахождение в природе которых связано с процессами неживого органического вещества (непосредственное состояние их как компонентов живого вещества не доказано). Накопление происходит в результате первичного перевода в растворимые формы с участием микроорганизмов, последующей биосорбцией, как правило, в костных тканях отмерших организмов и дальнейшей миграцией в форме органических комплексов.

К четвертой группе относятся благородные металлы – золото и серебро, возможно платина. По сравнению с предыдущей группой, у них слабо проявлена связь с органическим веществом при переводе в растворимые формы. Важная роль в растворении золота принадлежит продуктам метаболизма бактерий – аминокислотам и перекисным соединениям. Наряду с растворением золота происходит активное поглощение его биомассой микроорганизмов. При отмирании клеток золото высвобождается и мигрирует в рудный материал. Подтверждением этому служит высокая концентрация тонкодисперсного золота в биомассе органотрофных организмов, в сажистых рудах в присутствии значительного количества сульфатредуцирующих бактерий, в свежеосажденном геле окислов железа и марганца при участии железобактерий. Изучение золота в биомассе показывает, что оно преимущественно коллоидное и тонкодисперсное.

В пятой группе располагаются молибден и селен. Для них, как и для урана, накопление происходит в большей степени в результате миграции органических комплексов, сорбции и, частично, биосорбции, как правило, в костных тканях отмерших организмов. Но, в отличие от урана, для этих элементов не происходит первичного перевода в растворимые формы с участием микроорганизмов.

В шестой группе находятся полиметаллы свинец и цинк, которые практически только частично накапливаются в результате сорбции и биосорбции процессов осадконакопления.

Биосорбция происходит, в основном, за счет деятельности цианобактериальных матов, реже в матрицах мягкотелых организмов.

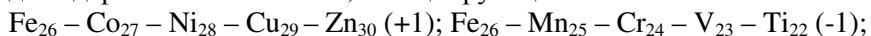
Рудообразующие организмы седьмой группы практически не имеют связи с органическим веществом. Можно предположить участие органики при накоплении данных элементов лишь в процессах миграции в форме элементов органических комплексов.

Руды большинства Забайкальских месторождений, особенно крупных, как Удоканское, Бугдаинское, Чинейское, Катугинское, Новоширокинское и др., являются комплексными. Многокомпонентность состава руд позволила выделить на территории Забайкальского края рудоносные районы, провинции и зоны. На территории области расположены части трех крупных рудных провинций Сибири – Алданской, Яблоново-Становой и Монголо-Забайкальской. Все рудные провинции согласно ориентации контролирующих их структурных швов глубинного заложения, имеют северо-восточное простиранье. В распределении рудных месторождений на территории Забайкальского края А.Е. Ферсманом и С.С. Смирновым установлена зональность. Она заключается в том, что с севера на юг выделяются пояса северо-восточного простирания: 1) докембрийский железо-редкометально-медно-рудный в пределах Кодаро-Удоканского мегаблока, 2) позднепалеозойско-юрский редкометально-молибденово-вольфрамовый в Привитимье и на севере Витимо-Олекминского междуречья, 3) юрский молибденово-золотой Пришилкинский, переходящий юго-западным флангом в пределы Хэнтэй-Даурского мегаблока, 4) юрский олово-вольфрамово-редкометальный на юге области, 5) юрский уран-золото-полиметаллический в пределах юго-восточного Забайкалья. Главной особенностью выделяемых поясов является присутствие в них рудных зон с флюоритовыми, золотосеребряными, ртутно-сурьмяными и другими рудами.

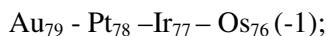
Несмотря на значительное количество работ в области исследования минералого-геохимической ассоцируемости, не уделялось должного внимания вопросам установления закономерностей в связях между положением элементов в периодической системе и их ассоцируемостью в рудах.

Ассоцируемость рудных элементов позволит выяснить уровень дифференциации минерального вещества и оценить связь магматических и рудообразующих процессов в интрузивных системах [5].

Ассоциирующие с ультроосновными-основными породами рудообразующие элементы объединены в одну группу и представлены хромом, никелем, кобальтом, медью, титаном, ванадием, серой, палладием, платиной, иридием, осмием, родием, рутением, в меньшей степени теллуром, селеном, мышьяком, золотом, серебром. При этом наблюдается протонная кратность зарядов ядер атомов элементов, ассоциирующих с железом:



золотом:



серебром:



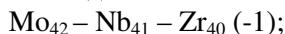
селеном:



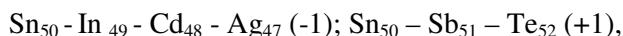
С группой кислых-средних интрузивных пород ассоциируют следующие рудные элементы: железо, кобальт, никель, медь, цинк, мышьяк, молибден, олово, вольфрам, свинец, уран, торий, серебро, золото, сера, селен, теллур, сурьма, ртуть, висмут, барий, которые входят в состав руд так называемых плутогенных гидротермальных месторождений, представленных жилами и штокверками. Для этого типа пород характерна «кислородная» кратность зарядов ядер атомов элементов, образующих основные рудные минералы и формирующих ореолы рассеяния вокруг рудных тел:



Менее характерна протонная кратность зарядов ядер атомов элементов, ассоциирующих с: молибденом:



оловом:



вольфрамом:

$W_{74} - T_{73} (-1)$; $W_{74} - Re_{75} (+1)$;

свинцом:

$Pb_{82} - Tl_{81} - Hg_{80} - Au_{79} (-1)$.

Данная ассоциируемость различных по химическим свойствам элементов, имеющих близкую ядерную структуру, вероятно, связана с общностью процессов их нуклеосинтеза [6].

Наблюдается закономерная кратность зарядовых чисел рудных элементов, генетически связанных с определенным типом интрузивных пород.

Каларский железо-редкометалльно-медно-рудный пояс входит в состав окраинно-платформенного мантийно-корового Саяно-Байкало-Станового металлогенического пояса, прослеживаясь на две трети его протяженности вдоль Северного Забайкалья. Этот рудный пояс представляет собою долгоживущую (поздний архей-кайнозой) геологическую структуру интенсивной проницаемости коры и мантии, высокого энергетического потенциала эндогенного режима тектоносферы и более глубинных геосфер вплоть до внешнего ядра Земли. Они проявили себя в земной коре в виде зеленокаменных поясов, основного, ультраосновного, щелочно-ультраосновного и щелочного состава, связанного с подкоровыми ультраосновными, щелочно-ультраосновными, щелочно-габброидными, нефелино-сиенитовыми магмами [3].

Преимущественная связь источников рудного вещества этого пояса с основными, ультраосновными и щелочными породами определяется протонной кратностью зарядов ядер атомов элементов, ассоциирующих с железом - $Fe_{26} - Co_{27} - Ni_{28} - Cu_{29} - Zn_{30} (+1)$; $Fe_{26} - Mn_{25} - Cr_{24} - V_{23} - Ti_{22} (-1)$. Это, вероятно, и предопределило определенный набор, в основном, черных и цветных (никель, кобальт, железо, марганец, хром, ванадий, титан) полезных ископаемых для этого пояса.

В возрастном отношении образование месторождений полезных ископаемых Каларского рудного пояса относится к раннепротерозойской, палеозойской и мезозойской геологическим эпохам с максимумом рудообразования в раннем протерозое. В этом предусматривается принципиальное отличие Каларского рудного пояса от других в Юго-Восточном Забайкалье, характеризующихся более узким возрастным интервалом магматических образований и мезозойским рудообразованием.

Для остальных минерагенических поясов основополагающими породами рудогенеза являются, в основном, гранитоиды, реже породы кислого, среднего, щелочного и основного рядов. Свинцово-цинковые руды проявлены не только в виде полиметаллических месторождений, но и в связи с месторождениями золота, молибдена, образуя, тем самым, комплексные месторождения (Дарасунское, Ново-Широкинское золото-полиметаллические, Бугдаинское – золото-молибден-вольфрам-полиметаллическое и др.), связанные с мезозойским гранитоидным магматизмом и субвулканическими и вулканическими комплексами. Полиметаллическое рудообразование, в основном, имеет позднеюрский возраст и связано с позднеюрскими гранитоидами, по составу отвечающими нормальному граниту, хотя парагенетически связано с комплексом малых интрузий и даек различного состава.

Образование геохимически аномальных концентраций рудных компонентов связано с ранней дифференциацией вещества как на ядерно-физическом уровне, так и на биогеохимическом. Не всегда обогащенные рудными элементами магмы являются рудоносными, интрузии пространственно совмещены с рудными зонами, жильные минералы, образующие парагенезисы с рудными, имеют отличный от породообразующих минералов элементный состав и соотношение петрогенных элементов [4].

Повышение концентрации рудообразующих элементов связаны с прекращением их миграции и, соответственно, с накоплением на тектоно-биогеохимическом барьере.

Процессы миграции и накопления рассеянных рудных элементов осуществляются с участием продуктов диссоциации микротрещинных, капиллярных и связанных вод, а также продуктов трансформации органического вещества.

Органическое вещество в этих процессах может выполнять ряд функций – концентратора элементов в живых клетках, бактериального выщелачивания, сорбента или биосорбента, органометаллических комплексов. Причем биосорбция продуктами трансформации органического вещества и, в первую очередь, керагеном может осуществляться как в жидкой фазе, так и в твердой.

На основе систематизации ядерно-биогеохимической ассоциируемости рудообразующих элементов предлагается методика прогнозирования эндогенных месторождений, в которой

основными критериями потенциальной рудоносности территории является не только тектономагматическая активизация (наличие интрузивных тел соответствующего вещественного состава, разломов, зон складчатости, будинажа и метасоматических изменений пород), но и их палеобиогеохимические особенности.

Литература

1. Вернадский В.И. Химическое строение биосфера Земли и ее окружения. – М.: Наука, 1987. – 427 с.
2. Власов К.А. Периодический закон и изоморфизм элементов – М.: Наука, 1979. – 148 с.
3. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья. – Новосибирск: Наука, 1999. – 574 с.
4. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Недра, 1989. – 528 с.
5. Секисов А.Г. Ядерно-физическая концепция эндогенного рудообразования // Горная промышленность. – 1996, №1. – С. 56-62
6. Ядерная геохимия. – М.: МГУ, 2000. – 315 с.

ТЕХНОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ И ГИДРОГЕОХИМИЯ ЛЮБАВИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Л.В. Замана, И.Л. Вахнина

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия,
l.v.zamana@mail.ru

TECNOGENIC LANDSCAPES AND HYDROGEOCHEMISTRY OF LYUBAVINSKY ORE FIELD (SOUTH-EASTERN ZABAIKAL'E)

L.V. Zamana, I.L. Vakhnina

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of SB RAS, Chita, Russia
l.v.zamana@mail.ru

Рассмотрены нарушения природных ландшафтов при добыче россыпного и коренного золота и производства геологоразведочных работ, а также приведена гидрогеохимическая характеристика рудного поля по данным трехлетнего мониторинга.

Natural landscapes break on placer and ore gold production and geological exploration are examined also hydrogeochemistry of ore field on 3-yearly monitoring data are characterized.

Любавинское золоторудное поле находится на юге Забайкальского края в 15-20 км от государственной границы с Монгoliей (рис. 1). В физико-географическом отношении оно занимает приосевую часть южного отрога хребта Становик в междуречье Тырина и Кыры – левых притоков р. Онон, одного из истоков р. Амур. Трансграничный характер речного стока, направленного с площади рудного поля на монгольскую территорию, требует особого внимания к проблеме загрязнения водной среды при добыче как рудного, так и россыпного золота.

В результате россыпной золотодобычи, которая периодически велась на этой территории со времени открытия в 1865 г. Любавинской россыпи, днища дренирующей рудное поле эрозионной сети в значительной степени преобразованы в техногенный ландшафт, состоящий из чередующихся отстойников, котлованов, отвалов. Наиболее изменены долины речек Дунда-Хонгорун и Баян-Зургэ (рис. 2), по которым с конца 1990-х по 2008 г. гидромониторным способом велась повторная промывка россыпей. Общая протяженность переработанных участков по ним вместе со старыми отработками достигает 8.6 и 5.7 км, по рч. Зун-Хонгорун, где в последние годы повторной промывкой россыпи не затронуты, старые, большей частью дражные отработки протянулись на 6.3 км. Ширина нарушенных участков долин от 180-200 м по Баян-Зургэ до 600 м по Дунда-Хонгорун. Степень техногенного изменения ландшафта на отдельных отрезках долин близка к 100%.

Отработанные в недавнем прошлом участки рекультивированы на этапе технической рекультивации без нанесения почвенного слоя, отвалы выровнены в виде гряд или холмов высотой до 5-10 м. Биологическая рекультивация не проводилась. По старым отработкам наблюдается восстановление растительности, наиболее активно при наличии в составе отвалов мелкодисперсного материала, заменяющего природные почвы. На непокрытых растительностью

поверхностях часто развивается водная эрозия в виде промоин и мелких оврагов. Вынос взвешенных веществ – основная экологическая проблема при россыпной золотодобыче. Сток наносов в основном задерживается в котлованах (рис. 3) и прудах-отстойниках. При обильных ливневых осадках возможен размыв дамб отстойников и вынос взвесей в основную речную сеть.

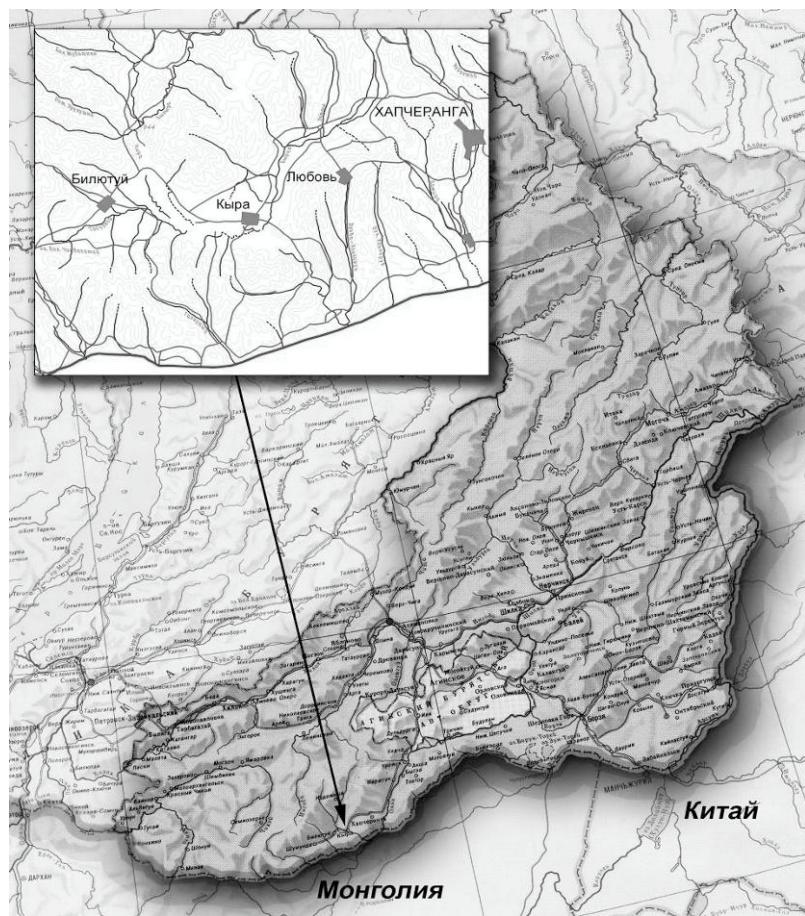


Рис. 1. Местоположение Любавинского рудного поля в границах Забайкальского края.

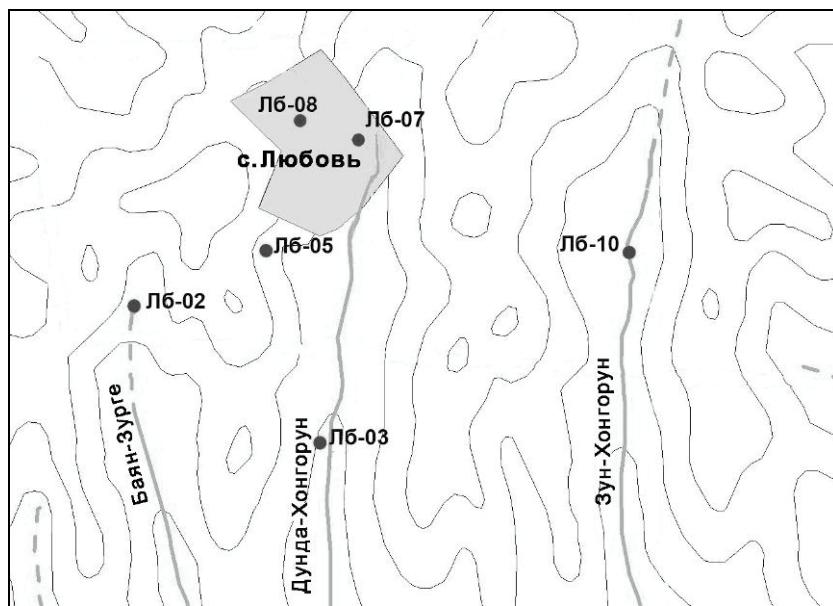


Рис. 2. Дренирующая сеть и пункты гидрохимического мониторинга Любавинского рудного поля.



Рис. 3. Котлован выемки песков в днище и склон со снятым почвенно-растительным покровом на буровом профиле (участок Евграфовский) в вершине п. Дунда-Хонгорун.

Другой тип нарушений ландшафта связан с выполнением геологоразведочных работ и подземной добычей коренного золота. Для него характерны многочисленные разведочные канавы на горных склонах, подъездные дороги, буровые площадки, шахтные и штольневые отвалы. В отвалах складирован крупнообломочный материал фактически без примеси мелкозема, породы практически не затронуты выветриванием, рекультивация отвалов не выполнялась, растительный покров на них не восстанавливается. Степень техногенного преобразования склоновых ландшафтов достигает 30-35%. Свежие расчистки (рис. 3) – также источники обильного выноса взвешенного мелкодисперсного материала, тогда как отвалы служат источниками химического стока петрогенных и рудных элементов в растворенном состоянии.

По данным гидрохимического мониторинга, который проводился в 2006-2008 гг. при выполнявшихся геологоразведочных работах на Любавинском месторождении с целью подсчета запасов для вовлечения его в разработку, подземные и поверхностные воды территории по химическому составу преимущественно трех- и четырехкомпонентные. По катионам доминируют кальциевые воды, по анионам – сульфатно-гидрокарбонатные. С ростом минерализации прослеживается последовательная смена гидрокарбонатного состава сульфатно-гидрокарбонатным и далее гидрокарбонатно-сульфатным, что в целом соответствует общему направлению метаморфизизации состава вод по мере замедления водообмена и протекания геохимических взаимодействий в системе вода–порода. В то же время высокие содержания сульфатов в воде рч. Дунда-Хунгорун, достигавшие 300-360 мг/л в разные сроки опробования, связаны не с общей гидрохимической зональностью, а обусловлены влиянием сульфидсодержащего оруденения и, кроме того, золошлаковых отходов, накопленных в период разработки месторождения, которая велась до начала 1990-х годов. О выносе сульфатов с рудных участков свидетельствуют данные по точкам Лб-02 и Лб-05 (рис. 2) в вершинах падей Баян-Зургэ и Большефедоровская, в которых содержания SO_4^{2-} выше, чем средние для вод зоны выщелачивания (12.4 мг/л по [2]) и в точках Лб-07 и Лб-08, расположенных выше месторождения по гидравлическому уклону. Характерно, что по Зун-Хонгоруну, дренирующему северо-восточный фланг рудного поля, содержание сульфатов в вершине потока (точка ЛБ-10) при меньшей общей минерализации также более высокие в сравнении с двумя этими пунктами (рис. 4, таблица). При этом повышенная сульфатность вод рудного поля не сопровождается понижением pH, обычным для сульфидсодержащего оруденения, что обусловлено, по всей видимости, высокой карбонатностью среды (пород и самих руд).. Этим можно объяснить более высокие содержания кальция и его соотношение с натрием, чем среднее для зоны выщелачивания (последнее соответственно 3.4 и 1.8).

По результатам трехлетних наблюдений за химическим составом поверхностных и подземных вод общей закономерностью их гидрохимического режима является снижение общей минерализации от лета к осени вследствие усиления водообмена за счет инфильтрационного питания подземных и разбавления склоновым стоком поверхностных вод.

Таблица

Макро- и микрокомпонентный состав вод в пунктах гидрохимического мониторинга (Mn-Ni – мкг/л, остальные – в мг/л).

№ пробы*	Eh. мВ	pH	CO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма ионов	PO ^{**}	Si	Sr	Mn	Fe	Cr	As	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
Лб 08-02-1	269	7.44	9.0	216.4	73.0	7.1	0.22	74.1	11.9	9.8	0.3	392.8	2.0	5.3	0.4	106	97.9	8.1	2.6	4.8	3.1	4.8	5.1	4.6
Лб 08-02-2	211	7.23	9.2	205.7	64.0	7.2	0.22	64.7	11.4	9.7	0.23	363.2	0.96	4.8	0.48	43.6	26.5	4.5	1.3	2.4	4.3	3.2	8.3	1.3
Лб 08-02-3	299	7.05	7.9	207.9	62.5	6.5	0.14	63.9	10.9	10.2	0.29	362.2	1.1	7.2	0.15	63.7	32.3	5.2	2.1	13.8	3.8	6.0	8.1	1.9
Лб 08-03-1	292	7.74	4.6	103.8	365	12.6	0.22	145.2	16.2	14.5	0.66	658.2	1.5	4.9	1.07	210.2	94.5	2.7	1.0	1.5	3.4	1.3	1.7	5.3
Лб 08-03-2	154	8.52	-	125.2	305	12.0	0.20	121.9	23.6	14.5	0.91	605.0	3.2	5.1	0.93	79.6	53.1	2.5	35.2	2.2	4.4	0.9	3.5	1.1
Лб 08-03-3	293	7.84	0.5	92.2	325	12.6	0.14	122.6	20.1	16	0.75	589.3	2.1	5.6	0.54	38.7	46.0	6.2	5.8	16.6	3.3	0.4	7.2	1.9
Лб 08-05-1	250	7.26	22.6	168.1	193	2.7	0.12	103.9	13.3	10.1	0.30	491.5	1.1	5.9	0.61	58.7	69.3	5.8	2.8	1.5	21.8	2.4	2.7	2.1
Лб 08-05-2	182	7.42	12.8	183	83.6	2.5	0.17	72.0	14.5	10.2	0.32	366.3	0.26	6.4	0.57	17.1	11.3	6.0	5.1	2.3	6.8	0.8	4.5	0.6
Лб 08-05-3	308	7.50	12.8	183.7	87.5	2.8	0.1	72.3	12.0	10.1	0.32	368.7	0.62	6.9	0.38	12.6	15.1	4.3	16.1	5.0	4.5	0.3	2.9	1.2
Лб 08-07-1	244	7.09	24.0	150.6	220	6.3	0.21	42.1	4.4	10.2	0.23	236.0	0.16	5.2	0.74	34.0	58.1	2.5	1.0	5.6	0.4	0.1	10.5	4.2
Лб 08-07-2	190	7.21	12.8	155.9	9.5	6.8	0.12	36.7	4.2	6.51	0.20	220.0	0.09	5.6	0.35	10.7	16.0	2.9	1.9	2.1	2.9	1.2	2.6	0.7
Лб 08-07-3	281	7.19	12.8	108.1	12.5	6.6	0.06	35.1	2.9	7.4	0.22	172.8	0.35	6.1	0.46	11.6	20.2	2.5	2.5	19.6	8.9	6.4	7.5	1.5
Лб 08-08-1	218	6.69	27.3	133.0	13.0	5.6	0.20	38.4	4.1	6.5	0.18	201.0	0.25	4.6	0.40	16	335.7	5.4	0.1	17.7	18.4	2.4	7.9	2.2
Лб 08-08-2	187	6.52	13.2	104.7	11.4	6.3	0.19	36.0	4.9	6.3	0.22	170.0	0.98	5.3	0.21	12.9	144.7	5.8	0.5	7.5	5.0	1.7	1.9	0.6
Лб 08-08-3	289	7.15	13.2	123.0	10.0	9.4	0.10	31.0	3.3	7.0	0.23	183.9	1.83	5.7	0.38	11.4	245.8	2.8	1.9	21.9	8.2	1.0	7.4	4.6
Лб 08-10-1	250	6.83	25.8	87.7	40.0	3.1	0.20	34.0	3.9	6.8	0.70	176.4	3.3	6.8	0.44	26.0	15.7	3.4	19.7	1.1	3.5	1.4	4.3	1.9
Лб 08-10-2	195	7.01	16.0	108.4	20.0	1.6	0.13	26.8	4.2	5.4	0.75	167.3	1.49	7.6	0.43	10.7	9.7	3.0	1.0	2.0	2.7	1.2	1.6	3.3
Лб 08-10-3	285	6.67	66.9	102.5	16.5	2.1	0.06	25.0	3.1	5.8	0.77	155.8	2.5	8.1	0.23	12.8	5.4	1.3	57.1	17.3	9.7	7.5	6.6	
Лб 08-26	266	7.20	13.7	121.5	13.7	8.9	0.10	30.7	3.7	7.3	0.26	186.1	1.69	6.1	0.27	12.8	18.3	2.5	2.0	18.1	10.6	1.6	7.4	4.5

*Примечания. В номерах проб: 08 – 2008 г.; 02...10 – точки отбора; последние цифры – даты отбора проб: 1 – 4.06.08; 2 – 9-10.09.08; 3 – 6-7.10.08.

**ПО – перманганатная окисляемость, мгO₂/л. Анализы выполнены в аттестованной лаборатории ИПРЭК СО РАН, тяжелые металлы определены атомной абсорбцией на спектрофотометре SOLAAR 6M с электротермической атомизацией. Аналитики С.В. Борзенко, Т.Г. Смирнова, Т.Е. Хвостова.

Происходит это как в условиях отсутствия заметных техногенных нагрузок в настоящее время (т. Лб-10), так и при интенсивном техногенном воздействии (т. Лб-03). Наиболее высокой минерализацией выделялись воды рч. Дунда-Хонгорун, что обусловлено несколькими факторами. К числу основных из них относятся:

- появление по потоку бассейнов в виде заполненных водой отстойников и котлованов, способствующих повышению минерализации воды вследствие замедления водообмена и увеличения испарения с водной поверхности;
- высокое содержание выщелачиваемых водой взвешенных веществ, поступающих в водоток в результате промывки золота, выемки грунта по днищу долины и формирования нового русла в непромытых от мелкозема наносах;
- наличие источника загрязнения в виде населенного пункта и техногенных скоплений – угольных шлаков, песков хвостохранилища и др.

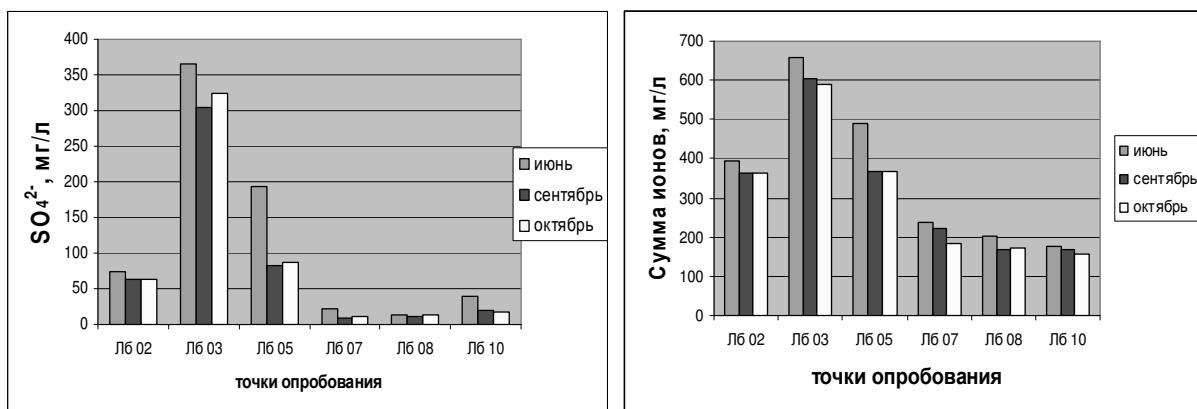


Рис. 4. Изменение общей минерализации и содержания сульфат-иона в воде пунктов гидрогеохимического мониторинга в 2008 г.

На территории жилой застройки с. Любовь выявлены повышенные концентрации нитратов в водопунктах, используемых для водоснабжения, которые все же были ниже ПДК для вод питьевого назначения (45 мг/л по СанПиН 2.1.4.1074-01 (Питьевая вода)). По мелкой скважине Лб-08 и расположенному рядом роднику (в пробе Лб 08-26, таблица) концентрации нитрата были близкие (28,3 и 24,7 мг/л). По более глубокой скважине, используемой в качестве основного водозабора села (точка Лб-08), концентрации нитратов за весь период наблюдений не поднимались выше 15 мг/л, что свидетельствует о приуроченности загрязнения к самой верхней части водоносного горизонта. За пределами селитбы содержание NO_3^- в водах не превышало 1,0 мг/л. Нитратное загрязнение грунтовых вод обычно для населенных пунктов, не имеющих канализационных сетей, и вызвано инфильтрацией хозяйствственно-бытовых стоков.

По тяжелым металлам для рудного поля характерно превышение ПДК (1 мкг/л) по кадмию (таблица). Установлено также превышение ПДК по мышьяку (50 мкг/л) по потоку рассеяния в пади Зун-Хонгорун (т. Лб-10). Устойчивый характер аномалии As здесь вызван, по-видимому, более высоким содержанием арсенопирита в рудах на северо-восточном фланге рудного поля. В этой же точке отмечались и наиболее высокие содержания свинца и никеля, максимальные в отдельные сроки опробования концентрации меди, цинка и кадмия. Гидрогеохимическая аномалия имеет, таким образом, комплексный характер, что говорит о ее рудном источнике.

В целом концентрации токсичных тяжелых металлов в водах рудного поля низкие, что определяется нейтральными значениями pH, ограничивающими миграцию сидеро- и халькофильных элементов вследствие образования слаборастворимых гидроксидов. Следует ожидать, что при разработке Любавинского месторождения концентрации металлов в дренажном стоке вследствие щелочного геохимического барьера будут существенно ниже, чем на месторождениях с кислыми водами (Вершино-Дарасунском, Ключевском, Тасеевском), где они по ряду элементов (Mn, Fe, Al) достигают десятков мг/л [1]. Повышенными могут быть концентрации мышьяка в силу миграции его в нейтральных средах преимущественно в виде арсената. Другой благоприятный в экологическом отношении момент для разработки

месторождения – невысокие водопритоки в горные выработки вследствие низких фильтрационных свойств вмещающих оруденение пород и ограниченных естественных ресурсов подземных вод из-за приуроченности месторождения к приводораздельному поясу.

Литература

1. Замана Л.В. Гидрогеохимические проблемы старых горнорудных территорий Восточного Забайкалья // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Материалы Третьей всероссийской конференции с международным участием. Барнаул, 24-28 августа 2010 г. – Барнаул: Изд-во АРТ, 2010.
2. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. Изд. 2-е испр. и доп. – М.: Недра, 1998. – 367 с.

ГЕОХИМИЧЕСКИЙ БАРЬЕР НА ^{90}Sr

B.A. Копейкин

Ухтинский государственный технический университет, Россия

GEOCHEMICAL BARRIER ON ^{90}Sr

V.A. Kopeikin

Uhta State Technical University, Uhta, Russia, berg-nadya@yandex.ru

В результате взрыва 4-го блока Чернобыльской АЭС в окружающую среду было выброшено громадное количество радиоактивных изотопов, одним из которых является ^{90}Sr . Основная идея по предотвращению миграции ^{90}Sr подразумевает образование непосредственно на пути его миграции искусственного апатита (или барита), в кристаллическую структуру которого он и должен войти за счет изоморфизма. Апатит и барит практически нерастворимы.

As a result of explosion 4 blocks of the Chernobyl atomic power station in an environment have been thrown out enormous quantity of radioactive isotopes. One of which is ^{90}Sr . The basic idea on prevention of migration ^{90}Sr means formation directly on a way of its migration of artificial apatite (or barite) into which crystal lattice should enter due to isomorphism. Apatite and barite are practically insoluble.

Когда-то перед автором в связи работой по ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы возникла интересная проблема – создать искусственный геохимический барьер на путях миграции радиоактивного ^{90}Sr . Этот изотоп стронция имеет период полураспада 29,12 лет, является β излучателем. Вне зависимости от формы и путей поступления в организм растворённого радиоактивного стронция, он накапливается главным образом в скелете.

Осенью 1986 г. на совещании в Новороссийске мы обсудили данную проблему с автором теории геохимических барьёров А. И. Перельманом. Мои предложения по практической реализации геохимического барьера на радиоактивный ^{90}Sr Александр Ильич поддержал.

Расчет условий по предотвращению миграции радиоактивного стронция был нами смоделирован методом физико-химического моделирования на ЭВМ по программе И.К. Карпова “Selector”.

В первые же месяцы после Чернобыльской аварии произошло радиационное загрязнение вод Днепра, как выпавшей радиоактивной пылью, так и растворёнными радионуклидами, особенно ^{90}Sr . Набор первоначальных радионуклидов был весьма большой, но с течением времени их число сокращалось по мере их распада.

Радиоактивный цезий (^{134}Cs и ^{137}Cs) хорошо сорбировался глинистыми грунтами (иллитами) и дальней водной миграции цезия не отмечалось. В то же время миграция ^{90}Sr с грунтовыми водами была весьма значительной.

Проведённые опыта по строительству защитных фильтрующих дамб из цеолитов показали довольно быстрое заполнение возможного сорбционного объёма цеолита, и дамбы прекращали сорбировать нуклиды через 2 – 3 недели, превращаясь сами в радиоактивные отходы.

Опытные работы по испытанию предложенных составов геохимического барьера проводились нами, начиная с 1988 года, на грунтовых водах из вскрытого могильника с закопанным погибшим от радиации радиоактивным сосновым “рыжим” лесом в 2,3-х км на Ю-З от 4-го блока ЧАЭС. (Координаты этого раскопа - $51^{\circ}23'02.4''$ северной широты и $30^{\circ}03'55.8''$ восточной долготы).

Захоронение погибшей от радиации сосны производилось в 1986-1987 годах непосредственно в выкопанные траншеи без всякого глинистого экрана, делать который в тех громадных

радиационных полях было просто нельзя. В районе наших работ грунтовые воды стоят практически у поверхности земли и воду для натурных экспериментов мы просто черпали ведром из сделанного раскопа.

В природных условиях наиболее типичными минералами стронция являются стронцианит SrCO_3 и целестин SrSO_4 . Вычисленные методом физико-химического моделирования на ЭВМ растворимости этих минералов показали, что стронцианит устойчив в щелочной среде, а для существования целестина необходимо наличие в водах сульфатов. В районах Припятского Полесья, где расположена ЧАЭС, воды имеют кислый характер и практически безсульфатны. Поэтому искусственное создание новообразованных карбоната и сульфата стронция на путях миграции радиоактивного стронция не может дать положительного эффекта из-за отсутствия геохимической обстановки для образования этих минералов.

Известен также природный минерал апатит $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH},\text{CO}_3)$, который может содержать стронций, но уже в изоморфной форме, поскольку радиус иона Ca^{+2} равен 0,99 Е, а радиус иона Sr^{+2} равен 1,12 Е. Апатит вообще отличается широким изоморфным составом, как в катионной, так и в анионной части. Поэтому основная идея создания геохимического барьера на ^{90}Sr заключалась в образовании непосредственно на пути миграции этого радиоактивного нуклида искусственного новообразованного апатита, в кристаллическую структуру которого и должен был бы войти радиоактивный стронций. К тому же апатит очень плохо растворим.

Для подтверждения осуществимости предложенных составов геохимического барьера нами, из указанного выше раскопа, отбиралось 4 литра загрязнённой радионуклидами воды, весь объём делили на 2 равные части, в одной растворяли 4 г нитрата бария – $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, в другой части – 2,174 г сульфата натрия – Na_2SO_4 . Оба раствора сливали при перемешивании, при этом выпадал осадок сульфата бария – BaSO_4 (барита). Вес осадка составил 3,572 г.

200 мл раствора отбирали на определение содержания радионуклидов.

Оставшиеся 3,8 л снова делили на две равные части и в первую часть добавляли 3,8 г нитрата бария, во вторую 2,068 г сульфата натрия. Оба раствора сливали при перемешивании, вес выпавшего осадка составил 3,394 г. 200 мл раствора отбирали на определение содержания радионуклидов.

Оставшиеся 3,6 л снова делили на две части. В первой части растворили 3,6 г нитрата бария, а во второй 1,957 г сульфата натрия. Оба раствора вновь сливали при перемешивании. Вес выпавшего осадка сульфата бария составил 3,215 г.

После отбора 200 мл раствора для анализа, оставшиеся 3,4 л раствора снова делили на 2 равные части и в первой растворяли 3,4 г нитрата бария, а во второй – 1,848 г сульфата натрия. После смешивания обоих растворов вес образовавшегося осадка барита составил 3,036 г.

Таким образом, всего за время опыта нами было получено 13,217 г новообразованного сульфата бария – барита.

Полученный осадок отфильтровывался и высушивался на воздухе в течение 2-х месяцев, а затем проверялся на десорбцию радионуклидов из осадка во внешнюю среду. Для этого высушенный осадок новообразованного барита заливался дистиллированной водой, перемешивался и отстаивался в течение 18-ти месяцев под водой.

По истечении этого срока воду над осадком анализировали на содержание радионуклидов.

Вода удовлетворяла нормам ДКБ (НРБ 76/87).

Результаты очистки радиоактивной воды представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результат очистки воды от радионуклидов сульфатным барьером

Радионуклиды	Активность исходной воды, Кн/л	Активность воды после обработки сульфатным барьером Кн/л	Кристаллизационный захват радионуклида, %	Допустимая концентрация радионуклида в воде, Кн/л
Ce-144	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-9}$	97,56	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Ru-106	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-9}$	98,3	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Sr-90	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-11}$	99,75	$4 \cdot 10^{-10}$
Суммарная активность β -излучения	$\sum 1,38 \cdot 10^{-7}$	$\sum 2,0 \cdot 10^{-9}$	98,6	$\sum 2,4 \cdot 10^{-8}$

Аналогичным образом нами были испытаны составы из оксида кальция и фосфата или дигидрофосфата калия, которые также использовали в виде 0,1% растворов при их мольном соотношении 1 : 1.

Результаты очистки воды от радионуклидов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результат очистки воды от радионуклидов фосфатным барьером

Радионуклиды	Активность исходной воды, Кн/л	Активность воды после обработки фосфатным барьером Кн/л	Кристаллизационный захват радионуклида, %	Допустимая концентрация радионуклида в воде, Кн/л
Ce-144	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-9}$	96,0	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Ru-106	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$6,7 \cdot 10^{-10}$	96,8	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Sr-90	$9,5 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-10}$	99,64	$4 \cdot 10^{-10}$
Суммарная активность β -излучения	$\sum 1,41 \cdot 10^{-7}$	$\sum 2,01 \cdot 10^{-9}$	98,6	$\sum 2,4 \cdot 10^{-8}$

Натурные испытания геохимического фосфатного барьера проводились вблизи вышеуказанного раскопа на той же радиоактивной воде.

Испытания проводились в металлическом ящике размером 2000 x 500 x 350 мм, разделённым перегородками на 8 секций. 3 перегородки (через одну) не достигали дна ящика на 90 мм, 3 другие перегородки (также через одну) не достигали верха ящика на 95 мм. Ящик на высоту 30 см засыпался местным песком, взятым из специально вырытого рядом неглубокого шурфа.

В первую секцию наливали воду из вскрытого могильника с погибшей от радиации сосной, в которую предварительно добавили исходные реагенты – дигидрофосфат калия и оксид кальция, сначала один, а затем другой. Фильтрация воды через песок из одной секции ящика протекала медленно. В последней, 8-й секции вода показалась через 15 дней.

После появления воды соответственно во 2-й, 4-й и 6-й секциях в неё добавлялись реагенты из расчета 0,1% - ной концентрации в растворе при мольном соотношении 1 : 1.

В последнюю, 8-ю секцию поступала вода, удовлетворяющая нормам ДК_Б, что показано в табл. 3.

Таблица 3

Натурные испытания фосфатного барьера по очистки воды от радионуклидов в ближней зоне Чернобыльской АЭС

Радионуклиды	Активность исходной воды, Кн/л	Активность воды после обработки фосфатным барьером Кн/л	Допустимая концентрация радионуклида в воде, Кн/л
Ce-144	$2,5 \cdot 10^{-8}$	Ниже чувствительности	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Ru-106	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$6,7 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Sr-90	$9,5 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-11}$	$4 \cdot 10^{-10}$

В периоды, когда не проводилось непосредственной работы на раскопе, ящик целиком покрывался металлический листом для предотвращения заноса пыли.

Результаты натурных испытаний исходных составов из сульфата натрия и нитрата бария приведены в табл. 4.

Из приведённых выше данных видно, что радиоактивность воды после прохождения через защитный геохимический барьер снижается до норм допустимой концентрации радионуклидов в воде.

Таблица 4

Натурные испытания сульфатного барьера по очистки воды от радионуклидов в ближней зоне Чернобыльской АЭС

Радионуклиды	Активность исходной воды, Кн/л	Активность воды после обработки сульфатным барьером Кн/л	Допустимая концентрация радионуклида в воде, Кн/л
Ce-144	$2,5 \cdot 10^{-8}$	ниже чувствительности	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Ru-106	$2,1 \cdot 10^{-8}$	ниже чувствительности	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Sr-90	$9,5 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-11}$	$4 \cdot 10^{-10}$

Проведённые лабораторные и натурные испытания составов геохимических барьеров в зоне Чернобыльской АЭС позволили нам рекомендовать, как рабочий, состав фосфатного геохимического барьера на ^{90}Sr , поскольку исходный компонент сульфатного барьера – $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ токсичен и взрывоопасен.

На практике вокруг пункта захоронения радиоактивных отходов (РАО) по направлению стока грунтовых вод следует пробурить в шахматном порядке четное количество рядов скважин фронтально расположенных относительно направления миграции радионуклидов.

Диаметр и глубина скважин, глубина перфорации обсадной трубы (для закачки барьерных растворов), расстояние между скважинами и от стенок пункта захоронения РАО определяется конкретными геолого-гидрогеологическими условиями пункта захоронения РАО.

Для конкретного могильника РАО “Подлесный”, расположенного недалеко от 4-го блока ЧАЭС (северный след выброса), предложено использовать: диаметр скважин – 130 ч 150 мм, глубина скважин – 20 м, расстояние между скважинами – от 5 до 10 м, удаление первого ряда скважин от стенок могильника – 20 ч 30 м. Концентрация барьерных растворов составляет 0.1%.

При наличии в районе радиоактивных вод с кислой реакцией ($\text{pH} < 7$) первыми по фронту следует вводить водорастворимые соединения кальция для создания щелочной среды, в которой наиболее полно происходит образования фосфатного (апатитового) геохимического барьера, в кристаллическую решетку которого входят за счет изовалентного изоморфизма ионы ^{90}Sr .

Должно быть понятно, что в одиночку автор не мог произвести ни экспериментальные, ни натурные испытания предложенных составов геохимических барьеров в этих высоких радиационных полях ближней зоны Чернобыльской АЭС без активного участия своих товарищей из ЦНИИгеолнеруда (г. Казань).

Всем им, и живым, и погибшим от радиоактивного облучения, моя глубокая благодарность и признательность. Все они прекрасно понимали, где работали и чем это им грозит.

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ МЫШЬЯКА В ПОЧВОГРУНТАХ ШЕРЛОВОГОРСКОГО ГОРНОРУДНОГО РАЙОНА

Ю.В. Корешкова, Г.А. Юргенсон

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, yurgga@mail.ru

THE FORMS OF OCCURRENCE OF ARSENIC IN SOILS OF THE SHERLOVOGORSK MINING DISTRICT

Y.V. Koreshkova, G.A. Yurgenson

The institute of natural resources, ecology and cryology SB RAS, Chita, Russia, yurgga@mail.ru

Валовые содержания мышьяка в почвах и почвогрунтах Шерловогорского горнорудного района, находятся в пределах 700 – 1117 г/т. В результате проведения экспериментов по выщелачиванию мышьяка различными реагентами из почвогрунтов установлено, что доля подвижных форм изменяется в пределах от 43 до 68 %, а неподвижных – от 32 до 57 %.

The studies for soil Sherlovugoskiy mining area were obtained results of gross arsenic, which varies from 700 to 1117 g/t. On the basis of the experiment on the leaching of arsenic from soils various reagents, results were obtained content in the test sample its mobile and fixed – form. The mobile forms varies from 43 to 68% and still – form – 32 to 57%.

Горное производство в Забайкальском крае на протяжении последних 300 лет являлось важнейшей отраслью народного хозяйства, одновременно являясь и самым мощным фактором негативного влияния на окружающую среду. Месторождения представляют собой природные геохимические аномалии, поэтому после их отработки на дневной поверхности оказываются горные породы, при разрушении которых аномально высокие содержания вредных химических элементов становятся доступными для биоты [3-4]. Одним из таких объектов является Шерловогорское висмут-бериллий-олово-вольфрамовое месторождение с наложенной мышьяковой минерализацией. Шерловогорский горнорудный район находится на юге Забайкальского края, в Борзинском административном районе, северо-восточнее поселка Шерловая гора. Здесь же находится месторождение цветных камней, отрабатывавшееся с 1723 года. В результате многолетних эксплуатационных работ на территории распространения Шерловогорской рудно-магматической

системы природный ландшафт сохранился лишь фрагментарно. Существенная часть территории занята природно-техногенными, техногенными и геотехногенными ландшафтами. Здесь находятся карьер, которым отрабатывалось олово-полиметаллического месторождения, склады вскрышных горных пород, окисленных, бедных и упорных руд, хвостохранилище бывшего ГОКа, отрабатывавшего месторождение Сопка Большая [10].

В почвах Шерловогорских месторождений мышьяк находится в основном в виде четырех минеральных форм: арсенопирита FeAsS , скородита $\text{FeAs}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, миметита (миметизита) $\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}$ и фармакосидерита $\text{KFe}_4^{3+}(\text{AsO}_4)_3(\text{OH})_4 \cdot 6\text{-7H}_2\text{O}$ [7].

Анализ антропогенной нагрузки на ландшафты в пределах геотехногенных горнорудных территорий, к которым относится Шерловогорский горнорудный район в Забайкалье, имеет решающее значение для выявления экологических проблем и принятия рациональных управлеченческих решений с целью улучшения экологической ситуации. Оценка остроты экологической ситуации производится с учетом степени деградации или нарушения отдельных компонентов ландшафта, а именно – рельефа, почв и биоты. Критериями такой деградации или нарушения являются существенные изменения рельефа и аномалии распределения и концентрации токсических веществ, превышающие различные нормы и требования.

Изучены особенности распределения форм мышьяка в почвах Шерловогорского олово – вольфрамово – беррилиево – висмутового месторождения, включающее участки – Жила Новая, зона Поднебесных. Для сравнения изучались почвы хвостохранилища обогатительной фабрики олово-полиметаллического месторождения Сопка Большая. Участки представляют собой собственно территорию месторождения, где рельеф расчленен геолого-разведочными работами (шурфы, канавы, копушки), геотехногенные массивы (карьер, отвалы бедных и забалансовых руд и хвостохранилище) и участок за пределами месторождения, но в пределах рудно-магматической системы [7, 14].

Физико-химическая подвижность, биологическая доступность и токсичность элементов в природных объектах в значительной степени зависят от форм их нахождения. Данных об общем содержании элементов в почвах недостаточно, чтобы судить об их возможной миграции при изменении условий окружающей среды и о вероятности попадания высвободившихся элементов в растения и другие живые организмы. Для выделения элементов в различных формах используют последовательное экстрагирование, в ходе которого исследуемый образец подвергается последовательному воздействию селективных выщелачивающих реагентов. Согласно рекомендациям Международного союза по теоретической и прикладной химии (ИЮПАК), последовательное экстрагирование форм элементов из почв относится к методам фракционирования элементов. Главный принцип такого фракционирования заключается в том, что каждый последующий выщелачивающий реагент должен быть либо сильнее предыдущего по химическому воздействию, либо иметь другую природу. [14, 15]

Для фракционирования As, существующего в анионных формах, применяют особые последовательности реагентов. Необходимо также принять во внимание, что в почвах этот элемент находится в различных степенях окисления, что влияет на их свойства, в том числе на токсичность. Результаты фракционирования, хотя и позволяют оценить потенциальную подвижность и биологическую доступность элементов, но в ряде случаев могут быть спорными, поскольку при последовательном экстрагировании необходимы как окислительные, так и восстановительные условия, при которых начальная степень окисления элемента может изменяться. Для фракционирования форм мышьяка предложено много последовательностей выщелачивающих реагентов [16].

Поэтому в данной работе для выявления форм нахождения мышьяка на исследуемых участках проводили фракционирование образцов, для которого была предложена последовательная экстракция веществами по возрастанию их растворяющей способности (вода, органические и минеральные кислоты). Для проведения эксперимента были взяты растворы слабых концентраций, чтобы приблизить условия к природным. Экстракция каждым раствором проводилась в течение часа, при нормальных условиях. Затем полученные растворы измерялись на атомно-абсорбционном спектрометре.

Для почв Шерловогорского месторождения были получены результаты валового содержания мышьяка, представленные в таблице 1. Содержание мышьяка в исследуемых образцах изменяется в пределах от 700 до 1117 г/т. Естественное содержание мышьяка в почвах 5.0-10.0 г/т. ПДК в

пахотном слое составляет 2.0 мг/кг [8]. Превышение содержаний мышьяка в почвах по сравнению с кларком и ПДК, как видно из приведенных выше цифр, составляет более двух порядков.

Таблица 1

Валовое содержание мышьяка методом атомно-абсорбционного анализа

Место отбора пробы	Жила Новая	Участок Поднебесных	Хвостохранилище
Содержание, мг/л	7.1051	11.2393	8.1176
Содержание, мг/кг (г/т)	700.01	1116.67	736.29
Содержание, %	0.070	0.112	0.73

На основе проведения экспериментов по выщелачиванию мышьяка различными реагентами из почвогрунтов были получены результаты по содержанию в исследуемых пробах его подвижных и неподвижных форм.

Таблица 2

Доля подвижных и неподвижных форм (фракций) мышьяка в почвогрунтах Шерловогорского месторождения

Место отбора проб	Фракция	Выщелачивающий реагент	Содержание As, %
Жила Новая	Водорастворимая	Вода	0.06
	Неспецифически сорбированная	0.05M (NH ₄) ₂ SO ₄	6.04
	Аморфные оксиды Fe и Al	0.2M (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄	5.7
	Кислоторастворимая	CH ₃ COOH; HCOOH	9.8
	Обменная	HNO ₃ ;H ₂ SO ₄ ;HCl	46.1
	Неподвижная (остаточная)		32.3
Участок Поднебесных	Водорастворимая	Вода	-
	Неспецифически сорбированная	0.05M (NH ₄) ₂ SO ₄	-
	Аморфные оксиды Fe и Al	0.2M (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄	1.5
	Кислоторастворимая	CH ₃ COOH; HCOOH	0.2
	Обменная	HNO ₃ ;H ₂ SO ₄ ;HCl	41.4
	Неподвижная (остаточная)		59.6
Хвостохранилище	Водорастворимая	Вода	3.2
	Неспецифически сорбированная	0.05M (NH ₄) ₂ SO ₄	8.4
	Аморфные оксиды Fe и Al	0.2M (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄	10
	Кислоторастворимая	CH ₃ COOH; HCOOH	7.4
	Обменная	HNO ₃ ;H ₂ SO ₄ ;HCl	37.7
	Неподвижная (остаточная)		33.3

Исходя из полученных результатов (табл. 2), можно сделать выводы о том, что в почвогрунтах Шерловогорского месторождения в большей степени присутствуют неподвижные формы мышьяка, т.е., несмотря на достаточно высокие валовые содержания мышьяка в пробах, он относительно плохо переходит в слабые растворы экстрагентов и не представляет большой экологической опасности для изучаемого района. Однако это не может быть окончательным утверждением, поскольку создать условия проведения экспериментов, максимально приближенные к природным, достаточно сложно.

Литература

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях – Л. : Агропромиздат. 1987. – 142 с.
2. Гамаюрова В.С. Мышьяк в экологии и биологии – М. : Наука, 1993. – 208 с.
3. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья / Г.А. Юргенсон, В.С. Чечеткин и др. – Новосибирск : Наука, 1999. – 574 с.
4. ГОСТ 17.4.4.02.84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельмитологического анализа : Введен от 19 декабря 1984г. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 460 с.
5. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: в 6 кн. – М. : Экология, 1997. – Т.3. – 576 с.
6. Кабата-Пендас А, Пендас Х. Микроэлементы в почвах и растениях – М. : Мир, 1989. – 439 с.
7. Ногина Н.А. Почвы Забайкалья . – М. : Изд-во Наука, 1964. – 315 с.

8. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах (Дополнение №1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91) : Гигиенические нормативы – М. : Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России. – 8 с.

9. Солодухина М.А. О поведении мышьяка в почвах степного ландшафта Шерловогорского горнорудного района / Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды I Всероссийского симпозиума с международным участием и VII Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана 7-10 ноября 2006г. Чита, Россия. – Чита, 2006. – С. 87-90.

10. Солодухина М.А. Некоторые особенности поглощения мышьяка растениями Шерловогорского горнорудного района / Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды II Всероссийского симпозиума с международным участием и VIII Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана 24-27 ноября 2008г. Чита, Россия. – Чита, 2008. – С. 80-83.

11. Столярова И.А., Филатова М.П. Атомно-абсорбционная спектрометрия при анализе минерального сырья. – Л. : Недра, 1981. – 456 с.

12. Федорчук В.П. Минеральное сырье. Мышиак: Справочник – М. : ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – С. 23.

13. Федотов П.С., Спиваков Б.Я. Статические и динамические методы фракционирования форм элементов в почвах, илах и донных отложениях / Успехи химии. Вып.77 (7) – М.: РАН, Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского – С. 690-701.

14. Юргенсон Г.А., Гудкова О.В., Солодухина М.А., Будкина А.Ю., Голубева Е.М. Биогеохимические исследования в районе Шерловогорского горнорудного района / Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды I Всероссийского симпозиума с международным участием и VII Всероссийских чтений памяти А.Е. Ферсмана 7-10 ноября 2006г. Чита, Россия. – Чита, 2006. – С. 114-118.

15. Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Гудкова О.В. К основам биогеохимического мониторинга в геотехногенных ландшафтах горнорудных территорий / Вестник МАНЭБ. – Т.11, №5. – 2006. Спец. Выпуск, СПб – Чита. – С. 119-123.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОТОКИ РАССЕЯНИЯ В СЕВЕРО-ЯНСКОМ ОЛОВОНОСНОМ РАЙОНЕ

B.N. Макаров

Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия, makarov@mpi.ysn.ru

GEOCHEMICAL DISPERSION FLOWS IN THE NORTHERN YANA TIN-BEARING DISTRICT

V. N. Makarov

Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia,
makarov@mpi.ysn.ru

The Northern Yana tin-bearing district ranks among the largest in Russia. It contains dozens of proven tin placer and lode deposits. Natural waters and bottom sediments are enriched with the chemical elements typomorphic for tin deposits, such as Sn, Mo, Mn, Ag, Pb, B, and Cu. The adverse environmental consequences of tin mining include regional-scale loading on the water systems. Potential contamination sources are storage ponds and tailings which accumulate large amounts of toxic elements.

Отработка рудных и россыпных месторождений олова сопровождается извлечением на поверхность больших масс горных пород, оборотных технических вод, эксплуатацией хвостохранилищ. Процессы техногенеза сопровождаются активизацией физико-химических и биогеохимических процессов, приводят к резкому изменению химического состава природных вод и формированию протяженных техногенных геохимических потоков в речной сети отрицательно влияющих на экосистемы.

Геохимические особенности Северо-Янского оловоносного района определяются широким распространением юрских терригенно-осадочных отложений с подчиненным развитием эфузивов риолитового и андезитового состава. Менее распространены крупные массивы гранитов, диоритов, гранитоидов. Гранитоиды и терригенные отложения (песчаники, сланцы) практически идентичны по спектру накапливающихся микроэлементов (Bi, As, Cd, Sn, Cu, Ag) и различаются лишь уровнями их содержаний. Состав концентрирующихся в горных породах химических элементов отражает металлогеническую специализацию региона, связанную, прежде всего с оловорудной минерализацией.

Химический состав донных отложений района определяется геохимическими особенностями горных пород, распространенных на водосборах. Они обогащены, относительно региональных кларков, Sn, Mo, Mn, Ag, Pb, B, Cu – химическими элементами, типоморфными для месторождений и накапливающимися в горных породах (табл. 1).

Таблица 1
Состав и контрастность техногенных литохимических потоков

КК	Мамонт	Тенкели	Озерный	Депутатский
10 · n	-	-	Sn	Be, Sn
n	Mo, Yb, Cu, Zn Hg, V, Y	Ti, Yb, Y, P, Hg, V Sn, Co, Ag, Cu, Mn, W	B, W, Yb La, Y, P	As, Bi, Pb, W

Общей чертой гидрогеохимии оловорудных месторождений является формирование вокруг них слабокислых и кислых, иногда очень кислых, естественных гидрогеохимических полей с высокими концентрациями сульфатов и присутствием в солевом составе рудных элементов. Внешние контуры гидрогеохимических полей фиксируются аномальными концентрациями сульфатов, ртути, олова, фтора. Размеры полей сульфатов колеблются от 1-2 до первых десятков квадратных километров (до 20 км² на Депутатском рудном поле). В поверхностных водах концентрации сульфатов достигают первых граммов в литре, меди и фтора – п мг/л, ртути, олова, вольфрама – 0,0 п мг/л. В надмерзлотных водах содержание рудных элементов еще выше, однако параметры аномалий менее значительны.

На отдельных месторождениях в результате процессов криогенеза формируются сульфатные криопэги с аномальными содержаниями микроэлементов: Cu, Sn, As, Ag, Pb, Cd, Be, Nb, Ta, Li, Hg. Величина сухого остатка этих вод достигает 250 г/л. Повышенная сульфатность характерна и для подмерзлотных вод, вскрытых скважинами в пределах рудных полей на глубинах 200-600 м. В составе подмерзлотных вод также наблюдается обширный комплекс тяжелых металлов – Sn, As, Cu, Ag, Zn, Pb и Ni – элементов типоморфных составу рудных тел.

Обработка месторождений олова в районе связана с извлечением на поверхность больших масс пустых пород, оборотных технических вод, эксплуатацией их накопителей. Это приводит к высокой техногенной нагрузке на водные системы, попадающие в зону антропогенного воздействия. Естественная мутность вод водотоков, составляющая около 0,1 г/л [1], ниже отрабатываемых месторождений увеличивается на несколько порядков. Аномальное количество минеральных взвесей, поступающих в водные системы под влиянием горных работ, находится в зависимости от объемов и площади нарушенных земель на месторождениях и заметно даже на расстоянии 10-20 км от приисков в устьевых частях рек, дренирующих месторождения. В техногенных водных системах резко меняется соотношение взвешенных и растворимых форм вещества. Если в естественных водотоках преобладают взвешенные формы в соотношении примерно 3:1, то в зонах техногенного воздействия преобладание минеральных взвесей становится абсолютным и на долю растворимого стока приходится менее 1% мигрирующего вещества. Тонкоизмельченные различные минералы в техногенных взвесях образуют устойчивую слабо осаждающуюся в воде муть. Наблюдается отчетливая зависимость общего содержания минеральных взвесей в воде от площади нарушенных земель на месторождениях (рис. 1). Взвешенные осадки техногенных водотоков содержат широкий комплекс химических элементов, типоморфных для рудных тел и продуктивных на россыпи горизонтов. В большинстве случаев содержание тяжелых металлов в минеральных взвесях возрастает в 2-3 раза, однако их общее количество в системе вода-взвесь увеличивается на 1-2 порядка. Так, суммарное содержание растворенной и взвешенной меди в фоновых водотоках составляет 0,1-0,2 мг/л, а ниже месторождений достигает 9,4 мг/л (р. Хаханах) и 6-13 мг/л (р. Тенкели).

Содержание тяжелых металлов (взвесь + раствор) в техногенных водных системах находится в определенной зависимости от размеров нарушенных ландшафтов (рис. 2). Это связано как с увеличением объема поступления взвешенного и растворенного вещества в водотоки, так и дополнительным поступлением тяжелых металлов из более глубоких горизонтов горных пород, выводимых в зону гипергенеза.

Активизация физико-химических и биогеохимических процессов, обусловленная поступлением в зону гипергенеза больших масс рудного, главным образом, сульфидного материала, и тонкодисперсных льдистых осадков, приводит к повышению концентрации ряда

компонентов в составе минеральных взвесей, природных вод и донных отложений. Как правило, резкие изменения в химическом составе водных систем, особенно изменения химического состава воды, наблюдается в непосредственной близости от зоны техногенеза, но контрастные аномалии микроэлементов протягиваются на значительные расстояния. Общая длина литохимических потоков рассеяния в речных долинах колеблется от первых километров до 7-10 км, при максимальных концентрациях техногенных элементов, в десятки раз выше фоновых значений, в интервале 3 км от источника.

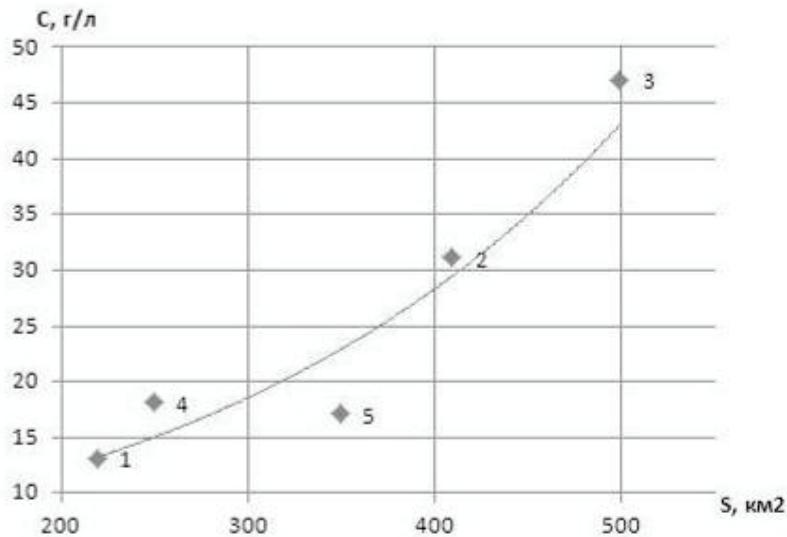


Рис. 1. Зависимость содержания минеральных взвесей в устьях рек от площади нарушенных земель на месторождениях олова.

1-5 – река (месторождение): 1 – Хаханнах (Озерный), 2 – Тенкели (Тенкели), 3 – Буор-Хая (Суор), 4- Силир (Смольникова), 5 – Артык (Крайний. Перевальный).

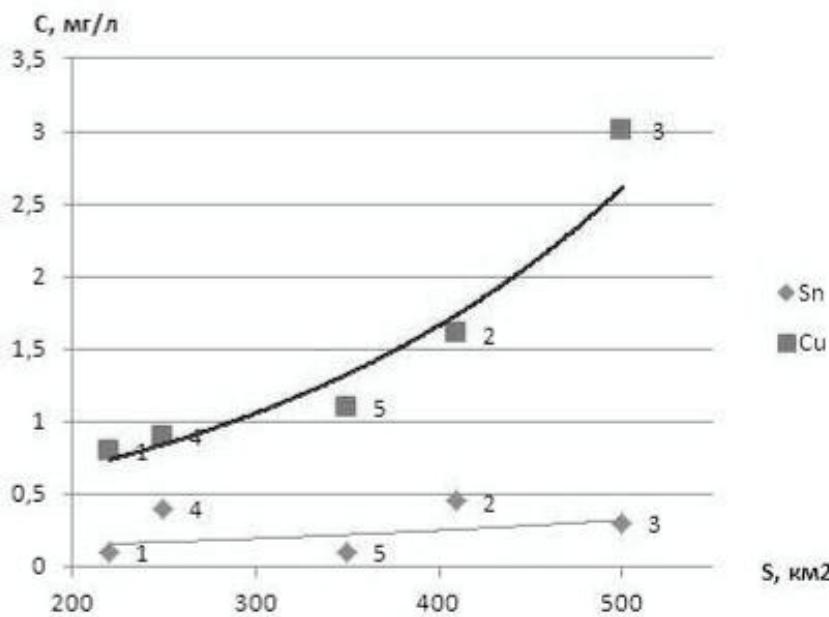


Рис. 2. Зависимость общего (взвесь+раствор) содержания Cu и Sn в устьях рек от площади нарушенных земель на месторождениях олова. 1-5 – см. рис. 1.

Примером могут быть литохимические потоки олова и меди в донных отложениях р. Тенкели, дренирующей россыпь олова, имеющие протяженность около 2 км, но в устье реки на расстоянии около 20 км от месторождения в зоне меандрирования, вновь формируются аномалии этих металлов (рис. 3).

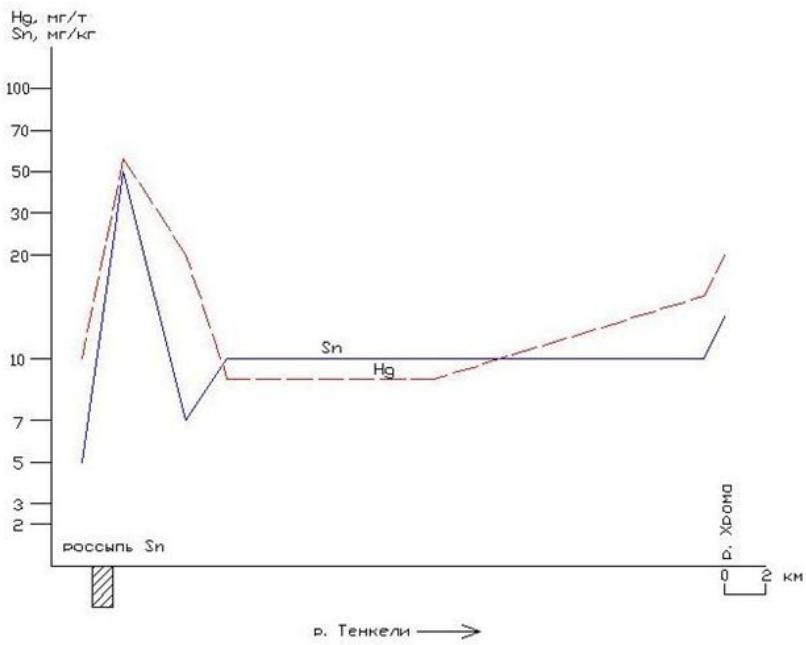


Рис. 3. Геохимические аномалии Cu и Sn в донных отложениях р. Тенкели ниже отрабатываемой россыпи олова.

Отрицательные экологические последствия разработки месторождений олова имеют локальный характер по загрязнению атмосферы и литосфера и относятся к региональным по техногенному давлению на водные системы.

Из большого числа загрязняющих компонентов приоритетное значение на месторождениях имеют продукты окисления пирита и сульфидов тяжелых металлов, содержащихся в продуктивных пластах и перекрывающих осадочных отложениях; сернокислотное выщелачивание алюмосиликатов и карбонатов. Эти процессы происходят и в отвалах пустых пород. Окисление перечисленных минералов, как правило, усиливается с увеличением размеров зоны аэрации и площади отвалов пустых пород на поверхности. Обогащение дренажных вод и атмосферных осадков тяжелыми металлами и сульфатами сопровождается их значительным подкислением, в результате чего их pH снижается до 2,5-4,0 (месторождения Депутатский, Мамонт). Можно констатировать, что загрязнение природных вод разрабатываемых месторождений олова в основном происходит в результате поступления сульфатов, свободных ионов и водорода, железа, алюминия, марганца, меди, цинка, свинца. Поступление отмеченных ингредиентов приводит к изменению природной гидрогеохимической обстановки. Природные воды подвергаются полной техногенной метаморфизации, которая сопровождается формированием кислых вод сульфатного типа. Вокруг разрабатываемого месторождения образуются зоны, различающиеся по окислительно-восстановительным и кислотно-щелочным условиям природных вод. Первая зона — воды полной техногенной метаморфизации: кислые (pН меньше 5) сульфатные воды с аномальными содержаниями тяжелых металлов — цинка, меди, свинца, марганца и других. Вторая зона — распространения слабокислых сульфатно-гидрокарбонатных метаморфизованных вод также с высокими содержаниями тяжелых металлов. Техногенные воды этой зоны занимают промежуточное положение между природными слабоизмененными водами и полностью метаморфизованными техногенными растворами.

С удалением от зон интенсивного техногенного давления содержание макрокомпонентов, определяющих химический состав вод, снижается до уровня их значений в естественных водотоках и по химическому составу приближается к фоновому — третья зона. Следы техногенной метаморфизации сохраняются в аномальных концентрациях тяжелых металлов и повышенном содержании сульфатов.

Техногенные осадки в водных системах служат вторичным источником образования гидрогеохимических аномалий. Загрязненные осадки накапливаются на участках уменьшения интенсивности поверхностного стока в приусадебной части долин, на участках меандрирования. В техногенных геохимических системах вода-осадок, вода-звесь происходит растворение,

гидролиз, ионообменные реакции, способствующие переходу химических элементов в раствор. Кроме того, уплотнение речных осадков ведет к переходу части химических элементов из поровых растворов в речные воды. Примером таких гидрогеохимических аномалий могут быть высокие концентрации марганца, ртути, меди и цинка в приусьевой части левых притоков р. Хрома (Хаханнах, Тенкели и др.) дренирующих территории горных работ. Резкое уменьшение концентрации тяжелых металлов во взвешенных формах сопровождается появлением контрастных аномалий в растворенных формах миграции.

Состав и контрастность техногенных гидрогеохимических потоков на месторождениях олова приведен в табл. 2.

Таблица 2

Состав и контрастность техногенных гидрогеохимических потоков

Кларк концентрации	Месторождения			
	Мамонт	Тенкели	Озерный	Депутатский
1000 · n	Mn, Cr	Mn, Cu, Cr	-	Zn, Cu, Mn
100 · n	V, Co	V	-	Co, Pb, La, SO ₄
10 · n	Pb, Ga, Cu, Mo, Zn	Zn, Mo, Ag, Ga, Co	Cr, Mn, Mo, Co, Na	Ag, Mo, Sn, Co Mg, NH ₄
n	Na, NH ₄ , Ag, K SO ₄ , Ca, Mg	Na, K, Pb, Ca, Sn	Mg, K, Ag, Pb, Ca Cu, V, SO ₄ , NH ₄	V, Cr

Примечание: КК - контрастность относительно фоновых содержаний.

Существенно ухудшается качество воды из-за высоких содержаний марганца и железа не только как токсических металлов, но и как элементов-окислителей. Окисление железа (II) и марганца (II) в трехвалентное состояние сопровождается понижением pH и концентрации в воде растворенного кислорода. Кислород расходуется и на окисление органических веществ, которыми насыщены четвертичные отложения - «торфа», размываемых отвалов. Содержание железа в природных водах резко увеличивается в ходе отработки месторождений, а в накопителях и хвостохранилищах достигает максимальных концентраций, до 240 мг/л в хвостохранилище ЦОФ Депутатского месторождения (табл. 3).

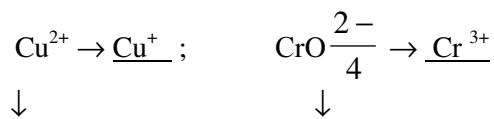
Таблица 3

Химический состав растворов в хвостохранилище Депутатской обогатительной фабрики

Компоненты	ПДК р/х	Содержание, мг/л	
		15.06.1992	25.04.2008
Cl ⁻	300	7	68,6
SO ₄ ²⁻	100	1266	12550
Ca ²⁺	180	125	350
Mg ²⁺	40	121	141
NH ₄ ⁺	0,1	0,7	470
NO ₃ ⁻	40	не опр.	3
NO ₂ ⁻	0,02	не опр.	0,034
HPO ₄	0,2	не опр.	0,25
Fe общее	0,1	45	240
Нефтепродукты	0,05	не опр.	0,04
Zn	0,01	0,4	1,25
Cu	0,001	2,0	69
Mn	0,01	1,0	46
Минерализация		1,757	-
Взвешенные вещ-ва	-	не опр.	320
Примечание		С поверхности	Под слоем льда мощностью 1,75 м

Следует отметить и криогенное преобразование техногенных водных систем. Длительное замерзание рек приводит к образованию подо льдом изолированных ванн речных вод. Одновременно сток продолжается в подрусловых и пойменных таликах. Во всех этих гидрологических системах, в отсутствие связи с атмосферой, вода в значительной мере теряет свой кислород, который расходуется на дыхание животных и микроорганизмов. В результате в

воде на отдельных участках возникает резкоглеевая среда, формируются глеевые барьеры, на которых осаждаются Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu, F, Cr, S, P, Fe, Mn:



В это время года происходит активная сорбция химических элементов донными отложениями, формируются контрастные, но менее протяженные техногенные литохимические потоки.

В теплое время года в водных системах верхней части зоны гипергенеза преобладают окислительные процессы. Глубина проникновения кислородных вод во многом зависит от гидродинамики и мерзлотно-геологического строения. В водных системах наиболее характерен кислый процесс, воды содержат кислород и обладают окислительными свойствами. Величина Eh повышается до +0,52 В (р. Селенях) и +0,645 В (руч. Депутатский).

Литература

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 17. Ленно-Индигирский район. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МЕТАЛЛОВ НА РАСТВОРИМОСТЬ ЗОЛОТА В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРАХ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУХОЙ ЛОГ (ЛЕНСКИЙ РАЙОН)

Н.Л. Матель

Институт геохимии СО РАН, Иркутск, Россия, matel@igc.irk.ru

FEATURES OF INFLUENCE OF METALS ON SOLUBILITY OF GOLD IN HYDROTHERMAL SOLUTIONS OF THE SYKHOI LOG GOLD DEPOSIT (LENSKY AREA)

N.L. Matel

Institute of geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia, matel@igc.irk.ru

Thermodynamic modeling of equilibrium gold, occurring in various complexes, was performed for natural compositions of hydrothermal ore-forming solutions involved in the fifth high-T stage of gold ore formation, including siderite-quartz-Ni, Co, Cu, Fe, Zn-sulphide mineral association of gold-sulphide deposit of Sukhoi Log. Modeling was implemented by the method of Gibbs' free energy minimization, referred to as "GIBBS" program complex. The initial parameters have been chosen for modeling from the data on fluid inclusions in ore minerals. Thermodynamic modeling defined the features of gold dissolution in hydrothermal solutions, with Co and Ni involved (Table). It was found that in solution gold predominates in hydroxyl Au(OH)₂ -9,84 mol/kg H₂O and hydrosulphidic Au(HS)₂⁻ 7,63 mol/kg H₂O, but its content is decreased in chloride AuCl₂⁻ -8,40 mol/kg H₂O (the values are provided in mol/kg H₂O).

Проведено термодинамическое моделирование равновесной растворимости золота в форме различных комплексов для природных составов гидротермальных рудообразующих растворов при формировании золоторудной, ранней, высокотемпературной минеральной ассоциации золото-сульфидного месторождения Сухой Лог (Ленский район), методом минимизации свободной энергии системы с использованием программного комплекса "GIBBS". Исходные параметры для моделирования были выбраны на основании данных исследования флюидных включений в минералах руд месторождения. Для моделирования был выбран наиболее важный этап в процессе рудообразования на месторождении Сухой Лог золоторудная, ранняя, высокотемпературная стадия, включающая сидерит-кварц-Ni, Co, Cu, Fe, Zn- сульфидную, Ni, Co-арсенид-сульфоарсенидную с теллуридами и теллуровисмутидами Au, Ag, Pd, Pb минеральную ассоциацию, где обнаружено увеличение концентрации различных металлов и отложение их в виде сульфидных и других минералов [1, 2]. Особенностью месторождения Сухой Лог и отличием от многих месторождений золота, в том числе связанных с черными сланцами, в рудах месторождения Сухой Лог резко преобладает пирит, а среди менее распространенных минералов главными являются богатые Ni и Co сульфиды, арсениды и сульфоарсениды [1].

По данным исследований индивидуальных флюидных включений в кварце и кальците рудных жил месторождения установлен диапазон изменения физико-химических параметров и

химического состава минералообразующих флюидов ранней, высокотемпературной минеральной ассоциации месторождения Сухой Лог: температура 380-285 °С, давление 2500-1150 бар, концентрация NaCl 1,2 моль/кг H₂O, CO₂ 7,0 моль/кг H₂O, CH₄ 0,8 моль/кг H₂O, H₂S 10⁻² моль/кг H₂O, N₂ 0,1 моль/кг H₂O. В составе растворенных солей преобладают хлориды Na, Mg и K. Широкий диапазон вариаций отношения CO₂/CH₄ в растворе включений и уменьшение его с падением давления подтверждает, что рудоотложение происходило при взаимодействии высокотемпературных, богатых CO₂ гидротермальных флюидов с органическим веществомrudовмещающих толщ, при изменении окислительно-восстановительных условий [2].

Гидротермальная система в модели включает 9 минералов и 114 компонентов водного раствора H-O-C-Na-K-Mg-Ca-Fe-Cu-Pb-Zn-Ni-Co-Si-Cl-S-N-Ag-Au для золоторудной, ранней, высокотемпературной минеральной ассоциации месторождения Сухой Лог. Динамические аспекты физико-химической модели включают явления переноса химических компонентов движущимся гидротермальным раствором и обмена веществом раствором с вмещающими породами.

В результате проведенного термодинамического моделирования пятой золоторудной, ранней, высокотемпературной минеральной ассоциации, выявлены особенности растворения золота в гидротермальных растворах с участием различных металлов. Установлено ранее, что присутствие Zn, Pb в системе влияет на уменьшение растворимости золота в гидросульфидных AuHS⁰, Au(HS)₂⁻ и Au₂(HS)₂S²⁻ комплексах, что приводит к отложению золота совместно с сульфидами, с образованием сульфидных минералов [3]. В присутствии в данной гидротермальной системе Co, наблюдается преобладание золота в растворе в гидроксильных Au(OH)₂⁻ -9,92 моль/кг H₂O и гидросульфидных Au(HS)₂⁻ -7,71 моль/кг H₂O комплексах, и уменьшение в хлоридных AuCl₂⁻ -8,32 (значения приведены в виде -lg моль/кг H₂O) [3]. Выявлены особенности растворения золота в гидротермальных растворах с участием в системе Co и Ni. Наблюдается преобладание золота в растворе в гидроксильных Au(OH)₂⁻ -9,91 моль/кг H₂O и гидросульфидных Au(HS)₂⁻ -7,70 моль/кг H₂O комплексах. Совместное участие в растворе Co и Ni увеличивает растворимость золота в растворе в гидросульфидных формах, что в дальнейшем приводит к отложению золота совместно с сульфидами [4].

В результате моделирования при совместном присутствии в гидротермальной системе металлов Au – Ag – Zn – Pb – Ni – Co наблюдается смещение равновесия в сторону общего увеличения растворимости золота в растворе с преобладанием гидроксильных Au(OH)₂⁻ – 9,84 моль/кг H₂O и гидросульфидных Au(HS)₂⁻ -7,63 моль/кг H₂O, Au₂(HS)₂S²⁻ -12,71 моль/кг H₂O комплексах (таблица).

Таблица

Результаты термодинамического моделирования растворимости золота в гидротермальных растворах с участием различных металлов в системе при температуре 380 °С и давлении 2500 бар для золоторудной, высокотемпературной стадии месторождения Сухой Лог

Комплексы	Концентрация металлов, моль/кг H ₂ O				
	Au (1)	Au-Ag (1-1)	Au-Ag-Zn-Pb (1- 1-10 ⁻⁴ -10 ⁻⁴)	Au-Ni-Co (1-10 ⁻⁴ -10 ⁻³)	Au-Ag-Zn-Pb-Ni-Co (1-1-10 ⁻⁴ -10 ⁻⁴ -10 ⁻⁴ -10 ⁻³)
Au ⁺	-14,01	-14,08	-14,09	-14,08	-14,16
AuOH ⁰	-8,35	-8,35	-8,35	-8,35	-8,35
Au(OH) ₂ ⁻	-9,98	-9,91	-9,89	-9,91	-9,84
AuHS ⁰	-6,79	-6,79	-6,79	-6,79	-6,79
Au(HS) ₂ ⁻	-7,77	-7,70	-7,69	-7,70	-7,63
Au ₂ (HS) ₂ S ²⁻	-13,00	-12,86	-12,84	-12,86	-12,71
AuCl ₂ ⁻	-8,26	-8,33	-8,34	-8,32	-8,40
Au ³⁺	-48,19	-48,40	-48,44	-48,40	-48,63
AuCl ₄ ⁻	-27,96	-28,17	-28,21	-28,16	-28,39
ΣAu	-6,74	-6,74	-6,74	-6,74	-6,73
pH	4,635	4,704	4,717	4,705	4,779
Eh	-0,622	-0,631	-0,633	-0,631	-0,641
I	1,367	1,372	1,372	1,368	1,373

Методом термодинамического моделирования выявлены основные факторы, влияющие на растворимость золота в гидротермальных растворах и его отложение, это возникшие физико-химические условия, окислительно-восстановительные условия, создающиеся многообразием

химических реакций, протекающие в процессе рудообразования. Все перечисленные факторы в разной степени, но вполне отчетливо влияют на поведение золота в реальных геохимических обстановках.

Литература

1. Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л., Немеров В.К., Коваленкер В.А., Мохов А.В., Семейкина Л.К., Юдовская М.А. Формы нахождения металлов платиновой группы и их генезис в золоторудном месторождении Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38. № 6. – С. 467-484.
2. Лаверов Н.П., Прокофьев В.Ю., Дистлер В.В., Юдовская М.А., Спиридонос А.М., Гребеницкова В.И., Матель Н.Л. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог // Доклады Академии наук. 2000. Т. 371. № 1. – С. 88-92.
3. Матель Н.Л. Влияние различных металлов на растворимость золота в гидротермальных растворах золоторудного месторождения Сухой Лог (Ленский район) // Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений. Тез. докл. Воронеж: ВГУ, 2009. – С. 74-76.
4. Матель Н.Л. Влияние различных металлов на растворимость золота в гидротермальных растворах золоторудного месторождения Сухой Лог (Ленский район) (Физико-химическое моделирование) // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. Материалы Всерос. науч.-техн. конф. Иркутск:Изд-во ИрГТУ, 2009. Вып. 9. – С. 128-130.

ГЕОХИМИЯ НАНОЧАСТИЦ В ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ

E.G. Panova¹, G.A. Oleynikova², V.B. Gavrilenko³

¹СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия, geochemistry@geology.pu.ru

²ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, Россия, Galina_Oleynikova@vsegei.ru

³РГПУ им.А.Герцена, Санкт-Петербург, Россия, gavr47@mail.ru

GEOCHEMISTRY OF NANO-PARTICLES IN TECHNOGENETIC LANDSCAPES

E.G. Panova¹, G.A. Oleynikova², V.V. Gavrilenko³

¹ Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia, geochemistry@geology.pu.ru

² All Russian geological institute, Saint-Petersburg, Russia, Galina_Oleynikova@vsegei.ru

³ All Russian Hersen Pedagogical University, Saint-Petersburg, Russia, gavr47@mail.ru

Old mining areas are presently contaminated, and the accumulated amounts of mine waste are literally billions of tons – constituting substantial pollution sources. Metal contaminated land and mine deposits require remediation, but mine waste also constitutes a potential “technogenic ore” from which metals may be recovered. The strategy is based on nanotechnology - on the insight that a major fraction of the trace elements in the waste landscapes are associated with the nano-size particle fractions (below 1000 nm). Colloid-salt fraction (nano-fraction) with particle size less than 1000 nm is extracted in special conditions from the samples of natural objects (soil, rocks, ores and products of their processing). The sample and its nano-fraction have been analyzed by ICP MS method. This way allows to lower by 2-3 orders of magnitude the detection limits for a 75 trace elements in the samples.

Nano-fraction analysis can be applied in geochemical and ecological studies to research into the behaviour of water-soluble (mobile) forms of elements, so that can significantly improve the quality of ecological assessment of toxic pollution effect.

Nano-geochemical method allows: 1) to develop methods of exploration of toxicants mobile forms in the environment; 2) to create the methods of toxic elements extraction from the soil and bottom; 3) to extract low contents of chemical elements from ores and different products of ore-reworking.

Key words: geochemistry, nano-particles (< 1000 нм), mining waste, metal mobility, remediation, technogenic ore deposits, metal recovery

Горнорудные районы многие сотни лет обеспечивали развитие европейской цивилизации сырьевыми ресурсами. С начала 90-х гг. в силу политических и экономических причин произошло резкое сворачивание горнорудной промышленности в «классических» горнодобывающих районах и переориентация экономики Европы на получение более дешёвого сырья из развивающихся стран.

Многие сотни лет разрабатывались месторождения на территории современных государств – Англии, Испании, Швеции, Германии, Финляндии, Чехии, Австрии, Румынии и других стран Европы и России, из которых добывали руду для извлечения различных металлов. Часто горнорудные предприятия становились градообразующими и в ряде мест современные районы

городов располагаются уже вокруг них. Объёмы отходов, накопленных за сотни или даже десятки лет, огромны. Они представляют собой терриконы и свалы глыб, камней, песка и глины, которые складировались вокруг горных выработок. В ряде стран уже осуществлялась их вторичная переработка. В целом же они рассматриваются как новый тип рудных объектов – техногенные месторождения. Таким образом, отвалы любого крупного месторождения представляют собой техногенное месторождение, которое становится рентабельным для отработки с применением современных технологий ввиду того, что огромные массы горной породы уже извлечены из недр.

Различные страны по-разному подходят к рекультивации территорий, ранее бывших горнорудными. В Англии и Германии, которые на протяжении многих сотен лет были основными рудными районами мира, начиная с 80-х гг., идут по принципу создания новых ландшафтных парков и музеев. Также поступили и в Финляндии, где на бывшем крупном полиметаллическом месторождении Оуто-Кумпу создан музей, а горы отвалов заровняли бульдозером.

Обычно рекультивированные территории представляют собой засыпанные в котлованы отходы, которые располагаются в понижениях рельефа, и перекрыты насыпным слоем почвы. В результате сам котлован с рыхлыми образованиями представляет собой место накопления дренажных вод, которые выщелачивают химические элементы из отходов и разносят на окружающие территории.

В настоящее время они являются техногенными источниками загрязнения окружающих территорий, которое в современных условиях гипергенеза осуществляется посредством ветровой, водной и биогенной эрозии. Вокруг техногенных источников загрязнения формируются почвенные и биогеохимические аномалии, величина которых, как показали многочисленные исследования, на несколько порядков превышают аномалии над рудными объектами. При этом, природные равновесия устанавливавшиеся в продолжении миллиардов лет нарушаются человеком в пределах нескольких столетий.

Проблема осложняется тем, что на протяжении столетий месторождения использовались как источники определённых металлов, а многочисленные попутные компоненты, многие из которых, как показали исследования последних лет, являются токсичными, канцерогенными и радиоактивными, не извлекались. Да и степень извлечения полезных компонентов для разных объектов и схем извлечения составляет 65-80%. С точки зрения геологии и геохимии, каждое крупное месторождение является комплексным и содержит огромные запасы попутных компонентов, которые после извлечения главного, промышленно важного, компонента в той или иной форме поступают в окружающую среду. Подсчёт запасов попутных компонентов не всегда регламентирован, а контуры рудных тел и запасы рассчитывались только по основному компоненту.

Так, месторождения Англии и Германии использовались, в основном, как источники олова, вольфрама, в меньшей степени меди, железа. В XX вв. в Германии и Чехии, кроме того, из них активно добывались уран и редкие элементы. Колчеданные месторождения Испании с давних времён были источником золота, а месторождение Альмаден уже более тысячи лет является крупнейшим ртутным месторождением. В российской Карелии полвека разрабатывается на железо месторождение Костомукша, отвалы которого уже сейчас огромны. То же можно сказать и о гигантских месторождениях Курской магнитной аномалии, Кривого Рога, колчеданных месторождениях Урала и других крупных и уникальных горнорудных районах Европы, на которых выработаны огромные массы горных пород, объём которых оценивается в миллиарды тонн.

Обычно в отвалах накапливаются сульфиды халькофильных элементов, минералы урана, ртути, селена, которые сопровождали полезные компоненты в рудах и не были извлечены в ходе их обогащения. Большинство химических элементов отвальных хозяйств относятся в первой и второй группам токсичности.

В зонах складирования отвалов происходят физико-химические процессы, образуются так называемые «горелые отвалы», в которых возникают новые минеральные фазы, меняются формы нахождения химических элементов, они переходят в подвижное состояние и легко мигрируют на окружающие почвы, поступают в воды. Зафиксировано огромное количество новообразованных металлоорганических форм, которые наиболее активно вовлекаются в биоценозы. Важность и глобальность происходящих процессов подчеркивается появлением ряда новых направлений в геологии: минералогия тезногенеза и геохимия техногенеза.

В современных условиях в результате процессов гипергенеза токсиканты переходят в миграционные формы, поступают в воды и донные осадки, накапливаются растениями и далее

могут оказаться в организме животных и человека. Миграция осуществляется в минеральной, ионной, коллоидной, биогенной формах. Кроме того, процессы горения внутри отвалов приводят к выделению огромного количества газов, которые переносят токсикантов на значительные расстояния. Пути и формы миграции зависят от ассоциации химических элементов в рудах и окорудных породах, степени извлечения основного и попутных компонентов, ландшафтно-геологических условий и типа складирования отходов.

Ввиду того, что потоки вещества из отходов горнорудного производства изменяют состояние среды жизнедеятельности, отрицательно влияя на биоценозы, на развитие живых организмов, в том числе и человека, исключительно важным является изучение поведения *подвижных* форм токсикантов в целом в системе: источник – почва, вода, донный осадок – растения – пищевые продукты – организм животных и человека. В условиях нарастающего техногенеза появилось новое направление науки – медицинская геология, рассматривающая влияние региональных и локальных геохимических аномалий на состояние здоровья человека.

В ранг первоочередных задач выдвигается проблема изучения *подвижных форм химических компонентов на уровне наноразмерных частиц*, которые являются наиболее биоактивными, а, с другой стороны, никогда не выделялись при разработке и обогащении руд. Выявление путей и форм нахождения токсикантов в объектах окружающей среды позволит разработать методы очистки зараженных территорий, что невозможно без устранения самого источника загрязнения.

Кроме того, в связи с ростом потребностей современной промышленности в широком спектре редких и рассеянных химических элементах и с появившимися возможностями извлечения наночастиц из проб, отходы горнорудного производства могут явиться новым дешевым источником редких и рассеянных элементов. При этом, извлечение из отходов токсичных, канцерогенных и радиоактивных элементов значительно сократит их поступление на окружающие территории и уменьшит экологическую опасность.

Появление современных приборов и методов прямого визуального наблюдения нанообъектов, таких как высокоэнергетическая просвечивающая электронная микроскопия, высокоразрешающая растровая микроскопия с волновым и дисперсионно-энергетическим спектрометрированием, тунNELьная сканирующая микроскопия, атомно-силовая оптическая микроскопия и другие позволили различать и анализировать частицы размером до 1 нм. В литературе описаныnanoструктуры и нанодисперсные фазы в различных природных биогенных и гидрогенных системах, в почвах и метеоритах.

Однако локальный состав наночастиц в отдельных точках пробы не отражает геохимическую специфику всей породы. При проведении микрозондовых исследований ввиду ультра малого размера наночастиц зонд прожигает их насквозь, что не позволяет оценить их химический состав отдельно от матрицы. Было необходимо найти способ выделения фракции, состоящей из элементов, находящихся в состоянии рассеяния, т.е. по сути – сконцентрировать их, отделяя от минеральной матрицы породы. Разработка метода выделения наночастиц явилась продолжением работ по изучению подвижных форм элементов в природных объектах, а также развитием геохимических поисков по струйным ореолам рассеяния и метода анализа сверхтонкой фракции горных пород (МАСФ).

Во-первых, была разработана методика извлечения нанофракции (1-1000 нм) из природных и техногенных объектов; во-вторых, усовершенствован анализ (регистрация) нижекларковых концентраций химических элементов; в-третьих, выполнено их извлечение (концентрирование).

В основу методики выделения фракции с размером частиц 1-1000 нм был положен тот факт, что при определенных условиях наночастицы в воде образуют коллоидные растворы, которые во многих случаях устойчивы в течение длительного срока. Отделить коллоидные частицы от воды возможно только с применением различных коагулянтов или с помощью ультрацентрифугирования. Применение фильтров с размером пор 1 мкм для фильтрации растворов позволяет строго соблюсти верхний размер частиц: все частицы, попадающие в раствор, имеют нанометровый диапазон. Массу вещества, присутствующего в анализируемом растворе, определяют весовым способом. Фракцию, выделенную таким путем, было предложено называть нанодисперсной или *нанофракцией* (НФ) [1]. Разработанный авторами метод выделения и анализа нанофракций защищен патентом РФ (№ 2370764 от 20.10.09).

Таким образом, из проб природных объектов (почв, пород, руд и продуктов их переработки) при специально подобранных условиях извлекается коллоидно-солевая фракция (нанофракция) с

размером частиц менее 1 мкм, доля которой в пробах рыхлых отложений обычно составляет 2-6 вес.%, а для кристаллических пород – до 0,1 вес.%. Соблюдение определенных условий обеспечивает полноту выделения в раствор всех форм химических элементов, имеющих заданный размер частиц, при этом в растворе остаются вещества в ионной форме (растворимые соли) и коллоидные частицы. Далее полученный коллоидно-солевой водный раствор анализируют методом ИСП-МС на максимально возможный круг химических элементов. Расчет содержания химических элементов проводят как в нанофракции, так и в пробе, из которой извлекали нанофракцию. Избавление от макрокомпонентов проб (алюмо-силикатной матрицы) природных и техногенных объектов, выделение раствора нанофракции, полученного без применения традиционных схем разложения проб, позволило одновременно анализировать в подготовленных растворах до 70 химических элементов. Проведенные исследования показали, что анализ водных растворов нанофракции позволяет в максимальной степени реализовать возможности метода ИСП-МС, поскольку отсутствует негативное влияние на результаты дополнительно вводимых химических реагентов. В результате удалось снизить пределы обнаружения для ряда редких и рассеянных элементов в исходных пробах на 2-3 порядка и достичь следующих пределов обнаружения (г/т): 0,0002 (Au); 0,0004 (Pt); 0,0006 (Pd); 0,0001 (Ag); 0,0001 (Rh); 0,0004 (Ru); 0,0001 (Ir); 0,0001 (Re); 0,00006 (Tl); 0,0006 (Cd); 0,0008 (Hg); 0,002 (Te); 0,0002 (Sb); 0,001 (As); 0,0006 (Ge); 0,0002 (Ga); 0,0006 (Mo); 0,00002 (U); 0,01 (Se); 0,0001 (Bi); 0,0002 (In); 0,0006 (Sc).

Оценка содержаний редких и рассеянных элементов в пробах горных пород, руд и продуктов их переработки посредством анализа нанофракций имеет ряд преимуществ по сравнению с существующими методами: а) вследствие «концентрирования» редких и рассеянных элементов в нанофракции их содержание оказывается на несколько порядков выше, чем в исходной пробе, т.е. в пробах, в которых содержание отдельного элемента ниже предела обнаружения, в нанофракции определяется как реальное значение. Следствием работы в области реальных концентраций, а не вблизи пределов обнаружения является хорошая воспроизводимость анализа и снижение погрешности определения. Способ определения редких и рассеянных элементов в нанофракциях природных объектов основан на повышении точности и достоверности химико-аналитических данных при работе на сверхнизких уровнях концентраций химических элементов, что позволяет увеличить вероятность выявления и надежность оценки геохимических систем.

Анализ нанофракций позволяет не только резко понизить предел обнаружения для редких и рассеянных элементов, но и значительно расширить круг определяемых элементов и получить достоверную информацию на сверхнизких уровнях их концентраций, что создает возможность существенно повысить информативность геохимических исследований. При экологогеохимических работах анализ нанофракции позволяет оценить поведение водорастворимых (подвижных) форм химических элементов, что может существенно изменить качество экологических исследований при оценке возможных последствий загрязнения территорий токсикантами [2, 3].

В таблице 1 приведены результаты ИСП-МС анализа проб горелых отвалов черных сланцев выполненные по традиционной методике (1) и путем анализа нанофракции (2). Для сравнения проводился расчет значений коэффициента концентрации, определяемого как отношение содержания элемента в НФ к содержанию элемента в пробе в целом, величина которого отражает накопление элемента ($K>1$) в нанофракции или в пробе в целом ($K<1$). Накопление элементов в НФ (водном растворе!) свидетельствует о наличии в пробе подвижных водорастворимых форм химических элементов. Именно эта часть пробы и может представлять реальную экологическую опасность. В таблице приведены значения коэффициента концентрации для некоторых элементов. Видно, что происходит естественное концентрирование элементов в нанофракции в десятки раз превышающие содержание элементов в пробах. Наиболее миграционно-способной оказалась группа токсикантов: Cu, Zn, U, As, которые относятся к 1 классу опасности. Значительный интерес могут представлять данные о содержании в НФ благородных металлов и рения.

Таким образом, на основе наногеохимического подхода изучения объектов природного и техногенного происхождения можно создать: 1) научную основу регистрации кларковых и нижекларковых концентраций химических элементов в почвах, породах, рудах и продуктах их переработки; 2) методику изучения подвижных форм токсикантов в объектах окружающей среды; 3) создать метод извлечения редких и рассеянных элементов из отвалов горнорудных предприятий.

Таблица 1

Содержание химических элементов в пробе (1) и ее нанофракции (2)

Элемент	Традиционная схема (1)	Нанофракция (2)	Коэффициент концентрации
Au	< 0,002	1,4	1400
Pd	< 0,03	2,2	220
Re	< 0,03	1,9	190
Ge	0,21	24	116
Sc	16	70	4,4
Ga	18	55	3
Cu	36	1060	29
Zn	1%	28%	28
U	77	1540	20
As	35	195	5,6

Изучение геохимии наночастиц позволяет оценивать подвижные формы химических элементов в техногенных ландшафтах, что может сыграть важную роль в изменении взглядов на процессы обогащения руд, утилизацию отходов и охрану окружающей среды.

Исследования выполнены в рамках программы 2.1.2 «Поддержка научно-педагогических кадров России 2009-2013», Госконтракт № П1408.

Литература

1. Олейникова Г.А., Панова Е.Г. Информационный ресурс анализа нанофракций почв. /Вестник СПбГУ. 2007. Сер.7. В.3.– С.60-66.
2. Панова Е.Г., Олейникова Г.А., Фадин С.Ю. Наногеохимия – новая область развития геохимии /Геология, экология и эволюционная география, Т.10. СПб., 2009.
3. Панова Е.Г., Олейникова Г.А., Гавриленко В.В. Нанотехнологии при решении экологических проблем крупнейших горнорудных регионов Европы (Геология, экология и эволюционная география, Т.8 СПб., 2008.

УРАНОВОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И МОНГОЛИИ

В.П. Рогова

Иркутский госуниверситет, Иркутск, Россия, sosna@irk.ru

URANIUM MINERALIZATION AT THE DEPOSITS OF EAST SIBERIA AND MONGOLIA

V.P. Rogova

State University, Irkutsk, Russia

In Mesozoic the uranium deposits were most widely developed in riftogenous hollows, volcano structures, massifs of granitoids. Radiological age of ores is (million years): 150 ± 5 ; 130 ± 5 , 110 ± 2 , 101 ± 2 .

Mineralization at the deposits of fluorite-molibdenite-nasturan mineral type was formed into two stages. Metasomatic ore mineralization at the early stage (brannerite, nasturan) was very often accompanied by hematitization of enclosing rock, nasturan and coffinite of the second stage formed veins and breccia cement and were accompanied by molibdenite.

Pseudomorphic substitution of nasturan sphaerolites by protasite, bauranoit, metacalcuranoite, calcuranoite and wolsendorfite, B-uranotile, uranofan, uranospothite, umohoite, mourite, iriginitite took place at the Streltsovsk ore deposit due to effect of post-ore solution with barium and calcium on rich ores.

Radiological age of ores in polychrone deposits of zeolite-beta-uranotile mineral type (Central Trans-Baikal area) is 120 and 20 million years. In the Mesozoic zones coffinite, nasturan, heulandite, mordenite, mixed mineral hydro-mica are met. In the sections of rich ores the Mesozoic parageneses are overlapped by Cenozoic ones with formation of small-grain quartz lomontite, desmine with veins of hypogene beta-uranotile.

Deposits of torite-fluorite-nasturan mineral type are localized within the alkali massif. The age of alkali rock is 130 - 115 million years.

Zones whose thorium-uranium ratio varies from 50:1 to 1:3 and 1:50 occur within the Murunsky massif.

In the Mesozoic formations the thorium mineralization is observed in the veins of early quartz that are developed both in the exocontacts of the massif (in fenite, carbonate and charoite metasomatites) and in syenite.

In the thorium-uranium zones quartz with thorite is overlapped by parageneses of quartz with brannerite or quartz with nasturan and coffinite. In the Cenozoic uranium zones localized at the massif periphery the veins of

hypogene francavillite were formed in the smectite argilizites and hypergene: autenite, metatorbernite, torbernite, zeinerite, uranophane.

Neogene deposits of Trans- Baikal whose radiological age is 10 million years were formed in aleuropelite tuffs under the thickness of basalts and are paragenetically connected with the latter. Finely dispersed uranium oxides, coffinite, ningyoite and vyacheslavite occur in the oreols composed of caolinite-smectite-hydromica. Lower uranium content, rock argilization and zeolitization are observed in the crater of volcanoes.

The smallest in size uranium occurrence in the Trans-Baikal area met in vicinity of Kuka resort. Its radiological age is 35 thousand years. Uranium mineralization is represented by othenite developed in the quartz-caolinite argilizites.

The age of Cenozoic uranium deposits in Mongolia is 20 million years. Mineralization is localized in the weakly lithified argillized sandstones. Ore mineralization is finely dispersed and is represented by uranium oxides, coffinite, ningyoite and vyacheslavite, autenite, uranophane.

Мезо-кайнозойские месторождения урана в Сибири и Монголии образовались в связи с метасоматитами аргиллизитовой формации и низкотемпературными фациями пропилитовой формации.

Большей частью разновозрастные метасоматические образования пространственно разобщены, в районах с наложенными проявлениями повторных процессов активизации установлена унаследованность минерализации во времени, преемственность в составе ведущих компонентов руд. Характерная черта развития метасоматических процессов двух этапов их циклическое проявление, а последовательность развития и зональность в распределении минеральных ассоциаций в общем случае подобны.

Общей особенностью мезозойских и кайнозойских метасоматических образований является их пространственная оторванность от соответствующих интрузивных комплексов, находящихся, вероятно, на значительных глубинах, что обусловило проявленность на уровне современного эрозионного среза неполного набора главным образом, приповерхностных фаций пропилитовой и аргиллизитовой формаций.

Все известные на этой площади месторождения урана локализуются в мезозойских и кайнозойских впадинах и вулканоструктурах, в палеозойских и мезозойских гранитоидах.

Ареалы региональных изменений аргиллизитовой формации охватывают площади сотни квадратных километров. В гранитоидах и кристаллических сланцах фундамента и обрамления эти же минеральные ассоциации картируются в зонах дробления и трещиноватости. Разномасштабное минералогическое картирование минеральных ассоциаций аргиллизитовой формации производилось подразделениями ФГУГП «Сосновгеологии» по методике, разработанной Ю.А. Швановым (ВИРГ) и сотрудниками ВИМСа. В результате картирования впервые выявлена объёмная внутриформационная зональность мезозойских и кайнозойских аргиллизитов во впадинах и вулканоструктурах Восточной Сибири и Монголии [1].

В Восточном Забайкалье в мезозойских впадинах в верхних частях разреза преобладают минеральные ассоциации каолинитовой фации аргиллизитов, которые на глубину сменяются смектитовой и гидрослюдистой фациями. Примером является Оловская впадина. Для Центрального Забайкалья характерны смектитовые аргиллизиты, имеющие площадное развитие, с небольшими прерывистыми (локальными) ореолами каолинита. На глубину и в бортах впадины смектиты сменяются гидрослюдой. Примерами являются Кижинго-Кудунская впадина, Могзонская вулканоструктура. В Западном Забайкалье ореолы смектита с поверхности и на глубину пользуются ограниченным развитием, а более интенсивными являются ареалы гидрослюды.

На всех уровнях мезозойской аргиллизации в локальных ореолах во внутренних частях развиты минеральные ассоциации, соответствующие региональным метасоматитам, а в промежуточных и внешних частях ореолов присутствуют смешанослойные минералы гидрослюд-смектит, хлорит-смектит.

В неогеновых ореолах региональная зональность подобна мезозойской, в локальных ореолах отсутствуют смешанослойные минералы. В общем виде локальная зональность выражена в развитии во внутренних частях ореолов каолинита, который сменяется смектитом и гидрослюдой.

Главное отличие мезозойских и кайнозойских аргиллизитов заключается в структуре минералов. Каолинит разупорядочен по оси «b», смектит и гидрослюд имеют также несовершенную структуру.

В Восточном Забайкалье в пределах Стрельцовского рудного поля картируются ореолы каолинита над месторождениями урана, локализующимися на малых глубинах (месторождение Красный Камень), смектита (месторождение Дальнее), гидрослюды (Тулукувское, Стрельцовское и др.).

В локальных ореолах вокруг рудных тел на всех уровнях (кроме месторождения Дальнее) фиксируются смешанослойные минералы, в промежуточных и внешних частях ореолов. На отдельных месторождениях, кроме широко развитых разупорядоченных смешанослойных минералов гидрослюда-смектит, установлены и упорядоченные разности тосудит, корренсит и ректорит.

Урановая минерализация мезозойского возраста накладывается на глинисто-гидрослюдистые ассоциации этого же возраста. Необходимо отметить, что смешанослойные минералы гидрослюда-смектит установлены и на Балейском месторождении золота.

Главным минералом на урановых месторождениях Забайкалья является настурян, в меньших количествах присутствует коффинит. Радиологический возраст урановых руд (в млн. лет): $150 \pm 5,130 \pm 5, 110 \pm 2, 101 \pm 2$.

Наиболее ранним является метасоматический настурян, часто сопровождающийся интенсивной гематитизацией вмещающих пород. Для него характерна низкая отражающая способность.

Настурян последующих стадий имеет высокую отражающую способность, образует крупносферолитовые (до 1 см) и мелкосферолитовые (доли мм) выделения, которые часто в виде жил и прожилков накладываются на ранний настурян, образуются в цементе брекчий, где обломки насыщены ранним метасоматическим настуряном [2]. В зависимости от морфологии рудных агрегатов в зонах окисления гипергенные минералы замещают как ранний метасоматический настурян, образуя дисперсные выделения в породе, так и поздние жилы и прожилки настуряна, где гипергенные минералы более крупные по размеру (до 1-3 мм). Гипергенные минералы на месторождениях Стрельцовского рудного поля изучались также В.И. Ситниковой (ГП «Сосновгеология»), К.В. Скворцовой (ВИМС), Л.Н. Беловой (ИГЕМ).

В верхних частях зон окисления образуются урановые слюдки (отенит, торбернит, цейнерит), которые вниз по разрезу сменяются сначала силикатами урана (уренофаном) и с глубиной – гидроокислами урана. Среди последних на Стрельцовском месторождении [3, 4] установлены новые минералы: метакальцураноит ($\text{Ca}, \text{Na}, \text{Ba} \text{ U}_2\text{O}_7\text{H}_2\text{O}$), кальцураноит ($\text{Ca}, \text{Ba}, \text{Pb} \text{ U}_2\text{O}_7\text{H}_2\text{O}$, протасит $\text{Ba}(\text{UO}_2)_3\text{O}_3(\text{OH})_2\text{H}_2\text{O}$, баураноит $\text{BaU}_2\text{O}_7\text{H}_2\text{O}$ (Рогова и др., 1973, 1974 гг.).

Горизонтальная зональность в общих чертах соответствует вертикальной. В центре рудных зон (на глубоких горизонтах) наибольшим развитием пользуются гидроокислы урана (метакальцураноит, кальцураноит, протасит, баураноит). В промежуточной зоне, соответствующей метасоматическому настуряну, развиты гидрооксиды и силикаты урана, во внешней зоне – урановые слюдки (фосфаты и арсенаты урана, в зависимости от состава первичных руд).

В уран-молибденовых рудах к урановым минералам добавляются гипергенные уран-молибденовые минералы. Главным из них является иригинит, в меньших количествах присутствуют: моурит, ильзemannит, реже встречается умохоит.

Таким образом, в центре рудных зон и на глубине около 300 м установлены: гидронастурян, урановые черни, метакальцураноит, кальцураноит, протасит, баураноит, вёлсендорфит, ильзemannит, ургит, скупит; на флангах рудных тел: уранофан, бета-уренофан, казолит, орлит, моурит, умохоит, иригинит, кальцкуромолит, повеллит, ферримолибдит; во внешних частях зон окисления на глубоких горизонтах и по вертикали – близко к поверхности: отенит, водородный отенит, ураношпатит. В зонах окисления также присутствуют: кальцит, арагонит, гипс, ярозит, гидроокислы железа и марганца.

На полихронных месторождениях цеолит-бета-уранотилового минерального типа (Центральное Забайкалье) радиологический возраст руд 120 и 20 млн. лет. В мезозойских зонах установлены коффинит, настурян в обломках, которые цементируются смешанослойным минералом гидрослюда-смектит. В участках богатых руд на мезозойские парагенезисы наложены кайнозойские с образованием мелкозернистого кварца, ломонтита, десмина с прожилками гипогенного бета-уранотила, прослеженного от поверхности и до глубины 500 м в ассоциации с десмином. В приповерхностных условиях вскрыты ураноносные зоны с уранофаном,

склодовскитом и другими урановыми слюдками, которые изучались также А.А. Черниковым, В.И. Лудиковым, И.Г. Жильцовой (ВИМС).

В пределах Березового и Горного месторождений в распределении цеолитов и урановых слюдок установлена вертикальная зональность. В поверхностных условиях преобладают ломонит и уранофан, которые с глубиной сменяются десмином и бета-уранотилом. На участке Дорожном, в пологой зоне с ломонитом и небольшим количеством уранофана, вскрыт верхний надрудный уровень, в Ушмунском массиве установлены зоны цеолитизации с изотропным десмином и небольшим количеством бета-уранотила, что указывает на подрудный уровень.

В то же время, в рядом расположенной впадине, в осадочных породах, установлены пологие тела ломонита, сменяющиеся десмином. На ломонит и десмин накладывается настуран. Рудопроявление изучено недостаточно. Особенностью месторождений этого типа является монометальность.

Месторождения торит-флюорит-настуранового минерального типа локализуются в пределах калиевого щелочного массива. Возраст щелочных пород 130-150 млн. лет. Домезозойские зоны с настураном и разнообразной циркониевой минерализацией локализуются в протерозойских породах, развитых в обрамлении массива. В пределах Мурунского массива установлены зоны, в которых торий-урановое отношение от ранних комплексов к поздним изменяется от 50 : 1 до 1 : 3 и в кайнозойских зонах 1 : 50. В мезозойских образованиях ториевая минерализация установлена в прожилках раннего кварца, развитых как в экзоконтактах массива (в фенитах, карбонатитах и чароитовых метасоматитах), так и в сиенитах. В торий-уранных мезозойских зонах на кварц с торитом наложены парагенезисы кварца с браннеритом, или кварца с настураном и коффинитом в гидрослюдизированных зонах дробления. В кайнозойских урановых зонах, локализующихся в периферийных частях массива, прожилки гипогенного франсевиллита сформировались в смектитовых аргиллизатах.

Проявление зоны окисления неодинаково в различных рудных телах месторождения и зависит от особенностей строения и состава рудных тел и вмещающих их дробленых пород. Различия в характере зоны окисления устанавливаются не только в разных рудоносных зонах, но и в пределах одной и той же зоны. Например, с поверхности Серединской зоны, в её центральной части в интервале 300 м оруденение проявлено в интенсивно трещиноватых и брекчированных породах с рыхлым фосфат-карбонат-гидрослюдистым цементом. Окисление проявлено интенсивно и распространяется до глубины 40-50 м. На флангах этой зоны в участках окварцевания наблюдаются выходы на поверхность руд с настураном. Лишь на ограниченных участках по трещинам в брекчиях развиты тонкие налёты вторичных урановых минералов.

Немаловажным фактором, определяющим состав и контуры зоны окисления, является неравномерное развитие многолетней мерзлоты в пределах рудных зон, наличие в них на глубине межмерзлотных таликов и талых участков с поверхности. Последние образуются в зонах, находящихся на круtyх юго-восточных склонах, закрытых в зимние периоды мощными (до 7-10 м) снежными покровами. Под этими покровами склоны не промерзают, а ранней весной быстрое таяние снега обуславливает интенсивную циркуляцию вод в верхних частях зоны окисления. В этих условиях на выходах рудных тел происходит разрушение первичных минералов урана и образование обильной и разнообразной вторичной урановой минерализации. Межмерзлотные талики наблюдались на разных глубинах рудоносных зон. В керне отдельных скважин на глубинах 120-150 м отмечалась вторичная урановая минерализация, в то время как выше по разрезу на малых глубинах в зоне были обнаружены первичные минералы урана. Очевидно в данном случае, окисление происходило в межмерзлотных таликах зоны, отделенных от поверхности промороженными участками, в которых окисление было замедлено. В ряде зон Большого Муруна первичные минералы урана не встречены даже на глубинах 150-180 м.

Минеральный состав зоны окисления уранового месторождения отличается значительной сложностью. Это зависит, главным образом, от разнообразия минерального состава многостадийных первичных руд и состава вмещающих пород. При этом особенно большое значение имеет высокое содержание в рудах дисульфидов железа - пирита, марказита, арсенопирита. За счёт окисления сульфидов образуется кислая среда, что обусловило растворение уранинита и настурана.

Минералогические типы зоны окисления для разных участков представлены лимонитовыми и слюдково-лимонитовыми типами. В зоне окисления установлены: ярозит, аллофан, малахит,

азурит, церуссит, ковеллин, фольбортит, вульфенит и разнообразные урановые минералы. Преобладание тех или иных минералов в зоне окисления зависит от состава руд и вмещающих пород. Наибольшее развитие получили ванадаты урана: карнотит, франсевиллит, в рудах с высоким содержанием фосфора и бария образуется ураноцирцит. В рудных зонах Большого Муруна, в зонах с повышенными содержаниями фосфора и меди в первом случае, ванадия, бария и свинца, во втором – соответственно образовались торбернит и баристый франсевиллит [5]. При отсутствии фосфора и ванадия, в более поздних кайнозойских зонах со смектитовой минерализацией, образуются скопления бета-уранотила.

В распределении урановых слюдок установлена вертикальная зональность. В верхних частях зоны окисления преобладает ураноцирцит, на глубине 10-30 м он встречается редко, а главным минералом является карнотит. Отдельные мелкие чешуйки карнотита установлены в керне скважины на глубине 62 м. Отенит в зоне окисления встречается в меньшем количестве по сравнению с ураноцирцитом. Метаторбернит образует изумрудно-зеленые тонкопластинчатые кристаллы четырехугольной формы и розетковидные агрегаты синевато-зеленого цвета, развивающиеся в пустотах. Изумрудно-зеленые разности метаторбернита чаще одноосные положительные, синевато-зеленые – всегда одноосные отрицательные. Показатели преломления у той и другой разновидности одинаковые.

Уранофан образует радиально-лучистые игольчатые кристаллы желтого цвета в пустотах породы. На краях кристаллов ураноцирцита и метаторбернита установлены тонкие каемки, состоящие из точечных выделений карнотита.

Урановые слюдки связаны между собой взаимными переходами. Отмечается замещение метаторбернита ураноцирцитом, по которому в свою очередь развивается отенит. В отдельных кристаллах метаторбернита от центра к периферии наблюдается последовательная смена окраски от изумрудно-зеленой до зеленой и желтой разных оттенков. Спектральным анализом в таких слюдках фиксируются медь и барий, а на порошкограмме имеются линии как ураноцирцита, так и метаторбернита. Замещение ураноцирцита отенитом выражается пожелтением краевых частей кристаллов. Показатели преломления в них соответствуют отениту и ураноцирциту, в составе минерала присутствуют кальций и барий, рентгеноструктурным анализом эти минералы подтверждены.

Таким образом, выявляется ряд взаимных переходов урановых слюдок: метаторбернит → торбернит → ураноцирцит → отенит. Установлены также слюдки смешанного состава фосфатов урана с арсенатами урана.

Для месторождений урана кайнозойского возраста, связанных с базитовым магматизмом, характерно редуцированное развитие высокотемпературных ассоциаций, интенсивное – низкотемпературных парагенезисов. Минеральные ассоциации кремнешелочных метасоматитов имеют ограниченное развитие. Слабо проявленные дианоризация основного плагиоклаза и кварц-альбитовые изменения установлены в неогеновых базальтах Витимского плато. Наибольшим развитием пользуются минеральные ассоциации пропилитовой и аргиллизитовой формаций. В покровах базальтов и туфогенно-осадочной толще под ними развиты парагенезисы хлорит-карбонатного, в некках - опал-цеолит-хлорит-сидеритового состава.

В некках наиболее ранним минералом является опал, на который нарастают мелкосферолитовые агрегаты сидерита или хлорита и десмина. Широким развитием пользуются минеральные ассоциации аргиллизитовой формации, представленные каолинитом, смектитом, гидрослюдой. В зонах брекчирования установлены рентгеноаморфные минералы переменного состава аллофан и гизингерит. Аллофан, железистый аллофан, гизингерит образуют прожилки, в микробрекчиях цементируют обломки пород, выполняют миндалины и пустоты, метасоматически замещают плагиоклаз и основную массу в базальтах. Интересно отметить, что эти минералы установлены в зонах дробления разных по возрасту пород, далеко (сотни километров) за пределами Витимского плато базальтов.

В рудных интервалах в небольшом количестве отмечается вкрашенность сульфидов, особенно интенсивно развитых в некке. Более широко распространены пирит и марказит. Пирит образует тонкую (доли мм) вкрашенность в породе, марказит – игольчатые кристаллы, агрегаты которых нарастают на стенки миндалин и пустот. В марказите установлена тончайшая вкрашенность халькопирита, а на марказит в пустотах нарастают мелкие пластинчатые

кристаллы халькозина и зерна сфалерита. Марказит характеризуется повышенными концентрациями (в %): никеля – 0,05, кобальта – 0,015, меди – 0,2.

Отличительной чертой неогеновых месторождений урана является тонкодисперсная форма выделений урановой минерализации, наложенной на минеральные ассоциации аргиллизитов.

Электронномикроскопическим анализом в слоистых минералах установлены хорошо раскристаллизованные выделения коффинита и оксидов урана. Под микроскопом в пустотах и порах породы установлены сферолитовые выделения тонкокристаллического анатаза, имеющего концентрически-зональное строение, морфология его выделений полностью зависит от формы выполненных пустот.

В зональных агрегатах отмечается чередование слоев анатаза со смектитом. Содержание оксида урана в слоях анатаза неодинаково и закономерно уменьшается от 0,6 в центральном слое до 0,2 в периферийном. В агрегатах аморфных слоистых минералов установлено тонкодисперсное углеродистое вещество. В пустотах и миндалинах изредка присутствуют мельчайшие (доли мм) кристаллы барита, а также различные гипергенные урановые минералы: фурмарьерит, фосфаты четырехвалентного урана - нингионит, вячеславит, карбонаты урана – стуттит, рётзерфордин, виденманнит, арсенаты и фосфаты шестивалентного урана -метановачикит, метаотенит и др. Возраст оруденения 10 млн. лет.

Небольшие по размеру рудопроявления урана установлены в Забайкалье, в районе курорта Кука, радиологический возраст которых 35 тыс. лет. Урановая минерализация представлена отенитом в кварц-каолинитовых аргиллизитах.

На территории Южной Монголии выделены неогеновые ареалы опалитизации, фосфатизации и аргиллизации с отенитом, уранофаном, в пределах которых вмещающие породы и захороненные в них кости динозавров замещены апатитом с включениями коффинита и настурана.

Литература

1. Рогова В.П., Корниенко О.Н., Москалёв О.М. и др. Соотношение региональной и локальной зональности низкотемпературных метасоматитов активизированных областей. Метасоматизм и рудообразование. – М.: Наука, 1984. – С. 231-236.
2. Рогова В.П., Никитин А.А., Наумов Г.Б. Минералого-geoхимические условия образования уран-молибденовых месторождений в слоистых вулканогенно-осадочных толщах. В кн. «Международный geoхимический конгресс». – Тезисы докладов. Т. 1, М.: ВИНИТИ, 1971. – С. 377-378.
3. Рогова В.П., Белова Л.Н., Кизияров Г.П., Кузнецова Н.Н. Баураноит и метакалыгураноит - новые минералы из группы гидроокислов урана. – Зап. ВМО, в. 1, 1973. – С. 75-81.
4. Рогова В.П., Белова Л.Н., Кизияров Г.П., Кузнецова Н.Н. Кальцураноит - новый гидроокисел урана. – Зап. ВМО, в. 1, 1974. – С. 108-109.
5. Рогова В.П., Сидоренко Г.А., Кузнецова Н.Н. О находке баристого франсевиллита. – Зап. ВМО, 1966, вып. 95. – С. 448-450.

ГЕОТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

A.I. Трубачев¹, A.G. Секисов²

1. Читинский государственный университет, г. Чита, Россия
2. Читинский филиал Института горного дела СО РАН, г. Чита, Россия

GEOTECHNOGENIC GOLD DEPOSITS FROM EAST TRANSBAIKALIE

A.I. Trubachev¹, A.G. Sekisov²

1. Chita State Universite, Chita, Russia
2. Institute of mining SB RAS, Chita, Russia

В статье рассмотрены геотехногенные месторождения золота Восточного Забайкалья
The article deals gold-containing geotchnogenetic deposits Eastern Transbaikalia

Золотосодержащее сырье в Забайкалье представлено собственно золотыми месторождениями (коренные и россыпные), комплексными золотосодержащими, геотехногенными месторождениями, новыми экзогенными типами, такими как: золотоносные коры выветривания (прогнозные ресурсы составляют 256 т), погребенные россыпи, россыпи тектонических уступов,

так называемые «желтые и зеленые разрезы», золото зон окисления, золотоносные конгломераты. Термин геотехногенные месторождения вместо обычно используемого техногенные введен Г.А. Югенсоном [8]. По запасам на долю рудного (коренного) золота приходится около 467 т, россыпного 101 т. Если учесть, что за 300 с лишним лет в Забайкалье добыто более 1030 т золота, а имеющихся промышленных запасов (568 т) и прогнозных ресурсов свыше 2700 т [9], то становится очевидным тот факт, что Забайкальский край является одним из самых важных в России золотоносных регионов.

За длительную историю развития горнодобывающей промышленности на территории Восточного Забайкалья скопилось свыше 2,5 млрд. т горно-технологических отходов, под которыми понимаются: вскрышные породы (248 млн. т или 86,4% от всего объема отходов); забалансовые руды (182,4 млн.т / 6,3%); обогатительные хвосты (134 млн. т / 4,7%); продукты химической переработки (64,5 млн. т / 2,2 %); продукты металлургии (2,3 млн. т / 0,1%); золы и шлаки (7,4 млн. т / 0,3%). В этих отходах сосредоточены многие полезные ископаемые в разных количествах и с различными содержаниями. При добыче золота в Забайкалье скопилось свыше 209 млн. т отходов (это 7,3% от всего объема отходов), из них на долю вскрышных пород приходится 152 млн. т (72,9%), забалансовых руд – 132 тыс. т (0,9%), хвостов обогащения – 54 млн. т (26%). В этих отходах сосредоточено 149 т золота с содержанием 0,3-3,5 г/т [6]. Горно-технологические отходы в последнее время все чаще называют «техногенными месторождениями», а Г.А. Юргенсон [8,9] назвал их геотехногенными, которые сформировались результате процессов геотехногенеза, протекавших в разработанных россыпях и хвостах обогащения.

Анализ материалов ряда забайкальских исследователей (В.Ф. Харитонов, В.Г. Васильев, О.И. Широкий, В.Я. Кулигин, В.Ф. Дробышев, В.И. и Т.И. Красникова, Г.А. Варфоломеев, В.С. Чечеткин, Р.Д. Петров, В.П. Мязин, А.В. Фатянов, В.Е. Тупяков, Ю.Я. Кошелев, Ю.А. Игнаткин, А.Д. Сергеев, Г.А. Юргенсон и др.), опубликованных большей частью в «Энциклопедии Забайкалья» (гл. ред. Р.Ф. Гениатулин, 2003-2006 гг.), в монографии «Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья, 1999 г.» (под ред. Г.А. Юргенсона) [10] свидетельствует, что геотехногенные месторождения края представляют значительный интерес как с точки зрения их потенциально-промышленной значимости, так и с точки зрения выяснения их генетической природы.

Приведенные ниже данные только по шести работавшим рудникам (таблица) свидетельствуют о различных количествах учтенного в них золота, распределенного по разным типам техногенных отходов.

Золото в них присутствует в различных формах: свободное, в сростках, покрытое пленками окислов и гидроокислов железа и марганца, тонковкрапленное в сульфидах и в породообразующих минералах. Гранулометрия золотин колеблется в очень широких пределах: от 0,005 до 1-2 мм.

Технология извлечения золота из сырья геотехногенных месторождений разрабатывалась сотрудниками ряда институтов (ИРГИРЕДМЕТ, ЦНИГРИ, Забайкалцветметнипроект, ЗабНИИ), а также отдельными исследователями [1]. Все предложенные методы базируются на применении гравитации, флотации, кучного выщелачивания с различными усовершенствованиями в аппаратуре, реагентах с использованием направленных воздействий как на сам процесс, так и на реагенты. Несмотря на это, извлечение золота остается невысоким (от 27 до 73%).

Все вышеперечисленное касается так называемого «видимого золота» с размерами золотин от 0,1 мм и более, а все что меньше, практически не извлекается предложенными методами обогащения. Но в минеральном сырье (в т.ч. и геотехногенных месторождениях) кроме «видимого золота» присутствует и так называемое «невидимое золото» или дисперсное или наноразмерное золото, на долю которого по данным В.Г. Моисеенко [2] приходится от 30 до 60 % от всей его массы в золотосодержащем сырье.

Выявление наноразмерного золота и его содержаний в рудах представляет собой серьезную проблему и еще более важную – разработка технологических схем его извлечения. В Читинском филиале ИГД СО РАН [3,4] невидимое или ненаблюдаемое золото названо «дисперсным золотом». Главным критерием отличия дисперсного золота от видимого (микроскопического и субмикроскопического) является преобладание межатомных связей золота с другими химическими элементами в минерале – носителе над моноэлементными связями (золото-золото).

Таблица
Характеристика техногенных месторождений золота

Рудник	Тип техногенных отходов	Состав отходов и их объем (V) в тыс. т	Запасы золота, кг
Балейско-Тасеевский	1. Отвалы вскрышных пород Балейского месторождения	Глыбы щебень конгломератов, песчаников. V - 63200	21550
	2. Отвалы вскрышных пород Тасеевского месторождения	Глыбы и щебень песчаников. V - 18670	6165
	3. Хвостохранилище ЗИФ - 2	Шламовый материал после гравитации и флотации. V - 238364	15490
	4. Хвостохранилище ЗИФ - 1	То же. V - 12500	9528-16834
Дарасунский	1. Отвалы огарков подового обжига	Спекшийся материал. V - 50	310
	2. Отвалы кеков цианирования	Затвердевшая иловая масса. V - 100	700
	3. Хвостохранилище ОФ	Сыпучий материал. V - 4710	1700
Любавинский	Хвосты ОФ	Шламовый материал после гравитации и флотации. V - 753	1156
	2. Отвалы пород и бедных руд	Обломки пород и минералов разного состава. V - 1452	1635
Ключевский	1. Отвалы хвостов цианирования	Илистый рыхлый материал. V - 1500	900
	2. Отвалы вскрышных пород	Обломки гранодиоритов, гранитов. V - 70000	24500
Давендинский	Хвостохранилище ОФ	Шламовый материал. V - 3485	842
Усть-Карский прииск	1. Овалы пород и бедных руд	Глыбы и щебень гранитоидов, габброидов. V - 1000	300
	2. Отвалы хвостов ОФ	Иловый материал. V - 400	140
Итого		201654	93222

В разработанной классификации выделено 5 основных типов (форм) дисперсного золота: инкапсулированное, бинарные соединения, летучие, кластерно-комплексные и комбинированные, которые имеют свои технологические свойства [4]. Разработан и совершенствуется новый метод определения дисперсного золота – так называемый «нестандартный пробирный анализ», включающий операции активации, шихтовки, плавки. В обосновании метода положена гипотеза о существенной роли в перераспределении в кристаллической решетке минералов атомов элементов-примесей (в т.ч. и золота) с помощью гидратированных ионов водорода. Метод опробован на рудах и хвостах Дарасунского, Удоканского, Балейского, Илинского и ряда других забайкальских месторождений. Для извлечения выявленного по данной методике дисперсного золота разработана система двухступенчатой электрообработки в хлоридно-пероксидной среде с применением фотоэлектрического реактора, позволяющих осуществлять синтез высокоактивных соединений кислорода, водорода и хлора и фотокаталитическое воздействие на процессы извлечения золота из руд и хвостов и которая может быть реализована в чановом, кучном,

кюветном, кюветно-кучном и подземном (в шахтах и скважинах) вариантах, даже в условиях сурового климата круглогодично [3].

Литература

1. Галич В.М. Извлечение благородных и редких металлов из лежальных хвостов флотации // Обогащение руд, 1999, № 1-2. – С. 15-18.
2. Моисеенко В.Г. Наноразмерное золото месторождений Востока России // Вопросы геол. и комплексн. освоения природных ресурсов Восточной Азии – Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2010. – С. 97-99.
3. Секисов А.Г. Наноразмерные формы нахождений благородных металлов в минеральном веществе и перспективные технологии их извлечения / Вестник ЗабГК, - № 2, Чита, 2009. – С. 9-18.
4. Секисов А.Г., Зыков Н.В., Королев В.С. Дисперсное золото – М-Чита: ЧитГУ, 2007, – 270 с.
5. Трубачев А.И., Чечетин В.С., Салихов В.С. и др. Горно-технологические отходы Восточного Забайкалья и возможные пути их использования // Фундамент. пробл. формирования техногенной геосреды. т.1. Прикладная геомеханика. Обогащение полезных ископаемых. Экология – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2010 г. – С. 242-244.
6. Харитонов Ю.Ф., Васильев В.Г., Андрейчук Л.А. и др. Эколого-экономическая оценка отходов горно-промышленного комплекса Читинской области / Ресурсы Забайкалья, спецвыпуск, Чита: ЗабНИИ, 2002. – С. 63-69.
7. Энциклопедия Забайкалья / Гл. ред. Р.Ф. Гениатулин. Отв. ред. А.Б.Птицын и Г.А. Юргенсон – Новосибирск: Наука, 2003-2006.
8. Юрженсон Г.А. Проблемы минералогии геотехногенеза // роль минералогических исследований в решении экологических проблем (теория, практика, перспективы развития): материалы к Годичному собр. ВМО[г. Москва, 28-30мая 2002]. – М., 2002. – С. 200-202.
9. Юрженсон Г.А. Минеральное сырье Забайкалья. Учебное пособие. Часть 1, книга 3. Благородные металлы – Чита: Поиск, 2008 – 256 с.
10. Юрженсон Г.А., Чечеткин В.С., Асоксов В.М. и др. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья – Новосибирск: Наука, 1999 – 574 с.

ФОРМИРОВАНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ЗОЛОТА И РТУТИ РУДНОГО ПОЛЯ ПОКРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Д.В. Юсупов¹, В.И. Радомская²

¹Амурский госуниверситет, г. Благовещенск, Россия, yusupovd@mail.ru

²Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Россия, radomskaya@ascnet.ru

FORMATION OF GOLD AND MERCURY BIOGEOCHEMICAL ANOMALIES ON ORE FIELD OF THE POKROVSKOYE DEPOSIT

D.V. Yusupov¹, V.I. Radomska²

¹Amur state university, Blagoveshchensk, Russia, yusupovd@mail.ru

²Institute of geology and wildlife management FEB of the Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, Russia, radomskaya@ascnet.ru

The article adduces the results of biogeochemical research the peculiarities of biogeochemical formation of halos have been studied, including patterns of biogeneous distribution and forms of content of gold, mercury and other elements in plants of the Pokrovskoye gold deposit. Biological indicator plants with high capacity to concentrate gold and mercury have been planted.

На территории Верхнего Приамурья расположена Приамурская золоторудная провинция [9]. За последние четверть века месторождения рудного золота выявлялись в её пределах достаточно редко, что связано с особенностями геоморфологического строения территории провинции, перекрытой на большей части чехлом рыхлых отложений различной мощности. На полузакрытых и закрытых территориях рудные тела, их первичные и вторичные погребенные литохимические ореолы являются источником образования биогеохимических аномалий.

Число биогеохимических индикаторов золоторудной минерализации определяется генетическими типами руд, минеральными и химическими формами элементов в зонах окисления и почвообразующих горных породах, особенностями накопления геохимических индикаторов доминантными видами растений ландшафта.

Возможность использования золота в растениях как геохимического индикатора золоторудной минерализации была установлена А.Л. Ковалевским [2] и подтверждена другими исследователями [5, 6, 10]. Идея использования ртути как индикатора разнообразных гидротермальных месторождений принадлежит А.А. Саукову [7]. Биогеохимические ореолы ртути были изучены на примере ртутной, сурьмяно-ртутной и полиметаллической минерализаций [4].

Однако особенности накопления золота, ртути и других элементов спутников растениями, произрастающими на золоторудных месторождениях, слабо изучены. Нами исследованы особенности формирования биогеохимических аномалий, включая закономерности биогенной миграции и формы нахождения золота, серебра, ртути на рудном поле Покровского золоторудного месторождения.

Покровское золоторудное месторождение открыто В.Д. Мельниковым в 1974-1975 гг. [1]. Оно относится к вулканогенной золотосеребряной формации и приурочено к Умлекано-Огоджинскому вулканоплатоническому поясу, расположенному на северной окраине Буреинского срединного массива. Месторождение приурочено к юго-западному флангу Приамурской золотоносной провинции. По количеству запасов рудного золота Покровское месторождение оценивается как среднее, находится в эксплуатации с 1999 г.

Территории рудного поля присущ таёжный ландшафт с холмисто-увальным рельефом, и абсолютными отметками вершин до 350-380 м и относительными превышениями водоразделов над тальвегами 20-60 м. Рельеф месторождения характеризуется хорошо выработанными, заболоченными долинами с пологими (до 5°) склонами, переходящими в плоские (до 1 км) водоразделы. Развиты собственно буротаежные почвы. По долинам рек и ручьёв, в нижних частях склонов в значительной степени развиты кочкиватые мари с торфяно-глеевыми и болотными торфяными почвами с мощным торфянистым горизонтом. Значительная часть площади покрыта редкостойным лесом из лиственницы даурской (*Larix dahurica*), березы плосколистной (*Betula platyphylla*), сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*) с обильно развитым густым подлеском из рододендрона даурского (*Rhododendron dahurica*) и багульника болотного (*Ledum palustre*). Типична островная многолетняя мерзлота, развитая преимущественно в бортах и днищах долин и на склонах северной экспозиции. Сезонная мерзлота встречается повсеместно и распространена на глубину до 3,5 м. Коренные обнажения отсутствуют.

Современные рыхлые образования представлены делювиально-элювиальными отложениями, мощностью от 1,4 (на водоразделах) до 8,0 м (в долинах). В районе Покровского месторождения развиты площадные коры выветривания каолинит-гидрослюдистого, гидрослюдисто-каолинитового и каолинитового профилей. Мощность площадных кор выветривания колеблется от нескольких до 60 м.

Покровское месторождение образовано системой субпараллельных пологозалегающих рудных тел – кварцевых жил и штокверков в гранитах Сергеевского массива и частично в перекрывающих их вулканитах. Вулканогенные породы представлены лавами, брекчиями лавами, лавобрекчиями и туфами. Они интенсивно аргиллизированы, неравномерно окварцовываны, пиритизированы, подвергнуты адуляризации.

В пределах рудного поля с самим месторождением находятся рудопроявления Покровка II, Покровка IV, северный и южный фланги Покровки I. Общая площадь рудного поля Покровского месторождения составляет 16 км². Биогеохимическое опробование произведено на рудопроявлении Покровка-IV (эталонный объект).

Тектоническую структуру участка работ определяет надвиг вулканитов раннего мела на юрские терригенные отложения (алевролиты и аргиллиты) аяксской свиты, прорванные меловыми дайками гранит-порфиров. Мощность даек до 30 м, падение юго-западное под углом 55°, протяженность до 660 м.

Вдоль контакта терригенных пород с вулканогенными породами расположены рудные зоны. Они сопровождаются контрастными первичными и вторичными ореолами рассеяния золота и серебра. Продуктивные части первичных ореолов содержат 1,0 г/т золота и 2,5 г/т серебра. Слабо эродированные и не выходящие на поверхность рудные зоны сопровождаются ореолами золотосеребромышьяк-сурьмяной (с вольфрамом) и медно-серебряно-полиметаллической специализаций.

Основной тип руд – золотоадуляр-кварцевый, убогосульфидный. Руды представлены окварцованными, аргиллизированными и выветрелыми вулканитами с неравномерной

прожилково-вкрашенной золотосеребряной минерализацией. Содержание золота по отдельным пробам достигает 20,3 г/т на мощность 1,0 м и 32,8 г/т на мощность 2,2 м.

Основными вмещающими минералами являются кварц, адуляр, карбонаты, гидрослюдя и каолинит. Количество рудных минералов составляет в среднем 1%. Они представлены пиритом, арсенопиритом, марказитом, сфалеритом, галенитом, антимонитом, гидрооксидами железа и самородным золотом. Золото тонкое, низкопробное (626-735 %). Среди элементов-примесей, помимо серебра, отмечены железо, сурьма, марганец, хром и медь [9].

Биогеохимические пробы отобраны по профилю вдоль линии канав и скважин, которыми в коренных породах была вскрыта золоторудная минерализация. В качестве биообъектов в каждой точке отбирались кора лиственницы даурской и берёзы плосколистной, ветви с листьями рододендрона даурского и его сухостой. Выбор биообъектов для опробования определялся видовым составом древесного яруса и подлеска. Озоление проб производилось в лабораторных условиях в муфельных печах при 500 °С (до состояния белой золы). Зольность коры лиственницы составила 1,7-2,2%, коры берёзы – 0,6%, сухих веток рододендрона – 1,5%. Литохимические пробы отобраны с глубины 30-40 см почвенного горизонта. Содержание золота, серебра, микроэлементов в пробах золы, почвы определены атомно-абсорбционным методом. Ртуть анализировалась беспламенным атомно-абсорбционным методом на газо-ртутном анализаторе АГП-01. Всего отобрано и проанализировано 126 биогеохимических и 33 литохимических пробы. По базе данных (выборкам) содержаний химических элементов в золе растений, почвах с помощью программы Excel выполнен расчёт, произведена оценка статистических параметров распределения элементов: минимального (x_{\min}), максимального (x_{\max}), среднего арифметического логарифмов содержаний ($x_{\text{сред}}$), стандартного отклонения логарифмов содержаний (S), асимметрии (A), эксцесса (\mathcal{E}), коэффициента вариации (v), а также значений растительно-почвенного коэффициента (РПК) и кларка концентрации для литохимических ($KK_{\text{л}}$) и биогеохимических проб ($KK_{\text{б}}$). Кларки концентрации рассчитаны как отношение среднего арифметического логарифмов содержания элемента в выборке проб к его кларку в соответствующей среде (почве, растениях). Установлен логнормальный закон распределения содержания золота и других элементов в выборках (табл. 1).

Кларки концентрации $KK_{\text{б}}$ золота и ртути в биогеохимических пробах превышают соответствующий показатель $KK_{\text{л}}$ литохимических ореолов в несколько десятков раз. Величина отношения ($KK_{\text{б}} : KK_{\text{л}}$) > 10 служит показателем перспективности выявления золоторудной минерализации биогеохимическим методом. РПК биообъектов составил для Au, Hg, Zn 10·n, где n (1-9), соответствует группе элементов – сильного биологического накопления, для Ag 0,n – слабого накопления.

Золото. Литохимические вторичные ореолы золота значительно ослаблены вследствие интенсивного промыва атмосферными осадками иллювиального горизонта почвы. Уровень содержаний золота в литохимических пробах на два порядка ниже, чем в соответствующих биогеохимических пробах. Кора стволов лиственницы даурской ($\text{РПК} \approx 17$), берёзы плосколистной ($\text{РПК} \approx 26$), 3-10 летние ветви рододендрона даурского ($\text{РПК} \approx 36$) являются безбарьерными или практически безбарьерными по отношению к высоким концентрациям золота, что подтверждается данными других исследователей [5]. Установлено различие в уровне концентрации золота в пробах золы сухостоя рододендрона и в пробах золы живых ветвей с листьями рододендрона (рис. 1, а).

Объяснение этого факта заключается в существовании различных форм золота. Золото в живых частях растения, вероятно, находится в водорастворимой ионной форме и его количество значительно изменяется в разные сезоны года, периоды вегетации. Золото в сухих ветвях растения содержится в минеральной форме. По данным [3], наибольшее количество кристаллов золота размером менее 1 мкм в древесных и кустарниковых растениях находятся в лубе и концах ветвей диаметром 3 – 8 мм, где золото накапливаются по безбарьерному типу. Следовательно, предпочтительнее опробовать сухие ветви рододендрона.

Ртуть. Выявлены локальные интенсивные биогеохимические аномалии ртути, которые пространственно совпадают с пиковыми литохимическими аномалиями золота и ртути в коренной породе и значительно менее контрастными в почве.

Таблица 1

Распределение химических элементов в почве и золе растений Покровского золоторудного месторождения

Элемент	Объект	N	Содержание, г/т			Статистические параметры			РПК _a	KK _(л, б)
			X _{min}	X _{max}	X _{сред}	S	A	Э		
Au	п (В)	27	0,005	0,18	0,07 ± 0,02	0,04	0,70	0,035	64	-
	рд	27	0,79	1,85	1,36 ± 0,11	0,30	0,11	-1,75	20	19,4
	рдс	10	1,71	3,98	2,52 ± 0,39	0,61	1,43	3,66	24	36,0
	бп	9	0,96	3,27	1,84 ± 0,52	0,78	0,66	-0,30	43	26,3
Ag	лд	15	0,50	4,03	1,69 ± 0,61	1,18	1,22	0,06	70	16,9
	п (В)	27	0,25	50,7	1,20 ± 0,2	0,61	1,80	2,97	27	-
	рд	27	0,25	1,12	0,66 ± 0,12	0,30	0,11	-1,75	46	0,2
	лд	5	0,26	0,52	0,39 ± 0,11	0,12	-0,16	-2,81	30	0,1
Hg	п (В)	26	0,018	0,049	0,03 ± 0,003	0,01	0,84	-0,1	30	-
	рд	27	0,80	4,0	2,27 ± 0,47	0,52	3,48	-1,17	51	0,4
	рдс	10	0,63	1,88	1,10 ± 0,27	0,42	0,57	-0,55	38	21,7
	лд	5	1,11	2,22	1,78 ± 0,54	0,61	-0,61	-3,33	34	18,3
Pb	п (В)	27	26,0	64,0	47,78 ± 2,87	7,45	-0,59	2,09	16	-
	рд	27	50,0	120,0	82,22 ± 5,59	14,51	-0,13	1,53	18	3,0
	рдс	11	74,0	120,0	103,82 ± 7,19	11,91	-1,55	3,73	12	29,7
	п (В)	26	12,0	26,0	16,77 ± 2,64	6,85	-0,45	0,61	24	-
Cu	рд	27	56,0	220,0	165,56 ± 12,66	32,89	-1,55	4,38	20	9,9
	рдс	11	130,0	160,0	142,73 ± 4,74	7,86	0,94	1,65	6	0,8
	п (В)	27	10,0	78,0	41,48 ± 6,81	17,69	0,28	-0,26	43	8,2
	рд	25	410,0	1200,0	687,67 ± 93,0	177,32	0,95	1,66	26	10,4
Zn	рдс	11	540,0	1140,0	742,73 ± 105,0	174,07	1,18	1,56	23	-
	п (В)	27	40,0	84,0	60,74 ± 4,48	11,64	0,24	-0,42	19	0,5
	рд	27	30,0	70,0	55,56 ± 2,93	7,61	-1,04	4,06	14	0,8
	рдс	11	60,0	96,0	79,46 ± 5,42	8,99	-0,49	2,11	11	0,8
Ni	п (В)	26	16,0	46,0	33,08 ± 2,89	7,36	-0,13	0,06	22	-
	рд	27	54,0	110,0	80,96 ± 6,48	16,84	0,26	-0,99	21	0,6
	рдс	11	66,0	90,0	78,18 ± 5,24	8,69	-0,13	-1,24	11	1,6

Примечание: п (В) – почва (горизонт «В»); рд – рододендрон даурский (живые ветви с листьями); рдс – рододендрон даурский (сухостой); лд – кора лиственницы даурской; бл – кора берёзы плосколистной; N – количество проб; прочерк – нет расчета.

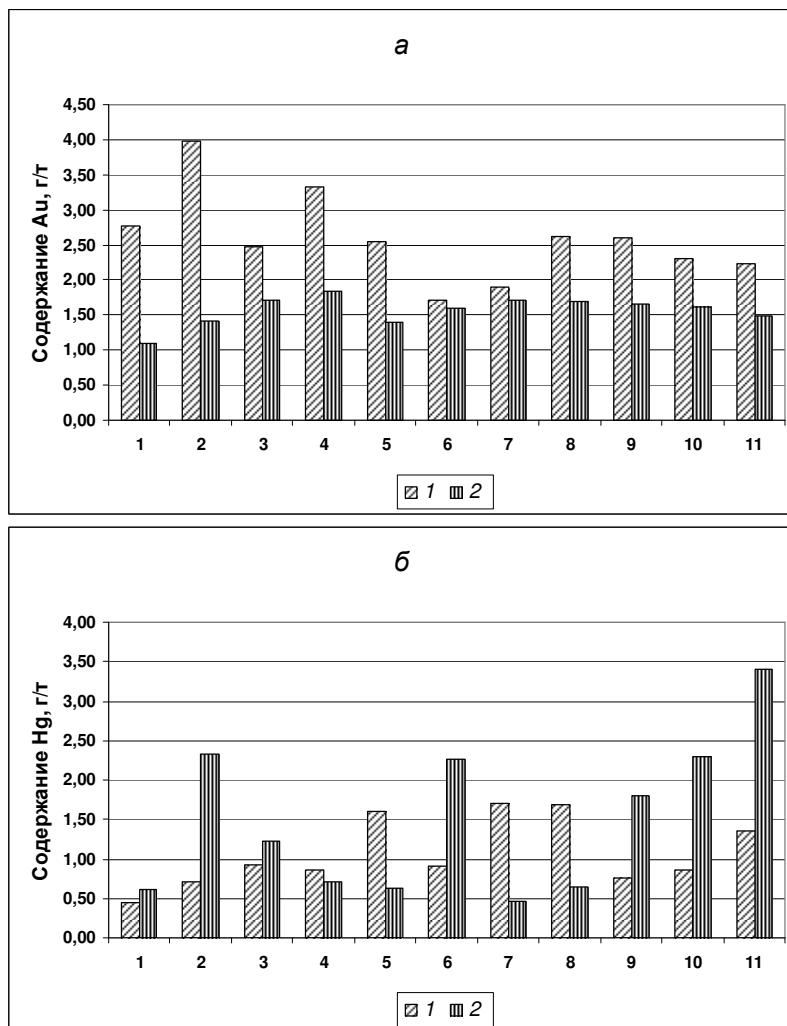


Рис. 1. Диаграмма соотношения концентраций золота (*а*) и ртути (*б*) в золе различных биообъектов опробования: 1 – сухостой рододендрона даурского (*n* 11); 2 – живые ветви рододендрона даурского (*n* 27).

Пики биогеохимических аномалий ртути наблюдаются над зонами рудной минерализации. Максимальный пик содержания ртути ($x_{\max} = 4,0 \text{ г/т}$) обусловлен наличием глубинного разлома, определяющим границу между вулканогенными и терригенными породами, совмещенного с зоной рудной минерализации. Важной закономерностью для биогеохимических поисков является особенность распределения ртути в различных биообъектах опробования.

Наибольший уровень концентрации ртути ($x_{\text{сред}} = 1,52 \text{ г/т}$) наблюдается в живых зелёных ветвях рододендрона, меньший ($x_{\text{сред}} = 1,1 \text{ г/т}$) – в сухих ветвях (рис. 1, *б*). РПК для ртути показал максимальные величины (37 – 59). Данный порядок значений РПК определяется существованием в почве, горных породах и рудах как минимум двух форм ртути: парообразной (газообразной), которая интенсивно поглощается растениями [4], и изоморфной примеси в минералах-концентраторах ртути – сфалерите, блеклой руде, антимоните, пирите, галените [8]. Таким образом, ртуть, наряду с золотом, является важным элементом-индикатором выявления золоторудной минерализации биогеохимическим методом.

Серебро. Концентрация серебра в почвах ($0,25 – 98,7 \text{ г/т}$, $x_{\text{сред}} = 1,41 \text{ г/т}$) в два раза превышает его содержание в биогеохимических пробах, что вызвано, во-первых, слабой мобилизацией подвижных ионных комплексов серебра в слабокислой (рН 5,6 – 6,2) среде собственно буроватажных почв с низким содержанием фульвокислот; во-вторых, наличием антиконцентрационного физиологического барьера на поглощение серебра у живого растения. В качестве основного биообъекта был опробован рододендрон (живые ветви с листьями), в котором содержание серебра колеблется от 0,25 до 1,12 г/т, (РПК = 0,2). Сухостой рододендрона даурского

был проанализирован в количестве трех проб. Анализ показал аномальные концентрации серебра 3,32; 7,17; 3,24 г/т. Объяснение высоко аномальных концентраций серебра в сухих ветках рододендрона в том, что Ag, по-видимому, образует в отмерших частях минеральные формы, аналогичные золоту.

Проведённое исследование показало, что золотосеребряное оруденение рудного поля Покровского месторождения сопровождается интенсивными биогеохимическими аномалиями золота, ртути и литохимическими вторичными ореолами рассеяния серебра, которые отражают местоположение рудного источника на глубине 1-7 м. Источником биогеохимических аномалий служат первичный ореол окварцованных и выветрелых вулканических пород с прожилково-вкрашенной золотосеребряной минерализацией.

Биообъектами по индикаторным характеристикам золотосеребряного оруденения являются рододендрон даурский, кора лиственницы даурской и берёза плосколистная. Для рододендрона характерно большее накопление золота в сухих частях растения по безбарьерному типу (количественно-информационный биогеохимический индикатор) и практически безбарьерное накопление – в живых ветвях растения (приближённо-количественный биогеохимический индикатор). Обратная закономерность выявлена в отношении распределения ртути: повышенные содержания наблюдаются в живых ветвях рододендрона и средние – в сухих частях этого кустарника.

Полученные результаты углубляют представления о процессах формирования биогеохимических аномалий золота и ртути на золоторудных месторождениях золотосеребряной формации, и надеемся, будут способствовать практическому применению эффективных методов геохимических поисков.

Литература

1. Васильев И.А. К истории открытия Покровского золоторудного месторождения // Геологические исследования в Амурской области. Благовещенск: КПР, 2000. – С. 25-27.
2. Ковалевский А.Л. Биогеохимические методы поисков золоторудных месторождений. Обзор. Сер. III. Геол методы поисков и разв. м-ний метал. полезн.ископаемых. М.: ВИЭМС, 1974. – 34 с.
3. Ковалевский А.Л., Прокопчук С.И. О минеральных формах золота в растениях // Докл. АН СССР. 1978. Т. 242. № 2. – С. 430-433.
4. Ковалевский А.Л. Ртутно-биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых // Геология рудных месторождений. 1983. № 4. – С. 94-97.
5. Разин Л.В., Рожков И.С. К геохимии золота в коре выветривания и биосфере золоторудных месторождений Куранахского типа. М.: Наука, 1966. – 252 с.
6. Росляков Н.А., Нестеренко Г.В., Рослякова Н.В., Воротников Б.А. Применение геохимических методов при поисках и разведке золоторудных месторождений // Геохимические методы поисков месторождений золота по вторичным ореолам рассеяния. Чита: Заб. филиал географ. общества СССР, 1973. – С. 5-9.
7. Сауков А.А. Геохимия ртути.- Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, 1946, вып. 78. – 128 с.
8. Сауков А.А., Айдиньян Н.Х., Озерова Н.А. Очерки геохимии ртути. М.: Наука, 1972. – 336 с.
9. Степанов В.А., Мельников А.В., Вах А.С., Вьюнов Д.Л., Дементиенко А.И., Пересторонин А.Е. Приамурская золоторудная провинция. Благовещенск: АмГУ; НИГТЦ ДВО РАН, 2008. – 232 с.
10. Юсупов Д.В. Биогеохимические ореолы золота и ртути Покровского золоторудного месторождения (Верхнее Приамурье) // Известия вузов. Геология и разведка. 2009. № 6. – С. 38-43.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ И ВОДАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНОВ МОНГОЛИИ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Ж.Оюун¹, Ш.Мөнхжаргал², Б.Цэндээ³, Ч.Цэрэнхүү³, С.Одончимэг⁴

¹Улан-Баторский Государственный Университет,

²Монгольский Национальный Университет,

³Центральная Геологическая лаборатория

⁴Химическая лаборатория ГОК «Эрдэнэт»

С конца 1970-х годов началось изучение распространенности редкоземельных элементов, в минеральных юбъектах Монголии. В результате выявлены 3 крупнейших месторождения, более 30

проявлений [2]. В статье представлены результаты полевых и лабораторных исследований, проведенных для определения содержания редкоземельных элементов в техногенных отходах, пыли, угольных золах, грунтовых водах, почве и растениях.

Введение

Особый интерес представляет распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) которые во многих лечебных минералах Монголии изучены нами впервые [2]. Эта группа объединяет 15 родственных элементов от лантана до лютения, которые подразделяются на легкую (La-Pm), среднюю (Sm-Er) и тяжелую (Er-Lu) подгруппы.

Начиная с 1990 года, в природных лечебных минералах выявлены редкоземельные элементы, установлены их содержания и разработаны новые теоретические представления о происхождении, химических свойствах и биологическом значении редкоземельных элементов [7]. Определен химический состав некоторых природных лечебных минералов, выявлено наличие в них лантаноидов, изучены возможные воздействия их на организм. и их Прямая корреляция лантаноидов в лечебных минералах с биогенными элементами (Ca, Fe, Si, P, F) указывает на то, что они являются важными микроэлементами в организме. Лантаноиды являются важными донорно-акцепторными элементами и легко соединяются с биогенными элементами (C, O, N, H) в химических реакциях, играют важную роль в энергетике связи [6]. Проведенные исследования и эксперименты показали, что лантаноиды относятся к важным элементам в природном круговороте и оказывают существенное воздействие на эволюцию и развитие живых организмов.

В природе лантаноиды, в основном, связаны с такими анионами как SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HCO_3^- . Кроме того, они ассоциируют с кальцием, железом, фтором, кремнием, цирконием. К тому же, обнаруженные в полевом шпате лантаноиды находятся в постоянных количествах, в определенных пропорциях с биогенным элементом – кальцием [5]. Это говорит в пользу того, что лантаноиды являются основными элементами для поддержания жизнедеятельности организма. (Скорее всего позитивная биологическая роль лантаноидов автором преувеличена и требует специальных доказательств. Примечание редактора).

Лечебные минералы Монголии, исследованные нами, находятся в осадочных угольных толщах, в аэробных условиях, в отложениях углистого сланца и угленосной биомассы. В литературе имеется ряд полуколичественных данных о содержании РЗЭ в разнообразных биологических материалах. Все они свидетельствуют о крайне малом содержании РЗЭ в живом организме [4].

Основная задача нашего исследования сводилась к выяснению того, могут ли редкие и редкоземельные элементы концентрироваться в почвах, водах, угольных золах и в других объектах. Предполагалось оценить особенности распределения Cu, Mo, Zn, Ni, Ag, Pb, Fe, редкоземельных и биогенных элементов, взаимосвязь концентраций тяжелых металлов на примере воды родника (Аршан) Уньт Булганского аймака, угольной золы ТЭЦ и разных отходов ГОКа «Эрдэнэт».

Сельское население, которое составляет 80% жителей Монголии, для хозяйствственно-питьевых нужд употребляет подземную воду с дифференцированным химическим составом. В сельских условиях Монголии на качество водной среды существенно влияет естественная экогеохимическая ситуация, характеризующаяся региональным дифференцированием по базисным эколого-гигиеническим показателям.

Следует заметить, что водный фактор может приводить к развитию множества донозологических состояний и болезней, поскольку в условиях интенсивного антропогенного загрязнения имеет место как химическая, так и биологическая контаминация.

С учётом полученного результата становится очевидной необходимость проведения комплексных эколого-гигиенических исследований, направленных на изучение хозяйствственно-питьевого водоснабжения, в том числе и некоторых ранее не исследованных минеральных вод в сельских местностях, а также и в промышленных районах Монголии. Полученные данные могут служить основой для последующей разработки научно-обоснованных медико-профилактических предложений по оптимизации водного фактора и состояния здоровья сельского населения.

Материалы и методы исследований

Изучены пробы воды, отобранные летом по июль включительно в 2005-2010 годах из родника Уньта, расположенного у подножья горы, в 90 км к северо-западу от Эрдэнэта. Родник Уньта

известен с 2000 года. Местным жителям известен под названием “Аршан”, вода применяется с 2003 года для лечения желудочных заболеваний и сахарного диабета. Исследованы сточные воды, пыли и почвы района ГОКа «Эрдэнэт», а также Угольная зола из ТЭЦ г. Улан-Батора.

Определение концентрированных редкоземельных элементов проводилось масс-спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), атомно-абсорбционным методом на аппаратуре AAS-650LE, эмиссионным спектральным и рентген-флюоресцентным анализами в аналитической лаборатории геологической службы г. Улан-Батора.

Результаты и обсуждение

Предложена простая методика для определения РЗЭ в природных и сточных водах, включающая проведение предварительного концентрирования и устранение мешающего влияния матриц. Избирательное концентрирование и выделение лантаноидов (Ln) проводили с полимерным сорбентом полистирол-азо-1,8-диоксидафтиалин-3,6 ди-сульфокислота с ФАГ перокси-группой. Количественная сорбция лантаноидов производится при pH 2-6, при перемешивании в течение 1-2 ч, при комнатной температуре. Статическая емкость сорбента (СЕС) составляет – 7 мг Ln/г. В условиях, оптимальных для сорбции лантаноидов, не мешают 10000-кратные массовые количества Fe^{3+} , Ni ; 1000-кратные количества Mn^{2+} , Cr^{3+} , Co^{2+} , Ti^4 , V^4 , Al , Cu^{2+} , Mo^{6+} в присутствии фтористого натрия и сульфосалициловой кислоты в качестве маскирующих веществ (Н.Н. Басаргин, Ю.Г. Розовский, 1986 по [3]).

Осадок растворяют в 400 мл 10% HNO_3 и анализируют методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Концентрации РЗЭ низкие и как правило не превышают 0.005 мкг/л. В углекислых водах содержание РЗЭ в среднем составляет 0.1мкг/л, а по Eu наблюдаются аномально высокие значения, иногда достигающие 1,1 мкг/л. Различие концентраций этих элементов в минеральных водах данного региона, вероятно, связано с реакцией водной среды (pH), в которой они мигрируют. Кислая и слабокислая среда, а также наличие высоких содержаний агрессивной углекислоты способствует накоплению в растворе РЗЭ.

Резкощелочная обстановка и незначительные концентрации углекислого газа припятствуют концентрации РЗЭ в минеральной воде. Также видно, что содержание в воде Аршана Ho, Tm, Lu, Yb, Tb сопоставимо с их кларковыми значениями, при этом значение концентраций по остальным РЗЭ в Аршанах заведомо ниже их значений.

В разных типах подземных и грунтовых вод и почв получили то, что формы миграций РЗЭ-ов заметно различаются в зависимости от концентраций и связующих комплексообразавателей (F^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}). Исследования показывают, что одним из активных комплексообразавателей для РЗЭ может служить фтор, их можно обнаружить, в частности, в сульфатных водах. Иттрий проявляет большую подвижность, чем некоторые лантаноиды.

Родник Уньта (под названием Аршан)

Вода прозрачная, на вкус приятная, pH=7,6. Температуры 4,5-6,4°C.

По химическому составу родник отличается от других местных источников меньшей минерализацией, малым содержанием SO_4^{2-} и Cl^- иона. Вода родника относится к гидрокарбонатному кальциево-магниевому типу.

Таблица 1
Среднее содержание макрокомпонентов в Аршане Булганского аймака (мг/л)

№	Название взятой пробы	Минерализация	Компоненты						Типы вод
			Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^++K^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	
1	Хангал Хулстай	444,5	60,6	5,5	51,5	280,6	25,0	21,3	Гидрокарбонатный, кальциево-натриевый
2	Хангал Чулуут	284,5	40,4	5,6	28,5	170,8	25,0	14,2	Гидрокарбонатный, кальциево-натриевый
3	Уньт №1	275,8	42,08	13,36	6,00	103	10,95	0,49	Гидрокарбонатный кальциево-магниевый
4	Уньт №2	256,3	44,08	10,93	4,90	183	13,46	0,48	Гидрокарбонатный кальциево-магниевый

Таблица 2

Среднее содержание микрокомпонентов (мг/л) 2009 год

Лаб №	Mn	Cr	V	Cu	Zn	Ag	Zr	La	Bi	Ni	Mo	Ba
Лаб №1	5	5	15	0.0194	0.0133	0.0015	0.0019	30	5	5	5	0.0034
Лаб №2	5	5	15	0.0065	0.0136	0.001	0.0030	30	5	5	5	0.0187
Лаб №	Ce	Co	Cs	Ga	Ge	Hf	Nb	Nd	Pb	Pr	Rb	Se
Лаб №1	0.0048	0.0053	25	0.0009	3	1.5	0.0020	50	0.0027	30	0.0011	0.0015
Лаб №2	0.0048	0.0028	25	0.0009	2	15	0.0015	50	0.0015	30	0.0033	10
Лаб №	Sm	Sr	Ta	Th	U	Y	W					
Лаб №1	30	20	0.0931	0.0009	0.0031	0.0025	3	0.0008				
Лаб №2	30	0.0023	0.0994	6	0.0033	5	3	8				

Таблица 5

Среднее содержание основных макроэлементов в разных отходах ГОКа «Эрдэнэт» (%)

Название пробы	Число проб	Компоненты												Σ%			
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	ппп				
Почвы	3	72.8	0.34	13.51	2.42	0.92	0.3	2.51	3.21	2.71	0.1	0.04	<0.1	3.67	0.77	<0.4	99.80
Пыль промышленного отхода	4	71.39	0.97	13.11	2.62	1.31	0.57	0.61	2.61	3.13	0.13	0.02	0.44	2.70	0.14	<0.4	99.61
Отходы сточных вод	2	70.3	0.35	14.69	2.61	0.35	0.35	0.84	3.39	3.39	0.12	0.01	<0.1	3.05	0.12	<0.4	99.5
Растения	2	23.0	0.26	4.5	1.44	0.53	14.9	3.57	17.33	0.88	5.15	0.08	<0.1	10.2	-	-	99.14

Мы исследовали макрокомпоненты с 2005 года. Обе пробы по макросоставу получились почти одинаковыми (табл. 2). Содержание некоторых микроэлементов (Ag, Zr, Mn, Ni) по годам (с 2005 по 2008 гг.), колеблется (0,н-0,0n ppm) (табл. 3-5). Результаты анализов 2009 года получились более достоверными. Из редкоземельных элементов обнаружили Ce<Y<La, Sm, Pr<Nd (табл. 6), концентрации возрастают от 0,005 до 50 ppm. Содержание хрома за 5 лет колеблется в пределах 0,05-5ppm. С 2000 года жителями нескольких аймаков родник Уньта (Аршан) активно используется для лечения сахарного диабета. В литературе отмечено, что хром способен усиливать действие инсулина во всех метаболических процессах и играет определенную роль в липидном обмене [5].

Сточные воды, пыль и почвы района ГОКа «Эрдэнэт»

Среднее содержание токсичных элементов в компонентах ландшафта промышленного района Эрдэнэт составляет (ppm):

- в почвах – Cu (2212), Mo (1259), As (58.1), Ba (590.9), Rb (58.5), Mn (144), Fe (2024), Al (5236), Pb(60);
- в растениях – Cu(44), Zn(62), Mo (3180), Ni (61.8), Pb (59.6), Ba (5618), Sr (44.4), Cr (94), Mn (538), Al (19764);
- в отвалах (хвостах) – Cu (2640), Mo (1250), Ba (679.0), Fe (39.3), Al (1311).

Таблица 3

Среднее содержание токсичных элементов в районе горно-обогатительного комбината района Эрдэнэт (ICP-7500, ppm)

Анализируемый материал	Число проб	Компоненты																	
		Cu	Zn	Cd	Ni	Mo	Ag	Pb	Zr	Ba	Co	As	Rb	Sr	Y	Cr	Mn	Fe	Al
Почвы	12	2212	56	0.05	22	1259	1	60	94.1	590.9	70	58.1	58.5	146	10	16	144	2034	5236
Отходы сточных вод	12	44	62	0.05	62	3180	1	59.6	192.6	561.1	70	44.2	44.4	622	20.5	94	538	1932	1976
Пыли промышленных отходов	12	2460	68	0.05	6.2	1250	1	38.6	64	679	78	40.8	56	178	28.9	17	1	393	1311

Таблица 4

Среднее содержание РЗЭ в водном экстракте почвы района ГОКа «Эрдэнэт» (ICP-MS, ppm)

Пробы №	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu	Y	ΣРЗЭ
Экстракты из почвы	16	24	2.5	19	2.5	0.6	2.5	0.3	2.8	0.3	1.4	0.20	0.8	0.1	19	92

Таблица 6

Среднее содержание РЗЭ в водах скважины Эрдэнэта (10^{-3} г/т)

Элемент и его содержание								
La	Ce	Nd	Dy	Er	Tu	Yb	Y	Lu
8.6	0.5	0.8	0.6	0.8	0.2	2.1	3.1	0.2

Из вышеприведенных данных видно, что вода, почва, растения района Эрдэнэта обогащены промышленными отходами металлов (Cu, Zn, Ni, Pb, Ag, Co, As, Rb, Sr, Y, Zr, Ba, Al, Cr, Mn), что привело к появлению новой геохимической зоны.

Угольные золы ТЭЦ

В исследованной золе углей преобладают РЗЭ цериевой группы лантаноидов (мг/кг): Ce (43-258), La (30-119), Nd (75-148), Y (9-168).

Установлено, что содержания в углях редких элементов (Ga, Cu, Pb, Co, Ni, V, Cr, Mn, Ti) не зависят от их петрографических особенностей. Но в то же время установлена четкая их связь с зольностью. Ge и Be, наоборот, более прочно связаны с органическим веществом угля. Распределение РЗЭ в золах углях (табл. 7) обнаруживает значительное отклонение от связывания РЗЭ с одним лишь минеральным веществом.

Таблица 7

Содержание редкоземельных элементов в золах углях в разных месторождениях Монголии, г/т

Элементы	Западная часть страны			Центральная часть			Гобийская часть			Восточная часть			
	Хынч-Хот	Хулан-Хот	Хулан-Хот	Бархайп I	Бархайп II	Бархайп III	Хархин-Обоо I	Хархин-Обоо II	Хархин-Обоо III	Хархин-Обоо IV	Хархин-Обоо V	Хархин-Обоо VI	
Cu	30	11	183	192	280	335	339	73	65	75	74	45	30
Zn	51	1233	73	257	645	126	133	132	46	39	38	149	81
Co	106	13	-	118	119	82	56	60	23	24	16	20	21
Ni	343	20	-	216	90	209	164	164	24	29	25	28	18
Cr	24	7	-	214	90	120	183	194	45	62	83	41	60
V	42	36	-	586	282	460	561	568	75	69	72	75	61
W	-	-	-	82	10	16	56	94	178	208	193	197	-
Mo	7	12	-	113	34	47	55	64	13	13	25	13	29
Rb	27	15	-	83	41	14	7	8	45	41	47	44	739
Zr	179	866	208	212	306	383	414	413	139	127	130	125	121
Nb	13	37	9	53	56	57	77	78	13	25	23	25	10
Ca	14	30	19	51	28	18	16	14	15	15	16	16	24
Ge	-	3	-	12	-	-	-	-	-	5	-	-	-
Sc	-	12	-	54	15	32	22	44	-	12	10	-	-
Y	57	94	22	168	48	98	87	93	36	24	24	25	31
La	72	92	33	116	55	85	96	96	32	31	41	21	30
Ce	142	199	87	314	140	183	152	165	54	59	78	72	52
Nd	-	75	-	138	-	148	115	107	-	-	-	-	76
U	6	7	7	19	5	5	5	5	5	-	20	37	31
Th	16	27	12	33	-	23	11	16	32	5	8	27	41
Ba	679	429	866	1618	1250	1321	1332	1361	885	1078	974	1012	936
Sr	321	247	151	1914	3532	3699	5787	5842	3485	1841	1724	1731	3635
As	5	72	5	467	20	286	226	229	42	54	52	39	17
Pb	38	843	27	40	25	26	21	26	-	8	23	13	39
СeI.a	2	2.2	2.7	2.5	2.2	1.6	1.7	1.7	1.9	3.4	1.7	1.76	2.4
Y/Ce	-	0.5	0.3	0.5	0.3	0.6	0.7	0.4	0.3	0.3	0.6	0.5	0.5

0.155

Наблюдается селективное накопление иттрия и тяжелых лантаноидов. Ершов показал, что Y, Yb преимущественно ассоциируются в угле с органическим веществом. Некоторые авторы полагают, что для некоторых РЗЭ, от Sm до Ho, и особенно Eu, характерны повышенные концентрации в углях [6].² Например, Гольдшмидом и Петерсон установлено содержание РЗЭ в золе углей в количестве 100-800 г/т [6].

Что касается тонны золы, то она в большинстве случаев имеет нулевую стоимость и вполне возможно, что редкие и редкоземельные металлы в золе угля будут оцениваться выше, чем сам уголь, т.е. грамм оказывается дороже тонны. В золах угля содержание редких и радиоактивных элементов (Y, Ce, Th, La, Ba, Sr) невелико и преобладают кларковые значения. Для таких вредных элементов, как As и Pb, в большинстве случаев содержания превышают кларковые.

Минеральные вещества внесены в уголь самими растениями – углеобразователями. Хорошо известны микроэлементы, входящие в состав ферментов – бор, кобальт, молибден, марганец, медь, церий, лантан, неодим и некоторые другие. Наши исследованиями золы угля установлено различие в содержаниях редкоземельных элементов в разных районах страны (табл. 7).

В исследованных золах Монголии из легких лантаноидов преобладают (мг/кг): Ce(223), La(104), Nd(78) и тяжелых – Y(95) и некоторые другие элементы: Zr(306), Zn(1233).

Изучено содержание РЗЭ в гидротермальных водах. Элементы цериевой группы обнаружены в воде некоторых гидротермальных скважинах Гобийского района (табл. 8).

Таблица 8

Место взятия пробы	Минерализация, г/л	рН	t ⁰ С	Типы воды	Содержание, мг/л		
					Σ	Ce _{общ}	Ce ³
Отгонтэнгэр скв-2	0.364	8.4	33	Сульфатно-содовая	0.29	0.15	0.12
скв-14	0.353	9.2	35	Сульфатно-содовая	0.27	0.17	0.15
Скв-19	0.435	8.8	55	Содова-сульфат	0.19	0.10	0.16

В термальных водах среднее значение суммы РЗЭ 0.п мг/л. При этом цериевая группа преобладает, составляя 60-80% (Г.М. Костромитинова, Г.Н. Королева, Г.М. Шпитзер и др., 1980).

Питьевые воды восточного аймака Гобийских районов Монголии (Г.М. Шпитзер, Л.М. Минеева) характеризуются сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридно-натриевой минерализацией, составляющей 0.8-1.0 г/л. Содержание F~1.3-3.4мг/л.

С помощью факторного и корреляционного анализа и метода главных компонент статистически достоверно установлено, что водный фактор в условиях Монголии влияет на уровень заболеваемости флюорозом, кариесом, йод-дефицитной патологией, а также отдельными нозологическими формами болезней органов кровообращения и пищеварительной системы.

Выводы

Изучение микроэлементного состава (редких земель и других элементов) минеральных вод Монголии показало, что вариации содержаний микро- и рассеянных элементов в них зависит от типа вод, их рН, температуры, общего солевого и газового состава, специфики водовмещающих пород.

Исследованиями, проведенными в 2005-2010 гг. установлено, что уровень содержания вредных редких, рассеянных элементов в пробах почвы, воды и растений, полученных в районе ГОКа «Эрдэнэт», превышает в 3 раза предельно допустимую норму.

Среднее содержание токсичных металлов промышленного района Эрдэнэта колеблется в следующих интервалах (ppm):

- в почвах: Cu (2212), Mo (1259), As (58.1), Ba (590.9), Rb (58.5), Mn (144), Fe (2024), Al (5236), Pb (60)

- в растениях: Cu (44.0), Zn (62), Mo (3180), Ni (61.8), Pb (59.6), Ba (561.8), Sr (44.4), Cr (94), Mn (538), Al (19764)

- в отвальных хвостах: Cu (2640), Mo (1250), Ba (679.0), Fe (393), Al (1311).

Из вышеприведенных данных видно, что городские районы Эрдэнэта из года в год обогащаются этими токсичными элементами.

Литература

1. Аевын А.П., Жаворонков А.А. и др. *Микроэлементозы человека*. – М., 1991. – С. 188.
2. Оюун Ж. Монгол орны газрын ховор элементүүдийн хими, хими-технологийн судалгаа. – Улаанбаатар, 2001.
3. Оюун Ж. Эрдэс чулуулагдах ховор шорооны элементүүдийг полимерт урвалжаар баяжуулах онол-арга зүйн аналитик судалгаа. – Улаанбаатар, 2006. – С. 150.
4. Оюун Ж. Монгол орны металлоген геохимийн онцлог-экологи. – Улаанбаатар, 2000. – С. 190.
5. Ревце К., Кирстя С. Борьба с загрязнением почвы. – М., 1986. – С. 99.
6. Хэскин Л.А., Фрей Ф.А. и др. *Распределение редких земель в литосфере и в космосе*. – М., 1968. – С. 166.
7. Oyun J., Tserenkhuu Ch., Munkhjargal Sh. and Munkhtsetseg B. *Chemical-biological studies Rare elements of medical minerals of Mongolia* // X Asian conference on analytical science. – 2009. – Kuala Lumpur, Malaysia.

2. КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ И ЗОНА ОКИСЛЕНИЯ В ЛАНДШАФТАХ ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

ГИПЕРГЕННЫЕ НОВООБРАЗОВАНИЯ В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ ЗАПАДНЫХ ПРЕДГОРИЙ РУДНОГО АЛТАЯ

G.G. Rusanov

ОАО «Горно-Алтайская экспедиция», Малоенисейское, Россия, gapse@mail.biysk.ru

GIPERGENE NEOGENESIS IN WEATHERING CRUST IN WEST FOOTHILLS OF RUDNYI ALTAI

G.G. Rusanov

Gorno-Altaian expedition, Maloeniseiskoe, Russia

Three zones detached in weathering crust in west foothills of Altai: disaggregation, structural eluvium, nonstructural clays. The lentiform neogenesis of brown ironstone noted in it before. In the top of middle and upper of zones weathering crust, exposuring on daily surface, siliceous-clayey nodules (with cement of hydroxides of iron), concretions of siderite (limonitization) and big calcite nodules disclosed except of brown ironstone. Numerous fragments of brown ironstones – remnants of small gossans cover torso mountains. The siliceous of neogenesis of infiltration type put up in weathering crusts on the depth of 100 m under measures Neogene- Quaternary deposits.

В 2005-2006 гг. в западных предгорьях Рудного Алтая между селами Веселоярск, Угловское, Топольное и границей с Казахстаном было пробурено 47 картировочных скважин глубиной от 49,3 до 250 м. В результате установлено, что на этой территории кора выветривания имеет практически сплошное распространение. Она развита по породам разного состава и возраста, отсутствуя лишь местами в древних погребенных долинах, где полностью уничтожена эрозией, и почти повсеместно перекрыта толщей (от 34 до 150 м) верхнеолигоцен- и среднемиоцен-плейстоценовых отложений. Образования коры выветривания на дневную поверхность выходят отдельными фрагментами в непосредственной близости от российско-казахстанской границы, по периферии денудационной возвышенной равнины, занимая не более 1% изученной территории. Кровля коры выветривания находится в широком диапазоне абсолютных высот – от 49-82 м в погребенных долинах до 200-254 м, что объясняется неотектоническими дифференцированными блоковыми подвижками и эрозионными процессами, более поздними, чем образования коры выветривания [6].

По морфологии эти коры выветривания относятся к смешанному (линейно-площадному) типу, развивающемуся при блоковом строении палеозойского фундамента, обилии в нем разрывных нарушений, зон трещиноватости и сульфидизированных пород. Характерны резкие колебания мощностей кор выветривания от первых метров до десятков метров, обусловленные наличием глубоких «карманов» выветрелых пород.

Независимо от состава и возраста материнских пород в разрезах коры выветривания наблюдается определенная зональность, отражающая ход и стадии процесса химического выветривания, и выраженная в последовательной смене литологических и текстурных особенностей, минералогического и химического состава. На данной территории в этих разрезах выделяются три зоны (снизу вверх): 1 – зона дезинтеграции; 2 – зона структурного элювия; 3 – зона бесструктурных пестроцветных или белых глин [6].

Полный профиль этих кор выветривания не сохранился. В разных частях площади они имеют разную степень сохранности, но везде химически не зрелые. Коэффициент Фогта ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Na}_2\text{O}$), характеризующий степень зрелости глин, невелик и изменяется от 10,8 до 38,7. В большинстве случаев сохранились нижняя и частично средняя зоны, и даже там, где в разрезе выделяются все три зоны, верхняя из них сильно размыта.

Ранее в этом районе в корах выветривания отмечались лишь новообразования бурых железняков, образующих линзовидные тела. Кроме этих железняков, нами в кровле средней и верхней зон коры выветривания, выходящих на дневную поверхность, обнаружены кремнисто-глинистые стяжения, сцепментированные гидрооксидами железа, конкреции лимонитизированного

сидерита и крупные кальцитовые желваки. На глубине более 100 м под толщей неоген-четвертичных отложений в корах выветривания местами установлены кремнистые новообразования инфильтрационного типа.

Зона дезинтеграции мощностью от первых метров до 10-15 м в нижней части представлена трещиноватыми крепкими слабо лимонитизированными породами, имеющими нечеткую постепенную границу с материнским субстратом. Вверх по разрезу они сменяются все более дезинтегрированными (щебень и дресва по керну скважин) бурыми и желто-бурыми глинизированными породами, по трещинам и в основной массе которых интенсивно развиваются гидрослюды, гидрохлорит, гидрооксиды железа; изредка встречаются каолинит или монтмориллонит, а также новообразованный мелкочешуйчатый серicit. Химический состав этой зоны почти не отличается от состава субстрата.

По данным спектральных анализов, в этой зоне, по сравнению с материнскими породами, незначительно увеличивается содержание лишь некоторых химических элементов. В зоне дезинтеграции развитой по черным сульфидизированным верхнепалеозойским сланцам, вскрытым многочисленными скважинами, пробирным анализом установлены повышенные содержания золота до 1,5 г/т.

Зона структурного элювия мощностью от первых метров до 40 м в нижней части представлена щебнисто-дресевяно-глинистыми образованиями, которые вверх по разрезу постепенно замещаются глинистым материалом, сохраняющим, кроме цвета, все структурно-текстурные особенности материнских пород субстрата (слоистость, полосчатость, плойчатость, сланцеватость, трещиноватость, зернистость, кварцевые прожилки и т. п.). Полевые шпаты здесь сильно каолинизированы, темноцветные минералы замещаются монтмориллонитом и гидрослюдами. Происходит вынос щелочей и кремнезема, и незначительное накопление глинозема и марганца. Отмечается концентрация гидрооксидов железа, обусловленная высвобождением последнего при разложении железосодержащих минералов (биотит, мусковит, амфибол, хлорит, пирит и др.).

В зоне структурного элювия по сульфидизированным черным сланцам верхнего палеозоя иногда наблюдаются линзообразные тела бурых железняков длиной от первых сантиметров до 30-40 м и мощностью от первых сантиметров до 2-3 м. Эти тела выходят на дневную поверхность в крупных понижениях палеорельефа у озера Большой Тассор и в урочище Саламаденовка. Они имеют следующий химический состав (%): Fe_2O_3 – 68,95, FeO – 0,17, MnO – 0,05, TiO_2 – 0,58, SiO_2 – 11,31. В этих железняках установлены повышенные содержания (%): Mn – 1, Zn – 0,15, As – 0,02, Ni – 0,02, Cu – 0,015, Co – 0,015, Pb – 0,006, а золото не превышает 0,008 г/т.

В структурном элювии по этим сланцам, выходящем на дневную поверхность, в урочище Саламаденовка обнаружены бурые концентрически слоистые шарообразные конкреции лимонитизированного сидерита диаметром до 10 см, что, вероятно, свидетельствует о частой смене восстановительных условий окислительными. В этих конкрециях отмечаются повышенные содержания (%) Ti – 1, Zn – 0,1, Mn – 0,05, As – 0,01, а содержания золота не превышают фоновых значений (0,002 г/т). В глинистом структурном элювии по этим сланцам содержания элементов на 1-3 порядка ниже, чем в бурых железняках и сидеритовых конкрециях, мышьяк отсутствует, а содержание золота не превышает 0,006 г/т.

У границы с Казахстаном (северо-западнее высотной отметки 254 м) пробурена скважина № 4 ($51^{\circ}18'35''$ с. ш.; $80^{\circ}48'01''$ в. д.), вскрывшая в интервале 0,7–36,1 м кору выветривания по гнейсам иртышского метаморфического комплекса. В структурном элювии (интервал 17,7–35,3 м), по данным спекtroхимических анализов, содержания золота составляют 0,003 г/т, несколько повышаясь в отдельных пробах до 0,005 г/т. Такие же содержания золота наблюдаются и в неизмененных гнейсах (интервал 36,1–49,3 м). Химический состав этого элювия (%): SiO_2 – 67,02, TiO_2 – 0,83, Al_2O_3 – 13,07, Fe_2O_3 – 7,76, FeO – 0,48, CaO – 0,48, MgO – 2,95, MnO – 0,26, P_2O_5 – 0,21, Na_2O – 0,45, K_2O – 1,85, SO_3 – 0,25, ппп – 4,42.

В 3,8 км к северо-западу от сопки с высотной отметкой 254 м карьером с поверхности вскрыт структурный элювий по кристаллическим сланцам иртышского метаморфического комплекса. В нем до глубины 4 м обнаружены очень крепкие кальцитовые желваки диаметром до 12 см, с повышенными содержаниями (%) Mn – 0,1, Ti – 0,1, Sr – 0,06 и Au – 0,005 г/т.

В глинах структурного элювия по породам иртышского метаморфического комплекса выявлены два пункта минерализации с повышенными (до 0,1%) содержаниями никеля. Минеральная форма этого оруденения не установлена, а предполагаемый генетический тип – инфильтрационный.

Зона бесструктурных пестроцветных или белых глин мощностью от первых метров до 20 м вверх по разрезу постепенно замещает образования структурного элювия. В этой зоне, представленной тонкодисперсными глинами, все структурно-текстурные особенности материнских пород, полностью уничтожены в процессе химического выветривания. По интрузивным породам эта зона иногда представлена белыми тонкодисперсными каолинитовыми глинами с примесью гидрослюды и кварца (по данным рентгеноструктурных анализов). В них встречаются разрозненные щебнистые обломки молочно-белого и желтоватого кварца размером от 2 до 7 см – остатки кварцевых жил. Эти глины отличаются очень низкими, по сравнению с зоной структурного элювия, содержаниями практически всех химических элементов, и повышенными – золота (0,01-0,03 г/т).

В подавляющем большинстве верхняя зона коры выветривания по породам разного генезиса, состава и возраста представлена бесструктурными массивными жирными тонкодисперсными пестроцветными (пятнисто-полосчатыми) глинами. Причудливые пятна и полосы белого, красного, желтого, серого, бордового, зеленоватого, фиолетового, бурого и голубоватого цвета придают им мраморовидный облик. Пестроцветные глины этой зоны, по данным рентгеноструктурных анализов, каолинит-монтмориллонитовые и монтмориллонитовые с большим количеством кварца и примесью гематита.

В этих глинах, развитых по гранито-гнейсам, иногда в больших количествах содержатся крупные (до 15 см по оси керна) очень крепкие обломки кварцево-кремнистых пород. В шлифах установлено, что эти обломки представляют собой кварцевые алевритистые песчаники с алевро-псаммитовой структурой, состоящие на 70–80% из не отсортированных угловатых обломков кварца размером от 0,012 до 1,75 мм. Матрикс (20-30%) контактово-порового типа кремнистого состава неравномерно, пятнами, насыщен пелитовыми частицами. Отмечаются пятна и линзы мощностью 0,3-0,6 мм, сложенные на 20-25% алевритовыми обломками, заключенными в кремнистый матрикс. По всей вероятности, эти обломки представляют собой прослои кремнистых кор выветривания инфильтрационного типа, разрушенные при бурении. Подобные окремненные образования мощностью до 0,7-1 м давно известны в пестроцветных глинах коры выветривания Юго-Западного Присалаирья [3]. Обособления «сливных кварцитовидных песчаников» в корах выветривания отмечал и В.П. Казаринов [4].

Скважина № 4, пробуренная северо-западнее высоты с отметкой 254 м, под почвенно-растительным слоем в интервале 0,7-17,7 м вскрыла пестроцветные бесструктурные глины развитые по гнейсам. В этих глинах отмечаются многочисленные пятна и полосы белого цвета, представляющие собой выделения, гнезда, слойки и прожилки кварца, полностью превращенные в маршаллит. В кровле этих глин до глубины 2 м в большом количестве содержатся очень крепкие шарообразные конкреционные стяжения диаметром от 0,5 до 3 см.

В шлифах установлено: стяжения имеют брекчевую структуру и на 75-80% состоят из не отсортированных остроугольных обломков кварца размером 0,012–3,5 мм, а матриксом является глинистый агрегат, насыщенный гидрооксидами железа. Эти стяжения имеют следующий химический состав (%): SiO_2 – 82,77, TiO_2 – 0,42, Al_2O_3 – 2,02, Fe_2O_3 – 8,58, FeO – 1,33, CaO – 2,30, MgO – 0,17, MnO – 0,05, P_2O_5 – 0,12, Na_2O – 0,32, K_2O – 0,16, SO_3 – 0,25, CO_2 – 0,58, ппп – 1,76. Для них, в отличие от вмещающих пестроцветных глин, характерны пониженные содержания практически всех химических элементов, и лишь золото (0,008 г/т) и мышьяк (0,004%), который в глинах полностью отсутствует, имеют повышенные значения. Пестроцветные глины резко отличаются от этих стяжений, прежде всего пониженными содержаниями SiO_2 – 57,10%, CaO – 0,89% и резко повышенными содержаниями Al_2O_3 – 21,69%.

Скопления подобных стяжений в корах выветривания были известны здесь еще с начала шестидесятых годов прошлого века. Однако их принимали за хорошо окатанную речную гальку и гравий, а сами коры с этими стяжениями выделяли, как аллювио-проловий чаграйской свиты или аллювий знаменской свиты верхнего олигоцена [1, 8].

Высота с отметкой 254 м с поверхности представлена образованиями пестроцветных бесструктурных глин верхней зоны коры выветривания развитой по гнейсам. Ее плоскую

вершину и пологие склоны буквально усеивают многочисленные обломки очень крепких бурых железняков размером от первых сантиметров до 0,6 м, не имеющие корней в нижележащих глинах.

По нашему мнению, это сохранившиеся остатки маломощной «железной шляпы», бронировавшей в прошлом поверхность пестроцветных глин в этом районе. Эти железняки имеют брекчевую структуру и на 70-80% состоят из не отсортированных остроугольных обломков кварца размером от долей миллиметра до 5-7 мм, и очень крепко скементированы лимонитом. Для них, по сравнению с глинами, характерны очень низкие содержания Mn (0,02%), несколько повышенные значения Ti (0,15%), Sc (0,003%) и Ag (0,0002%), а содержания золота не более 0,006 г/т.

В этих корах выветривания обращает на себя внимание низкое содержание глинозема, за исключением пестроцветных бесструктурных глин, развитых по гнейсам, где оно несколько повышено (21,69%). По-видимому, это объясняется тем, что почти все материнские породы в данном районе в разной степени сульфидизированы и содержат тонкую рассеянную вкрашенность и мелкие гнезда пирротина, пирита и арсенопирита. Еще В.П. Казаринов отмечал, что «выветривание пород, содержащих сульфиды, идет с уменьшением глинозема в остаточном продукте выветривания» [4, с. 36].

В рассматриваемом районе, остатки кор выветривания в погребенных долинах с глубоким размывом перекрываются верхнеолигоцен-нижнемиоценовыми отложениями крутихинской свиты, а на остальной территории средне-верхнемиоценовыми образованиями рубцовской свиты. В то же время верхний возрастной предел этих кор нельзя определять только по перекрывающим осадкам, так как процессы выветривания в мезозое и кайнозое шли непрерывно, усиливаясь или ослабевая лишь в связи с тектоническими, климатическими и палеогеоморфологическими условиями каждого конкретного района [1]. Нельзя исключать и тот факт, что корообразование по породам палеозоя в горах Алтая и его предгорьях, с разной интенсивностью могло продолжаться вплоть до миоцена включительно [2], когда в связи с изменением климата и опусканием рассматриваемой территории, началось площадное накопление отложений рубцовской свиты.

Зона бесструктурных глин, имеющая преимущественно монтмориллонитовый состав, повсеместно с сильным размывом перекрыта также монтмориллонитовыми глинами рубцовской свиты. Эти особенности указывают на то, что уже к середине миоцена произошло усиление континентальности климата, уменьшение количества атмосферных осадков (менее 500 мм/год), сокращение теплого периода, возросшую амплитуду температур. Следствием этого явилось уменьшение биологической продуктивности растительного покрова, общее ослабление процессов выветривания, смена кислой среды корообразования на щелочную [7]. В таких условиях диагенетические (аутигенные) изменения каолинита и других глинистых минералов идут в направлении монтмориллонитизации.

Коры выветривания в основном свободны, как от легкорастворимых солей, так и от карбонатов. Однако, начиная со второй половины среднего миоцена, в условиях степного ландшафта под воздействием аридно-семиаридного эпигенеза длительное время происходило поверхностное засоление и обезвреживание коры выветривания [5]. По нашему мнению, именно этим и объясняется наличие в верхах зоны структурного элювия, выходящей на дневную поверхность, и сохранившейся от размыва, новообразований крупных кальцитовых желваков, сформировавшихся на щелочном геохимическом барьере.

Во влажные периоды в понижениях палеорельефа возникали сезонные мелководные озера, которые в сухие сезоны полностью пересыхали. В результате частой смены восстановительных условий окислительными в кровле коры выветривания развитой в этих понижениях образовывались крупные конкреции лимонитизированного сидерита.

Литература

1. Адаменко О.М. Предалтайская впадина и проблемы формирования предгорных опусканий. – Новосибирск: Наука, 1976. – 184 с.
2. Барышников Г.Я. Развитие рельефа переходных зон горных стран в кайнозое (на примере Горного Алтая). – Томск: Изд-во ТГУ, 1992. – 182 с.

3. Баженов В.А. Минералого-геохимические особенности древних кор выветривания Юго-Западного Присалаирья // Геология и полезные ископаемые Алтайского края. – Барнаул, 1979. – С. 91–93.
4. Казаринов В.П. Мезозойские и кайнозойские отложения Западной Сибири. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 324 с.
5. Николаев В.А. Ландшафты азиатских степей. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 288 с.
6. Русанов Г.Г. Западные предгорья Алтая в мезозое и кайнозое. – Бийск: БПГУ, 2009. – 142 с.
7. Синицын В.М. Древние климаты Евразии. Часть I. Палеоген и неоген. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1965. – 167 с.
8. Чумаков И.С. Кайнозой Рудного Алтая. – М.: Наука, 1965. – 222 с.

ДИНАМИКА ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ СВИНЦА, ЦИНКА, МЕДИ И ИХ БИОДОСТУПНОСТЬ В ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТАХ ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНО- ВОЛЬФРАМОВЫХ РУД

O.K. Смирнова, B.V. Дампилова

Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия, meta@gin.bscnet.ru

DYNAMIC OF LEAD, ZINCUM, COPPER SPECIES AND THEIR BIOLOGICAL ACCESSIBILITY IN STALE TAILINGS AFTER DRESSING OF SULFIDE-TUNGSTEN ORES

O.C. Smirnova, B.V. Dampilova

Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia, meta@gin.bscnet.ru

In the paper the results of studying the dynamic of the lead, zinc and copper mobile form contents in stale wastes of the Dzhida deposit sulfide-hubnerite ore dressing have been discussed. It has been shown that the balance of metal presence forms significantly changed for 3 years. The contents of the metals and other toxic elements increased in plants in the area of waste depository. The tendency of increase in evacuation of the studied metals from the surface of the waste depository has been revealed.

Отходы передела руд, особенно сульфидсодержащих, зачастую являются источниками опасного загрязнения окружающей среды. Окисление сульфидов под воздействием атмосферной влаги приводит к подкислению фильтрата в хвостохранилищах и вызывает трансформацию минеральных форм металлов, образование подвижных их соединений, поступающих в поверхностные и подземные воды, почвы. Как следствие, изменяется состояние растительности, нарушается микроэлементный баланс в трофических цепях экосистем прилегающих территорий.

Джидинский вольфрамово-молибденовый комбинат (Юго-Западное Забайкалье) с 1934 по 1997 гг. перерабатывал молибденитовые и сульфидно-гюбнеритовые руды месторождений Джидинского рудного поля. За этот период созданы хвостохранилища, в которых накоплено более 40 млн. т отходов обогащения руд. Установлено, что после консервации производства в пределах жилой застройки города Закаменска, непосредственно прилегающей к хвостохранилищам, расширились территории, которые по значению суммарного показателя загрязнения почв соответствуют чрезвычайной экологической ситуации и ситуации экологического бедствия [3]. Однако для корректной оценки уровня загрязнения ландшафта в природоохраных и санитарно-гигиенических целях наиболее важна информация не о валовом содержании металлов в воде, почве, а о формах их нахождения, содержании подвижных, доступных для растительности соединений, условиях перехода элементов в подвижное состояние.

В 2006 г. для изучения форм нахождения меди, цинка и свинца в отходах обогатительного производства нами были отобраны пробы техногенных песков наиболее крупного (бывшего намывного) хвостохранилища. Пробы были взяты с поверхности хранилища до глубины не более 10 см. Для анализа материала был использован метод селективной экстракции химических элементов, разработанный Тесье с соавторами [5], позволяющий определить количество металлов в пяти геохимических фракциях: 1 – ионообменной, 2 – карбонатной, 3 – оксидов железа и марганца, 4 – органических веществ, 5 – силикатном остатке. Кроме того, по ГОСТам определено содержание подвижных форм меди и цинка. В результате установлена степень окисленности минералов изученных металлов – Pb > Zn > Cu. Показано, что содержание их подвижных форм превышает предельно допустимые концентрации. Сделан

вывод, что процессы окисления отходов обогащения молибденитовых и сульфидно-гюбнеритовых руд еще не закончились [4].

В 2009 г. нами были отобраны пробы материала отходов обогащения руд в тех же точках и в то же время года, что и в 2006 г. с целью выявления динамики содержания подвижных форм металлов и баланса форм металлов. Анализы выполнены по тем же методикам, что и в 2006 г. Оказалось, что за три года в поверхностном слое хвостохранилища произошли существенные изменения. Во-первых, уменьшилось валовое содержание всех изученных металлов, в то время как содержание подвижных форм меди и цинка, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером, увеличилось (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1
Динамика среднего содержания меди, цинка и свинца (вес. %) на поверхности Барун-Нарынского хранилища отходов обогащения сульфидно-гюбнеритовых руд.
В скобках указано количество проб

Элемент	Определяемое содержание	Пробы 2006 г. (9)	Пробы 2009 г. (6)
Cu	валовое	0,04	0,032
	подвижные формы	0,0048	0,006
Zn	валовое	0,14	0,094
	подвижные формы	0,023	0,038
Pb	валовое	0,15	0,104

Во-вторых, изменился баланс форм металлов в хвостохранилище. Наиболее важные изменения отражены в таблице 2 и на рисунке 2 и сводятся к следующему: 1) увеличилась доля ионообменных форм всех изученных металлов; 2) уменьшилась доля карбонатной фракции меди и цинка; 3) существенно увеличилась доля меди, связанной с железо-марганцевыми оксидами, вероятно, за счет разрушения органоминеральных ее комплексов; 4) для свинца наблюдается обратная тенденция – часть этого металла, по-видимому, связывается в органоминеральные комплексы. Можно предположить, что два последних процесса идут при активном участии микроорганизмов.

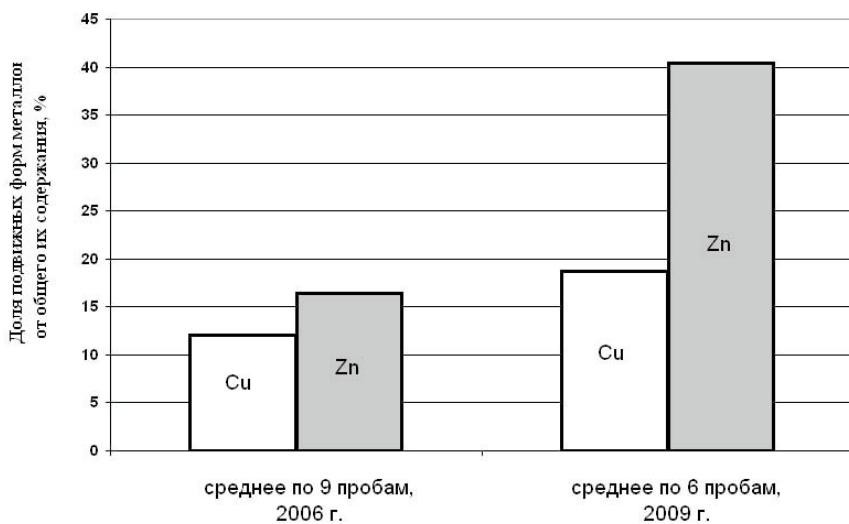


Рис. 1. Динамика содержания подвижных форм меди и цинка в лежальных отходах обогащения сульфидно-гюбнеритовых руд Джидинских месторождений (Барун-Нарынское хвостохранилище).

В тех пунктах, где отбирали пробы песков, отбирали и растущие на них растения. По принятой методике, готовили пробы отдельных частей растений: корни, стебли, листья, цветы и плоды. Пробоподготовка заключалась в тщательной очистке, промывке, высушивании и измельчении проб. Анализ растительных проб выполнялся в Хабаровском инновационно-аналитическом центре методом ICP-MS, аналитики Д.В. Авдеев, А.Ю. Лушникова.

Таблица 2

Доля металлов, выделенных селективной экстракцией, % от валового содержания металла в пробе. В числителе – среднее по 9 пробам (2006 г.) и по 6 пробам (2009 г.), в знаменателе – разброс значений

	Ионообменная фракция		Карбонатная фракция		Фракция оксидов Fe и Mn		Органические соединения		Силикатный остаток	
Год	2006	2009	2006	2009	2006	2009	2006	2009	2006	2009
Cu	нет	<u>15</u> 9-20	<u>11</u> 7-17	<u>7</u> 3-11	<u>11</u> 6,3-15,5	<u>50</u> 45-60	<u>64</u> 54-71	<u>5,2</u> 4-6,7	<u>14</u> 9-18	<u>23</u> 14-27
Zn	<u>3</u> 2-6	<u>23</u> 14-42	<u>16</u> 5-40	<u>8</u> 4-13	<u>17</u> 8,5-22,3	<u>22</u> 14-44	<u>14</u> 7,8-26	<u>37</u> 31-49	<u>50</u> 29-72	<u>10</u> 8-13
Pb	<u>7</u> 4-25	<u>37</u> 27-61	<u>31</u> 23-45	<u>34</u> 28-45	<u>48</u> 35,4-61	<u>11</u> 8-15,8	<u>2</u> 1,2-4	<u>15</u> 10-16	<u>12</u> 6,5-22	<u>3</u> 1,5-4,2

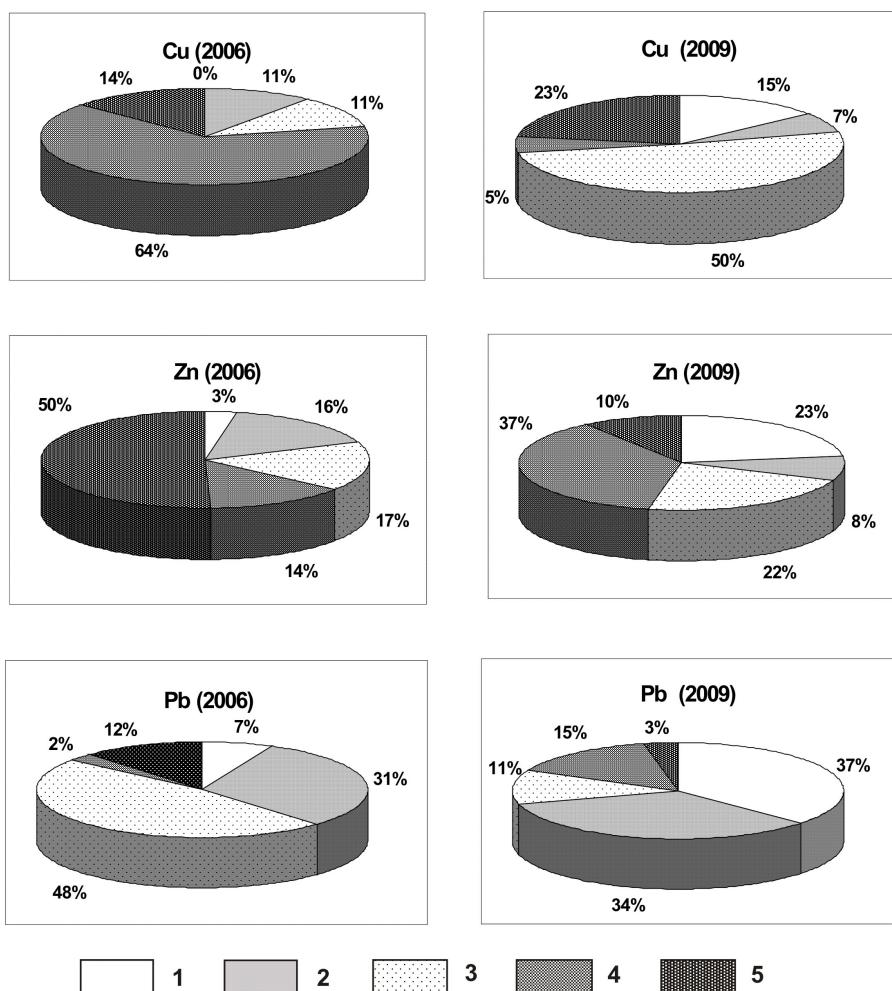


Рис. 2. Изменение баланса форм нахождения меди, цинка и свинца в Барун-Нарынском хвостохранилище. 1-5 – доля содержания металлов (% от валового содержания) во фракциях последовательной их экстракции по методике Tesier et.al [4]: ионообменной (1), карбонатной (2), железомарганцевых оксидов (3), органических веществ (4), силикатном остатке (5). В левой колонке – пробы 2006 г. (среднее по 9 пробам), в правой – 2009 г. (среднее по 6 пробам).

В таблице 3 приведены результаты анализа злаковых растений и тополя. Характер накопления ими химических элементов различен. Злаки (травяная растительность) концентрируют металлы в корнях, а тополь (древесный ярус) – в листьях. Исключением является свинец, содержание которого в корнях тополя больше, чем в листьях. Как правило, в семенах растений концентрация многих элементов наиболее низка. В этой связи интересны

полученные данные по содержанию в злаках рубидия, который накапливается именно в семенах.

Содержание химических элементов в пробах растений 2009 г. по сравнению с пробами 2006 г., за немногими исключениями, существенно выше (см. табл. 3, рис. 3). Особенно ярко это проявлено для цинка. На наш взгляд, это может быть связано с увеличением количества подвижных и ионообменных форм металлов в субстрате, на котором они растут.

Таблица 3

Среднее содержание химических элементов в растениях Барун-Нарынского хранилища отходов обогащения сульфидно-вольфрамовых руд, мг/кг сухого вещества. В скобках – количество проб

Пробы 2006 г.							
	Злак (3), семена – 1 проба				Тополь (4)		
	семена	лист	стебель	корень	лист	стебель	корень
Cu	3,62	8,70	2,82	10,21	8,31	4,48	7,11
Zn	104,96	160,27	119,01	122,18	829,20	282,82	187,44
Cd	1,09	2,1	1,8	11,84	47,17	25,21	15,46
Mo	1,34	1,42	0,57	0,63	1,57	0,16	0,29
W	3,18	31,37	5,06	6,78	11,2	5,01	2,4
Pb	12,67	91,10	13,25	54,34	24,33	24,07	33,15
Rb	31,90	26,8	36,2	19,12	41,29	26,03	38,53

Пробы 2009 г.							
	Злак (9)				Тополь (4)		
	семена	лист	стебель	корень	лист	стебель	корень
Cu	9,28	20,57	5,43	102,9	22,52	9,60	25,01
Zn	133,15	272,31	176,05	563,78	1222,68	430,84	291,18
Cd	0,66	3,26	2,05	27,84	83,95	35,26	23,31
Mo	0,80	1,61	0,40	2,03	2,24	0,55	0,98
W	42,42	95,92	16,30	163,66	55,47	62,80	27,96
Pb	21,51	74,01	11,67	239,40	51,84	66,66	105,04
Rb	158,75	103,70	82,65	58,70	140,27	60,93	70,77

Приведенные данные свидетельствуют о том, что условия, существующие на поверхности хвостохранилища в настоящее время, способствуют формированию подвижных, легкорастворимых соединений свинца, цинка, меди. О том, что здесь происходит вынос тяжелых металлов (меди, цинка и свинца) можно заключить по уменьшению валового содержания этих элементов в анализированных пробах техногенных песков.

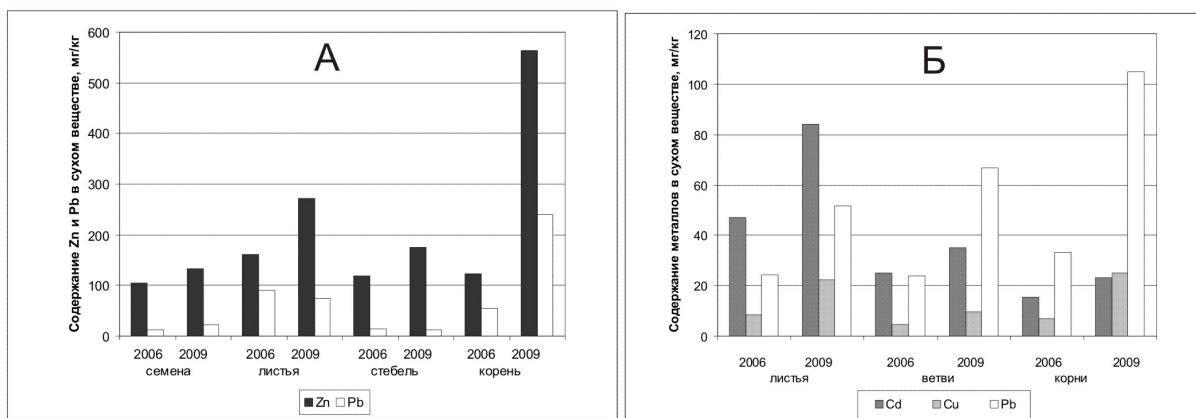


Рис. 3. Динамика накопления цинка и свинца в злаках (А) и кадмия, меди и свинца в тополе (Б), мг/кг сухого вещества (см. табл. 3).

Полученные нами данные об уменьшении количества карбонатных соединений в песках хорошо согласуются с численным моделированием поведения химических элементов в сульфидсодержащем хвостохранилище [1], авторы которого также показали, что в условиях окисления сульфидов под действием атмосферной влаги происходит распад карбонатов.

В.С. Путилиной с соавторами [2] при изучении поведения металлов в свалках бытовых отходов установлены диапазоны pH буферных систем. Для близнейтральных кислотно-щелочных условий, соответствующих Барун-Нарынскому хвостохранилищу, эффективными буферами, по их мнению, являются твердые карбонаты, которые удерживают pH в области от нейтрального значения до основного ($\text{pH} > 6.2$).

Для решения вопроса об объемах миграции образующихся подвижных форм металлов в окружающий ландшафт необходимо оценить количество и депонирующую способность гумусовых веществ в теле хвостохранилища, роль микроорганизмов в процессах миграции и аккумуляции химических элементов.

Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 122 «Геохимические и биологические факторы миграции химических элементов в геосистемах» и проекта РФФИ 08-05-98042-р_сибирь_а «Формы нахождения и биодоступность тяжелых металлов в геотехногенных ландшафтах Байкальского региона».

Литература

1. Плюснин А.М., Гунин В.И. *Природные гидрогеологические системы, формирование химического состава и реакция на техногенное воздействие (на примере Забайкалья)*. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2001. – 137 с.
2. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. *Влияние органического вещества на миграцию тяжелых металлов на участках складирования твердых бытовых отходов: Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН; ИГЭ РАН. Новосибирск, 2005. – 100 с.*
3. Смирнова О.К., Ходанович П.Ю., Яценко Р.И. *Тяжелые металлы в техногенных ландшафтах района Джидинского горно-обогатительного комбината // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование*. Чита: ИПРЭК СО РАН, 2006. – С. 82-87.
4. Смирнова О.К., Сарапулова А.Е., Цыренова А.А. *Особенности нахождения тяжелых металлов в геотехногенных ландшафтах Джидинского вольфрамо-молибденового комбината // Геоэкология, 2010, № 4. – С. 319-327.*
5. Tessier A., Campbell P.G., Bisson M. // *Anal. Chem.*, 1979. V. 51. № 7. P. 844.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДИ ИЗ ОКИСЛЕННЫХ РУД УДОКАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

E.C. Эпова

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия,
Apikur1@yandex.ru

Экспериментальные данные по выщелачиванию окисленных удоканских руд показали уровень перехода меди в сернокислотный раствор, что позволяет оценить степень загрязнения природных вод подвижными формами меди, в случае разработки Удоканского месторождения.

Природно-техногенные ландшафты характеризуются повышенным содержанием тяжелых металлов, в том числе и меди, в почвах, в поверхностных и подземных водах. Медь относится к необходимым микроэлементам, однако превышение ее концентрации в окружающей среде приводит к токсическому воздействию на весь спектр живых организмов. Гидробионты особо чувствительны к присутствию меди в водной среде, наиболее уязвимыми, в этом отношении, являются мальки и икринки рыб, а также одноклеточные водоросли [6], этот факт особенно важен учитывая, что медь преимущественно мигрирует в водной среде.

Подвижность меди, как водного мигранта зависит от многих факторов, в числе которых – кислотность водной среды, ее окислительно-восстановительный потенциал, форма нахождения элемента в растворе и пр. [7]. Переход меди в подвижное состояние происходит в результате выщелачивания окисленных медных руд сернокислотными растворами. Протекание таких процессов характерно для зоны криоминералогенеза сульфидных месторождений.

С целью, определения степени извлечения подвижных форм меди из окисленной удоканской руды были проведены эксперименты по ее выщелачиванию сернокислотными растворами в условиях отрицательных температур. Методика постановки экспериментов была разработана с учетом анализа литературных данных по проведению подобных исследований, а также имеющегося опыта [1, 3, 8]. Безусловно, экспериментальное выщелачивание

окисленных руд не позволяет смоделировать протекание этого процесса в естественных условиях, поскольку невозможно учесть всех интенсифицирующих факторов, однако проведение подобного рода работ позволяет примерно оценить степень загрязнения природных вод подвижными формами тяжелых металлов, в том числе меди в результате преобразования окисленных руд.

Анализ полученных данных (рис. 1-3), позволяет сделать вывод, что самые высокие значения концентрации меди в конечном растворе дает выщелачивание сернокислотным раствором pH=1, с повышением уровня pH исходного раствора снижается количество меди, перешедшей в раствор. Количество выщелоченной меди при контакте с раствором одного уровня pH находится примерно на одном уровне, так растворы pH=1 дают концентрацию меди порядка 7-8 г/л, растворы с pH=2 примерно 2,5 г/л.

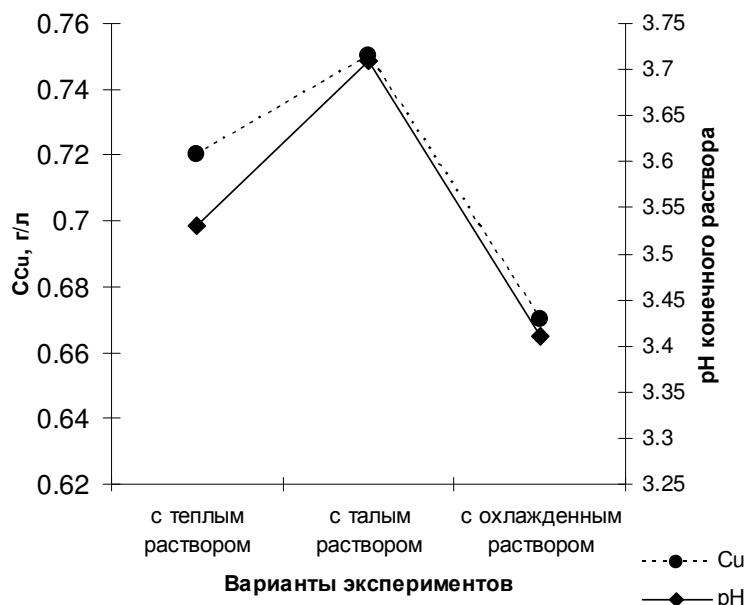


Рис. 1. Зависимость концентрации меди и уровня pH конечных растворов при выщелачивании раствором с исходным pH=3.

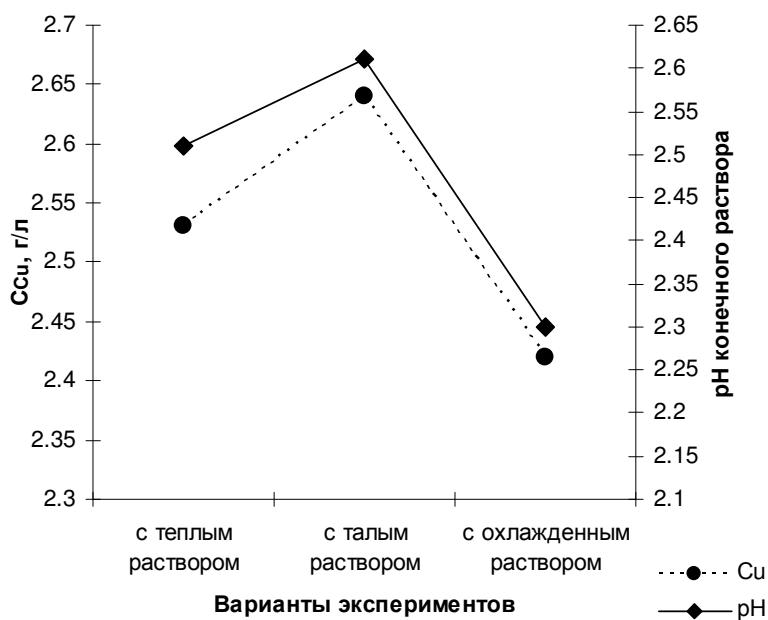


Рис. 2. Зависимость концентрации меди и уровня pH конечных растворов при выщелачивании раствором с исходным pH=2.

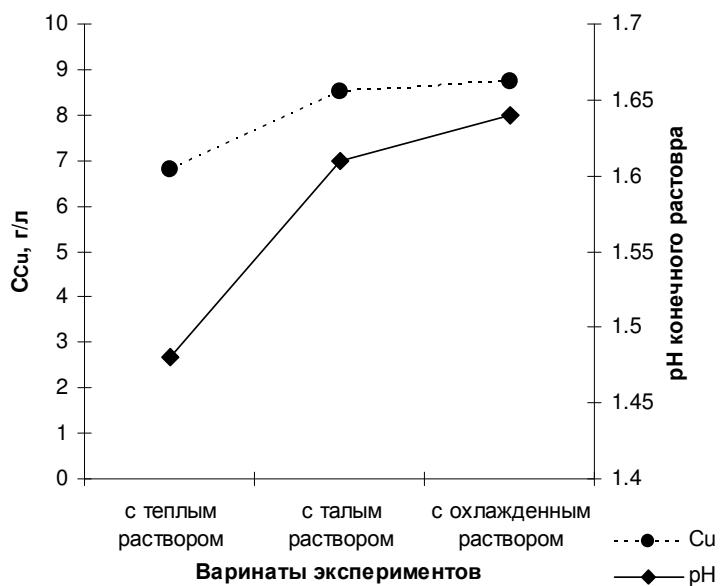


Рис. 3. Зависимость концентрации меди и уровня pH конечных растворов при выщелачивании раствором с исходным pH=1.

Слабокислые охлажденные растворы ($T=+0,5^{\circ}\text{C}$), pH которых равен 2 и 3 (рис. 1, 2) менее интенсивно выщелачивают медь, в этом случае более эффективно проходит реакция руды с талым ($T=+7\pm1^{\circ}\text{C}$) раствором, нежели с теплым ($T=+20\pm1^{\circ}\text{C}$) или охлажденным, что может быть определено его большой химической реактивностью. Такая особенность выщелачивания окисленных руд слабокислыми растворами позволяет предположить, что подтаивание природных замерзших вод приводит к резкой интенсификации процессов выщелачивания и перехода подвижных форм меди в раствор.

Теплый раствор серной кислоты независимо от степени кислотности не дает самых высоких показателей, из чего можно заключить, что снижение температуры раствора при первоначальном контакте с рудой способствует интенсификации процесса выщелачивания.

Кроме того, на рисунках 1-3 прослеживается зависимость количества выщелоченной меди и количества израсходованной кислоты: чем больше меди извлекается из руды, тем большее количество серной кислоты расходуется на этот процесс, соответственно, и кислотность конечного раствора ниже.

Анализ интенсивности выщелачивания при первоначальном контакте руды с теплым, талым или охлажденным раствором кислоты, позволяет заключить, что охлажденный сернокислотный раствор при некоторых условиях, является более эффективным реагентом, нежели теплый или талый раствор. Талый раствор, химически более реактивный интенсифицирует выщелачивание по сравнению с теплым раствором. Наличие охлажденных и талых подкисленных растворов в естественных условиях Удоканского месторождения, расположенного на севере Забайкальского края, позволяет предположить возможность протекания процессов выщелачивания окисленных руд.

Таким образом, переход меди из окисленной удоканской руды в раствор при выщелачивании в условиях отрицательных температур, идет более высокими темпами при первоначальном контакте руды с охлажденным, либо талым раствором, меньше концентрация меди в конечном растворе при выщелачивании с первоначальным контактом руды с теплым раствором. Теплый раствор при первоначальном контакте с рудой не дает самых высоких показателей, независимо от кислотности исходного раствора.

В любом случае взаимодействие окисленных удоканских руд с подкисленными растворами $\text{pH} \leq 3$ в экспериментах дает концентрацию меди в конечном растворе порядка 0,67 г/л и выше, что позволяет предположить, что наличие подкисленных растворов в естественных условиях в зоне окисления сульфидных месторождений, создает условия для миграции меди в подземных и поверхностных водах в концентрациях превышающих ПДК, для питьевых вод это 0,1 мг/л, для вод рыбохозяйственного назначения 0,001 мг/л [4, 5]. В свою очередь, наличие растворов с

уровнем рН=3 и ниже, а также протекание вышеуказанных процессов в зоне криогипергенеза представляется возможным, поскольку в современной литературе встречаются данные, где сернокислые воды горнопромышленных ландшафтов (рН 1,5 – 3,5) содержат до 20 мг/л меди [2].

Современное состояние Удоканского месторождения характеризуется наличием разведочных штолен и отвалов пустых пород и забалансовых руд. При этом количество горнопромышленных отвалов на данном этапе не так велико, как при промышленной добыче руды открытым способом, что и планируется на Удокане.

В пробах природных поверхностных вод на участке Западный, отобранных при проведении полевых работ в 2010 году зафиксированы концентрации меди до 0,2 мг/л. Анализ проведен в ИПРЭК СО РАН, аналитик С.В. Борзенко. Отработка месторождения приведет к увеличению доли горнопромышленных отвалов с содержанием окисленных руд, что будет способствовать интенсификации процессов выщелачивания за счет более легкого контакта большого количества сульфатов и карбонатов меди с природными водами.

Литература

1. Иванов А.В., Базарова В.Б. Химическое выветривание пирита с водой и различными водными растворами при положительных и отрицательных температурах. – В кн.: Миграция химических элементов в криолитозоне. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 115-123.
2. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. Учебное пособие. Издание 3-е переработанное и дополненное – М.: Астрея, 2000, 1999. – 768 с.
3. Птицын А.Б. Геохимия криогенных зон окисления / А.Б. Птицын, В.А. Абрамова, Т.И. Маркович, Е.С. Эпова – Новосибирск: Наука, 2009. – 88 с.
4. СанПиН 2.1.4.1074-01 – Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Санитарные правила и нормы. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2001. – 89 с.
5. Сборник ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. – М.: Отдел оперативной печати и информации химического факультета МГУ, 1995. – 124 с.
6. Фрумин Г.Т., Жаворонкова Е.И. Токсичность и риск воздействия металлов на гидробионтов. // Экологическая химия, 2003. – № 12 (2). – С. 93-96.
7. Щербина В.В. Миграция элементов и процессы минералообразования. – М.: Наука, 1980. – 285 с.
8. Эпова Е.С. Геохимические аспекты образования подвижных форм меди в криогенной зоне окисления // Современные проблемы геохимии: Материалы конференции молодых ученых. – Иркутск: Изд-во УРАН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2009. – С. 190-194.

3. БИОГЕОХИМИЯ БИОТЫ В ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТАХ И ЗОНЕ ГЕОТЕХНОГЕНЕЗА

ВИСМУТ И СВИНЕЦ В ПОЛЫНИ ГМЕЛИНА (*ARTEMISIA GMELINII*) В ПРИРОДНО- ТЕХНОГЕННОМ ЛАНДШАФТЕ ШЕРЛОВОГОРСКОГО ГОРНОРУДНОГО РАЙОНА

Д.Н. Горбань¹, М.А. Солодухина², Г.А. Юргенсон³, Р.А. Филенко⁴

¹ Забайкальский государственный гуманитарно-педагогического университет им. Н.Г. Чернышевского

² Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

BISMUTH AND LEAD IN (*ARTEMISIA GMELINII*) IN THE NATURE-TECHNOGENIC LANDSCAPE OF SHERLOVOGORSKIY MINING AREA

D.N. Gorban¹, M.A. Solodykhina², G.A. Yrgenson², R.A. Filenko²

¹ZabSPU, Chita, Russia

²Institute of Natural Resources, Ecology and Criology SB RAS, Chita, Russia, inrec.sbras@mail.ru

Установлено, что содержание свинца в почвах района превышает кларк в 17.19, а висмута в 499.5 раз. Изучены особенности поведения свинца и висмута в полыни Гмелина. Обнаружено, что КБП свинца полынью Гмелина выше в 100 раз, чем КБП висмута.

It is established, that the maintenance of lead in ground of area is exceeded by clark at 17.19, and bismuth in 499.5 times. Features of behaviour of lead and bismuth in (*Artemisia gmelinii*) are studied. It is revealed, that factor of biological absorption of lead (*Artemisia gmelinii*) above in 100 times, than factor of biological absorption of bismuth.

Введение

На примере полыни Гмелина сделана попытка выяснить, в каких количествах и в каких органах этого растения накапливаются Bi и Pb. Для этого растения первые сведения о накоплении им мышьяка, свинца, цинка, молибдена, вольфрама имеются в опубликованной литературе [9, 10]. Установлено, что указанные химические элементы накапливаются полынью Гмелина не одинаково [13]. Выявлено, что коэффициент биологического поглощения их, в основном, не зависит от валового содержания в почвах. Поведение висмута в полыни Гмелина, как мало изученного с геохимической и биогеохимической точек зрения впервые дано в [3]. Свинец по химическим свойствам близок к висмуту, поэтому он был выбран для сравнительного изучения накопления в полыни Гмелина.

Шерловогорский горнорудный район находится на юго-востоке Забайкальского края и представляет собой типичный природно-техногенный ландшафт, в состав которого входит карьер, хвостохранилище, отвалы бедных и забалансовых руд, а также группу месторождений, образовавшихся в процессе функционирования Шерловогорской рудно-магматической системы. Кроме того, природно-техногенным ландшафтом является система разномасштабных выработок, неоднократно проходившихся в почти трехсотлетней истории добычи камнесамоцветного сырья в пределах Шерловогорского гранитного массива, содержащего коренные месторождения олова, вольфрама, бериллия и висмута. Компонентами природно-техногенного ландшафта стали и конусообразные отвальные хвосты разработки кассiterит-вольфрамит-бисмутитовых россыпей падей Заводская и её притока Рудничная. Россыпи разрабатывались начиная с 1916 года по начало 1960-х.

Природную геохимическую аномалию района определяет Шерловогорская рудномагматическая система, которая включает три месторождения. Одно из них – одноименное месторождение олова, вольфрама, висмута и бериллия. Другой составной частью этой рудномагматической системы являются оловополиметаллическое месторождение Сопка Большая и собственно полиметаллическое – Восточная аномалия [13].

Район исследования относится к степной зоне. Формирование почв происходило под воздействием своеобразных природных условий: близкое залегание коренных пород, наличие многолетней и длительно–сезонной мерзлоты, широкое распространение процессов выветривания, а также эоловых и других эрозионных процессов [5].

Под сухой редкотравной степью в условиях сухого климата образуются каштановые почвы, представляющие собой переходный тип от черноземов умеренно-сухих степей к сероземам

пустынь. Содержание гумуса в аккумулятивном горизонте не превышает 2-5 %, что придает ему каштановую окраску. Для каштановых почв характерно развитие злаковой и полынной растительных группировок. Большая его часть – зона недостаточного увлажнения [8].

В 1993 году закрыт горно-обогатительный комбинат, и работы по добыче и переработке олово-полиметаллических руд были остановлены. Техногенные массивы, которые явились следствием работы комбината, стали ареной геотехногенеза. Они постепенно стали зарастать пионерными растениями, такими, как полыни, дендрантемы, мак голостебельчатый, кипрей, тополя, березы и другими.

С целью познания влияния токсичных элементов на дикорастущие растительные сообщества, произрастающие в пределах интенсивных природных и геотехногенных геохимических аномалий, изучается биогеохимия растений на территории Шерловогорского горнорудного района.

В качестве одного из информативных объектов исследования выбрана полынь Гмелина (*Artemisia gmelinii*) как пионерное растение, осваивающее техногенно-нарушенные территории. На примере этого растения рассмотрено поведение висмута и свинца в ее органах. Висмут и свинец близки по своим свойствам, но различаются по степени токсичности. Висмут, менее токсичный чем свинец, относится к химическим элементам, роль которых в растениях слабо изучена. В полыни Гмелина содержание его изучено впервые. Поэтому изучение концентраций этих элементов в различных органах полыни Гмелина представляется достаточно важным.

Материалы и методы

На каждом участке наблюдения проведены по точкам, хорошо изученным в геологическом отношении. Здесь отбраны объединенные пробы доминантных видов растений из каждого яруса, которые встречаются на всех участках. Отбор почвенных проб произведен в соответствии с ГОСТ 17.4.4. 02-84, по искусственным обнажениям. Растения разделяли на органы. Корни и наиболее запыленные части растений промывали сначала струей проточной воды, а затем дистиллированной, и высушивали до воздушно-сухого состояния. Химический анализ растений произвели методом массспектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрофотометре ICP-MC Eslan DRC II Perkin Elmer (США) в Хабаровском инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, аналитики В.Е. Зазулина, А.Ю. Будкина, Е.М. Голубева и Д.В. Авдеев. Анализ почвы произвели методом РФА в Геологическом институте СО РАН, аналитики Б.Ж. Жалсараев, Ж.Ш. Ричинова.

Висмут и свинец в почвах

Литературных данных о содержании висмута в почвах немного. По Боузну [15], среднее содержание висмута в почвах составляет приблизительно 0.2 мг/кг [7].

Содержание Pb в поверхностном слое почв США составляет в среднем 20 мг/кг.

Среднюю концентрацию Pb в поверхностном слое почв в глобальном масштабе можно, вероятно, оценить 25 мг/кг [7]. Кларк свинца в почвах мира по А.П. Виноградову равен 10 мг/кг [6]. В России значение ПДК для свинца весьма жесткое 30 мг/кг [1].

Висмут – малораспространенный элемент. Его кларк составляет 0.0002 (10^{-5} %) [13].

По полученным данным средние содержания висмута и свинца в почвах и почво-грунтах Шерловогорского горнорудного района значительно превышают кларк, в 499.5 и 17.19 раз соответственно (табл. 1). Основные формы нахождения свинца в почвах и почво-грунтах (по убыванию) – галенит, церуссит, англезит, миметит, вульфенит. Висмут находится в виде бисмутита, бисмутинита, в виде примесей в галените, в заварицките. Кроме того, как свидетельствуют

Таблица 1

Свинец и висмут в почвах Шерловогорского горнорудного района

Элементы	x, мг/кг	σ	σ/x	x/кларк	x/ПДК	n
Pb	171.9	109.4	0.63	17.19	5.73	25
Bi	99.7	134.6	1.35	499.5	не нормируется	

Висмут и свинец в полыни Гмелина

Распределение висмута в растениях изучено слабо. По оценкам Боузна [15], среднее содержание висмута в наземных растениях не превышает 0.02 мг/кг сухой массы, а в съедобных частях растений составляет 0.06 мг/кг сухой [7].

Хотя в природных условиях Pb присутствует во всех растениях, выявить какую-либо особую его роль в метаболизме не удалось. Бройер и др. [16] провели обзор этого вопроса и пришли к выводу, что если свинец и необходим для растений, то его концентраций на уровне 2-6 мкг/кг должно быть уже достаточно. Естественные уровни содержаний свинца в растениях из незагрязненных и безрудных областей, по-видимому, довольно постоянны и лежат в пределах 0.1-10.0 мг/кг сухой массы (среднее 2 мг/кг) [14, 17]. Содержания свинца в съедобных частях растений, произрастающих в незагрязненных областях, по данным разных авторов, опубликованным в 1970-1980 годах, составляют 0.00-0.08 мг/кг влажной массы, 0.05-3.0 мг/кг сухой массы и 2.7-94.0 мг/кг золы [7].

Пределы варьирования содержания свинца в степной растительности Забайкалья Pb 0.59-2.70 [11]. Токсичная концентрация в листьях 30-300 [7, 4].

Анализ данных, приведенных на рисунке, показал, что концентрации висмута в органах полыни Гмелина распределяются следующим образом: максимальные их значения присущи корням, стебли содержат существенно меньшие его количества, в листьях они вновь возрастают и уменьшаются в цветах-плодах. Содержание свинца в органах полыни Гмелина характеризуется аналогичной тенденцией. В распределении содержаний свинца эта тенденция проявлена ярче.

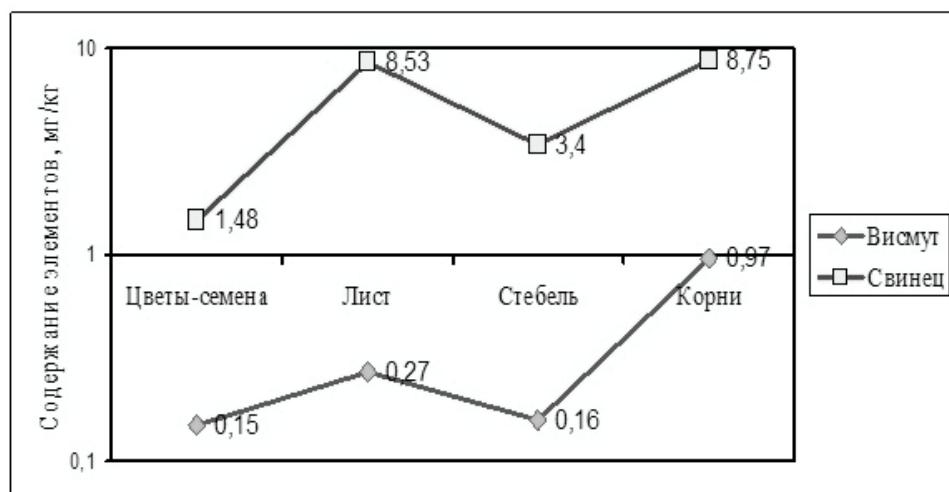


Рисунок. Содержание свинца и висмута в органах полыни Гмелина.

В целом наблюдаются неравномерные содержания свинца и висмута в полыни Гмелина. Это может быть связано с типом минерализации на разных участках отбора проб, которая определяет валовые содержания элементов в почве (табл. 1).

Приведенные данные в табл. 2 свидетельствуют о том, что КБП свинца полынью Гмелина выше в 100 раз, чем висмута. Здесь максимальный КБП характерен для корней и листьев. Поглощение висмута цветами-плодами и стеблями полыни Гмелина не значительное. Сходная тенденция сохраняется и для свинца.

Таблица 2

Название растения	Число проб	Орган растения	Висмут	Свинец
			Коэффициент биологического поглощения	
Полынь Гмелина (<i>Artemisia gmelinii</i>)	25	Цветы-плоды	0.001	0.01
		Листья	0.002	0.04
		Стебель	0.001	0.01
		Корень	0.009	0.05

Выводы

Избирательное поглощение висмута и свинца отдельными органами полыни Гмелина может указывать на наличие у нее барьерных механизмов. В целом, можно полагать, что висмут и свинец, легко усваиваются корневой системой полыни Гмелина. Но, не задерживаются в ней,

передвигаются через стебли, не накапливаясь в проводящих тканях, они движутся к листьям, где происходит фотосинтез. Но содержание свинца в органах, обеспечивающих наследственность и чистоту вида (цветы–плоды), контролируются организмом полыни Гмелина, и не превышает меру фоновых значений. Однако концентрации висмута в цветах-плодах превышают кларк в 10 раз.

Формы передвижения висмута в самих растениях неизвестны и требуют постановки специальных исследований.

Содержание свинца в органах полыни Гмелина выше, чем висмута, что может указывать на разную степень биофильности этих элементов.

Литература

1. Большаков В.А., Белобров В.П., Шишов Л.Л. Словарь. Термины, их краткое определение, справочные материалы по почвенной экологии, географии и классификации почв. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. – 138 с.
2. Юргенсон Г.А., М.А. Солодухина, А.А. Смирнов. К проблеме биологического поглощения вольфрама, молибдена и мышьяка растениями на примере полыни Гмелина // Вестник Забайкальского центра Российской академии естественных наук. Общественно – научный журнал. Издание ЧГУ №1. 2009. – С. 16-21.
3. Виноградов А.Н. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 279 с.
4. Гудкова О.В., Юргенсон Г.А. Содержание тяжелых металлов в полыни Гмелина на территории Шерловогорского горнорудного района // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды II Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и VIII Чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование» 24-27 ноября 2008 г. Россия. Чита, 2008. – С. 56-58.
5. Гудкова О.В., Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Будкина А.Ю., Голубева Е.М. Биогеохимические исследования в районе Шерловогорского горнорудного района // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды I Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и VII Чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование» 7–10 ноября 2006, г. Россия. Чита, 2006.– С. 114-118.
6. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
7. Кабата – Пендас А., Пендас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
8. Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. – М.: Издательство «Наука», 1964. – 315 с.
9. Смирнов А.А., Г.А. Юргенсон., М.А. Солодухина., О.В. Гудкова Первые данные о биогеохимических особенностях концентраций вольфрама в растениях Шерловогорского горнорудного района // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды I Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и VII Чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование» 7–10 ноября 2006, г. Россия. Чита, 2006.– С. 135-139.
10. Солодухина М.А., Юргенсон Г.А., Смирнова О.К. Мышиак в полыни Гмелина Шерловогорского горнорудного района // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды II Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и VIII Чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование» 24 – 27 ноября 2008 г. Россия. Чита, 2008. – С. 83-87.
11. Убугунов В.Л., Кашин В.К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – 128 с.
12. Горбань Д.Н. Сравнительное изучение содержания висмута и свинца в полыни Гмелина в природно-техногенном ландшафте Шерловогорского горнорудного района // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. Выпуск 13: в 2 т. / отв. Ред. В.В. Аношин. – Абакан: Издательство Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, 2009. – Т. I. – 232 с.
13. Юргенсон Г.А., Малышева Е.В. Молибден в полыни Гмелина на территории Шерловогорского горнорудного района // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды II Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и VIII Чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование» 24 – 27 ноября 2008 г. Россия. Чита, 2008. – С. 74-76.
14. Allaway W. H., Control of the environmental levels of selenium, in: Trace Subst. Environ. Health, Vol. 2, Hempill D. D., Ed., University of Missouri, Columbia, Mo., 1968, 181.

15. Bowen H. J. M., *Environmental Chemistry of the Elements*, Academic Press, New York, 1979, 333.
16. Broyer T. C., Johnson C. N., Paull R. E., *Some aspects of lead in plant nutrition*, *Plant Soil*, 36, 301, 1972.
17. Cannon H. L., *Lead in vegetation*, in: *Lead in the Environment*, Lovering T. G., Ed., U. S. Geol. Surv. Prof. Pap., 957, 23, 1976.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ ХИЛОКСКОЙ ВПАДИНЫ ЗАБАЙКАЛЬЯ

С.Г. Дорошкевич

Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия, sv-dorosh@mail.ru

BIOGEOCHEMICAL FEATURES OF NATURAL LANDSCAPES OF THE HILOKSKY HOLLOW OF TRANSBAIKALIA

S.G. Doroshkevich

Geological institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Ulan-Ude, Russia,
sv-dorosh@mail.ru

Distribution of some chemical elements in natural landscapes of the Hiloksky hollow of Transbaikalia is shown. Taking into account a relief, lithology of rocks and quaternary deposits, versions of soils, vegetation and migration classes it is allocated four types of a landscape: mountain-taiga, mountain forest-steppe, mountain steppe, inundated. The given types of landscapes as a whole are characterised by the raised maintenances rather clarke Pb, Nb, Ba, La, F, lowered – Be, Ni, Sn, Cr, Li. Intensity of biological circulation decreases from mountain-taiga to forest-steppe, steppe and inundated landscapes.

Биогеохимические циклы определяют обмен химических элементов между организмами и окружающей средой на поверхности Земли. Увеличивающееся антропогенное воздействие на окружающую среду на локальном, региональном и глобальном уровнях требует понимания механизмов определяющих устойчивость биосфера и ее компонентов. Забайкалье характеризуется высоким минерально-сырьевым потенциалом, что, в свою очередь, обуславливает формирование определенных типов геохимических ландшафтов. В связи с этим требуется исследование влияния геологических процессов, факторов почвообразования на содержание химических элементов в компонентах ландшафтов. При этом особое внимание заслуживают микроэлементы, которые более чутко реагируют на действия природных и антропогенных факторов, определяющих их содержание в биосфере.

Хилокская впадина Бурятии представляет собой степь с отдельными плоскими возвышенностями. Ширина впадины от 5 до 15 км. Она имеет асимметричный профиль, её северные склоны более крутые, чем южные. Среди её холмистого рельефа встречаются небольшие плоские равнины – реликты древних озер. Значительная часть впадины занята поймой р. Хилок. Климат района – резко континентальный с жарким сухим летом (максимальная температура +38⁰ С) и малоснежной холодной зимой (минимальная температура -45⁰ С). Среднегодовая температура от -5 до -8⁰ С. Годовое количество осадков составляет 250-300 мм, больше половины которого приходится на июль-август. Снежный покров устанавливается в середине октября и стаивает в мае. Сезонное промерзание достигает 2,5 м, местами соединяясь с островной многолетней мерзлотой [1].

С учетом рельефа, литологии коренных пород и четвертичных отложений, разновидностей почв, растительности и классов миграции выделено четыре типа ландшафта: горно-таежный, горный лесостепной, горный степной, пойменный. Горно-таежный и горный лесостепной ландшафты характерны для эрозионно-денудационного рельефа, а горный степной и пойменный – для эрозионно-аккумулятивного рельефа.

Горно-таежный (ГТ) ландшафт с островной мерзлотой преобладает над всеми остальными. Он сформирован горными сооружениями – Малханским и Заганским хребтами. Горно-таежный ландшафт подразделен на четыре подтипа, последовательно сменяющие друг друга от водоразделов к долинам рек. Сформирован на гранитоидах бичурского и джидинского комплекса, вулканитах тамирской свиты. Почвообразующие породы представлены элювиальными (Э), делювиальными (Д) и коллювиальными (К) четвертичными отложениями. Почвы – горные дерново-таежные, дерново-лесные, местами оподзоленные, глубокопромерзающие, малогумусные.

Таблица 1

Геохимическая характеристика ландшафтов

Тип ландшафта	Средние содержания элементов в 0-10 см слое почвы, мг/кг														ПЭО					
	Mn*	Cr*	Ni*	Co*	V*	Mo*	Cu*	Pb*	Zn*	Sn	Zr	Nb	Be	La	Ba*	P	Li	F*	Sr*	
ГТ по водоразделам на Эп-К отлож.	<u>1540</u> 1,8	<u>40</u> 0,2	<u>26</u> 0,7	<u>16</u> 1,65	<u>92</u> 0,9	<u>2,1</u> 1,1	<u>28</u> 1,4	<u>26</u> 2,6	<u>54</u> 1,1	<u>3,0</u> 0,3	<u>250</u> 0,83	<u>24</u> 1,2	<u>3,4</u> 0,6	<u>30</u> 0,8	<u>880</u> 1,8	<u>760</u> 0,95	<u>32</u> 1,1	<u>290</u> 1,4	-	4,6
ГТ по склонам на Д-К отлож.	<u>2000</u> 2,4	<u>45</u> 0,2	<u>25</u> 0,6	<u>17</u> 1,7	<u>100</u> 1,0	<u>2,5</u> 1,3	<u>30</u> 1,5	<u>30</u> 3,0	<u>58</u> 1,2	<u>2,5</u> 0,25	<u>350</u> 1,0	<u>20</u> 1,0	<u>4,0</u> 0,7	<u>30</u> 0,8	<u>900</u> 1,8	<u>800</u> 1,0	<u>30</u> 1,0	<u>300</u> 1,0	-	6,2
ГТ по склонам на Эп-Д-К отлож.	<u>1600</u> 0,9	<u>43</u> 0,2	<u>21</u> 0,5	<u>12</u> 1,2	<u>86</u> 0,9	<u>1,7</u> 0,9	<u>18</u> 0,9	<u>30</u> 3,0	<u>50</u> 1,1	<u>3,3</u> 0,3	<u>440</u> 1,5	<u>23</u> 1,2	<u>4,0</u> 0,7	<u>33</u> 0,8	<u>860</u> 1,8	<u>900</u> 1,1	<u>30</u> 1,1	<u>370</u> 1,0	-	4,2
ГТ по склонам на Д-К отлож.	<u>830</u> 0,98	<u>40</u> 0,2	<u>25</u> 0,6	<u>11</u> 1,1	<u>90</u> 0,9	<u>2,1</u> 1,0	<u>24</u> 1,2	<u>28</u> 2,8	<u>53</u> 1,1	<u>4,0</u> 0,4	<u>300</u> 1,0	<u>25</u> 1,3	<u>3,0</u> 0,5	<u>30</u> 0,8	<u>750</u> 1,5	<u>950</u> 1,5	<u>30</u> 1,5	<u>290</u> 1,0	-	2,8
ГЛС на Д-II отлож.	<u>600</u> 0,7	<u>54</u> 0,3	<u>21</u> 0,5	<u>13</u> 1,3	<u>88</u> 0,9	<u>1,6</u> 0,8	<u>20</u> 1,0	<u>23</u> 2,3	<u>50</u> 1,1	<u>3,2</u> 0,3	<u>250</u> 0,8	<u>23</u> 1,2	<u>3,6</u> 0,8	<u>30</u> 0,6	<u>750</u> 0,8	<u>600</u> 1,5	<u>37</u> 1,5	<u>400</u> 1,2	-	2,3
ГЛС на ОА, Э отлож.	<u>530</u> 0,6	<u>28</u> 0,15	<u>14</u> 0,4	<u>9</u> 0,9	<u>66</u> 0,7	<u>1,2</u> 0,6	<u>18</u> 0,9	<u>27</u> 2,7	<u>40</u> 0,7	<u>2,0</u> 0,2	<u>270</u> 0,9	<u>20</u> 1,0	<u>3,7</u> 0,6	<u>33</u> 0,6	<u>930</u> 0,8	<u>430</u> 1,9	<u>23</u> 0,9	<u>300</u> 0,5	-	1,1
ГС на Э-Д-II отлож.	<u>700</u> 0,8	<u>46</u> 0,2	<u>23</u> 0,6	<u>14</u> 1,4	<u>90</u> 0,9	<u>1,2</u> 0,6	<u>16</u> 0,6	<u>24</u> 0,75	<u>36</u> 2,4	<u>3,4</u> 0,7	<u>400</u> 1,3	<u>20</u> 1,0	<u>3,8</u> 0,6	<u>34</u> 0,8	<u>700</u> 1,0	<u>350</u> 1,4	<u>30</u> 1,4	<u>350</u> 0,4	<u>850</u> 1,0	3,4
ГС на ОА отлож.	<u>670</u> 0,8	<u>35</u> 0,18	<u>27</u> 0,7	<u>17</u> 0,8	<u>80</u> 0,7	<u>1,3</u> 1,0	<u>20</u> 2,2	<u>22</u> 0,8	<u>42</u> 1,0	<u>2,3</u> 0,23	<u>300</u> 1,0	<u>27</u> 1,4	<u>4,0</u> 0,7	<u>40</u> 1,0	<u>800</u> 1,6	<u>700</u> 1,0	<u>30</u> 0,9	<u>400</u> 1,0	-	2,5
ПЛ	<u>650</u> 0,9	<u>39</u> 0,2	<u>21</u> 0,5	<u>12</u> 1,2	<u>91</u> 0,9	<u>1,5</u> 0,75	<u>19</u> 0,95	<u>30</u> 3,0	<u>43</u> 0,8	<u>3,0</u> 0,3	<u>350</u> 1,2	<u>24</u> 1,2	<u>4,1</u> 0,7	<u>35</u> 0,9	<u>880</u> 1,8	<u>580</u> 1,0	<u>31</u> 0,7	<u>350</u> 1,0	<u>910</u> 1,8	5,0

* Элементы I, II, III классов опасности; ПЭО – природная экологическая опасность.

Таблица 2

Коэффициенты биологического поглощения по типам ландшафтов

Тип ландшафта	КБП												Показатель интенсивности							
	Mn*	Cr	Ni	Co	V	Mo*	Cu*	Pb*	Zn*	Sn	Zr	Nb	Be	L _a	Ba	P	Li	Ti	Sr	
ГТ по водоразделам на Эл-К отлож.	1,2	1,5	0,6	1,0	1,3	5,0	4,5	1,0	4,0	2,7	1,0	1,6	0,7	-	0,9	7,1	-	1,1	0,6	15,7
ГТ по склонам на Д-К отлож.	4,4	1,2	4,0	0,9	0,5	6,0	6,2	0,5	1,2	0,9	0,5	0,5	0,6	-	0,6	15,0	-	0,6	2,1	18,3
ГТ по склонам на Эп-Д-К отлож	0,5	1,8	0,85	1,0	1,2	5,0	4,5	2,3	7,1	1,0	0,8	1,3	0,5	-	1,1	28,0	-	0,9	1,1	20,4
ГТ по склонам на Д отлож.	0,4	-	0,4	-	0,2	15,0	0,3	-	3,3	-	0,1	-	-	-	0,1	110,0	-	0,1	1,0	18,7
ГЛС на Д-II отлож.	0,9	0,9	0,6	-	0,4	6,6	1,7	1,0	2,1	-	-	1,3	0,5	0,9	0,6	7,1	1,4	0,7	1,0	12,3
ГЛС на ОА, Э отлож.	0,6	0,1	0,2	-	0,1	9,1	0,9	0,2	3,1	-	0,1	-	-	-	0,3	67,1	-	0,1	1,0	13,9
ГС на Э-Д-II отлож.	0,9	0,7	0,6	-	0,3	4,0	1,4	1,0	1,1	-	-	1,5	0,5	0,9	0,6	14,5	1,0	0,8	0,8	8,4
ГС на ОА отлож.	1,0	0,8	0,5	-	0,5	3,3	1,5	1,2	2,0	-	-	1,2	0,5	0,8	0,6	22,0	1,0	1,0	0,9	9,0
ПД	0,6	-	0,2	-	0,1	4,0	0,8	0,5	3,3	-	0,1	-	-	-	-	100,0	-	0,1	1,0	9,2

*Элементы активно потребляемые и накапливаемые растениями по Бурятии [3]; - не определялись.

Растительность представлена кедром, лиственницей, елью, сосной по травяно-моховому покрову и травяно-брусличному с рододендроном даурским. Класс миграции – кислый. Для почв горно-таежного ландшафта характерны повышенные значения концентрации Pb, Nb, Ba, La, Co, Mn, F и пониженные значения относительно кларка [2] - Li, Be, Ni, Sn, Cr, V (табл. 1). Аддитивный показатель кларков концентрации (природный показатель экологической опасности) химических элементов I и II классов опасности горнотаежного ландшафта находится в пределах 2,8-6,2; более высокое значение указывает на достаточно высокий природный фон отдельных элементов.

Горные лесостепи (ГЛС) расположены гипсометрически ниже горно-таежного ландшафта и представлены двумя подтипами, характеризуются средне-низкогорным рельефом. Сформирован на мезозойских вулканитах и гранитоидах джидинского комплекса. Наиболее распространенными типами почв являются дерново-серые, серые лесные глубокопромерзающие почвы на коллювиальных, делювиальных, пролювиальных (П) озерно-аллювиальных (ОА), эоловых (Э) отложениях. Растительность представлена сосной с примесями березы, осины и хорошо развитым травянистым покровом. Повышенный природный фон наблюдается по Pb, Nb, F, La, Ba и пониженными Cr, Sn, Ni, Be, Mn. Природный показатель экологической опасности ландшафта невысокий.

Горные степи (ГС) последовательно сменяют горные лесостепи, располагаясь гипсометрически ниже. Ландшафты степей также подразделены на два подтипа. Для него характерен низкогорный рельеф. Сформирован на делювии, пролювии, аллювии и озерных отложениях. Почвы ландшафта в основном каштановые мучнисто-карбонатные. Растительность разнотравно-типчаково-полынная. Для ландшафта характерен повышенный природный фон Nb, Pb, La, F, Ba, пониженный – Ni, Be, Mo, Li, Cr, Sn. Природная экологическая опасность средняя.

Пойменные ландшафты (ПЛ) расположены по низкой и высокой поймам рек, выполненных аллювиальными отложениями. Растительность – лугово-тальниковая на аллювиально-луговых и аллювиально-дерновых, местами лугово-болотных глубокопромерзающих почвах. Геохимический спектр ландшафта представлен повышенными концентрациями Sr, Pb, Nb, La, Ba, F, Co, Zn, Cu; пониженными – Mn, Mo, Be, P, Ni, Li, Sn, Cr. Природная экологическая опасность достаточно высока, и, возможно, увеличена за счет техногенной нагрузки.

Биологический круговорот вещества в системе почва-растительность служит важным показателем самоочищающих возможностей ландшафтов, их устойчивости к техногенному прессу. Нами посчитаны коэффициенты биологического поглощения и интенсивность (сумма коэффициентов) биологического поглощения по марганцу, меди, молибдену, свинцу и цинку (табл. 2). Эти элементы являются по Бурятии наиболее активно потребляемыми и накапливаемыми растениями [3]. Интенсивность биологического круговорота уменьшается от горно-таежного (20,4-15,7) к лесостепным (13,9-12,3), степным (9,0-8,2) и пойменным (9,0) ландшафтам. Этот условный показатель указывает на более низкую самоочищающую возможность лесостепных, степных и пойменных ландшафтов и их низкую устойчивость к техногенной нагрузке.

Таким образом, геохимическая обстановка ландшафтов Хилокской впадины Забайкалья в целом характеризуются повышенными содержаниями относительно кларка Pb, Nb, Ba, La, F и пониженными – Be, Ni, Sn, Cr, Li. Природная экологическая опасность находится в пределах от высокой (5-6), до низкой (1). Характерной особенностью природного фона является постепенное снижение данного показателя от водоразделов к долинам рек и некоторым повышением по поймам. Интенсивность биологического круговорота уменьшается от горно-таежного к лесостепным, степным и пойменным ландшафтам.

Литература

1. Атлас Забайкалья. – М.: ГУТК при Совете министров СССР, 1967. – 176 с.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
3. Иванов Г.М. Микроэлементы-биофили в ландшафтах Забайкалья. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. – 239 с.

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗНОВИДНОСТЕЙ ОЗЕРНЫХ САПРОПЕЛЕЙ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

Г.А. Леонова, В.А. Бобров, С.К. Кривоногов

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия,
leonova@uiggm.nsc.ru

BIOGEOCHEMICAL CHARACTERISTIC OF LAKE SAPROPELS VARIETES OF SIBERIAN REGION

G.A. Leonova, V.A. Bobrov, S.K. Krivonogov

Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
leonova@uiggm.nsc.ru

Химический состав донных отложений позволяет дифференцировать продукты озерного литогенеза с выделением следующих групп [9]: 1) минеральные, 2) органо-минеральные, 3) органические.

Группу минеральных осадков составляют высокозольные (зольность выше 85%, С_{опр} 1-3 %) с низкой влажностью и малым количеством органических веществ (OB) озерные пески, глины, мергелистые глины и озерные мергели. В формировании минеральных осадков основное участие принимает привнесенный извне обломочный материал. Группу органо-минеральных осадков составляют глинистые и сапропелевые илы (зольность 62-84%, С_{опр} 4-18%). Они представляют продукт совместного осаждения OB, образовавшегося внутри водоема и привнесенного в водоем органического и минерального материала. Группу органических осадков составляют малозольные (зольность 14-24 %, С_{опр} в среднем 34%) дегритовые сапропели и торфосапропели.

Наибольший интерес для нас представляют органические озерные осадки, которые известный специалист в области биостратиграфии сапропелей – Нина Витальевна Кордэ [5] делит на собственно сапропели, содержащие более 50% OB и на сапропели, обедненные до 5-50% OB.

На основе полученных к настоящему времени аналитических данных по микроэлементному составу осадков исследованных озер сибирского региона [1-2, 6-8] с геохимической точки зрения мы выделяем четыре разновидности сапропелей.

Первая разновидность озерных осадков классифицируется нами как **высокальциевый (известковистый) сапропель** (табл. 1), который формируется, как правило, в мелководных стареющих озерах или на периферийных участках относительно молодых глубоких озер при непосредственном участии водной высшей растительности (макрофитов). Этот сапропель характеризуется высокими содержаниями Ca (20-25%), высокой зольностью 90-85% и низким процентным содержанием OB (10-15%). Примером образования высокальциевого сапропеля служит разрез голоценовых отложений оз. Белое, расположенного на юге Западной Сибири (Новосибирская область, 55° 23' с.ш; 82° 41' в.д.). Это неглубокое бессточное озеро характеризуется гиперфункцией фитоценоза – погруженные макрофиты *Ceratophyllum submersum* сплошным ковром покрывают всю поверхность дна. Методом ударного бурения в центральной части оз. Белое поднята ненарушенная колонка сапропеля длиной 2.5 м, возраст которого датирован по ¹⁴C в 5000 л.н. (Л.А. Орловой, ИГМ СО РАН). Сапропель простирается от поверхности донного осадка до глубины 150 см и с глубины 160-170 см подстилается голубовато-серым суглинком. К числу специфических элементов сапропеля оз. Белое являются Ca, Sr, P, As, Br, Mn [1]. Высокальциевый (известковистый) сапропель формируется в настоящее время не только в оз. Белом, но и оз. Кирек в прибрежных мелководных участках по периферии озера из макрофитов, обильно произрастающих до глубин 1-4 м.

Вторая разновидность органогенных озерных осадков классифицируется нами как **низкожелезистый планктоногенный сапропель** с содержанием Fe не более 2%, низкой зольностью (20-35%) и высоким содержанием OB (65%). Низкожелезистый сапропель формировался в оз. Белое в геологическом прошлом (слой керна 70-140 см, табл. 1) из фито- и зоопланктона. Это подтверждается результатами диатомового анализа, выполненного Натальей Владимировной Игнатовой [см. 10].

Таблица 1

Элементный состав сапропелей (мг/кг, % сухой массы) исследованных озер

Элемент	оз. Белое		оз. Кирек	оз. Очко
	Класс вод			
	гидрокарбонатный		гидрокарбонатный	сульфатный
	I разновидность высококальциевый макрофитогенный	II разновидность низкожелезистый планктоногенный	III разновидность высокожелезистый планктоногенный	IV разновидность чисто автохтонный планктоногенный
Зольн, %	80	35	47	20
Na, %	0.055	0.4	0.103	0.3105
Mg, %	1.28	—	0.5	0.2139
Al, %	0.126	2.6	—	1.91
P, %	0.089	—	0.88	0.154
K, %	0.044	0.4	1.8	0.1979
Ca, %	27.4	1.6	3.8	0.433
Sc	0.30	5.4	1.8	3.86
Ti, %	0.008	0.4	0.16	0.081
V	49	30	11	24
Cr	3	37	15	26
Mn, %	0.081	0.02	0.69	0.095
Fe, %	1.12	1.5	16	0.6679
Co	2.4	13	6	4.9
Ni	3	18	26	18
Cu	10	20	66	25
Zn	11	50	90	75
As	32	140	92	3.5
Se	—	2	—	0.33
Br	10	65	14	16
Rb	3	30	25	15
Sr	1820	200	130	62
Y	1.5	7	9	8
Zr	19	70	30	46
Nb	0.2	3	1.8	3
Mo	0.4	5	7	1.2
Cd	0.05	—	0.5	0.47
Sn	—	—	—	1.3
Sb	—	—	—	1.3
Cs	0.15	2	1	—
Ba	138	170	125	146
La	0.79	12	4.2	10
Ce	1.5	21	10.5	21
Pr	0.22	—	—	2.7
Nd	0.71	10	—	9
Sm	0.14	2	1.2	2
Eu	0.032	0.6	0.22	0.42
Gd	0.14	1.9	—	1.8
Tb	0.025	0.2	0.17	0.27
Dy	0.104	—	—	1.2
Ho	0.021	—	—	0.24
Er	0.06	—	—	0.67
Tm	0.0096	0.1	—	0.1
Yb	0.066	1.0	0.8	0.97
Lu	0.012	0.12	—	0.14
Hf	—	1.9	0.57	0.88
Hg	0.071	—	—	0.047
Pb	1.1	—	25	61
Th	—	2.6	1.3	3.4
U	0.22	—	—	1.29

Согласно ее данным в интервале 128-138 см (фаза 1) по глубине керна сапропеля оз. Белое основной фон (75%) составляли диатомовые водоросли обрастания, обильно развивающиеся в водах с низким содержанием минеральных солей, но богатых кальцием, при пониженном температурном режиме. В интервале 128-48 см (фаза 2) в составе диатомовой флоры получили наивысший расцвет перифитоновые умеренно теплолюбивые диатомеи. Эпифитные диатомеи в этот период, наряду с макрофитами, были основными продуцентами органического вещества в озере.

Третья разновидность органогенных озерных осадков классифицируется нами как **высокожелезистый планктоногенный сапропель** с содержанием Fe до 18% и средней зольностью на уровне 45-50% и более низкими содержаниями Ca (Sr) по сравнению со второй разновидностью сапропеля [8]. Этот сапропель формируется, как правило, в относительно глубоководных частях озер с обычным гидрокарбонатным классом вод, например в оз. Кирек (Западная Сибирь, юг Томской области, $56^{\circ} 10.93'$ с.ш., $84^{\circ} 22.94'$ в.д.) на глубинах 5-7 м, где отсутствуют заросли водной растительности, а обильно развит зоопланктон (*Eudiaptomus graciloides*, *Mesocyclops leuckarti*). Согласно литературным источникам [4] железистый сапропель широко распространен в голоценовых отложениях оз. Кирек.

Четвертая разновидность органогенных озерных осадков классифицируется нами как **чисто автохтонный планктоногенный сапропель**, формирующийся в озерах с ультрапресными термальными холодными водами сульфатного класса [2, 7]. Этот сапропель образуется в настоящее время в оз. Очки (Восточная Сибирь, Байкальский биосферный заповедник, $51^{\circ} 29.56'$ с.ш., $104^{\circ} 52.78'$ в.д.) на глубине около 5 м из доминирующих видов зоопланктона – индикаторов кислых вод (*Holopedium gibberum*, *Diaphanosoma brachyurum*).

На основе определения возрастов сапропелей исследованных озер (по ^{14}C – Л.А. Орлова, по ^{210}Pb и ^{137}Cs верхние горизонты – Бобров В.А.) рассчитаны скорости накопления органогенной компоненты. В оз. Белое они неодинаковы на разных горизонтах колонки (рис. 1), и это различие, очевидно, связано с изменением природно-климатических обстановок в районе расположения озера в течение последних 5 тыс. лет, что согласуется с данными по [10]. По нашим расчетам органогенная компонента сапропеля оз. Белое накапливалась со скоростью **2.5 мг/см²/год** в нижних слоях сапропеля, датированных возрастом ≈ 5200 лет. В вышележащих слоях сапропеля (возраст ≈ 2100 – 1300 лет) скорость накопления понизилась до **0.4 мг/см²/год**. В самых верхних горизонтах, накопившихся за последние 100 лет, скорость осадконакопления вновь возросла до **1.4-1.6 мг/см²/год**.

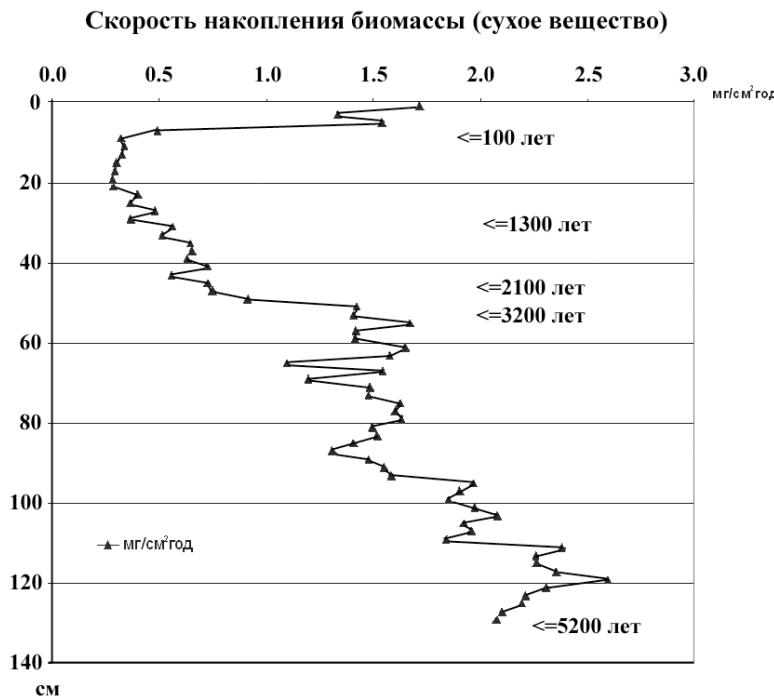


Рис. 1. Скорость накопления органогенной компоненты сапропеля макрофитового генезиса в оз. Белое.

Средняя скорость накопления 40-сантиметрового слоя сапропеля оз. Очкы за временной интервал в 900 лет (датирован по ^{14}C) составляла **2 мг/см}^2 в год**, а за последние 100 лет (верхние слои 0-7 см, датировано по ^{210}Pb и ^{137}Cs) увеличилась **до 6 мг/см}^2 в год** (рис. 2). Накопление неорганической (минеральной) компоненты в сапропеле оз. Очкы можно отождествить с потоком твердой фракции атмосферных выпадений (пыль) на поверхность водного зеркала, которая составляет не более **1.2 мг/см}^2 в год в XX-м веке** и соответственно **0.4 мг/см}^2/год в предыдущие 900 лет**. Скорость накопления органогенной компоненты составляет соответственно **4.8 мг/см}^2 в год (XX в.)** и **1.6 мг/см}^2 в год** (предшествующие 900 лет).

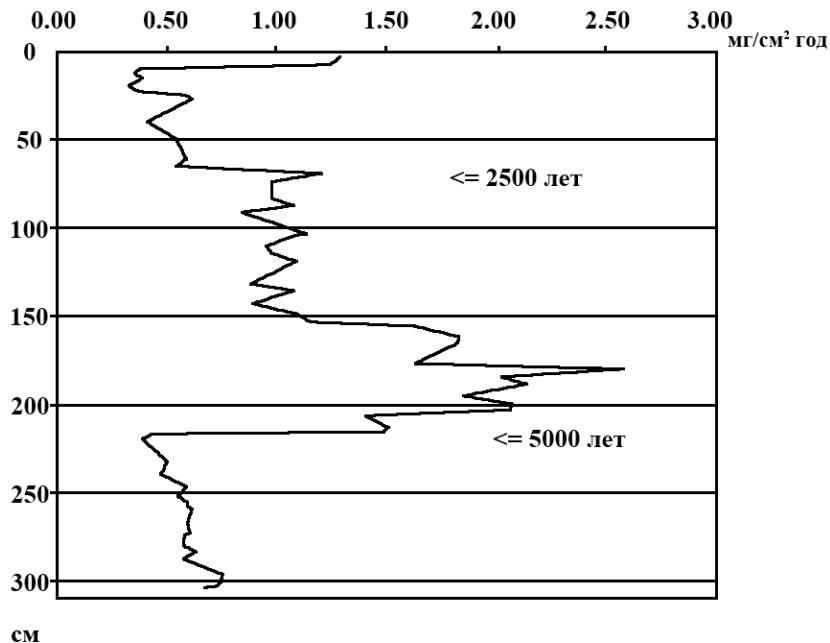


Рис. 2. Скорость накопления органогенной компоненты сапропеля планктонного генезиса в оз. Очкы.

На основе датирования возраста сапропеля оз. Кирек радиоуглеродным методом – 2500 ± 50 л.н. (180-200 см) и 8590 ± 120 л.н. (350-360 см), рассчитаны скорости накопления высокожелезистого сапропеля, они составляет около **0.06 см/год**. Диапазон возможных скоростей накопления органогенной компоненты оценивается нами в **1-6 мг/см}^2 в год** (сухая масса), а минеральной компоненты – **6 мг/см}^2 в год**.

Таким образом, впервые для региона Сибири получены оценки скоростей накопления органогенной и терригенной компонент в донные отложения малых бессточных озер. Скорость накопления органогенной компоненты сопоставима или превышает в разы (1.6-4.8 мг/на см^2 в год) скорости поставки терригенного материала 0.4-1.2 мг/на см^2 в год), что приводит к накоплению в озерах метровых толщ сапропелевых илов преимущественно автохтонного происхождения. Для сравнения полученных скоростей осадконакопления в озерных осадках мы также рассчитали скорости поставки органогенной и терригенной компонент в осадки нижних участков водохранилищ. Например, поток мелкодисперсного терригенного материала в Новосибирском водохранилище достигает ~ 1000 мг/на см^2 в год, что несравнимо выше потока органогенной компоненты (планктонного детрита) – всего 5 мг/на см^2 в год, то есть скорость накопления минерального вещества в водохранилищах в 200 раз превышает таковую органического детрита [3].

Предпринята попытка классификации сапропелей, формирующихся в озерах с разными классами вод (гидрокарбонатный и сульфатный), что отражается на «геохимическом облике» органогенных отложений, т.е. их микроэлементном составе. На формирование той или иной разновидности сапропеля, несомненно, влияет и степень старения озера. Так, в оз. Белое, чаша которого почти полностью заполнена осадками, в настоящее время формируется макрофитовый высококальциевый сапропель, а в молодых глубоких озерах (Кирек и Очкы) – планктоногенный сапропель.

Авторы приносят благодарность **к.б.н. Шевелевой Н.Г.** (Лимнологический институт СО РАН) за определение видов зоопланктона и их соотношения по биомассе в планктонных пробах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 04-05-65168 и 08-05-00392).

Литература

1. Бобров В.А., Леонова Г.А., Кривоногов С.К., Маликов Ю.И. Геохимическая характеристика современного состояния оз. Белое (Колыванский район Новосибирской области) // Тез. докл. Шестого Сибирского совещ. по климато-экологич. мониторингу. – Томск, 2005. – С. 317-321.
2. Бобров В.А., Леонова Г.А., Страховенко В.Д. Формирование микроэлементного состава донного осадка планктоногенной природы в озере Очко (Байкальский биосферный заповедник) // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: материалы XV Геологического съезда Республики Коми. – Сыктывкар: Изд-во ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2009. - Т. II. – С. 263-266.
3. Бобров В.А., Леонова Г.А., Маликов Ю.И. Геохимические особенности илистого осадка Новосибирского водохранилища // Водные ресурсы, 2009. Т. 36. № 5. – С. 551-563.
4. Джабарова Н.К., Немирович-Данченко Л.А. Физико-химическая характеристика сапропелей озера Кирек // Курортные ресурсы и санаторно-курортное лечение в Сибири. – Томск, 1982. – С. 31-36.
5. Кордэ Н.В. Биостратиграфия и типология русских сапропелей. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 219 с.
6. Леонова Г.А., Бобров В.А., Лазарева Е.В, Кривоногов С.К. Оценка биогенной поставки микроэлементов в озерные сапропели (планктонный и макрофитовый «каналы») // Минералогия и геохимия ландшафтов горнорудных территорий: материалы II-й Всерос. симп. Чита: ЧИПР СО РАН, 2008. – С. 70-74.
7. Леонова Г.А., Бобров В.А., Кривоногов С.К., Лазарева Е.В. Формирование микроэлементного состава сапропелей в озерах, резко различающихся гидрохимической характеристикой вод // Фундаментальные проблемы квартета: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: материалы VI Всерос. сов. по изучению четверт. периода. – Новосибирск, 2009. – С. 355-359.
8. Леонова Г.А., Бобров В.А., Лазарева Е.В., Богуш А.А., Кривоногов С.К. Биогенный вклад микроэлементов в органическое вещество современных озерных сапропелей // Литология и полезные ископаемые, 2010.
9. Лукашев К.И. Геохимия озерно-болотного литогенеза. М.: Наука и техника, 1971. – С. 96-207.
10. Хазина И.В. Растительность и климат в голоцене юго-восточной части Западной Сибири (по палинологическим данным): Дис. ...канд. г.-м. н. – Новосибирск, 2008. – 124 с.

ПЫЛЬЦА ШЕРЛОВОГОРСКОГО ГОРНОРУДНОГО РАЙОНА КАК ИНДИКАТОР НЕГАТИВНЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

C.A. Решетова

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия, srescht@mail.ru

POLLEN OF SHERLOVOGORSK MINING AREA AS AN INDICATOR OF NEGATIVE ENVIRONMENTAL FACTORS

S.A. Reshetova

Institute of Natural Resources, Ecology and Criology SB RAS, Chita, Russia, srescht@mail.ru

The article presents the results of analysis of morphological features of pollen taken from plants in Sherlovogorsk mining area. There were discovered certain defects in its development. Studied plants possess various barriers concerning toxic elements. It's been established that poppy and wormwood react more brightly to environmental quality.

Создание системы биологической индикации и оценки степени опасности вредных агентов окружающей среды является актуальной проблемой современности. Растения адекватно реагируют на любые изменения в природе, как на тканевом, так и на клеточном уровнях, поэтому изучая морфологию пыльцевого зерна, возможен контроль качества современной окружающей среды и наличия в ней патогенных соединений. В условиях экологического неблагополучия растения продуцируют большое количество тератоморфных (уродливых) и стерильных пыльцевых зерен. При этом, чем хуже экологическая обстановка, тем выше процент содержания патологически развитой пыльцы и наоборот [1, 3, 4].

Установлено, что под влиянием промышленных эмиссий изменяются размеры и форма пыльцевых зёрен, количество, очертания и тип апертур, их размеры и расположение относительно друг друга, а также скульптура поверхности спородермы, количество и толщина

её слоев. Максимальное количество патологически развитых пыльцевых зёрен зафиксировано на территориях с высоким уровнем загазованности транспортными выхлопами, наличием большого количества промышленных предприятий и превышением в почвах ПДК цинка, кадмия и свинца [5].

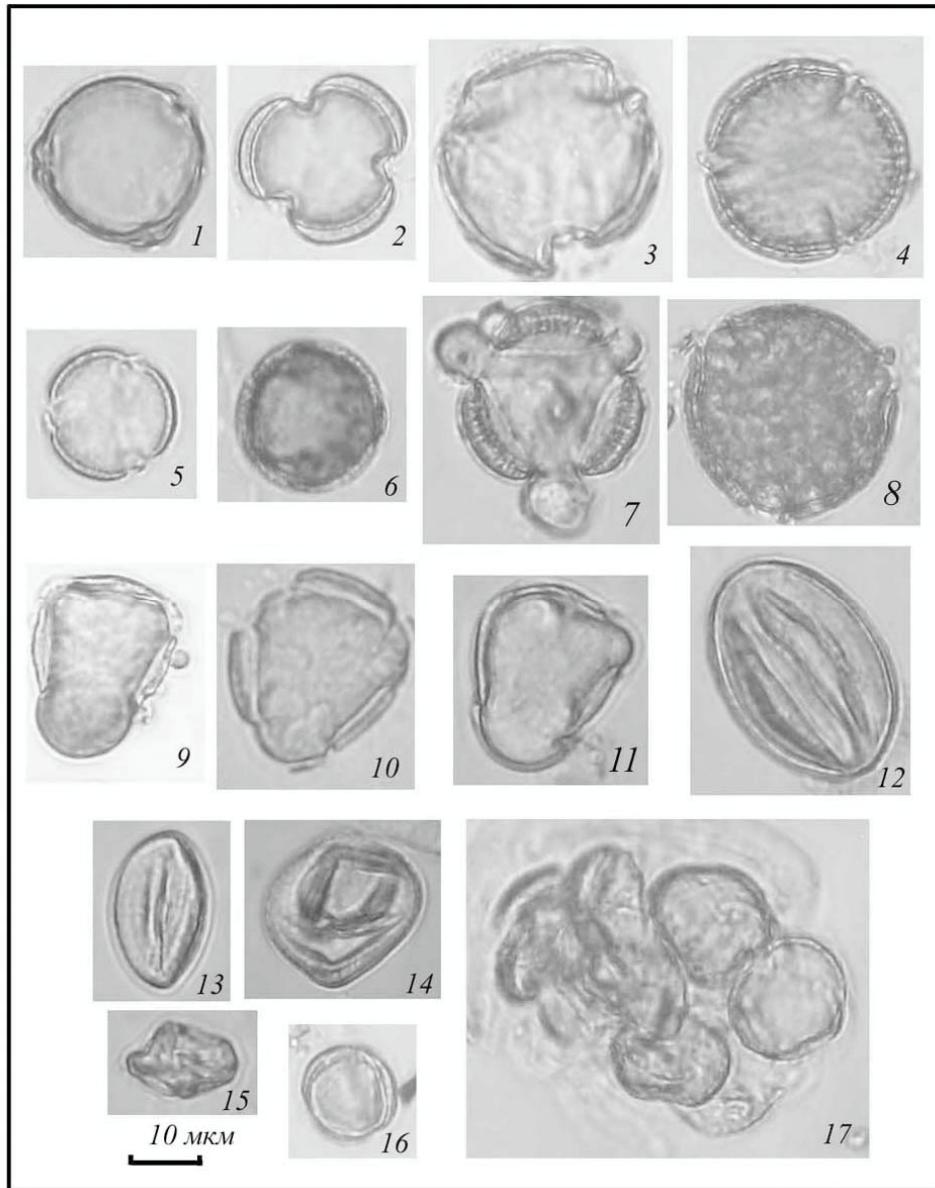


Таблица. Пыльца растений Шерловогорского горнорудного района.

Нормально развитые зёрна: 1 - берёза плосколистная; 2 - полынь Гмелина; 3 - боярышник кроваво-красный; горец узколистный; 5 - мак голостебельный.

Аномально развитые зёрна. «Непроваренная» пыльца: 6 - мак голостебельный; 7 - полынь Гмелина; 8 - горец узколистный. Асимметричные зёрна: 9 - 11 мак голостебельный. Уплощённые зёрна: 12 - боярышник кроваво-красный; 13 - мак голостебельный. Уродливые зёрна: 14, 16 - полынь Гмелина; 15 - мак голостебельный. Скопления или массулы пыльцевых зёрен: 17 - мак голостебельный.

В предлагаемой работе изложены результаты изучения пыльцы растений, произрастающих на территории Шерловогорского горнорудного района, в пределах которого находятся висмут-бериллий-олово-вольфрамовое и олово-полиметаллическое месторождения. Биогеохимические исследования на данной территории проводятся сотрудниками ИПРЭК СО РАН с 2002 года. К настоящему времени полученный материал свидетельствует о том, что растения по-разному захватывают токсичные элементы в зависимости от их концентрации в почвах непосредственно месторождений и геотехногенных массивов. Неравномерно распределяют они их и в своих

органах [2, 7]. Большинство исследований указывает на повышенное содержание токсичных элементов в корнях, стеблях и листьях растений и его минимум в цветах и плодах, обеспечивающих наследственность и чистоту вида.

В процессе палиноморфологических исследований изучена пыльца древесных и травянистых растений: боярышника кроваво-красного (*Crataegus sanguinea* Pallas), березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz), горца узколистного (*Polygonum angustifolium* Pallas), мака голостебельного (*Papaver nudicaule* L.) и полыни Гмелина (*Artemisia gmelinii* Weber ex Stechm).

Пыльца собиралась в период полевых работ М.А. Солодухиной. Пробы отобраны с фонового участка, характеризующегося наименьшими содержаниями токсичных элементов, и на участках, где наблюдается их повышенное содержание, превышающее различные нормы и требования. Такие участки условно отнесены к аномальным. Иногда отбирались те растения, цветение которых приходилось на время полевых работ или пионерные виды (мак, полынь), которые массово населяют ландшафты аномальных участков, не встречаясь на фоновом.

Сбор, хранение и обработка материалов проводились в соответствии с рекомендациями О.Ф. Дзюба [5]. Пыльцу готовили с помощью традиционной ацетолизной методики обработки рецентной пыльцы [8]. Готовая к исследованию она помещалась в каплю с глицерином на предметное стекло и сверху накрывалась покровным. Пыльцевые зёрна переворачивались и рассматривались с разных сторон с помощью биологического микроскопа Axiolab 2000. Определение их размеров проводилось при помощи окулярного микрометра. Просмотр и описание пыльцы осуществлялись при 400-х кратном увеличении, а результаты исследования заносились в рабочую таблицу. Для исследования пыльцы и выявления морфологических отклонений в её строении изучалось не менее 500 зёрен из 3-5 бутонов каждого растения отобранного для изучения. Фотографирование пыльцы производилось на фотоаппарате Canon. Статистический расчёт осуществлялся путём подсчёта процентного содержания тератоморфных и нормально развитых пыльцевых зёрен.

Общие характеристики нормально развитой пыльцы перечисленных видов растений вследствие их однообразной формы приводятся на уровне семейства в соответствии с описаниями, данными в «Пыльцевом анализе» [6]. Описание пыльцы берёзы и полыни представлено в соответствии с родовыми особенностями.

Горец узколистный (*Polygonum angustifolium* (Pallas) Hara).

Пыльца растений семейства гречишных обычно более или менее сфероидальная, трёх- или четырёхбороздная, трёх- или четырёхпоровая, имеющая гладкую или гранулированную экзину. Размеры пыльцевых зёрен варьируют от 30 до 50 мкм в зависимости от принадлежности к виду.

В препарате фонового участка пыльцевые зёрна *Polygonum angustifolium* близки к сфероидальной форме, иногда сплющенные по экваториальной оси, диаметром 24-31 мкм (табл. фиг. 4). Преобладают зёрна трёхбороздные, трёхпоровые с гранулированной экзиной с размером зёрен от 15,4 до 30,8 мкм. Цвет зёрен зеленовато-бурый. Встречено двухапертурное зерно. Отклонений в морфологии пыльцы не установлено.

В препаратах аномальных участков (3) преобладает нормально развитая трёхбороздная пыльца. Размеры её варьируют от 15,4 до 37,4 мкм. Количество пыльцы с отклонениями в развитии составляет 1-3%.

Боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pallas).

Пыльца семейства розоцветных довольно однообразна по форме. Обычно пыльцевые зёрна имеют сфероидальную форму, трёхбороздные, а в некоторых случаях трёхпоровые с тонкой и гладкой экзиной. Размер варьирует от 25 до 39 мкм. Окраска светло-бурая. Часто пыльцевые зёрна бесцветны и прозрачны.

В препарате фонового участка преобладают нормально развитые пыльцевые зёрна *Crataegus sanguinea* (табл. фиг. 3). В полярной проекции они имеют трёхлопастное очертание, в боковой представляют собой окружность или эллипс. Окраска зёрен светло-серая или прозрачная. Размеры зёрен в полярной оси варьируют от 26,4 до 44 мкм. Преобладающий – 30 мкм. Экзина тонкая, гладкая. Встречены зёрна двух- и четырёхапертурные. Количество тератоморфной пыльцы 5%.

В препарате аномального участка доминируют нормально развитые трёхбороздные пыльцевые зёрна. Размеры зёрен варьируют от 24,2 до 44 мкм. Количество пыльцы с отклонениями в развитии составляет 5%.

Береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz).

Пыльцевые зёرна берёзы имеют треугольно-округлые очертания. Экзина гладкая, двухслойная. Пыльцевые зёрна снабжены, как правило, тремя порами, иногда встречаются зёрна с четырьмя и даже шестью порами, но такие случаи единичны. Строение пор очень характерно и служит важнейшим отличительным признаком этого рода.

Пробы пыльцы взяты только с фонового участка. Зёрна *Betula platyphylla* в полярном положении имеет округлые очертания (табл. фиг. 1). Цвет пыльцы светло-жёлтый. Вся пыльца характеризуется тремя порами и хорошо выдержаными размерами зёрен 24, 2 мкм. Количество пыльцы с отклонениями менее 1%.

Мак голостебельный (*Papaver nudicaule* L.)

Пыльца маковых всех родов однотипна. Обычно она шаровидной формы с тремя зародышевыми бороздами, поэтому она имеет трёхлопастное строение. Зародышевые борозды близко подходят к полюсам, рассекая зерно на три лопасти. Экзина тонкая одно- или двухслойная. К краям борозд экзина выклинивается. Поверхность зерна либо мелкоточечная либо мелкоштриховатая. Пор пыльца не имеет. Прорастание пыльцы происходит в области зародышевых борозд. Размер пыльцы варьирует от 20 до 30 мкм. Пыльцевые зёрна окрашены слабо, часто почти бесцветны.

Пробы пыльцы взяты только на аномальных участках. В препаратах (3) преобладает нормально развитая пыльца *Papaver nudicaule* шаровидной формы с экваториальным и полярным диаметром 19-24 мкм с тремя зародышевыми бороздами (табл. фиг. 5). Зерна прозрачны, слегка сероватые по цвету. Встречены двух- и четырёхапертурные зёрна. Количество тератоморфной пыльцы составляет 5-15%.

Полынь Гмелина (*Artemisia gmelinii* Weber ex Stechm.).

Пыльца сложноцветных весьма разнообразна по размерам и внешнему виду. Общими являются следующие характеристики: трёхбороздное строение, присутствие пор и наличие крупных или мелких шипов на поверхности экзины у зёрен, опыляющихся при помощи насекомых. По размерам пыльца варьирует от 16 до 50 мкм. Пыльца полыни резко отличается от остальных, т.к. растение является ветроопыляемым, поэтому его пыльца лишена крупных шипов. Пыльца трёхбороздная, трёхпоровая с толстой двухслойной экзиной, резко сужающейся в области пор.

Пробы пыльцы взяты только на аномальных участках. В препаратах (3) преобладает нормально развитая пыльца *Artemisia gmelinii* (табл. фиг. 2). Зёрна трёхбороздные трёхпоровые с гладкой толстой двухслойной экзиной. По форме зёрна сфероидальные. Цвет пыльцы от светло-зелёного до тёмно-жёлтого. Преобладающий размер зёрен в полярном положении 24 мкм. Встречено четырёхапертурное зерно. Количество тератоморфной пыльцы варьирует от 2 до 33%.

Все выделенные аномалии в развитии пыльцы, изученной на территории Шерловогорского горнорудного района, можно объединить в пять групп.

1. «Непроваренная» пыльца (табл. фиг. 6-8). После подготовки (кипячение в щёлочи) таких пыльцевых зёрен к исследованию, частично или полностью сохраняется их внутреннее содержимое (плазма), в то время как у нормально развитой пыльцы, внутреннее содержимое «проводится», т.е. зерно становится прозрачным. Такие случаи характерны для зёрен, произведенных в местах с высоким уровнем загрязнения окружающей среды, особенно, в зонах с повышенным уровнем радиационной активности [5].

2. Асимметричные зёрна с изменённым апертурным аппаратом вследствие разрастания верхнего слоя экзины (табл. фиг. 9-11). У свежей пыльцы под действием щелочей борозды обычно выворачиваются, бороздная мембрана лопается и через трещины равномерно выступает плазма зерна. В этих же зёрнах мембрана лопается избирательно, вследствие чего зерно приобретает асимметричную форму.

3. Стерильные зёрна уплощённой формы, не имеющие внутреннего содержимого (табл. фиг. 12, 13).

4. Уродливые пыльцевые зёрна, диагностика которых не представляется возможной, поскольку морфологические признаки их сильно изменены (табл. фиг. 14-16).

5. Массулы, представляющие собой скопление пыльцевых зёрен с нарушенной экзиной (табл. фиг. 17).

Вариации в размерах пыльцы и количества апертур не рассматривались как нарушения в развитии, поскольку данные естественного полиморфизма пыльцевых зёрен изученных видов для территории Забайкалья отсутствуют.

Патологии в развитии пыльцы установлены и на фоновом, и на аномальных участках. Тератоморфоз фонового участка не превышает 5%. На аномальных участках количество пыльцы с патологиями в развитии увеличивается до 15%. Исключение составляет пыльца полыни (33%), отобранная из карьера. В целом, процент нарушенных и уродливых форм невелик и хорошо согласуется с результатами о небольшом содержании токсичных элементов в цветах растений, отвечающих за генеративную сферу.

Палиноморфологические исследования данной территории позволяют предположить, что изученные растения обладают разной барьерностью по отношению к токсичным элементам. Пыльца горца, боярышника и берёзы не столь показательна при оценке степени опасности агентов окружающей среды, в то время как мак и полынь наиболее ярко реагируют на качество среды обитания.

Начатые исследования будут продолжены.

Литература

1. Глазунова К.П. Нарушения типичного строения пыльцевых зёрен *Tussilago farfara* L. (*Compositae*) // Палиностратиграфия в биостратиграфии, палеоэкологии и палеогеографии. Тез. Докл. VIII Всероссийской палинологической конференции. М., 1996. – С. 35.
2. Гудкова О.В., Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Будкина А.Ю., Голубева Е.М. Биохимические исследования в районе Шерловогорского горнорудного района // Труды I Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование». Чита, 2006. – С. 114-118.
3. Дзюба О.Ф. Палиноиндикация состояния окружающей среды и индикация глобальных экологических процессов в историческом прошлом Земли // Палинология в России. М., 1995. – С. 104-113.
4. Дзюба О.Ф. Характер пыльцы покрытосеменных растений в условиях экологического неблагополучия // палеонтологический журнал. М., 1998, № 1. С. 100-105.
5. Дзюба О.Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. Спб.: Недра, 2006 – 198 с.
6. Палинологический анализ / Покровская И.М. М.: Госгеолиздат, 1950. – 571 с.
7. Солодухина М.А., Юрженсон Г.А., Смирнова О.К. Мышик в полыни гмелина Шерловогорского горнорудного района // труды II Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование». Чита, 2008. 83-87.
8. Эрдтман Г. Морфология пыльцы и систематика растений. М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. – 486 с.

МЫШЬЯК В ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОДАХ, ПОЧВАХ И ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЯХ ШЕРЛОВОГОРСКОГО ГОРНОРУДНОГО РАЙОНА ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

M.A. Солодухина

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия, mabn@ya.ru

ARSENIC IN MOTHER ROCK, GROUND AND WOOD PLANTS THE SHERLOVOGORSK OF MINING AREA OF TRANSBAIKALIAN REGION

M. A. Solodukhina

The Institute of Natural Resources, Ecology and Criology SB RAS, Chita, Russia,
mabn@ya.ru

It is established, that the maintenance of arsenic in mother rock and soil area considerably exceed clarke and maximum concentration limit. However at so high concentration of arsenic in ground, plants grasp only small part.

Горнорудная промышленность, с начала 30-х гг. XX в. оформилась как важная отрасль народного хозяйства Читинской области [1]. Увеличение объемов добычи полезных ископаемых на территории области привело к образованию техногенных и геотехногенных

ландшафтов, для которых свойственно изменение структуры земель, рельефа, геохимических свойств грунтовых и поверхностных вод, почв, химического и видового состава растений.

Мышьяк, элемент, который относится к 1 классу опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83), является попутным компонентом в рудах золоторудных, полиметаллических, олово-полиметаллических и других месторождений Забайкалья. К ним относятся Шерловогорское, Итакинское, Ключевское, Дарасунское, Балейское и многие другие [6].

Шерловогорский горнорудный район находится на юго-востоке Забайкальского края, в Борзинском административном районе, северо-восточнее поселка Шерловая Гора. Здесь расположено висмут-бериллий-олово-вольфрамовое месторождение с наложенной мышьяковой минерализацией, крупное олово-полиметаллическое месторождение Сопка Большая и находившееся к востоку от него месторождение Восточная аномалия. Олово-полиметаллическую руду добывали открытым способом, вследствие чего образовались техногенные массивы, карьер, которым до 1993 года отрабатывалось олово-полиметаллическое месторождение, хвостохранилище обогатительной фабрики бывшего ГОКа, а также отвалы горных пород вскрыши, склады бедных и подготовленных к переработке руд, мелкие карьеры и отвалы разрабатывавшихся висмут-олово-вольфрамовых россыпей.

Целью исследования является изучение концентраций мышьяка в компонентах ландшафта

В задачи исследования входило выявление источников поступления мышьяка в ландшафт, а также определение концентрации мышьяка в почвообразующих породах, в почвах, в техноземах и в растениях Шерловогорского горнорудного района.

Научная новизна состоит в том, что впервые проведено исследование распределения мышьяка в почвообразующих породах, почвах, техноземах и древесных растениях Шерловогорского горнорудного района.

Материал и методы

В основу данной работы положены материалы, собранные автором в течение полевых сезонов 2002-2009 гг. на территории Шерловогорского горнорудного района на трех участках, которые представляют собой собственно олово-вольфрам-висмут-бериллиевой месторождение с наложенной мышьяковой минерализацией (Т. 1 – 9), геотехногенные массивы (Т. 10 – 12.3.) и фоновый участок (Т. 14.1).

Доминантными видами древесных растений являются боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pallas) и береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz).

Каждая проба растений формировалась из 10 – 20 экземпляров с площади 4x4 м. Общее число экземпляров растений с одного участка в случае отбора одной пробы достигало до 20 штук, двух проб около 30 – 40, трех – 60. Растения делили на органы. Корни и наиболее запыленные части растений промывали сначала струей проточной воды, а после дистиллированной, и высушивали до воздушно-сухого состояния [3]. Отбор почвенных проб проводили в соответствии с ГОСТ 17.4.4. 02–84, по искусственным обнажениям.

Анализ химического состава горных пород и почвы выполнен методом РФА в аналитической лаборатории ГИН БФ СО РАН (г. Улан-Удэ) на спектрометре VRA-30, к.т.н. Б.Ж. Жалсараевым, В.А.Ивановой, И.В. Боржоновой, И.В. Бардамовой и Ж.Ш. Ринчиновой. Предел обнаружения мышьяка составляет 5 г/т. Анализ растений проведен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанный плазмой, прибор: ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer (США) (нижний предел обнаружения (НПО) мышьяка 0,01 ppb) в Институте тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН аналитиками В.Е. Зазулиной, А.Ю. Будкиной, Д.В.Авдеевым и Е.М. Голубевой.

Обсуждение результатов

Мышьяк в почвах Шерловогорского горнорудного района

Благодаря тому, что месторождение уникально по условиям образования и разнообразию минеральных ассоциаций, развитые на нем почвы обогащены различными химическими элементами, в том числе и мышьяком, однако на разных точках наблюдения, его содержания в почвообразующих породах и почвах варьируют довольно широко. В почвах от 2,5 г/т на фоновом участке до 18000 г/т на Т. 8.1. Средние содержания мышьяка по участкам значительно превышают кларк и ПДК (табл. 1, рис.1). Это связано, прежде всего, с геологическим строением района.

Таблица 1

Среднее содержание мышьяка в почве и техноземах района на разных участках, г/т

Место отбора	\bar{x} , г/т	σ	σ/x	$x/\text{кларк}$	$x/\text{ПДК}$	n
Точка 1.	152,5	35	0,23	90	31	12
Точка 2.	296,7	42	0,14	175	59	6
Точка 3.	168	24	0,14	99	34	5
Точка 4.	433,3	204	0,47	255	87	6
Точка 5.1. Участок Поднебесных (Жила Новая)	1614	1033	0,64	949	323	15
Точка 5.2. Участок Поднебесных	573,5	331	0,59	337	115	56
Точка 6. Обвинская (западный склон)	601,3	418	0,7	354	120	36
Точка 7. Обвинская (вершина)	817,5	457	0,56	481	164	4
Точка 8.1. Сопка Лукавая	2010,8	5056	2,51	1183	402	12
Точка 8.2. Пятисотка	554,2	140	0,25	326	111	5
Точка 8.3. Аплитовый отрог	336,3	166	0,49	198	67	8
Точка 8.4. Лукавая (восточный склон)	176,4	198	1,12	104	35	23
Точка 9. Мелехинская	219,4	144	0,66	129	44	14
Точка 10.1. Карьер	416,2	409	0,99	245	83	4
Точка 10.2. Карьер	216,6	307	1,42	127	43	10
Точка 10.3. Карьер	204	-	-	120	41	1
Точка 10.4. Карьер	268,7	-	-	158	54	1
Точка 10.5. Карьер	482,2	360	0,75	284	96	16
Точка 11. Северный отвал	577,7	412	0,71	340	116	7
Точка 12.1. Хвостохранилище	560,7	316	0,56	330	112	14
Точка 12.2. Хвостохранилище	547	335	0,61	322	109	14
Точка 12.3. Хвостохранилище	482,2	359	0,75	284	96	16
Точка 14.1. Фоновый	11,3	542	0,48	7	2	5

На участках, в почвообразующих породах, представленных четвертичными отложениями (аллювиально-пролювиальные: пески, супеси, суглинки, глины, галечники, щебень), были выявлены минимальные содержания мышьяка. Его средние и максимальные концентрации обнаружены в природно-техногенном ландшафте на участках Т. 5.1. – 9. Установлено, что на участках, где почвообразующей породой служат продукты разрушения мезозойских гранитоидов и грейзенов, содержание в них мышьяка не превышает 660 г/т, а на участках Т. 8.1. – 8.4, где почвообразующие породы другие, содержание в них мышьяка еще меньше (до 375 г/т). Существенные отличия, которые выражаются в аномально высоких концентрациях, выявлены на Т. 5.1. – 5.2. и Т. 9. Здесь в тех же мезозойских гранитоидах и грейзенах, обнаружены содержания мышьяка, превышающие кларк в 1000 и более раз. Это объясняется тем, что на этих точках кроме указанных горных пород развиты зоны минерализации. На Т. 5.1. – 5.2. на кварц-белилл-топазовые жилы наложена поздняя интенсивно развитая арсенопиритовая минерализация, а на Т. 9. находится зона окисления сульфидных руд, где мышьяк представлен в форме скородита. Кора выветривания и зона окисления на указанных участках Т. 5.1. – 5.2. и Т. 9. вскрыта горными работами и прослеживается довольно четко.

Выявленные особенности распределения мышьяка в почвообразующих породах указывают на то, что источником мышьяка в почвах являются горные породы геологического субстрата, в которых мышьяк является примесью, но основным носителем аномальных концентраций служит арсенопирит и скородит. По сути дела мышьяк в составе его минералов-носителей имеет остаточную природу.

Для района исследования характерно отсутствие настоящих почв (кроме фонового участка). Почвы представляют собой щебнистые, хрящеватые горные почвы, часто не имеющие гумусового и иллювиального горизонтов в профиле. К таким относятся изученные почвы Т. 7, 8.1 – 8.3, здесь выявлено увеличение концентраций мышьяка в почвах по сравнению с почвообразующей породой. Почвы же Т. 1 – 4 и Т. 14.1, содержат мышьяка больше чем почвообразующие породы, что связано с особенностями его геохимического поведения и процессами почвообразования. Существенные различия в содержании мышьяка в почвообразующих горных породах и почве Т. 5.1 и 5.2. и Т.9, можно объяснить следующим образом. Мышьяковая минерализация на участках наблюдения в Т. 5.1. представлена арсенопиритом, тогда как в Т. 5.2. арсенопиритом и скородитом, а в Т. 9. в основном скородитом. Скородит является геохимически устойчивым минералом и практически не подвержен изменениям в процессе гипергенеза, так как он является его продуктом, вследствие чего мышьяк не мигрирует в почву. При формировании почв, происходит их обогащение мышьяком за счет отсутствия выноса.

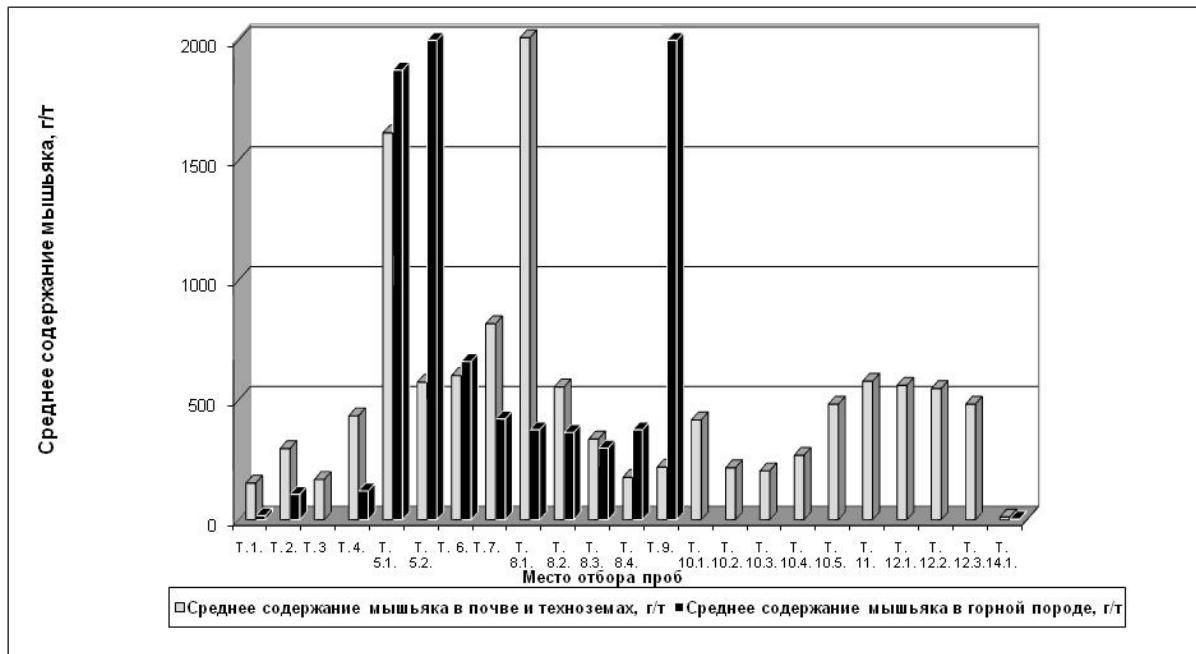


Рис. 1. Содержание мышьяка в почвообразующих горных породах, почве и техноземах на разных участках района. Т. 1 – 9 – Шерловогорское месторождение, Т. 10 – 10.5. – карьер Шерловогорского ГОКа, Т. 11. – Северный отвал, Т. 12. – 12.3. – хвостохранилище, Т.14.1 – фоновый участок.

Пространственное распределение мышьяка на территории района обусловлено закономерностями развития второго этапа становления месторождения, с которым связано формирование олово-полиметаллического месторождения Сопка Большая. По функционировавшим рудопроводящим каналам обогащенные мышьяком флюиды проникали в системы трещин в районы участков Т. 5.1. – 5.2. и Т. 9. Участки, расположенные вдали и гипсометрически выше от источника мышьяк-содержащих флюидов характеризуются относительно невысокими содержаниями мышьяка в горных породах и почвах.

Мышьяк в древесных растениях

Растительный кларк мышьяка составляет 0,1 мг/кг [7], 0,3 мг/кг [5]. Концентрации мышьяка в растениях на не загрязненных почвах по данным В.С. Гамановой [2] – 0,01 – 5 мг/кг, по А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас [4] они варьируют в пределах 0,009 – 1,5 мг/кг.

Среднее содержание мышьяка в древесных растениях района в целом не превышает мировых фоновых значений. Различия заметны для разных участков района (табл. 2, рис. 2). Боярышник кроваво-красный, растущий на месторождении захватывает больше мышьяка, чем боярышник, растущий на геотехногенных массивах и на фоновом участке. Однако береза проявляет иную тенденцию. Максимум мышьяка был отмечен для березы с геотехногенных массивов (рис.2).

Таблица 2

Среднее содержание мышьяка в древесных растениях на разных участках

Участок	Название растения	\bar{x} , мг/кг	Min, мг/кг	Max, мг/кг	σ	V, %	n
Месторождение	Боярышник кроваво-красный	3,07	Ниже НПО	16,36	4,43	144	360
	Береза плосколистная	1,58	Ниже НПО	6,07	1,45	92	420
Геотехногенные массивы	Боярышник кроваво-красный	0,53	Ниже НПО	0,89	0,52	98	45
	Береза плосколистная	1,99	0,5	8,33	2,1	106	195
Фоновый участок	Боярышник кроваво-красный	0,19	Ниже НПО	0,65	0,17	95	225
	Береза плосколистная	0,68	0,01	6,01	1,46	215	240

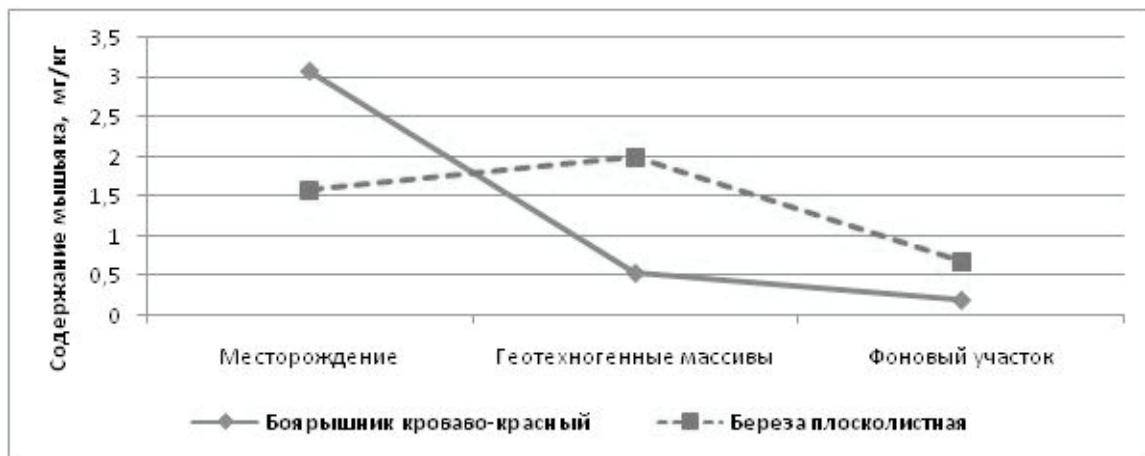


Рис. 2. Мышьяк в древесных растениях Шерловогорского горнорудного района.

Выводы

Таким образом, высокие концентрации мышьяка в почвообразующих горных породах и почвах Шерловогорского горнорудного района связаны со становлением и развитием Шерловогорской рудомагматической системы. Почвы района наследуют высокие содержания мышьяка от почвообразующих горных пород в рамках процессов почвообразования и геотехногенеза, но содержание его в них, в основном выше, чем в горных породах.

Древесные растения Шерловогорского горнорудного района проявляют различные тенденции захвата мышьяка в зависимости от вида и места произрастания растения. В целом, древесные растения района проявляют некую барьерность по отношению к высоким, порой ураганным содержаниям мышьяка в почве и техноземах. Это может указывать как на наличие у растения защитных механизмов, так и на нахождение в почве труднодоступных для растений форм мышьяка.

Литература

1. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел [Текст] / Г.А. Юргенсон [и др.]; отв. ред. док. геол.-мин. наук. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 574 с.
2. Гамаюрова В.С. Мышьяк в экологии и биологии. М.: Наука, 1993. – 208 с.
3. Гудкова О.В., Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Будкина А.Ю., Голубева Е.М. Биогеохимические исследования в районе Шерловогорского горнорудного района //Труды I всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и VII всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование» 7–10 ноября 2006, г. Чита, Россия. – С. 114 – 118.
4. Кабата-Пендас А., Пендас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ – М.: Мир, 1989. – 439 с.
5. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение М.: ГЕОС, 2005. – 336 с.
6. Месторождения Забайкалья в 2 кн. /Главн. ред. академик РАН Н.П. Лаверов. Чита – Москва, 1995.
7. Минеральное сырье. Краткий справочник; под ред. В.П. Орлова; сост.: А.Н. Еремеев, А.Е. Лисицын, П.Е. Остапенко. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – 23 с.

БИОГЕОХИМИЯ ЗЕЛЕНЫХ МХОВ ГОРНОТУНДРОВЫХ ЛАНДШАФТОВ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ

O.D. Трегубов

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Анадырь,
Россия, tregubov2@yandex.ru

BIOGEOCHEMISTRY BRYIDEA MOUNTAIN TUNDRA LANDSCAPE: ECOLOGICAL AND GEOLOGICAL ASPECTS

O.D. Tregubov

North-Easterly complex research institute of the FEB to RAS, Anadyr, Russia, tregubov2@yandex.ru

Questions of the use Bryidea are discussed in report in biogeochemical of the studies. The main attention is accented on biological and ecological particularity accumulation moss chemical element. The Brought limited and recommendations on use moss in geological searching for and monitoring environment.

Введение

Среди растений ландшафтов северного полушария подкласс бриевых или зеленых мхов занимает доминирующее положение, как самый распространенный компонент растительных сообществ и сильный эдификатор среды. Бриевые также самые многочисленные изо мхов – 24600 видов, произрастающих от полупустынь до арктических тундр [8]. Два этих свойства делают зеленые мхи универсальным объектом биогеохимических исследований.

Современные представления о геохимии зеленых мхов, как и о большинстве моховых, сводятся к их сидерофильности и высокой способности концентрировать тяжелые металлы. Это хорошо укладывается в схемы геохимической эволюции биосферы и позволяет использовать мхи для картирования атмогеохимических аномалий [3]. Другое биогеохимическое направление изучения мхов связано породообразующей ролью их органических остатков в образовании торфа и угля [1]. В настоящем докладе внимание к зеленым мхам акцентировано на их экологических свойствах и возможности использования бриевых в геологических поисках и мониторинге загрязнения горнорудных территорий.

Экологические аспекты

Повсеместное распространение мхов указывает их присутствие в различных растительных сообществах – фитоценозах. Иначе говоря, трудно найти ландшафт, местность или урочище в лиственных лесах, тайге, тундрах равнин и гор, где бы зеленые мхи отсутствовали полностью. Это означает, что группа распространенных видов зеленых мхов образует в своей совокупности трансконтинентальный синузию пригодную для изучения и сравнительного анализа ландшафтов различного уровня и масштаба. Этот простой вывод, по сути, позволяет рассматривать зеленые мхи как отдельную депонирующую среду в составе живых организмов Земли.

По терпимости видов к внешним условиям среды зеленые мхи группируют в ксерофиты, мезофиты, гигрофиты (увлажнение), криофиты (морозоустойчивость), галофиты (засоление) [1]. В связи с этим закономерен вопрос о видовых и групповых отличиях мхов в накоплении химических элементов (ХЭ). Решить его позволяет взаимопроникновение зеленых мхов разных видов и экологических групп в фитоценозах отличных по местоположению в ландшафте. В ходе исследований нами были опробованы и проанализированы виды мхов в составе фитоценозов Анадырской низменности и Канчаланских гор (здесь и далее практические примеры приведены по данным исследований автора 1992-2010 гг. в Анадырском районе Чукотского АО): *Polytrichum strictum*, *Dicranum elongatum*, *Dicranum angustum*, *Aulacomnium turgidum*, *Pleurozium schreberi*, *Dicranoweisia crispula*, *Hylocomnium splendens*, *Dicranoweisia crispula*, *Dicranum elongatum* (Политрихум, Плерозиум, Дикранум, Алкомниум и т.д.) [4, 6]. По результатам параллельных спектральных анализов проб золы мхов, преимущественно ксерофитов и гигрофитов, отобранных с одной точки, установлены различия в накоплении большей части спектра определяемых элементов не более чем в 1,1-1,2 раза, в то время как накопление ХЭ мхами из удаленных мест разнятся в 10 раз. Таким образом, индивидуальные различия мхов в концентрировании металлов находятся на уровне погрешностей опробования и лабораторного анализа.

Другой важный экологический аспект экологии зеленых мхов связан с их эдификаторными свойствами – способностью преобразовывать окружающую и вмещающую их среду. Для мхов это повышение увлажнения почв, их термостатирование и закисление, повышение содержания обменных оснований и поддержание восстановительных условий среды. Механизмы этих процессов известны [2]. Это снижение испарения, медленное разложение растительных остатков с образованием органических кислот, снижение температуры в результате теплоизоляции почв и горных пород. В условиях субарктики именно зеленые мхи в составе кочкарных и пятнистых тундр отвечают за формирование и сохранность специфичных низкотемпературных, глеевых, слабокислых условий среды. При механических нарушениях моховой дернины происходит почти мгновенное растепление мерзлых пород, интенсивно окисляется торфянистая подстилка, усиливается дренаж, идет нейтрализация кислой среды почв.

Данная способность мхов принципиальным образом влияет на биогеохимические свойства. Например, на тип и пределы толерантности мхов к различным ХЭ, на коэффициенты биологического и относительного поглощения (табл. 1), (рис. 1) [5].

Таблица 1

Эколого-геохимические характеристики синузии зеленых мхов Канчаланских гор (содержание в золе растений микроэлементов $\text{p} \times 10^4 \%$, Fe, Mn, Ca, Mg - %)

Химический элемент	Экологический оптимум	Верхний предел оптимума	Нижний предел оптимума	Верхний предел толерантности	Нижний предел толерантности
Ag	0,34	0,52	0,29	1,75	0,11
B	17,3	22,4	14,7	34,3	13,8
Ca	11,7	14,6	9,15	22,5	3,1
Cr	11,8	15,8	9,5	29	< 2,2
Cu	11,2	17,3	8,1	41	7,4
Fe	1,7	3,07	1,58	6,5	1,3
Mg	1,4	2,01	1,06	3,8	0,7
Mn	0,2	0,29	0,17	0,6	0,08
Mo	0,61	1,06	0,45	3,14	0,4
Ni	3,5	9,26	2,99	27,3	2,7
Pb	8,9	14,7	7,02	31	4,4
Sn	1,42	1,85	1,1	3,2	0,4
Zn	81	123,3	59,1	386	48

Регулируя условия среды, зеленые мхи управляют внутренним поглощением сидерофилов и литофилов, особенно ХЭ группы железа, а также отчасти меди и молибдена в широком диапазоне их концентраций в окружающей среде. То есть биогеохимические аномалии B, Fe, Mn, Ni, Ca, Mg могут быть никак не связанны с литогеохимическими аномалиями или атмогеохимическими потоками, а являться результатом внутренних биологических, ценотических (взаимоотношения растений) процессов.

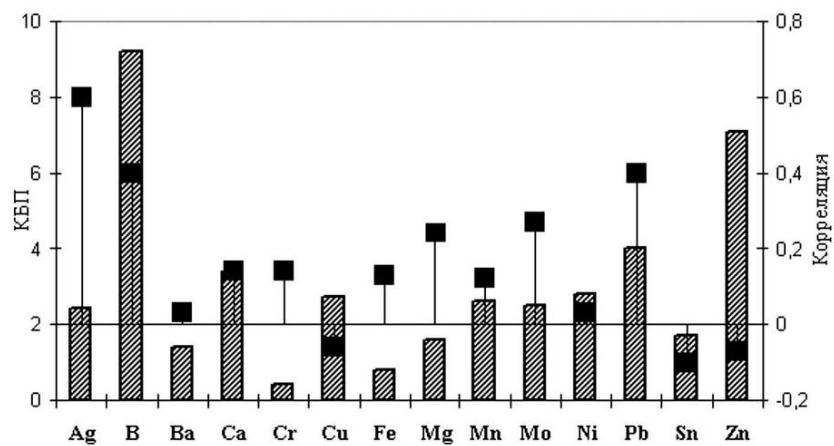


Рис. 1. КБП зеленых мхов и парная корреляция с химическим составом почв.

Напротив, накопление большинства халькофильных и щелочноземельных элементов зелеными мхами не регулируется. Однако при достижении максимума концентраций в среде цинка, свинца, кадмия, висмута, мышьяка степень накопления их мхами относительно почв и горных пород уменьшается, а сами они деградируют. Вероятно, что одной из причин токсичности для зеленых мхов халькофилов является увеличение в среде их спутника серы. Параллельно с деградацией зеленых мхов уменьшаются их возможности в накоплении биогенных элементов из числа сидерофилов и литофилов, что фиксируется образованием отрицательных аномалий Ca, В, Mn.

Геологические аспекты

В геологии биогеохимические свойства зеленых мхов обычно рассматриваются с точки зрения возможности поиска рудных месторождений и индикации среды на предмет загрязнения воздуха атмосферы и почв тяжелыми металлами. Большое значение здесь имеют интразональность и неприхотливость зеленых мхов к условиям различных местообитаний, а также биологическая индивидуальность на уровне подкласса высших растений в части концентрирования металлов. Действительно, из депонирующих сред (экзогенных отложений, почв, снега, покрытосеменных и голосеменных растений, лишайников), используемых в качестве объектов картирования зеленые мхи, пожалуй, самый универсальный индикатор для геохимического районирования и картирования в масштабе провинции, области, района (1: 5 000 000-200 000). Об этом свидетельствует и мировой опыт выделения биогеохимических провинций. Картование геологических структур более крупного масштаба (1:50 000-25 000), как правило, требует учета ландшафтно-геохимических условий точек опробования. При детальных исследованиях к описанию почвенного профиля, типа растительного покрова, кислотно-щелочных и окислительных условий следует добавить характеристику микро- и мезорельефа, экзогенных и криогенных процессов, структуры фитоценоза. Собранная таким образом информация поможет разбраковать вторичные и смешанные биогеохимические аномалии, ввести поправочные коэффициенты, например, для поверхностно-элювиальных ландшафтов с мощным торфяным покровом (верховое болото).

Зачастую применение традиционных литогеохимических методов поисков затруднительно или вовсе невозможно, как например, в условиях арктоальпийского рельефа среднегорий Чукотки. На коллювиальных склонах и водоразделах мелкозем в достаточном количестве отсутствует, а литохимические ореолы в подножьях гор имеют сложное эрозионно-аккумулятивное происхождение. При этом в этих не составляет труда найти «подушку» зеленых мхов ксерофитов или мезофитов и провести биогеохимическое картирование гористой местности (*Dicranoweissia crispula*, *Dicranum elongatum*, *Hylocomnium splendens*, *Polytrichum gen.*, *Hygrohypnum gen.*) [6]. Для данной, экологически обусловленной группировки мхов характерна высокая зольность, 25-35 – летний возраст зрелых колоний, произрастание на жестко стоящем основании (крупные глыбы), что все в целом способствует выявлению и достаточно определенной территориальной фиксации геохимических аномалий. Сравнительный анализ биогеохимических и литогеохимических ореолов показал, что вторые смешены вниз по течению относительно первых по рудогенным элементам на 0,5-2,5 км, особенно в верхней части ручьев. Наибольшее смещение отмечено у литохимических аномалий Cu и Mo [6].

Внутренние биологические и экологические свойства зеленых мхов важны для интерпретации биогеохимических полей и аномалий. При всем разнообразии источников и механизмов формирования геохимических аномалий зеленых мхов (космогенные, атмогенные, гидрогенные и др.) накопленный эмпирический материал позволяет считать наиболее важными из них литогенные и биогенные. Под биогенными источниками и механизмами имеется в виду избирательность мхов в поглощение или рассеивание типоморфных ХЭ из числа сидерофилов и литофилов. Существует ряд признаков позволяющих планировать биогеохимические поиски, оценить участие биогенной компоненты в формировании геохимических аномалий, помочь в их разбраковке и уточнении границ.

1. Для картирования литогеохимических ореолов халькофилов перспективны фитоценозы с разреженным растительным покровом, для выделения атмогеохимических ореолов халькофилов и литофилов предпочтителен сомкнутый растительный покров с развитым почвенным горизонтом.

2. Сукцессионные (производные от нарушенных) фитоценозы мало пригодны для выявления по зеленым мхам достоверных литогеохимических ореолов по биогенным и по токсичным для растительности ХЭ (В, Zn, Cu, Mo, Fe, Mn, Pb, Cd, As и др.).

3. Зеленые мхи не пригодны для выделения контрастных биогеохимических аномалий халькофилов на участках с обильной сульфидной минерализацией. Оптимальный масштаб исследований 1: 25000-10000.

4. Отрицательные биогеохимические аномалии биогенных ХЭ, в первую очередь В, Ca, Mg, Mn, совпадают по контуру с положительными аномалиями халькофильных элементов (Pb, Ag), но существенно превосходят их по контрастности.

5. Положительные биогеохимические аномалии В, Zn, Cu, Mo приуроченные к нетипичным для местности уроцищам и фациям, например крутинам кустарников или злаковым лужайкам чаще всего имеют биогенное происхождение и могут быть игнорированы при выделении геохимических ореолов.

Выводы

Таким образом, зеленые мхи во многом недооценены как объект прикладных биогеохимических исследований. Так же, можно говорить о существовании предубеждений в отношении биогеохимических поисков и биогеохимического мониторинга окружающей среды, обусловленных кажущейся сложностью биологического разнообразия объекта исследований. Вопрос о видовой индивидуальности химического состава растений требует детальной проработки для каждого класса, подкласса и отдела в иерархии царства растений.

Особого внимания заслуживает фитоценологическое направление биогеохимических исследований, когда микроэлементный состав растений обусловлен стадией сукцессии растительного покрова, структурой фитоценоза и трансформацией геохимического ландшафта в целом [7]. Учет влияния биологических и экологических факторов на формирование биогеохимических аномалий позволит повысить эффективность и информативность геохимических исследований.

Литература

1. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия: Учебник. – М.: «Логос», 2000. 627 с.
2. Игнатенко И.В., Панернов И.М., Павлов Б.А. и др. Геофизика и антропогенные изменения ландшафтов Чукотки – М.: Наука, 1987. – 271 с.
3. Птицын А.Б. Теоретическая геохимия. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2006. – 180 с.
4. Трегубов О.Д. Геохимия урбанизированных ландшафтов Чукотки. – Магадан: МПО СВНЦ ДВО РАН, 1997. – 120 с.
5. Трегубов О.Д. Вариационно-статистические методы в фитогеохимии на примере тундр Анадырской низменности // Геоэкологические исследования на Северо-Востоке. – Магадан: МПО СВНЦ ДВО РАН, 1999. – С. 210-223
6. Трегубов О.Д., Вербецкий Ю.А. Применение биогеохимических методов поисков в условиях арктоальпийского рельефа (Чукотка) // Материалы рег. научно-практической конференции (Билибинские чтения) «Геология и металлогения Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий», Магадан, 2001.
7. Трегубов О.Д. Об устойчивости тундр к техногенному воздействию и глобальным изменениям среды // Вестник ДВО РАН. № 4, 2010. – С. 79-89.
8. Хрясовский Г.Х. Курс общей ботаники (систематика, элементы экологии и географии растений) – М.: «Высшая школа», 1976. – 480 с.

**4. ГОДИЧНОЕ СОБРАНИЕ ЧИТИНСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОГО
МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА. IX-Е ЧТЕНИЯ ПАМЯТИ АКАДЕМИКА
А.Е. ФЕРСМАНА. СОВРЕМЕННОЕ ГИПЕРГЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ.
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ. КРИОМИНЕРАЛОГЕНЕЗ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СУЛЬФАТНОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ И
ОКИСЛЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ КОЛЧЕДАННЫХ РУД ЛЕТНЕГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

И.А. Блинов, М.Н. Маляренок, Н.И. Вализер

Институт Минералогии УрО РАН, Челябинская обл., г. Миасс, mohauk@mail.ru

**EXPERIMENTAL FORMS OF SULPHATE MINERALS AND OXIDATION OF PRIMARY
SULPHIDE ORES FROM LETNEE DEPOSIT (ORENBURG'S REGION)**

I.A. Blinov, M.N. Malyarenok, N.I. Valiser

Institute of Mineralogy of Ural's branch of Russian Academy of Sciences

Series of experimental works was carried out for forms of sulphate minerals and oxidation of primary sulphide ores from Letnee deposit. Final meaning of pH was similar independently from initial meaning pH. Mineral sulphate zoning is independently from initial meaning pH too. Mineral sulphate zoning depend from mineral and chemical compositions.

Водорастворимые сульфаты обычно образуются при окислении сульфидных руд. В техногенно-спровоцированных зонах окисления сульфатообразование интенсифицируется. На колчеданных месторождениях сульфаты могут быть важным индикатором стадии окисления сульфидных руд и степени развития техногенных процессов [4]. Сульфаты кристаллизуются из сложных многокомпонентных растворов на стенках карьеров, бермах, рудных останцах. Катионный состав новообразованных сульфатов связан с изначальным составом растворов, водоносных пород, их проницаемостью и другими факторами [2, 7]. Изучение сульфатов имеет значение для экологического прогноза поведения металлов и проектирования извлечения металлов из рудничных вод [6]. Более ранними работами было установлено, что техногенные сульфатные корки зональны по минеральному и химическому составу. Однако, ввиду большого количества факторов, влияющих на зональность, выявленные закономерности неоднозначны [2, 4, 5, 6]. Для выявления зависимости минерального состава и типа зональности сульфатных корок от состава «материнского» раствора была проведена серия экспериментов.

Для эксперимента были отобраны 3 штуфа сульфидных руд и одна проба сульфидсодержащего метасоматита (табл. 1). Сульфидные руды характеризуются простыми текстурно-структурными особенностями, высоким содержанием пирита с примесью халькопирита, в качестве второстепенного присутствует сфалерит.

Таблица 1

Химический состав руд

№ обр.	Fe, %	Zn, %	Cu, %	Ni, г/т	Co, г/т	Cd, г/т	Pb, г/т	Примечание
1	34,9	0,6	11,3	167,8	3669,0	22,0	258,5	Мелкозернистая халькопирит-пиритовая массивная руда с выцветами сульфатов
2	35,2	1,2	18,7	27,0	670,0	38,5	75,4	Пиритовая мелкозернистая руда с халькопиритовыми пятнами
3	41,2	1,5	0,5	39,5	1147,0	35,0	569,2	Среднезернистая пиритовая руда с сульфатными выцветами
4	1,8	0,0	0,0	28,1	93,0	3,5	90,2	Пирит-глинистая метасоматически измененная порода
5	40,8	0,1	1,6	53,8	222,0	8,0	1286,6	Тот же штуф что и 3, без сульфатных выцветов

Примечание: химический состав определен атомно-абсорбционным анализом. Анализы выполнены в Институте минералогии, PERKIN-ELMER 3110 в пламени ацетилен-воздух, аналитик М.Н. Маляренок.

Для сульфидных руд Летнего месторождения характерна примесь кобальта. Нерудные минералы в рудах представлены амфиболом, полевым шпатом, эпидотом, хлоритом, иногда кальцитом. Ранее на месторождении в составе сульфатных выщветов были установлены собственные минералы кобальта [1], а также изучена динамика окисления руд в эксперименте, имитирующем semiаридные условия окисления [3].

Методика эксперимента: в стеклянный химический стакан объемом 500 мл помещалась истертая усредненная навеска руды массой 1г с размерностью частиц не более 100 мкм (табл. 1). В стакан наливалось 275 мл дистиллированной воды (рН 5,92), подкисленной серной кислотой (рН 2,1 и 3,8) или ощелоченной гидроксидом натрия (рН 10,36), всего 4 варианта для каждой пробы. Стаканы находились в лаборатории при температуре 18-20°C в течении 60 суток.

По мере испарения воды и окисления руд велись наблюдения изменений рН растворов (табл. 2), на 17-е сутки проведен химический анализ растворов (табл. 3).

Таблица 2

Изменение рН в растворах с течением времени

№ обр.	№ пробы	Начальный рН	Через 3 суток	Через 10 суток	Через 17 суток	Через 24 суток	Через 31 сутки
1	1-1	2,1	2,12	2,55	2,35	3,25	3,45
	1-2	4,38	3,65	3,92	3,7	3,58	3,45
	1-3	5,92	3,76	3,9	4,25	3,5	3,4
	1-4	10,36	3,65	3,9	3,85	3,58	3,45
2	2-1	2,1	2,3	2,88	3,1	3,55	3,7
	2-2	4,38	4,25	3,95	4,1	3,75	3,6
	2-3	5,92	3,96	4,18	4,15	3,8	3,75
	2-4	10,36	4,6	4,2	4,24	3,84	3,7
3	3-1	2,1	2,04	2,5	2,35	2,15	2,05
	3-2	4,38	3,42	3,7	3,55	3,5	2,56
	3-3	5,92	3,4	3,82	3,69	3,15	2,77
	3-4	10,36	3,72	3,81	3,69	3,15	2,8
4	4-1	2,1	2,32	2,96	2,96	2,95	3,25
	4-2	4,38	5,65	6,05	6	5,45	5,46
	4-3	5,92	6,15	6,55	6,65	5,96	5,71
	4-4	10,36	7,75	7,86	7,78	7,7	7,42
5	5-1	2,1	2,05	2,33	2,32	1,95	1,71
	5-2	4,38	3,2	3,48	3,24	2,55	2,4
	5-3	5,92	3,45	3,45	3,35	2,52	2,3
	5-4	10,36	3,45	3,45	3,35	2,6	2,1

Установлено, что независимо от исходных значений рН, в конце эксперимента во всех пробах рН выравнивался до значений 2-3. Часто в первоначально подкисленных до рН 2,1 водах вначале происходит слабое ощелачивание растворов (пробы 1-1 - 4-1, табл. 2), что возможно, связано с присутствием кальцита.

Сопоставление данных химического анализа растворов и руд (табл. 1 и 3) показывает, что нет прямой зависимости между начальным рН, рН в 17 день и концентрацией металлов. Так как пирит является самым устойчивым к кислотам сульфидом [8], степень извлечения железа в раствор является самой низкой. Степень извлечения в раствор цинка и меди выше, чем у железа (рис. 1). Интенсивнее всего в раствор извлекается цинк (рис. 1а, б и г). Различие в степени извлечения металлов связано с различиями состава и текстурно-структурных особенностей руд [3, 8].

При частичном усыхании растворов к 17-м суткам на стенках стакана стали появляться зональные корки, представленные мелкими прозрачными кристаллами сульфатов. В стаканах с образцами, обогащенными медью (1 и 2) вверху располагаются белые агрегаты минералов группы мелантерита $\text{MeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, затем следует синий халькантит $(\text{Cu},\text{Fe})\text{SO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ и ниже буровато-кремовые рыхлые отложения минералов группы ссомольникита $\text{MeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$. В высокоглиноземистой пробе 4 в верхней части корки представлены алуногеном $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18\text{H}_2\text{O}$ и одноводными сульфатами группы ссомольникита.

Таблица 3
Химический состав растворов на 17-е сутки

№ образца	№ пробы	pH	Fe	Zn	Cu	Co
1	1-1	2,35	270	31,5	168,5	2,1
	1-2	3,7	104	29	90	1,98
	1-3	4,25	86,5	29	103,7	2,2
	1-4	3,85	78,5	29	98,3	2,1
2	2-1	3,1	267,5	36,5	67	0,17
	2-2	4,1	54	22,5	19,5	0,17
	2-3	4,15	54,5	31	24	0,24
	2-4	4,24	36	30	22,5	0,23
3	3-1	2,35	229	19,8	51,5	5,95
	3-2	3,55	151,5	16,1	37	5,55
	3-3	3,69	128,5	14,4	26,5	4,7
	3-4	3,69	130,5	16,8	35,5	5,6
4	4-1	2,96	320,8	0,12	0,58	0,06
	4-2	6	-	-	0,11	0,08
	4-3	6,65	-	-	0,11	0,06
	4-4	7,78	8,5	-	0,14	0,06
5	5-1	2,32	342	9,1	217	0,7
	5-2	3,24	256	6,9	152	0,66
	5-3	3,35	288,5	7,4	170,5	0,7
	5-4	3,35	294,5	8,3	181,5	0,78

Примечания: «-» - содержания ниже предела обнаружения. Концентрации металлов приведены в мг/л. Химический состав определен на приборе PERKIN-ELMER 3110 в пламени ацетилен-воздух, аналитик М.Н. Маляренок.

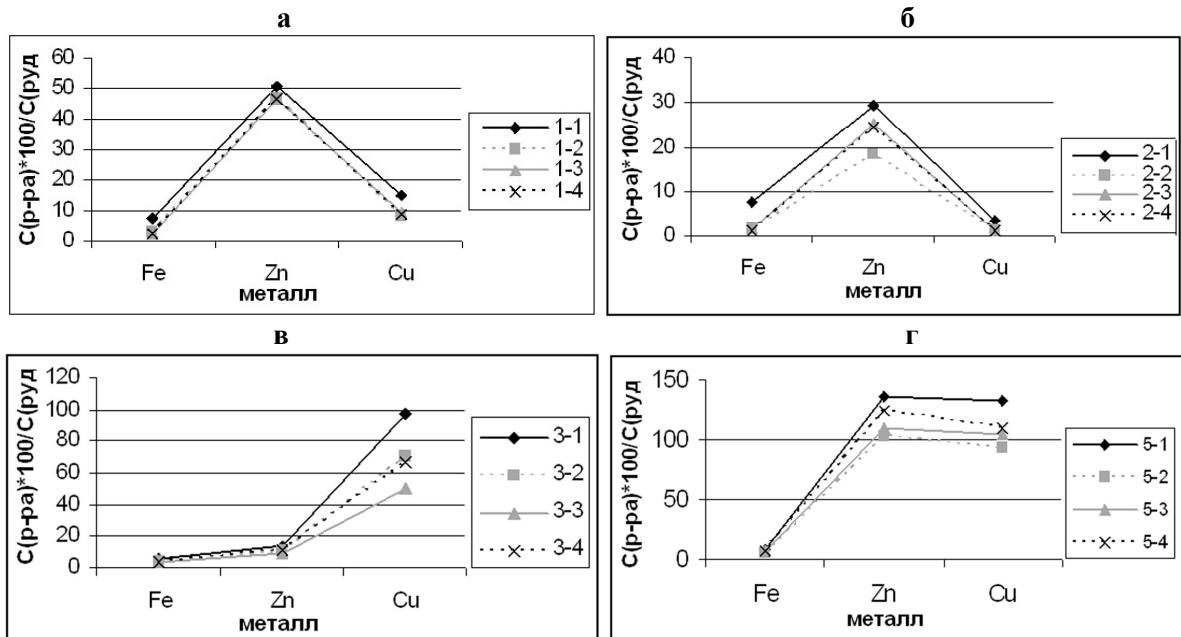


Рис. 1. Степень извлечения металлов из руд в растворы (рассчитана по формуле: $C_{\text{p-pa}}^*100/C_{\text{руд}}$).

В высокожелезистой пробе 3 с низким содержанием цветных металлов сульфаты представлены, главным образом, минералами группы ссомольнокита. В пробе 5 в верхней части располагается небольшое количество сферолитов желтого копиапита $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \times 20\text{H}_2\text{O}$, за ним следуют смесь минералов группы мелантерита и ссомольнокита, окрашенных гидроксидами железа в бурый цвет. В самой нижней части располагается тонкая зона халькантита. Обращает на себя внимание различие зональности при

окислении образцов 3 и 5, которые были отобраны из одного штуфа, близки по текстуре и структуре, но различаются по химическому и соответственно, минеральному составу (табл. 1).

Результаты опытов показали, что в большинстве случаев исходное значение pH на окисление сульфидных руд и сульфатообразование влияет мало. Более низкие значения pH интенсифицируют разложение руд на начальной стадии, но с течением времени происходит стабилизация значений pH, что в свою очередь приводит к сходной конечной минералогической зональности при окислении одинаковых по составу руд. Даже незначительное содержание сульфидов (проба 4) способствует разрушению хлорита, эпидота и глинистых минералов, что приводит к образованию алуногена.

Ранее было показано, что различные текстурно-структурные типы руд в результате окисления способны давать различные сульфатные агрегаты [5]. Результаты эксперимента показывают, что ведущим фактором, ответственным за минеральный и химический состав сульфатов является минеральный и химический состав руд.

Авторы выражают благодарность Е.В.Белогуб, К.А.Новоселову, В.А.Попову за помощь в выполнении работ и ценные замечания.

Работа поддержана грантом НК-544П/14.

Литература

1. Белогуб Е. В., Щербакова Е. П., Мороз Т. Н., Новоселов К. А. Сульфаты кобальта из медно-колчеданного месторождения Летнее (Южный Урал) // Записки РМО, 2005. № 3. – С. 94-100.
2. Блинов И. А., Белогуб Е. В. Зональность распределения техногенных сульфатов на Блявинском колчеданном месторождении (Южный Урал) // Металлогенез древних и современных океанов–2008. Рудоносные комплексы и рудные фации. Миасс: УрО РАН, 2008. – С. 328-332.
3. Гаськова О.Л., Белогуб Е.В., Макаров Д.В. Поведение кобальта при природном и техногенном окислении кобальт-содержащих колчеданных руд (медно-колчеданное месторождение Летнее, Южный Урал) // Геология и геофизика, 2010. № 2. Т. 51. – С. 176-185.
4. Емлин Э. Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во Урал. Ун-та, 1991. – 256 с.
5. Маляренок М.Н., Вализер Н.И. Экспериментальное изучение кристаллизации водных сульфатов при окислении медноколчеданных руд Александровского месторождения (Южный Урал) / Металлогенез древних и современных океанов – 2008. Рудоносные комплексы и рудные фации. Научное издание. Миасс: УрО РАН, 2008. – С. 328-332.
6. Чантурия В.А., Макаров В.Н., Макаров Д.В. Экологические и технологические проблемы переработки техногенного сульфидсодержащего сырья. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. – 218 с.
7. Электрокинетические свойства капиллярных систем – монографический сборник экспериментальных исследований, выполненных под руководством член-корр. Жукова И.И. его учениками (Григоровым О.Н., Козьминой З.П., Марковичем А.В., Фридрихсбергом Д.А.). М.-Л.: издательство Академии наук СССР, 1956. – 355 с.
8. Эммонс В. Вторичное обогащение рудных месторождений М., Л.: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1935. – 479 с.

О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМ РАВНОВЕСИИ СУЛЬФАТ-КАРБОНАТНЫХ РАСТВОРОВ В АНАЭРОБНОЙ СРЕДЕ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЁРНОЙ ВОДЫ ШЕРЛОВОГОРСКОГО КАРЬЕРА)

O.B. Ерёмин, O.S. Сергутская, G.A. Юргенсон

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия,
yeroleg@yandex.ru

ABOUT THERMODYNAMIC EQUILIBRIUM OF SULFATE-CARBONATE SOLUTIONS UNDER ANAEROBIC CONDITIONS (ON THE EXAMPLE OF LAKE WATER OF SHERLOVAYA GORA CAREER)

O.V.Yeriomin, O.S. Sergutskaya, G.A. Yurgenson.

Institute of natural resources, ecologies and criology the SB RAS, Chita, Russia, yeroleg@yandex.ru

The thermodynamic model of sulfate-carbonate solutions in anaerobic conditions has been investigated on the basis of the chemical component analysis of lake water career Sherlovaya Gora tin-polymetallic deposit.

Results of calculations by means of a program complex "Selector" show an opportunity of sulfate-ion reduction to sulphidic species at anaerobic water solutions under 25°C.

По результатам химического анализа озёрной воды карьера Шерловогорского олово-полиметаллического месторождения (таблица) была сформирована модель расчёта равновесного состава системы «раствор-твёрдые фазы» с использованием программного комплекса «Селектор» [1]. Исследуемая термодинамическая система определялась закрытой по отношению к химическим компонентам земной атмосферы. Равновесия в таких моделях соответствуют состоянию анаэробной среды. Количество углерода задавалось переменным содержанием углекислого газа (CO_2) в интервале от 0 до 2000 мг/л.

Таблица
Состав озёрной воды карьера Шерловогорского месторождения. Расчётные данные приведены
при содержании углекислого газа 1000 мг/л

Компонент водного раствора	CO_2	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Sr^{2+}	Zn^{2+}	Mn^{2+}	Na^+	Fe^{3+}	K^+	Cu^{2+}	Pb^{2+}	Cd^{2+}
Концентрация, мг/л (аналитические)	-	-	3625	5.1	1104	159,5	0.8	492	92.4	52.2	20.9	5.6	3.3	0.3	2
Равновесная концентрация, мг/л (расчёт)	438	442	564	5.1	190	73	-	-	0.3	46	-	-	-	-	-

Для 15 химических элементов модель представлена 106 растворимыми водными формами [3, 6] и 370 твёрдофазными компонентами [3, 5, 13].

Опишем поведение модельной системы для 1 литра раствора при стандартных условиях.

При полном отсутствии углерода, равновесные с раствором фазы представлены гидроксидами (0,41 г) – брусит ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), гётит (FeOOH); сульфатами (2,12 г) – бианкит ($\text{ZnSO}_4 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), леонит ($\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), целестин (SrSO_4), а также рядом сульфидов (0,17 г) - борнит (Cu_5FeS_4), халькопирит (CuFeS_2), пирит (FeS_2), гринокит (CdS), галенит (PbS), алабандин (MnS).

Появление углекислоты в растворе и увеличение её концентрации приводит к образованию при равновесии карбонатных минералов: доломита ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), магнезита (MgCO_3), кутногорита ($\text{CaMn}(\text{CO}_3)_2$). При концентрации углекислого газа 200 мг/л ассоциации карбонатных минералов составляют 0,45 граммов, количество гидроксидов уменьшается до 0,19 г брусита. Сульфаты в количестве 5,05 г представлены эпсомитом ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$), гипсом, целестином и бианкитом. Из множества сульфидных минералов (0,13 г) исчезает халькопирит.

Дальнейшее увеличение углекислоты приводит к исчезновению брусита. По графику изменений кислотности раствора (рис. 1) можно выделить относительно стабильный участок $\text{pH} \sim 9.7$ (концентрация углекислого газа 100-300 мг/л), соответствующий присутствующему при равновесии минеральным фаз гидроксиду магния.

При концентрациях CO_2 400-2000 мг/л в равновесии с раствором находятся карбонаты, сульфаты и сульфиды. Кислотность раствора понижается ниже нейтрального значения. Карбонаты дополняются солью натрия и калия (KNaCO_3). При содержании CO_2 600 мг/л количество равновесных с раствором сульфидов составляет - 0,05 г, карбонатов - 0,69 г, и сульфатов - 4,90 г. Вместо борнита при равновесии присутствует ковеллин (CuS). Такое соотношение между разными химическими классами равновесных фаз остаётся при дальнейшем увеличении углекислоты в системе.

Сравнивая аналитические и расчётные (равновесные) концентрации раствора (таблица), можно видеть, что карьерная вода пересыщена по всем катионам металлов и сульфат-ионам. Цинк из раствора полностью переходит в бианкит. Кальций и магний осаждаются в карбонатных и сульфатных фазах. Основное количество марганца из раствора трансформируется в твёрдые сульфиды и карбонаты. На несколько порядков отличное содержание среди металлов железа, меди, свинца и кадмия, позволяет отнести их к ряду микроэлементов в растворе, осаждающихся в виде сульфидных минералов. Процессам образования сульфидов из растворов способствует присутствие в воде сероводородной

кислоты. Рассмотрим содержание двух её водных форм - H_2S и HS^- в модельных растворах (рис. 2). Увеличение содержания углекислого газа приводит к увеличению концентраций сероводородной кислоты. В кислой области растворов ($\text{pH}<7$) происходит перераспределение гидросульфида в сторону сероводорода. Можно сказать, что при концентрациях углекислого газа в растворах выше 400 мг/л, содержание сероводородной кислоты при равновесии постоянно и составляет около 40 мг/л. Как следствие, сульфидные формы серы в воде связываются в малорастворимые сульфиды свинца, кадмия, меди, а также частично железа и марганца.

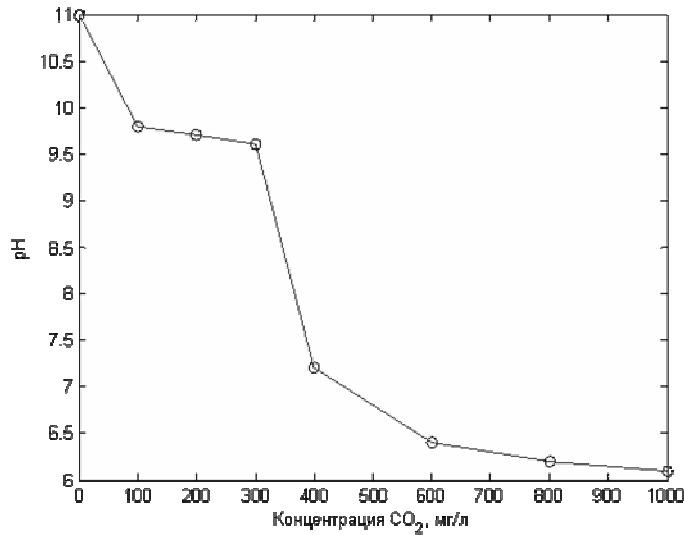


Рис. 1. Изменение кислотности раствора в зависимости от концентрации углекислого газа.

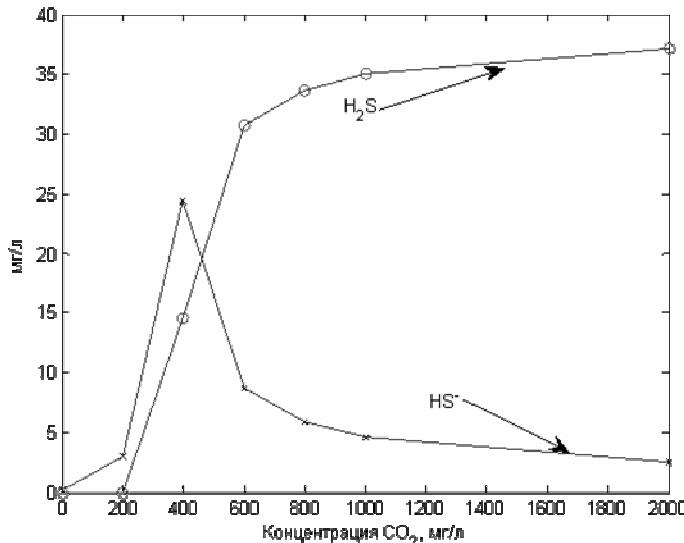
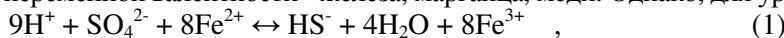


Рис. 2. Изменение равновесных концентраций сульфидных форм серы в зависимости от содержания углекислого газа в растворе.

Электродный потенциал модельных растворов (рис. 3) подтверждает их восстановительную среду. Образование в растворе сульфидной серы логично связать с восстановлением сульфат-ионов ионами металлов переменной валентности - железа, марганца, меди. Однако, для уравнения:



изменение энергии Гиббса при стандартных условиях составляет $\Delta G^\circ \approx 402 \text{ кДж/моль}$, что свидетельствует о невозможности протекания реакции (1). Аналогичные ситуации для ионов марганца и меди.

С другой стороны, для реакции восстановления карбонат-иона до метана в присутствии ионов меди:



$\Delta G^\circ \approx -94$ кДж/моль предполагает самопроизвольное протекание процесса (2) в прямом направлении. Метан как продукт реакции (2) может принимать участие в восстановлении сульфат-ионов:

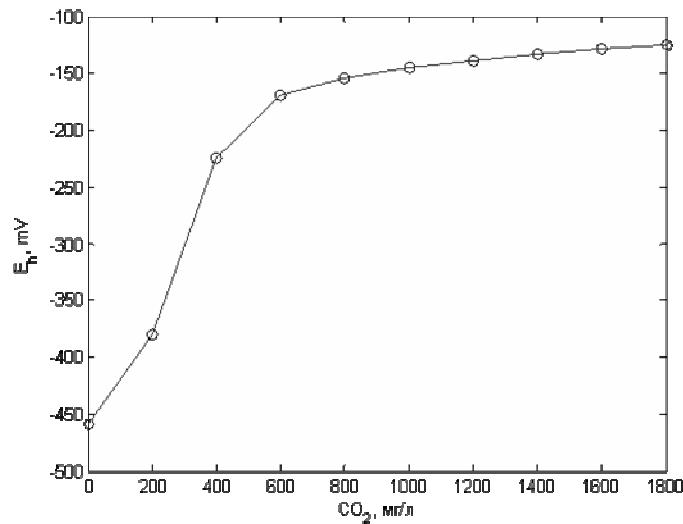
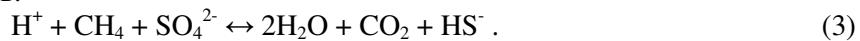


Рис. 3. Изменение величины электродного потенциала (E_h) в зависимости от содержания углекислоты.

Изменение энергии Гиббса для реакции (3) $\Delta G^\circ \approx -70$ кДж/моль не исключает возможность протекания в растворах восстановления сульфатов по механизму реакций (2, 3). Метан в расчётной системе присутствует при равновесии в количествах $\sim 10^{-6}$ мг/л. Динамика изменения его концентрации приведена на рисунке 4.

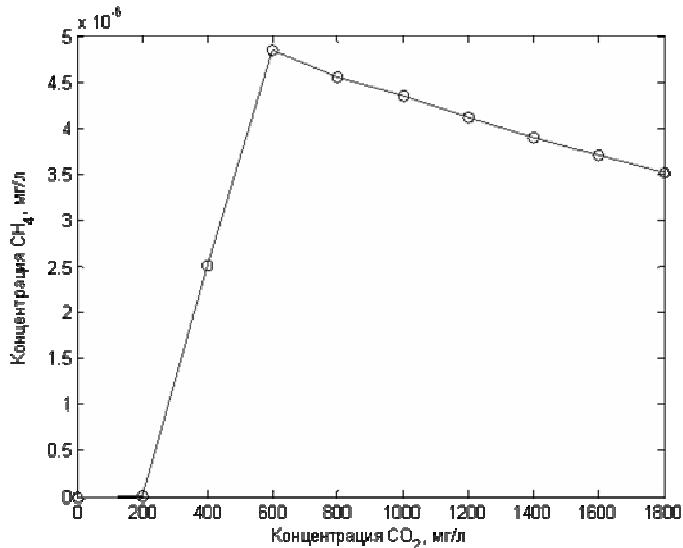


Рис. 4. Содержание в модельном растворе метана в зависимости от концентрации углекислого газа.

Сумма (2) и (3) даёт результирующее уравнение:



энергетический эффект которого $\Delta G^\circ \approx -164$ кДж/моль.

Из рисунков 1-4 видно, что при концентрациях углекислого газа в растворах более 600 мг/л модельная система стремится к состоянию с устойчивыми значениями кислотности, электродного потенциала и концентраций рассматриваемых компонентов.

Восстановление сульфатов до сульфидов в природных водных растворах характеризуется серией окислительно-восстановительных реакций, совокупность и механизмы которых до конца не

выяснены [2, 4, 7, 9-12]. Не смотря на то, что восстановление сульфат-ионов углеводородами в водных растворах энергетически выгодно, реакции их взаимодействия характеризуются высокими активационными барьерами [8]. Экспериментально восстановление сульфат-ионов насыщенными углеводородами удалось провести только при повышенных температурах (> 100 °C). Для пониженных температур (< 80 °C) протекание процессов сульфатредукции традиционно связывают с жизнедеятельностью бактерий, хотя биогенный характер этих реакций далеко не всегда доказан. Вероятно, бактерии могут существовать за счёт выделяющейся энергии в сульфатредуцирующих процессах. Определённую роль в активизации восстановления сульфатов могут играть ферменты, образующиеся вследствие жизнедеятельности бактерий, выполняющих функции катализаторов в процессах сульфат-редукции.

Литература

- 1.Карпов И. К. *Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии*. Новосибирск: Наука, 1981. 247 с.
- 2.Мейнард Дж.Б. *Геохимия осадочных рудных месторождений*: Пер. с англ. М: Мир, 1985. 360 с.
- 3.Рябин В.А., Остроумов М.А., Свист Т.Ф. *Термодинамические свойства веществ*. Справочник. Л.: Химия, 1977. 392 с.
- 4.Сонненфельд П. *Рассолы и эвапориты*: Пер. с англ.- М.: Мир, 1988. 480 с.
- 5.Harvie C.E., Moller N.M., Weare J.H. *The prediction of mineral solubilities in natural waters: Na-K-Mg-Ca-H-Cl-SO₄-OH-HCO₃-CO₃-CO₂-H₂O system to high ionic strengths at 25 C//GCA*, 1984, v. 48, p. 723-751.
- 6.Johnson J.W., Oelkers E.H., Helgeson H.C., SUPCRT 92: *A software package for calculating the standard thermodynamic properties of minerals, gases, aqueous species, and reactions from 1 to 5000 bars and 0 °C to 1000 °C//Computers and Geosciences*. 1992, v. 18, № 7, p. 899-947.
- 7.Jorgensen B.B., Bottcher M.E., Luschen H., Neretin L., Volkov I. *Anaerobic methane oxidation and a deep H₂S sink generate isotopically heavy sulfides in Black Sea sediments//GCA*, 2004, v. 68, p. 2095-2118.
- 8.Ma Q., Ellis G.S., Amrani A., Zhang N., Tang Y. *Theoretical study on the reactivity of sulfate species with hydrocarbons//GCA*, 2008, v. 72, p. 4565-4576.
- 9.Machel H.G. *Bacterial and thermochemical sulfate reduction in diagenetic setting – old and new insights//Sed. Geol.* 2001, v. 140, p. 143-175.
- 10.Noth S. *High H₂S contents and other effects of thermochemical sulfate reduction in deeply buried carbonate reservoirs: a review//Geol. Rundsch.* 1997, v. 86, p. 275-287.
- 11.Sturman P.J., Stein O.R., Vymazal J., Kropfelova L. *Sulfur cycling in constructed wetlands/Wastewater treatment, plant dynamics and management in constructed and natural wetlands*. Springer Science +Business Media B.V., 2008, p. 329-344.
- 12.Trudinger P.A., Chambers L.A., Smith J.W. *Low-temperature sulphate reduction; biological versus abiological//Can. J. Earth Sci.*, 1985, v. 22, p. 1910-1918.
- 13.Yokokawa H. *Tables of thermodynamic properties of inorganic compounds//Journal of the national chemical laboratory for industry*, Tsukuba Ibaraki 305, Japan, 1988, v.83, 27-118.

ГИПС ИЗ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПОКРОВСКОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕНЕЗИС

H.C. Остапенко, О.Н. Нерода

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, Россия,
ostapenko_ns@mail.ru

AIR-CRUSTS GYPSUM OF POKROVSKOYE GOLD-SILVER DEPOSIT AND ITS GENESIS.

N.S. Ostapenko, O.N. Neroda

Institute of Geology and Nature Management of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Blagoveschensk

Впервые для близповерхностного Покровского золото-серебряного месторождения описан гипергенный минерал гипс, условия его нахождения и кристаллизации. Высказано предположение о начале его формирования с момента вскрытия месторождения карьерами.

Hypergenic mineral gypsum is being described for near-surfaced Pokrovskoye gold-silver deposit, conditions of its locations and crystallization. The suggestion about beginning of its formation from moment of deposits open-cast mining has been expressed.

В 2005 и 2008 годах при обследовании эксплуатационных карьеров Покровского местонахождения с целью изучения условий формирования золотосодержащих руд [2] авторы на двух ограниченных по размерам участках наблюдали массовое присутствие кристаллов гипса (рис.1). Мы не ставили перед собой цель обследовать весь горный отвод на выявление подобной минерализации. Дополнительная цель состояла в определении генезиса и механизмов формирования гипса. Для этого были изучены условия залегания кристаллов и отобрана серия образцов для детального изучения кристаллографических форм.

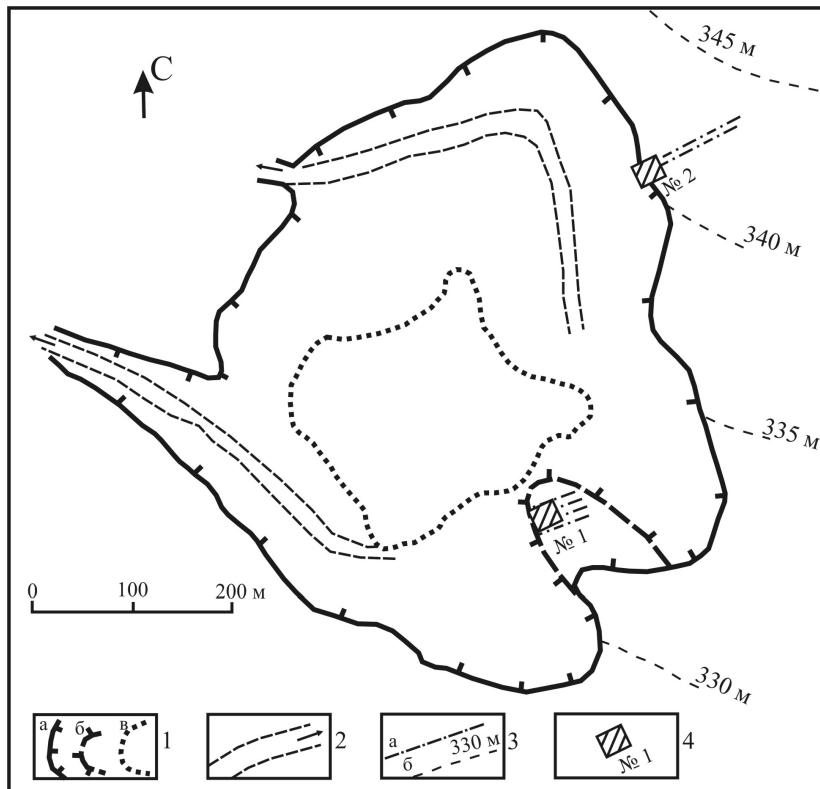


Рис. 1. Схема расположения местонахождений гипса в районе карьера-3 Покровского золото-серебряного месторождения.

- 1 – карьер: а – границы карьера 2008 года, б – участок границы карьера 2005 года, в – дно карьера;
- 2 – выезды из карьера;
- 3 – фрагменты тектонических нарушений (а) и изолинии рельефа (б);
- 4 – площадки с кристаллами и агрегатами гипса.

Местонахождение гипса № 1 расположено на пологом склоне водораздела на участке вскрышных работ в южной части карьера 3 (сбор образцов в 2005 году – рис. 1). Глубина вскрытия некогда заболоченного склона невысокого водораздела, видимо, около 2 м. Расчисткой был вскрыт структурный элювий выветренных вулканитов. Площадка с кристаллами располагается вблизи (в 10-30 м) от стенки верхнего уступа карьера, совмещается с зоной субширотных сближенных кругозалегающих трещин и имеет площадь около 50 м². Кристаллы гипса располагаются на поверхности глинисто-дресвяного слоя элювия с включениями угловатых отломков вулканических туфов дакитового состава. Положение кристаллов обычно наклонное, реже вертикальное или горизонтальное. Размер кристаллов гипса по удлинению достигает 5-12 см. Их основание находится в слое глин, либо кристаллы лежат на поверхности глинисто-дресвяного элювия. Среди кристаллов большая часть имеет уплощенно-столбчатый облик и размеры до 6x4x60 мм. Часто наблюдаются монокристаллы, но еще чаще встречаются таблитчатые кристаллы разных размеров. Мелкие пластинчатые и таблитчатые кристаллы обладают большим совершенством.

Второе местонахождение кристаллов гипса обнаружено на северо-восточном борту этого же карьера на верхнем уступе в зоне влияния другого кругозалегающего северо-восточного нарушения (бросса), отделяющего блок вулканитов с кварцевыми жилами от безрудных вулканитов с юга (сбор образцов 2008 года). Здесь на поверхности сплошной рыхлой массы на

площади 25 м² наблюдается множество разнообразных кристаллов гипса величиной 3-12 см по удлинению, их разнообразные сростки. Уже на небольшом удалении к северу и югу от этой площадки кристаллы гипса не встречаются.

На обоих местонахождениях присутствуют сходные по размерам и формам кристаллы гипса и их агрегаты. В их числе уплощенные моноокристаллы столбчатой формы, толстотаблитчатые кристаллы с хорошо выраженным гранями b , m и l и разнообразные двойники.

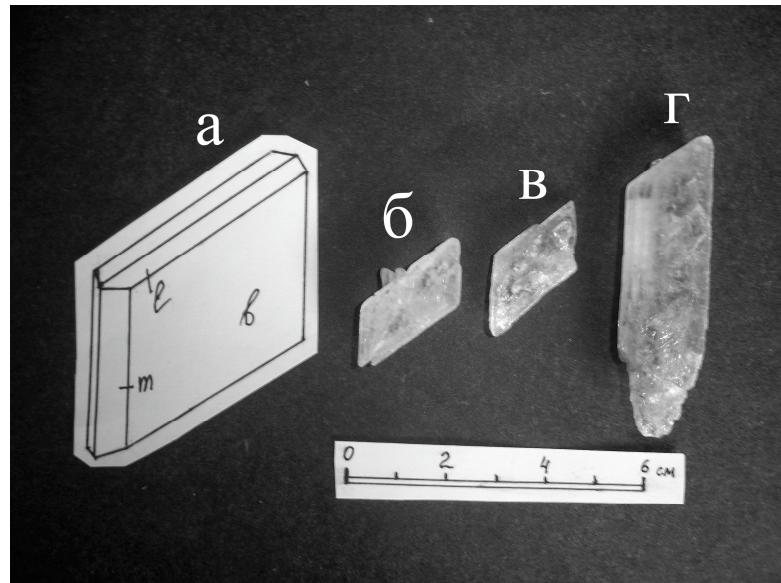


Рис. 2. Кристаллы гипса: а – пластинчатый кристалл гипса с гранями b {010}, l {111} и m {110} по А.Г. Бетехтину [1]; б и в - аналогичные кристаллы гипса Покровского месторождения с удлинением параллельно l ; г – уплощённый столбчатый кристалл с удлинением параллельно m .

Столбчатые кристаллы имеют отношения длины к ширине не менее 5:1 (рис. 3-а, б, в, д), нередко хорошо огранены с боков, прозрачны. Головки кристаллов, за редким исключением, не имеют четких граней. Основания кристаллов сужаются на клин, так как слои роста блокируются глинами. Некоторые кристаллы постепенно или ступенчато сужаются к верхней части. Наиболее развиты грани b и m . Тонкостолбчатые кристаллы (рис. 3-г) имеют соотношения длины к ширине до 10:1. По форме они аналогичны описанным выше, их огранка менее совершенная. И те и другие формировались в вертикальном положении. Основная часть кристаллов возвышается над глинисто-дресвяной подложкой. Некоторые кристаллы формировались в наклонном положении. Они обычно толстостолбчатые. Располагающиеся в их нижней части верхние слои простираются не более чем на $\frac{1}{3}$ длины кристалла. Нижние же слои кристалла в его основании блокированы глинистой подложкой.

Наряду со столбчатыми моноокристаллами, наблюдаются выросшие в таком же положении вытянутые двойники (рис. 3-ж, з, и). Огранка их менее совершенная, нежели у столбчатых кристаллов, основание заужено и сходит на клин. Один из двойников (рис. 3-з) имеет вид осевого сростка четырех двойников «ласточкин хвост», как бы соосно вложенных «один в один». В основании каждого из них присутствуют включения частиц вмещающих пород. Двойниковый шов слегка ундулирует по вертикали. Наибольшая ширина сростка свойственна уровню второго снизу двойника. Верхние двойники имеют хорошо выраженные грани l . На рис. 2-и показан сложный двойник этого типа, формировавшийся в условиях неоднородной подпитки пересыщенных ионами Ca^{2+} и SO_4^{2-} растворами. На рис. 2-к, л отображен один из встреченных хорошо ограненных толстостолбчатых кристаллов небольшой величины со стороны грани l (рис. 2-к) с вrostком крупного кристалла и со стороны грани b (рис. 2-л). На рис. 2-м показан типичный крестообразный двойник из двух толстостолбчатых кристаллов, а на рис. 2-н – множественный («ежевидный») двойник из таких кристаллов. Относительно глинистой подложки кристаллы этих двойников вытянуты преимущественно пологого (углы 0-25°). Для этого типа кристаллов характерна минимальная высота грани b , в отличие от столбчатых и хорошее совершенство всех граней. В основании таких сростков располагаются

небольшие агрегаты мелких кристаллов гипса, на которых избирательно развивались единичные крупные. Площадь контакта таких кристаллов и сростков с пористой питающей подложкой значительно больше, нежели у столбчатых разновидностей.

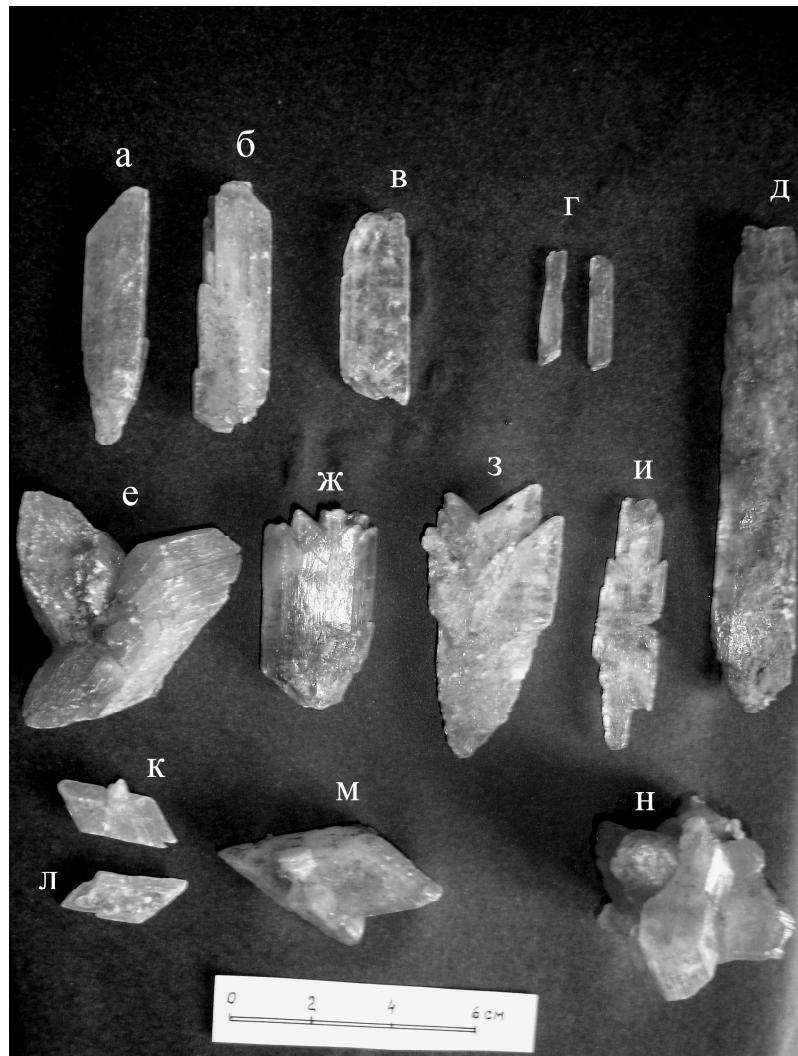


Рис. 3. Кристаллы и двойники гипса с Покровского золото-серебряного месторождения Приамурья.
а, б, в, д – столбчатые кристаллы; г – тонкостолбчатые кристаллы; е – крестообразный двойник;
ж, з, и – двойники типа «ласточкин хвост» по гальскому закону; к – толстостолбчатый кристалл со
стороны грани *l*, л - он же со стороны грани *b*; м – крестообразный двойник толстостолбчатых
кристаллов; н – множественный сросток толстотаблитчатых кристаллов (ёж).

Отмеченное расположение местонахождений свидетельствует о явных связях мест формирования гипса с зонами тектонических нарушений и метеорными водами зоны окисления, высачивающимися из коренных пород по крутозалегающим трещинам в горизонт аллювиальных глинисто-дресевянных отложений на склонах водораздела при заложении эксплуатационных карьеров. Погружающиеся не минерализованные метеорные воды в зоне водораздела за счет взаимодействия с пиритом и породами в зоне окисления обогащались SO_4^{2-} , Ca^{2+} и другими ионами. На их выходах ниже по склону в определенных условиях могли отлагаться вторичные минералы, в том числе гипс. Расположение кристаллов на поверхности глинисто-дресевянной подложки или с небольшим распространением в нее (на глубину 2-3 см, глубже такие кристаллы не встречены), свидетельствует о том, что в этих условиях они и были сформированы под действием климатических факторов, приводивших к пересыщению растворов (фактор пересыщения). В сухое жаркое время лета необходимое пересыщение растворов достигалось на испарительном барьере у поверхности зачисток. Поступающая по порам и капиллярам на поверхность метеорная вода пересыщалась ионами Ca^{2+} и SO_4^{2-} и

формировала агрегаты мелких кристаллов гипса. В последующем из них развивались единичные наиболее крупные в виде кристаллов или двойников. В зависимости от количества «питания» формировались столбчатые кристаллы и двойники типа «ласточкин хвост» вертикальной или наклонной ориентировки или короткостолбчатые (толстотаблитчатые) пологозалегающие монокристаллы и крестообразные или множественные (ежеподобные) субизометричные двойники. Последние формировались в условиях более интенсивного поступления растворов.

Нами наблюдалась и крупные столбчатые кристаллы и двойники. Для них характерно пологое расположение по отношению к подложке и повышенная площадь контакта с ней. Это способствовало более существенному поступлению «строительного материала». Нарастание слоев происходило от подложки. Они продвигались в сторону удлинения кристалла до его верхней части или «останавливались» по какой-то причине произвольно (рис. 4). На некоторых столбчатых кристаллах и двойниках образовалось по нескольку таких ступеней разной высоты иногда до трех миллиметров. В тех случаях, когда между слоями появлялся породный примесный материал, происходил расщепленный рост.

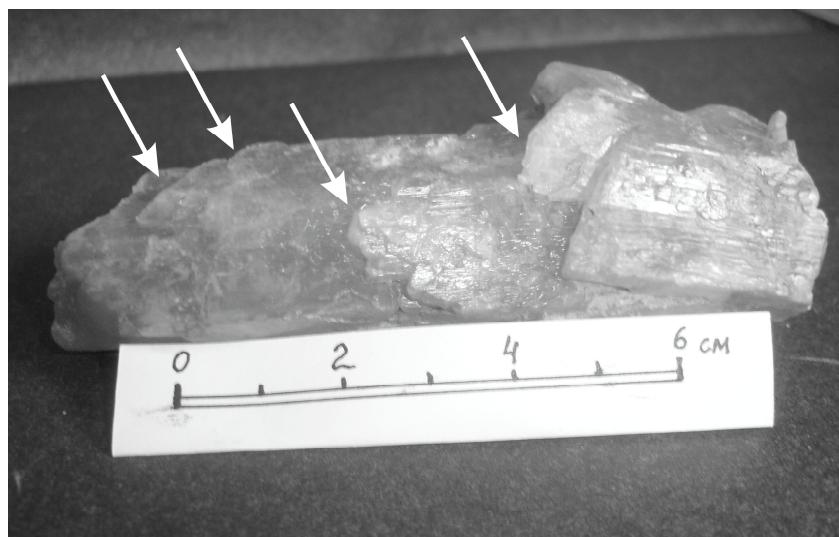


Рис. 4. Толстостолбчатый кристалл гипса (его основание расположено справа).
Видны последовательные нарастания слоев на грань b (показаны стрелками).

Формирование агрегатов, кристаллов и двойников гипса несомненно происходило и в холодное осенне-зимнее время, так как пересыщение растворов в это время могло происходить в процессе вымораживания воды. Следовательно, рост кристаллов гипса мог происходить круглый год непрерывно-прерывисто. Максимальная скорость роста очевидно соответствовала особенно жарким и морозным периодам, минимальная – весенне-осенним переходным периодам. В дождливые периоды, вследствие разбавления растворов, минералоотложение не происходило вовсе. Прерывистость формирования кристаллов отразилась на качестве граней кристаллов, а интенсивность поступления «строительного материала» предопределила рост либо единичных удлиненных кристаллов и двойников, либо компактных толстотаблитчатых крестообразных или множественных двойников.

Изложенные данные о местонахождениях гипса на Покровском золото-серебряном месторождении, о морфологии кристаллов, их размещении относительно современной техногенной поверхности, элементов рельефа и тектоники, позволяют нам сделать заключение, что мы имеем дело с современным процессом минералообразования, который ведет отсчет времени с момента начала на месторождении вскрышных работ.

Литература

1. Бетехтин А.Г. Минералогия.. М.: Госгеолиздат, 1950. – 956 с.
2. Остапенко Н.С., Нерода О.Н. Признаки гидроразрыва пород при формировании Покровского золото-серебряного месторождения Приамурья (Россия) // ДАН, 2009, Т. 424, № 5. – С. 655-659.

СУЛЬФАТЫ МАГНИЯ И МЕДИ С РАЗЛИЧНЫМ ЧИСЛОМ МОЛЕКУЛ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ВОДЫ

O.C. Сергутская, Г.А. Юргенсон, Р.А. Филенко

Институт природных ресурсов, экологии и криологии, Чита, Россия, sergutskaya@mail.ru

MAGNESIUM AND COPPER SULFATES WITH DIFFERENT NUMBER OF MOLECULES OF CRYSTALLIZATIONAL WATER

O. S. Sergutskaya, G.A. Yurgenson, R.A. Filenko

Institute of natural resources, ecology and cryology of the SB of the RAS, Chita, Russia, E-mail:
sergutskaya@mail.ru

The Sherlovogorsk tin poly-metallic mine is part of Sherlovogorsk ore-magmatic system, the Eastern part of which is known as a tin poly-metallic mine Sopka Bolshaya. It had been developed open until 1993, later formed the nature-technogenic and geo-technogenic landscapes an example a lake was formed on the bottom of the quarry.

Шерловогорское оловополиметаллическое месторождение является составной частью Шерловогорской рудно-магматической системы, восточная часть которой известна как оловополиметаллическое месторождение Сопка Большая. Оно разрабатывалось открытым способом до 1993 года, впоследствии образовались природно-техногенные и геотехногенные ландшафты, примером служит карьер с искусственным озером на его дне [4].

В прибрежной части озера в карьере Шерловогорского месторождения были обнаружены современные минеральные образования. Эти минералообразования образуются в зимний и летний сезоны в период отсутствия атмосферных осадков и представляют собой голубые, зеленые, белые и желтые минералы: хальканит $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, мелантерит $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, сидеротил $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, госларит $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, копиапит $\text{FeFe}_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$, гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, старкеит $\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, гексагидрит $\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, блёдит (астраханит) $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, англезит PbSO_4 , смитсонит ZnCO_3 , церуссит PbCO_3 . Толщина корок образцов исследованного минерального образования различна и составляет 0.3-0.2 мм, ширина до 5-6 мм, размер зерен кристаллов также различен, под бинокуляром кристаллы образца плотные и блестящие, матовые и рыхлые, пористые и мягкие [3].

Содержание в воде сульфат-ионов зимой (февраль), летом (июнь) и осенью (сентябрь) 2010 года составляло соответственно 2864.69, 1208.20 и 3338.5 мг/дм³, магния – 656.64, 320.9 и 296.22 мг/дм³, pH – 2.99, 3.19 и 2.87. В таблице представлен химический состав воды за 2010 год.

Таблица

Химический состав воды карьера Шерловогорского месторождения

Показатели	ШГ-10/36, февраль 2010 г.	ШГ-10/1, июнь 2010 г.	ШГ-10, сентябрь 2010 г.
pH	2.99	3.18-3.19	2.86-2.87
HCO_3^-	0.00	0.00	0.00
SO_4^{2-} , мг/л	2864.69	1208.2	3338.5
Cl^-	19.5	6.74	7.01
F^-	6.93	13.41	-
Ca	811.62	549.2	833.97
Mg	656.64	320.9	296.22
Zn	192.0	926.25	1304.2
Mn	131.5	60.2	68.53
Fe общее	53.84	17.54	31.06
УЭП, мСм/см	4.30-4.31	2.56	-

Для идентификации состава минерального образца был проведен рентгеноструктурный анализ (рис. 1). Образцы исследованы на дифрактометре ДРОН-3 на медном Ка-излучении и в порошковой камере Дебая РКД 57.3мм на FeKa- излучении.

Данные анализа дебаеграмм указывают, что в изученных минеральных новообразованиях присутствуют кизерит $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, старкеит $\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (d/n 4.70 Å), пентагидрит

$\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (d/n 5.93; 4.91; 4.44 Å), гексагидрит $\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (d/n 4.39. 5.09Å), эпсомит $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (d/n 4.24 Å), а также бонаттит $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и халькантит-сидеротил $(\text{Cu}, \text{Fe})\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (рис. 1).

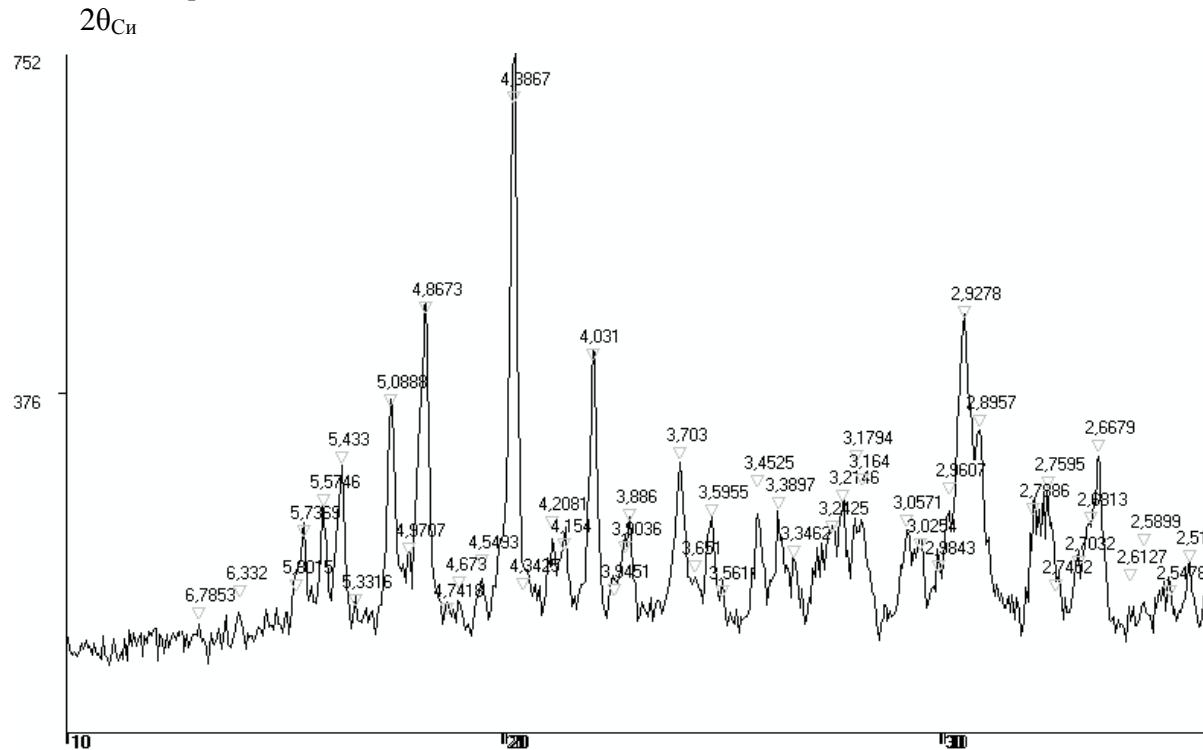


Рис. 1. Дифрактограмма образца № ШГ-07-256. Состав пробы: гексагидрит $Mg[SO_4] \cdot 6H_2O$. сидеротил $(Fe,Cu)SO_4 \cdot 5H_2O$. следы эпсомита $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (5.33; 4.20; 3.02; 2.98). бонаттита $CuSO_4 \cdot 3H_2O$ (5.10; 4.85; 4.40; 3.65; 3.25; 3.01; 2.96). гидрослюды (4.97) [1].

По данным термического анализа образцов ШГ-10/140 и ШГ-10/140-1, проведенного в Институте природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН на приборе Термограф (фирмы NETZSCH) при температуре от 30 до 400°C видно, что в диапазоне температур от комнатной до 300°C идет выделение кристаллизационной воды: 5 молекул для халькантита-сидеротила и 3 молекулы для бонаттита (рис. 2) [2].

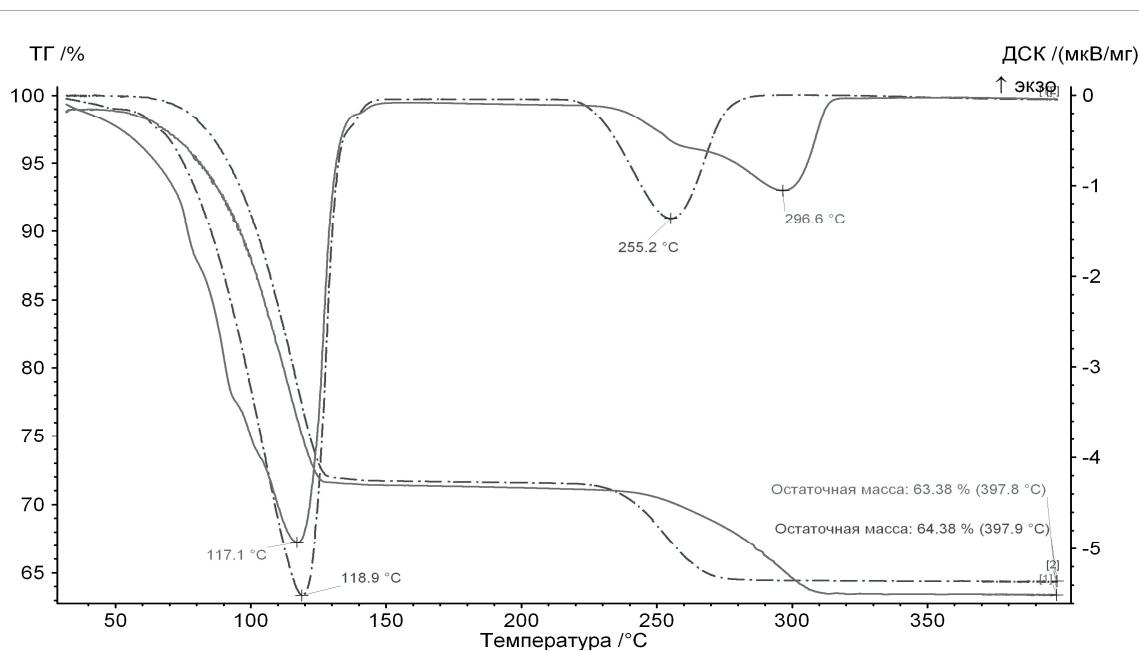


Рис. 2. Термограммы образцов ШГ-10/140 и ШГ-10/140-1.

Таким образом, одним из важных результатов проведенных исследований является установление образования сульфатов магния и меди с различным числом молекул кристаллогидратной воды - от одной (кизерит) до семи (эпсомит), за исключением $MgSO_4 \cdot 2H_2O$ и $MgSO_4 \cdot 3H_2O$ для магния и 3 и 5 молекул – для меди (соответственно бонаттита и халькантита-сидеротила). Причины образования сульфатов магния и меди с разным числом молекул кристаллогидратной воды, последовательность их кристаллизации и количественные соотношения требуют дальнейшего изучения этих сульфатов.

Литература

1. Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. - М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр. - 1957. - 858 с.
2. Термический анализ минералов и горных пород. Л., «Недра», 1974. 399 с.
3. Юргенсон Г. А., Сергутская О. С. Сульфаты магния и цинка в продуктах современного минералообразования из временных водотоков на техногенном делювии в прибрежной зоне водоема Шерловогорского карьера. Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: труды II Всероссийского симпозиума с международным участием и VIII Всероссийских чтений памяти А. Е. Ферсмана 24-27 ноября 2008г. Чита. Россия. Чита: 2008. – 169с.
4. Yurgenson G.A., Goryachkina A.G., Solodukhina M.A., Frolov A.I. The Sherlovogorsk Ore-Magmatic System and Its Mineral Resources // Proceedings for the 5th International Symposium on Geological and Mineragenetic correlation in the Contiguous Regions of China. Russia and Mongolia. Changchun. China Oct.8 –10. 2003. – Changchun: International Centre for Geoscientific Research and Education in Northeast Asia. Jilin University. 2003.– P.18-21.

ОСАДКИ ОЗЕРА ДОРОНИНСКОЕ, ОБСТАНОВКА И ДИНАМИКА ЕГО СЕДИМЕНТОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

N.B. Серебренникова

Лаборатория минералогии и геохимии ландшафта ЗабГГПУ и ИПРЭК СОРАН, г. Чита, Россия,
nvserebrennikova@academ.chita.ru

THE SEDIMENTS OF DORONINSKOE SODA LAKE, SITUATION AND DINAMICS ITS SEDIMENTATION PROCESSES

N.V. Serebrennikova

*Laboratory of Mineralogy and geochemistry of landscape ZabGGPU and INREC SB RAS, Chita,
Russia nvserebrennikova@academ.chita.ru*

Установлено, что современное осадкообразование озера Доронинское характеризуется накоплением терригенного песчано-глинистого материала, поступающего с поверхностным стоком, грязевулканическими процессами и абразией берегов. Низкая степень зрелости обломочного материала и его незначительная роль в формировании содовых минералов определяют наличие иных источников главных типохимических элементов озерной системы, находящихся вне пределов его котловины. Таковыми по-мнению автора являются субвулканические интрузии развитые в бортах Яблонового хребта. В качестве основного механизма поступления солевого вещества выделены грязеводные флюиды.

It is established, that modern lakes Doroninskoe is characterized by accumulation terrigene the sandy-argillaceous material acting with a superficial drain, mud volcano processes and abrasion of coast. Low degree of a maturity of fragmental material and its insignificant role in formation of soda minerals define availability of other main typechemical elements sources of lake system, being outside of its hollow limits. Those to opinion of the author are subvolcanic intrusion developed in boards of Yablonovy range. As the basic mechanism of delivery of salt substance are allocated mudaqueous fluids.

Озеро Доронинское известно как крупнейшее месторождение самосадочной соды Восточной Сибири. Несмотря на длительную историю и разносторонний характер исследований, проблема озерного сodoобразования вследствие недостаточной разработанности ряда основополагающих вопросов остается во многом дискуссионной. Так, на сегодняшний день нет ясности во взглядах на источник солевого вещества, факторы и механизмы его миграции и концентрирования. Неоднозначны представления об условиях и способах содового и парагенного минералогенеза. Не определена роль в образовании физико-химических и

биохимических процессов, протекающих в самом водоеме, и внешних структурно-геологических параметров района локализации озера.

В настоящей работе сodoобразующий процесс рассматривается в рамках концепции континентально-озерного осадкообразования. Согласно данной концепции образование и накопление солей является закономерным этапом эволюции гидрологически замкнутых бассейнов континентальной седиментации. Методологической основой исследований служит представление об осадке как носителе комплекса структурно-вещественных признаков, отражающих обстановку и динамику осадкообразующих процессов. С целью построения прогностической седиментационной модели, проведено комплексное литолого-геохимическое изучение современных осадочных образований озера, определены их гранулометрический, минеральный, химический состав и физические свойства.

Работа написана по результатам аналитических исследований 126 проб донных отложений, 11 образцов криогенных минералов, 17 известковых и 12 проб грязевулканических образований, 96 проб прочих седиментов.

Установлено, что основу вещественного состава современных осадков озера составляет терригенный песчано-глинистый материал, находящийся на стадии продолжительной седиментационной дифференциации и трансформации.

До глубин 4-4,5 м в структуре отложений преобладает мелко-тонкозернистый песок разной степени сортированности, глубже распространены алевриты и глины, последние доминируют в осадке с глубин более 5 м (рис. 1).

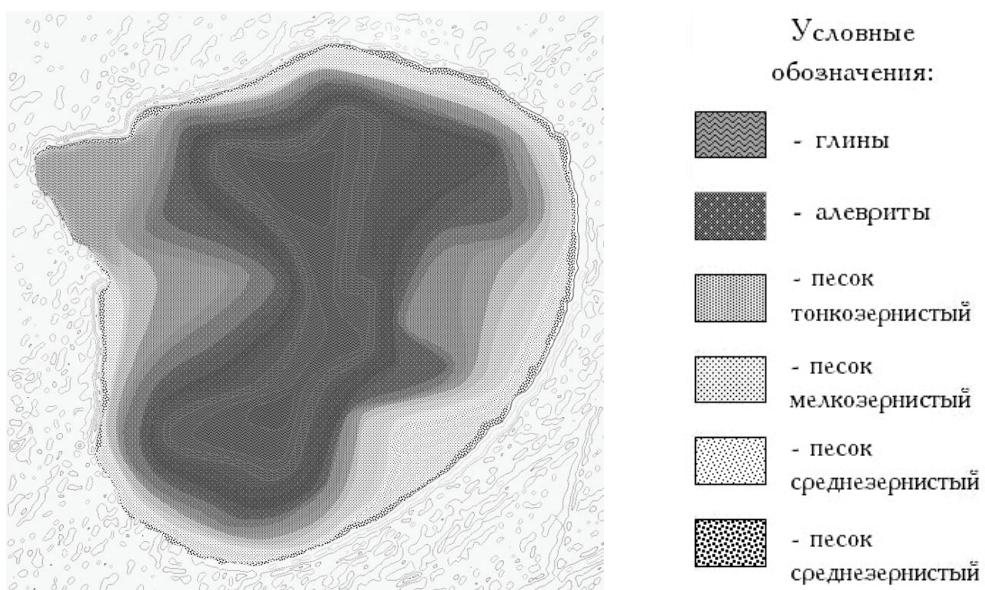


Рис. 1. Литологический состав осадков.

Главными механизмами поступления терригенного материала являются поверхностный сток, грязевой вулканизм и абразия берегов.

Поверхностный сток осуществляется постоянными (р. Калитиха) и временными (атмосферные осадки, талые воды) водотоками. Гипсометрическое положение озерной котловины определяет также субаквальную разгрузку грунтовых вод на северном и южном участках береговой линии. В связи с низкой энергией поверхностных водотоков привносимый ими материал отличается малой крупностью и преимущественно алевроглинистым составом.

Широкое проявление и устойчивый режим грязевулканических образований определяют существенный их вклад в накопление современных отложений озера. Резкое преобладание в составе жерловой фации тонкопелитового материала является одним из факторов формирования тонкодисперсных донных илов значительной мощности, достигающей по оценкам ряда исследователей 8-10 м [2, 3, 7]. Диапировый характер грязевулканических извержений в пределах котловины нарушает кинетику осадкообразования, формируя локальные литолого-геохимические аномалии.

Абрация берегов характерна для северных и северо-восточных участков береговой линии, обеспечивая поступление главным образом мелкопесчаного материала и продуктов разрушения известняков. Активизация абразионных процессов происходит в периоды обводнения озера, высокого стояния его вод.

Таким образом, в заполнении бассейна участвуют рециклированные осадки, повторно мобилизованные из сформировавшихся раннее аллювиально-озерных и делювиально-пролювиальных осадочных комплексов мезо-кайнозоя.

По минеральному составу песчаные классы осадка относятся к мезомиктовому Na-K-содержащему полевошпатово-кварцевому типу. Для минералов тяжелой фракции характерна ассоциация: роговая обманка-сфен-ильменит-эпидот, в значительном количестве содержатся циркон, гранат, лейкоксен. Для пляжевой зоны южных и юго-восточных участков котловины характерно формирование циркон-ильменитовых россыпных горизонтов [5].

Минеральный состав, слабая окатанность и измененность обломочных зерен, широкий спектр минералов тяжелой фракции, а также пониженные значения (0,7-3,6) отношений суммы устойчивых минералов к сумме неустойчивых свидетельствуют о низкой степени зрелости обломочного материала и малой дальности его переноса. Стабильно высокие содержания роговой обманки связаны с повсеместным ее распространением в коренных породах обрамления. Ильменит, титанит и циркон, в том числе радиоактивный, являются типичными акцессориями раннетриасовых субвуликанических интрузий (рис. 2).

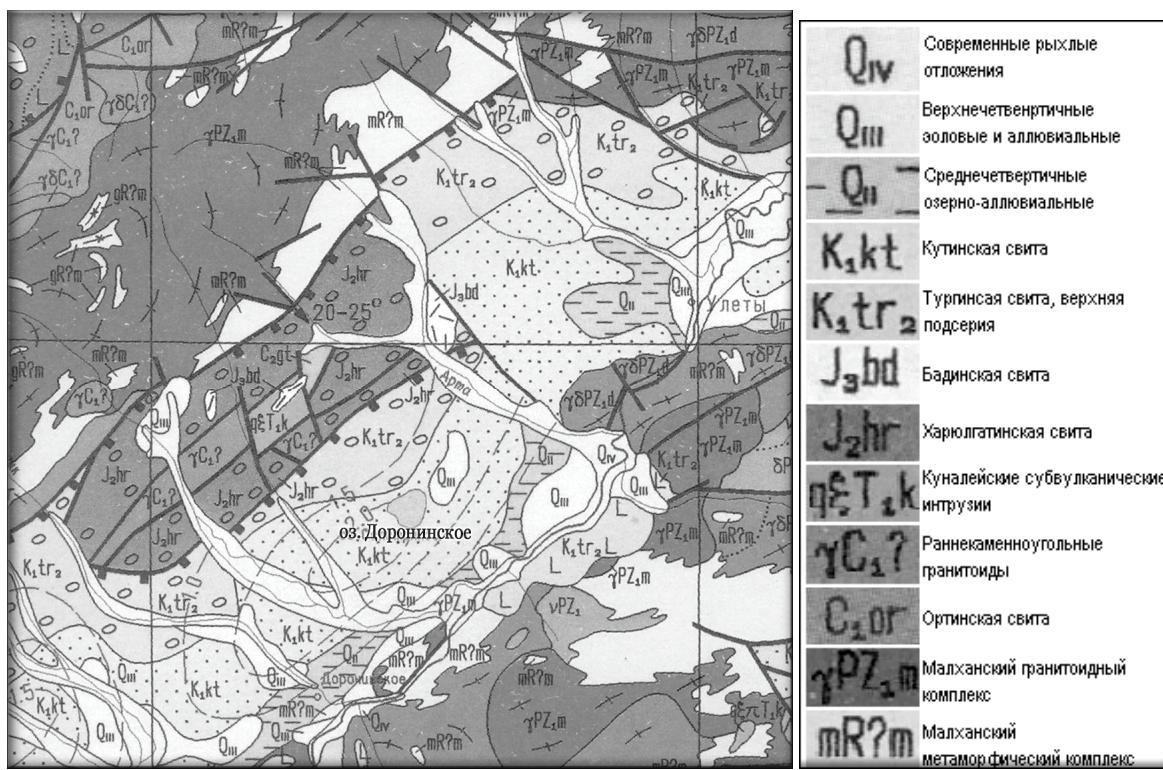


Рис. 2. Геологическое строение района локализации оз. Доронинское (по И. Г. Рутштейну, с измен.).

Таким образом, минеральный состав обломочных классов осадка формируется под влиянием ближайших питающих провинций. Рециклический характер поступающего материала и гидродинамические параметры водоема приводят к сепарации терригенных минералов и формированию маломощных россыпных горизонтов. В связи с тем, что полевые шпаты представлены преимущественно ортоклазом и кислым плагиоклазом до альбит-олигоклаза №20 включительно, устойчивыми в щелочных гипергенных условиях, их участие в формировании натриевой составляющей воды озера Доронинское ничтожно мало.

Основу минерального состава глинистых классов осадка составляют терригенные гидрослюды и каолинит, с примесью аллотигенно-аутигенных тонкодисперсных смектитов различных модификаций. Глинистые отложения озерной котловины характеризуются низкой

степенью структурного совершенства, свидетельствующей об интенсивной геохимической трансформации терригенных компонентов с одной стороны, и продолжающейся кристаллизацией аутигенных минералов – с другой [4].

Глинистый материал, поступающий в озеро с временными и постоянными водотоками, имеет большей частью каолинит-гидрослюдистый состав.

Глинистые фракции грязевулканических образований отличаются лучшей оформленностью минеральных индивидов и явно выраженной зональностью. Так в минеральном составе сопочной грязи юго-западных, западных и северных зон преобладают смектиты двух модификаций – Na^{+} и смешанной, в значительном количестве содержится гидрослюдя со смектитовыми пакетами, в качестве примеси отмечен каолинит. Грязевулканический материал северо-восточной и восточной зон (рис. 3) сложен преимущественно гидрослюдой и каолинитом, с примесью структурно несовершенного смектита.

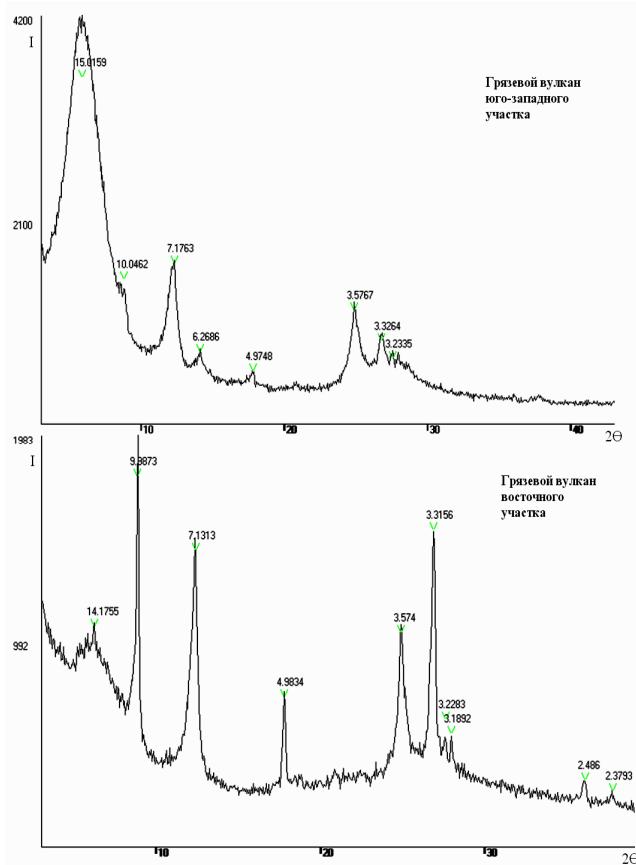


Рис. 3. Дифрактограммы сопочной грязи вулканов юго-западной и восточной зон.

Таким образом, минеральный состав глин донных отложений озера также свидетельствует о преобладании терригенной седиментации. В то же время морфоструктурные изменения глинистых минералов определяются гидрохимическими параметрами водоема. Минеральный состав глин сопочной грязи указывает на участие грязевулканических процессов не только в накоплении каолинит-гидрослюдистых, но и части смектитовых компонентов осадка.

Характерной особенностью химического состава озерных отложений являются высокие содержания хлора, натрия и кальция, повышенные – серы, магния, углерода, неодима, церия и свинца. Распределение химических элементов определяется комплексным действием механического, щелочного, сорбционного и сероводородного барьеров. С глубиной и удаленностью от берега возрастает содержание большинства элементов. С формированием циркон-ильменитовых россыпных горизонтов связаны максимумы Ti, Fe, Mn, Ce и La. Концентрации Si, K и Ba коррелируют с содержанием псаммитовой составляющей [1].

Отличительным признаком химического состава сопочных грязей (табл. 1) являются высокие содержания кремния, алюминия, титана, железа, натрия, фосфора и хлора. Их

значения в 1,5-3 раза превышают кларковое. В количествах близких к кларку содержатся марганец, магний и калий. Содержания кальция и серы существенно ниже кларкового.

Среди примесных элементов отмечены высокие содержания церия и свинца (~ 2 кларка), повышенные лантана, неодима и цинка (~ 1,3-1,6 кларка). Барий содержится в количествах близких к кларку. Концентрации никеля, меди, хрома и ванадия ниже кларковых значений.

Концентрации алюминия и титана немного превышают, но в целом близки к значениям характерным для глубинных илистых фаций котловины озера. Содержание железа, магния, натрия, калия и фосфора близко к значениям типичным для среднеглубинных алевро-глинистых отложений, а кремния, магния, кальция, серы и хлора – для прибрежных песков. Кобальт, хром, лантан, церий, цинк, свинец и ванадий содержатся в количествах близких к значениям характерным для глубинных фаций, неодим, никель и медь – среднеглубинных, а барий – прибрежных.

Таблица 1

Химический состав сопочных грязей, мас.%

		Компоненты												
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	C	Cl
Кларк		23,8	0,45	10,45	3,33	0,067	1,34	2,53	0,66	2,28	0,077	0,3	1	0,016
ГВ-1 ₁₀₋₃	\bar{x}	58,0	0,95	18,74	5,60	0,06	1,61	1,10	2,15	2,49	0,21	0,05	0,45	0,04
	\bar{x}/K	2,44	2,11	1,79	1,68	0,84	1,20	0,43	3,25	1,09	2,66	0,18	0,45	2,78
ГВ-2 ₃	\bar{x}	58,9	0,91	18,26	5,38	0,07	1,56	1,19	2,365	2,56	0,23	0,04	0,45	0,03
	\bar{x}/K	2,48	2,02	1,75	1,62	0,98	1,16	0,47	3,58	1,12	2,99	0,12	0,45	1,88
ГВ-3 _c	\bar{x}	57,3	0,98	19,43	4,99	0,08	1,85	2,05	2,28	2,45	0,26	0,06	1,84	0,03
	\bar{x}/K	2,41	2,18	1,86	1,50	1,13	1,38	0,81	3,45	1,07	3,38	0,20	1,84	1,56
ГВ-4 _{c-b}	\bar{x}	55,8	0,97	18,49	7,65	0,16	1,33	1,07	1,59	2,44	0,21	0,06	2,43	0,03
	\bar{x}/K	2,34	2,16	1,77	2,30	2,39	0,99	0,42	2,41	1,07	2,73	0,21	2,43	1,69
ГВ-5 _b	\bar{x}	58,2	0,92	18,58	6,64	0,07	1,28	0,82	2,38	2,58	0,25	0,03	1,82	0,05
	\bar{x}/K	2,44	2,04	1,78	1,99	1,01	0,96	0,32	3,61	1,13	3,25	0,10	1,82	3,06

Примечание: ГВ – грязевой вулкан, нижний индекс – его местоположение.

Таким образом, направленность и динамика современных седиментационных процессов приводит к перераспределению поступающих элементов в пределах озерной котловины и формированию геохимической зональности озерных отложений.

Не подлежит сомнению участие грязевулканических процессов в накоплении целого ряда химических элементов современных донных отложений озера Доронинское.

Исследования вещественного состава современных отложений озера Доронинское позволили определить направленность и динамику современных седиментационных процессов.

Установленная низкая степень зрелости обломочного материала и его незначительная роль в формировании сидовых минералов предполагают наличие иных источников главных типохимических элементов озерной системы, находящихся вне пределов ее котловины.

Минеральный и химический состав грязевого материала, его роль в формировании современных отложений озера заставляют обратить особое внимание на генезис грязевулканических структур.

Грязевые вулканы озерной котловины представляют собой различные по форме многолетние геологические образования, сложенные грязью различного цвета и консистенции. Они широко распространены по побережью озера, установлены также в ископаемом состоянии.

Как правило, грязевые вулканы образуют скопления в местах выхода питающих озеро подземных вод, приуроченных к границам несогласного залегания мезозойских отложений Доронинской депрессии (рис. 3, врезка). Зоны проявления грязевого вулканизма отделены друг от друга участками субаквальной разгрузки поверхностных и грунтовых вод. Нами выделены западная, северная и восточная зоны (рис. 3).

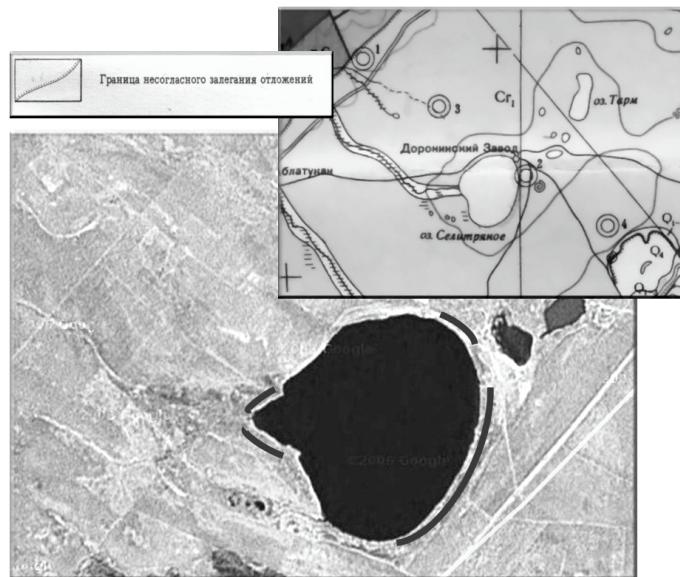


Рис. 3. Распространение грязевых вулканов. Зоны их проявлений отмечены жирной линией по периферии озерной котловины. На врезке - геологическая карта территории по Е.В. Барабашеву.

Как было показано выше, грязевой материал северных и западных участков отличается преимущественно смектитовым составом и высоким содержанием натрия.

Принимая во внимание наследование кристаллохимическими характеристиками смектитов состава материнских пород и физико-химических параметров среды [8], присутствие их натриевых модификаций объясняется высоким содержанием этого элемента в исходной породе и (или) поровом растворе.

Характерно, что Na/Ca отношение для донных отложений варьирует в пределах 0,02-2,6, при среднем значении 0,75, а для грязевых образований – 1,11-6,8 и 2,6, соответственно. Преобладание натрия в составе последних свидетельствует о том, что грязевулканические процессы являются одним из ведущих механизмов его поступления в водоем.

О высоком содержании натрия в водном растворе грязевых вулканчиков (табл. 2) указывается и в работе И. Н. Гладцина [3]. Автор придерживается идеи о мерзлотном генезисе грязевулканических структур, связывая их образование с распространением многолетнемерзлых пород в районе озера и сезонным промерзанием–протаиванием надмерзлотного слоя грунтовых вод.

Таблица 2
Химический состав воды сопочных грязей, г/л

Ионы	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	Σ
Сальз (восточный берег)	6,600	50588	0,006	3,224	0,013	0,012	9,214	24,657

Многолетнемерзлые породы располагаются в пределах четвертичных отложений, по данным Ю.П. Скляревского, верхняя граница их проходит на глубине 4-5 м, нижняя – на 20 м [6].

В то же время палинологическим анализом (аналитик Н.Ф. Башурова) исследуемых нами образцов установлено доминирование в грязевулканическом материале палиноформ, характерных для шадоронского биостратиграфического горизонта средней юры и нижнемеловых образований тургинского и кутинского горизонтов.

По результатам водно-гелиевой съемки В.И. Флешлером (устное сообщение) район озера Доронинское входит в контур гелиевой аномалии, фиксирующей участки современной флюидопроводимости, генетически связанной с долгоживущими глубинными разрывными структурами.

Перечисленные факты позволяют определить грязевулканические процессы как проявления инфильтрационной флюидодинамики Аблаканско-Аблатуканского бассейна.

Областями питания грязеводных флюидов являются тектонически-трещиноватые, интенсивно милонитизированные триасовые субщелочные интрузии, слагающие юго-восточные отроги Яблонового хребта, а также развитые по ним юрские и нижнемеловые

осадочные образования. Главным механизмом их формирования является углекислотное выветривание кварцевых сиенит-порфиров и щелочных рибекитовых гранитов описываемого комплекса.

Перемещение грязевулканической пульпы из глубинного очага к поверхности происходит по разломным зонам и дизьюктивным нарушениям за счет движения напорных трещино-пластовых вод нижнемелового водоносного комплекса от горного обрамления к центру впадины занятой озером.

Принимая во внимание указанные выше представления, становятся понятными минералого-geoхимические особенности и роль грязевулканических явлений в процессе содовой генерации.

Таким образом, Аблатуканский артезианский бассейн представляет собой единую содогенирирующую систему, характеризующуюся собственным флюидодинамическим режимом, определяющим минералого-geoхимическую специфику седиментогенных процессов озера Доронинское.

Литература

1. Serebrenokova N.V., Yurgenson G.A. *Composition and Formation Condition of Sediment in the Doroninskoe Soda Lake (Eastern Transbaikalia)*// *Lithology and Mineral Resources*, 2010, Vol. 45, pp.486-494.
2. Власов Н.А., Чернышев Л.А., Павлова Л.И. Соляные озера Восточной Сибири и возможности их промышленного использования // Труды БКНИИ СО РАН СССР. Вып. 4. 1960. – С. 50-65.
3. Гладчин И.Н., Дзенс-Литовский А.И. Мерзлотные «салзы» и гидролакколиты района Доронинского содового озера// *Известия Государственного географического общества*. 1936., №4, – С. 449-459.
4. Серебренникова Н. В. Анализ минерального состава глин Доронинского содового озера// Труды II Всероссийского симпозиума и VIII Всероссийских чтений памяти академика А.Е. Ферсмана. Чита. 2008. – С. 122-125
5. Серебренникова Н. В. Минеральный состав и генезис осадков Доронинского содового озера// *Вестник ЧитГУ №1* (52), 2009. – С.119-123.
6. Скляревский Ю.П., Устюгов Я.Г., Булдукова Г.Г., Степушева Г.К. Гидрогеологические условия площади листа М-49-ХI. –1970ф. – 49 с.
7. Франк-Каменецкий А.Г. Доронинское содовое озеро в Забайкалье // *Известия биолого-географического научно-исследовательского института при ИГУ. Т.1. Вып. 4. Иркутск, 1924.* – С. 3-33.
8. Япаскурт О.В. Генетическая минералогия и стадиальный анализ процессов осадочного породо- и рудообразования. М.: ЭСЛАН. 2008 – 356 с.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ СЕЛЕНИТОВ И АРСЕНАТОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ЗОНАХ ОКИСЛЕНИЯ СЕЛЕН- И МЫШЬЯКСОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФИДНЫХ РУД

Д.А. Тарасевич, М.В. Чарыкова, В.Г. Кривовичев, О.С. Яковенко

Санкт-Петербургский госуниверситет, Санкт-Петербург, Россия, m-char@yandex.ru

SYNTHESIS AND PROPERTIES OF SOME SELENITES AND ARSENATES, FORMED IN OXIDATION ZONES OF SULPHIDIC ORES CONTAINING SELENIUM AND ARSENIC

L.F.Taresevich, M.V.Charykova, V.G.Krivovichev, O.S. Yakovenko

Saint-Petersburg University, Saint-Petersburg, Russia

The most selenites and arsenates were formed at chemical weathering of ores by oxygenated waters establishes conditions of increased Eh and low or neutral pH (at seasonal fluctuations of temperatures and atmospheric pressure). The interpretations are summarized on the Eh-pH diagrams of the systems Me-As-H₂O and Me-Se-H₂O (Me=Co, Ni, Cu), synthesized from equilibrium calculations. Analogues of minerals chalcomenite (CuSeO₃·2H₂O), cobaltomenite (CoSeO₃·2H₂O), ahlfeldite (NiSeO₃·2H₂O), erythrite (Co₃(AsO₄)₂·8H₂O), annabergite (Ni₃(AsO₄)₂·8H₂O) are synthesised and studied by a combination of X-ray diffraction, scanning electron microscopy, and infrared spectroscopy.

В предыдущей работе [1] нами была поставлена задача и разработаны основные подходы к созданию термодинамической модели фазовых равновесий в системе Fe-Cu-Zn-Pb-Co-Ni-As-Se-S-H₂O с целью оценки влияния параметров среды (Eh, pH, состав водных растворов) на

устойчивость селенитов, селенатов, арсенатов и сульфатов, которые являются продуктами химического выветривания селен- и мышьяксодержащих сульфидных руд в условиях окружающей среды. Актуальность подобной работы обусловлена токсичностью подвижных форм Se, As, ряда тяжелых металлов и необходимостью выяснения физико-химических условий, при которых происходит растворение, миграция и отложение их соединений в приповерхностных обстановках.

Последующий детальный анализ [2] накопленных к настоящему времени в литературе термодинамических данных для сульфатов, селенитов, селенатов, арсенатов Fe, Cu, Zn, Pb, Co, Ni показал, что наименее изученными в этом отношении являются арсенаты. Однако даже в случаях, когда в литературе имеются соответствующие параметры, они зачастую вызывают вопросы и явно нуждаются в уточнении. Так, существуют заметные расхождения между данными разных авторов, связанные не только с погрешностью измерений, но и с различием в написании формулы минерала (в частности с количеством молекул кристаллизационной воды) или с тем, что экспериментальное определение термодинамических функций образования минерала выполнено для природного образца, содержащего примеси других компонентов. Кроме того, для ряда водных селенитов и арсенатов значения термодинамических функций образования, взятые из разных источников, используют в качестве первичной информации экспериментальные работы 50-х гг., в которых не проводилась надежная идентификация твердых фаз, хотя в ходе эксперимента могло произойти осаждение как безводных солей, так и кристаллогидратов различного состава.

Вместе с тем экспериментальное получение термодинамических констант минералов мышьяка (и особенно селена) на основе изучения фазовых равновесий или калориметрических измерений зачастую практически невозможно выполнить на природных образцах из-за отсутствия необходимого количества вещества, поскольку арсенаты, селениты и селенаты встречаются, главным образом, в виде мелких выделений, примазок, налетов и т.д. Кроме того, природные образцы неизбежно содержат примеси, что отражается на их параметрах и, в частности, на термодинамических характеристиках. Таким образом, задача получения синтетических аналогов, химический состав и структура которых строго соответствуют формулам природных минералов, является для нас весьма актуальной.

В настоящей работе была отработана методика синтеза аналогов минералов альфельдита ($\text{NiSeO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), кобальтоменита ($\text{CoSeO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), халькоменита ($\text{CuSeO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), аннабергита ($\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) и эритрина ($\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) и проведено сравнение некоторых характеристик полученных синтетических фаз и природных образцов. Наибольшее внимание было уделено селенитам в связи с тем, что их находки в природных условиях являются чрезвычайно редкими; в частности, они до сих пор не были обнаружены на территории России.

Нами были изучены два образца арсенатов – аннабергит из месторождения Kamariza (Греция) и эритрин из месторождения Bou Azzer (Марокко), а также три образца селенитов, отобранные из зоны окисления месторождения Bassi Locci (Баку Лочи, северо-восток Сардинии, Италия). Это месторождение является наиболее интересным в отношении наличия селенсодержащих сульфидов в первичных рудах и селенитов в зоне окисления, поэтому охарактеризуем его более подробно.

Месторождение Баку Лочи представлено свинцово-мышьяковыми полиметаллическими рудами, которые залегают в виде стратифицированных и стратiformных тел в черных сланцах силура-девона палеозойского фундамента. Интересной особенностью является отсутствие в первичных рудах селенидов, а обнаруженные в зоне окисления селениты являются продуктом окисления селенсодержащих сульфидов. В зоне окисления этого месторождения установлены шесть селенитов и селенатов (халькоменит, орландит, францисит, мандариноит, олзахерит, шмайдерит) в ассоциации с обогащенными селеном биверитом, брошантитом, серпиеритом, спанголитом и самородной серой. Первичные руды сложены галенитом, сфалеритом, теннантитом и в подчиненном количестве содержат виттихенит, купропавонит, пирсенит, висмутин, самородный висмут, гринокит, идаит, кубанит, макинавит, магнетит и герсдорфит. Из рудных минералов ощущимые количества селена установлены только в галените (обычно до 1,17, а иногда до 13,6 масс.% Se); в следовых количествах селен обнаружен в сфалерите, гриноките, купропавоните, виттихените, халькопирите и пирите, в то время как в теннантите, пирсите, арсенопирите и герсдорфите содержание селена ниже порога чувствительности микрозондового анализа.

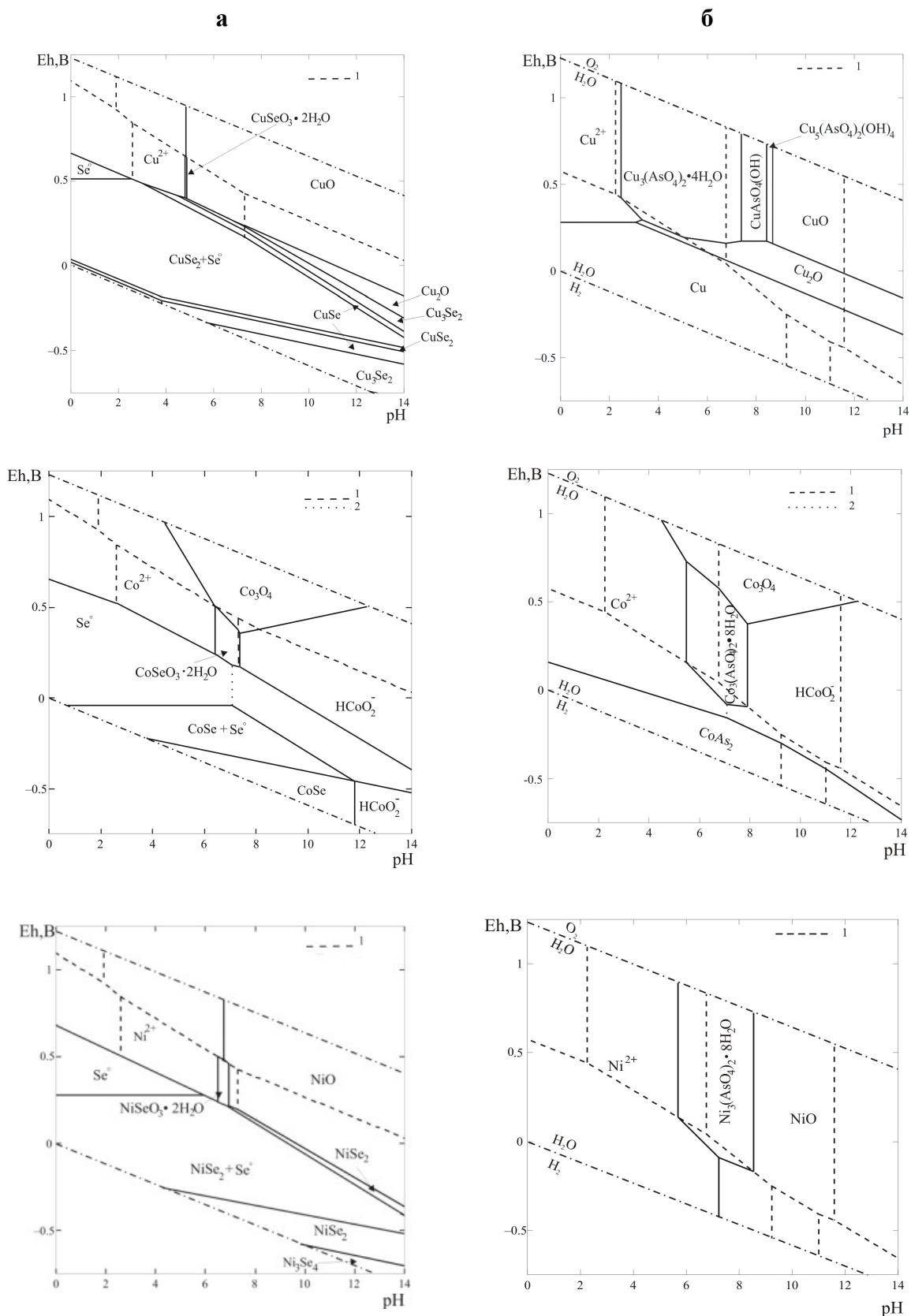


Рис. 1. Диаграммы Eh- pH систем $\text{Me}-\text{Se}-\text{H}_2\text{O}$ (а) и $\text{Me}-\text{As}-\text{H}_2\text{O}$ (б) при 25°C ($\text{Me}=\text{Cu}, \text{Co}, \text{Ni}$). Нанесены линии моновариантных равновесий между частицами селена или мышьяка (1) и металла (2) в растворе. Активности компонентов: а – $a_{\Sigma\text{Se}} = 10^{-4}-10^{-5}$, $a_{\Sigma\text{Cu}} = 10^{-2}$, $a_{\Sigma\text{Co}} = 10^{-3}$, $a_{\Sigma\text{Ni}} = 10^{-1}$; б – $a_{\Sigma\text{As}} = 10^{-3}$, $a_{\Sigma\text{Cu}} = 10^{-2}$, $a_{\Sigma\text{Co}} = 10^{-3}$, $a_{\Sigma\text{Ni}} = 10^{-2}$. Обоснование выбора значений активностей компонентов – см. работы [3, 4].

Первым на месторождении был найден халькоменит, после чего основной интерес исследователей был направлен на открытие других селенсодержащих вторичных минералов, которые встречаются гораздо реже, чем халькоменит, но тоже относятся к селенитам и селенатам. В частности на этом месторождении впервые был установлен орландит ($\text{Pb}_3(\text{SeO}_3)\text{Cl}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$). Типичными структурами являются эпитаксические срастания сфалерита и халькопирита, эти структуры очень тонкие, и они не всегда различимы даже под электронным микроскопом. Кроме этого встречаются также срастания галенита с теннантитом, а и иногда с самородным висмутом.

В двух из трех изученных нами образцов из зоны окисления этого месторождения был установлен халькоменит, а в третьем обнаружен халькоменит в ассоциации с франсиситом, безводным селенитом состава $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$. Халькоменит встречается в виде удлиненных кристаллов призматического габитуса с характерной зеленовато-голубой окраской. Размер кристаллов варьирует от 1 до 8 мм по удлинению. Довольно часто халькоменит образует радиально-лучистые агрегаты, а также небольшие щеточки, реже наблюдаются расщепленные кристаллы. Как правило, кристаллы хорошо огранены, имеют алмазный или сильный стеклянный блеск. Излом неровный. Минерал хрупкий, твердость около 2-2,5 по шкале Мооса. Франсисит имеет ярко-яблочно-зеленый цвет, призматический облик кристаллов. Размер кристаллов значительно меньше, чем у халькоменита, около 2-5 мм. Очень хрупкий, твердость 3-4. Кристаллы также в виде сростков и щеточек, редко встречаются натечные агрегаты. К сожалению, нам не удалось найти образцов других селенитных минералов, в частности, альфельдита и кобальтоменита. Поэтому в этом случае мы были вынуждены ограничиться лишь изучением их синтетических аналогов.

Для того, чтобы наилучшим образом подобрать условия синтеза, нами были рассчитаны диаграммы Eh-pH систем $\text{Me}-\text{As}-\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Me}-\text{Se}-\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Me}=\text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$), из которых можно видеть интервал pH, отвечающий осаждению различных селенитов и арсенатов.

Из представленных диаграмм видно, что селенит меди устойчив в более кислой минералообразующей среде, чем селениты кобальта и никеля. Аналогичная картина наблюдается и для арсенатов, но диаграмма системы $\text{Cu}-\text{As}-\text{H}_2\text{O}$ дополнительно осложняется образованием наряду с $\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (ролландит) полями нескольких основных солей (минералы корнубит, оливенит, эвхроит). Синтез этих твердых фаз нами в настоящей работе не проводился.

Отработка оптимальной методики синтеза водосодержащих селенитов и арсенатов никеля и кобальта, а также селенита меди включала в себя несколько вариантов.

1. Метод выпаривания водных растворов, которые получали смешением (в стехиометрических количествах) растворов селенистой кислоты (H_2SeO_3) и гидроксокарбоната никеля $\text{Ni}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ (при синтезе альфельдита), гидроксокарбоната кобальта $\text{Co}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ (при синтезе кобальтоменита) и нитрата меди $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (при синтезе халькоменита). После смешения растворы нагревали до температуры 100°C. Затем они медленно остывали на воздухе до комнатной температуры. При остывании происходила кристаллизация водосодержащих селенитов никеля, кобальта и меди. Продукты реакций высушивали на открытом воздухе при комнатной температуре.

2. Усовершенствованная методика синтеза, предложенная в работах [5, 6]. Синтез производился из растворов хлоридов или нитратов кобальта и никеля и селенита натрия, подкисленных с помощью раствора соляной или азотной кислоты соответственно. К нагретому до 50°C 0,2N раствору соли никеля (или кобальта) медленно, по каплям приливали 0,2N раствор Na_2SeO_3 . После нагревания в течение 2-3 часов при слабом перемешивании раствор с осадком оставляли созревать при комнатной температуре на 7-14 суток, после чего образовавшийся осадок селенита никеля или кобальта отделяли методом декантации, промывали дистиллированной водой и высушивали при комнатной температуре. Эта же методика была применена нами для синтеза изоморфного ряда $\text{CoSeO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{NiSeO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

3. Методика синтеза водосодержащих арсенатов никеля и кобальта (аналогов аннабергита и эритрина, соответственно) была взята из работы [7]. К раствору, содержащему нитрат никеля или кобальта с концентрацией 5 г/л Ni^{2+} (или Co^{2+}) объемом 750 мл при температуре 95°C и pH 6 добавляется 250 мл раствора гидроарсената натрия (в нашем случае использовался раствор дигидроарсената натрия, pH которого был доведен до 6 с помощью NaOH). Авторы

рекомендуют добавлять раствор арсената со скоростью 1,6 – 2 мл/ч при постоянном нагревании и интенсивном перемешивании (500 об/мин), только таким образом удается получить кристаллический осадок. Образовавшийся осадок арсената никеля или кобальта отделяли методом декантации, промывали дистиллированной водой и высушивали при комнатной температуре.

Идентификация образцов халькоменина, францисита, эритрина и аннабергита, а также полученных синтетических твердых фаз проводилась с помощью методов рентгенофазового анализа (порошковые дифрактометры Rigaku Miniflex II и ДРОН-2) и ИК-спектроскопии (ИК-Фурье спектрометр BRUKER VERTEX 80). Химический состав образцов определялся методом микрозондового анализа (система со сфокусированными электронным и ионным зондами Quanta 200 3D).

В качестве примера в табл. 1 приведены параметры элементарной ячейки для образцов халькоменина из месторождения Баку Лочи и синтезированных селенитов. Следует отметить, что природные образцы содержат небольшое количество примесей – до 0,47 масс.% фосфора и до 0,13 масс.% калия, и рассчитанные параметры природного и синтетического халькоменина достаточно близки. Аналогичная картина наблюдается и для синтетических аналогов эритрина и аннабергита.

Таблица 1
Параметры элементарной ячейки альфельдита, кобальтоменина и халькоменина

Минерал	Параметры элементарной ячейки				
	a_0 , Å	b_0 , Å	c_0 , Å	β , °	V , Å ³
Синтетические аналоги минералов					
Альфельдит	7,530±0,002	8,750±0,002	6,441±0,002	99,050±0,023	419,098
Кобальтоменин	7,608±0,004	8,805±0,004	6,492±0,003	98,681±0,060	429,907
Халькоменин	6,676±0,007	9,181±0,008	7,393±0,005	–	453,134
Минералы из месторождения Баку Лочи, Италия					
Халькоменин (2)	6,678±0,004	9,199±0,005	7,384±0,002	–	453,606
Халькоменин (3)	6,663±0,002	9,165±0,003	7,406±0,002	–	452,258
Эталонные данные (www.webmineral.com)					
Альфельдит	7,53	8,76	6,43	99,083	418,82
Кобальтоменин	7,64	8,825	6,516	98,6	434,39
Халькоменин	6,671	9,193	7,384	–	452,83

Таким образом, полученные синтетические селениты и арсенаты по своим структурным и спектроскопическим характеристикам близки к природным минералам и, следовательно, могут быть в дальнейшем использованы для экспериментального определения их термодинамических параметров.

Работа выполнена в рамках грантов Российского фонда фундаментальных исследований (08-05-00253-а и 09-05-00567-а).

Литература

1. Кривовичев В.Г., Чарыкова М.В. Термодинамика минеральных равновесий с участием сульфатов, селенитов и арсенатов Fe, Cu, Zn, Pb, Co и Ni. В сб. «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование». Изд-во Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН. Чита, 2008. – С. 103-106.
2. Чарыкова М.В., Кривовичев В.Г., Депмайер В. Термодинамика арсенатов, селенитов и сульфатов в зоне окисления сульфидных руд. I. Термодинамические константы при стандартных условиях // ЗРМО. 2009. Т. 138. № 6. – С. 105-117.
3. Чарыкова М.В., Кривовичев В.Г., Яковенко О.С., Депмайер В. Термодинамика арсенатов, селенитов и сульфатов в зоне окисления сульфидных руд. III. Диаграммы Eh-pH для систем Me-As-H₂O (Me=Co, Ni, Fe, Cu, Zn, Pb) при 25 °C // ЗРМО. 2010. Т. 139. № 3. – С. 1-14.
4. Кривовичев В.Г., Чарыкова М.В., Яковенко О.С., Депмайер В. Термодинамика арсенатов, селенитов и сульфатов в зоне окисления сульфидных руд. III. Диаграммы Eh-pH для систем Me-Se-H₂O (Me=Co, Ni, Fe, Cu, Zn, Pb) при 25 °C // ЗРМО. 2010. Т. 139. № 4. – С. 1-15.
5. Vlaev L.T., Genieva S.D., Georgieva V.G. Study of the crystallization fields of nickel (II) selenites in the system NiSeO₃-SeO₂-H₂O // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,. Vol. 86 (2006) 2, P.449-456.

6. Vlaev L.T., Genieva S.D., Gospodinov G.G.. Study of the crystallization fields of cobalt (II) selenites in the system $\text{CoSeO}_3\text{-SeO}_2\text{-H}_2\text{O}$ // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 81 (2005) P.469-475.

7. Jambor J.L., Dutzizac J. E. Solids solutions in the annabergit-erythrite-hornesite synthetic system // Canadian Mineralogist. 1995, Vol. 33. P. 1063-1071.

РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМЕ ВОДА-ПОРОДА В ВОДНЫХ ПОТОКАХ РАССЕЯНИЯ МОЛИБДЕНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАХТАМА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Л.П. Чечель

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия,
lpchechel@mail.ru

BALANCE IN SYSTEM WATER – ROCK IN DISPERSION WATER STREAMS OF MOLYBDENUM SHAHTAMA DEPOSIT (EAST TRANSBAIKALIA)

L.P. Chechel

Institute of natural resources, ecology and cryology SB RAS, Chita, Russia,
lpchechel@mail.ru

Are investigated balances in system water - rock for waters of molybdenum Shahtama deposit hypergenez zone in south-east Transbaikalia. It is determined three geochemical types of waters: *aluminum-siliceous*, *siliceous calcium and sodium*, *siliceous carbonate-calcium*

Экологические проблемы, возникающие в горнодобывающих регионах, вызывают необходимость проведения в их пределах геохимических исследований, в том числе, изучения и оценки дренажных стоков месторождений как источника техногенного преобразования природной среды. В предлагаемой работе обобщены данные гидрогоеохимических исследований района Шахтаминского молибденового месторождения, расположенного в юго-восточном Забайкалье в пределах олововольфрам-редкометального минерагенического пояса и относящегося к молибденит-галенит-сфалеритовой рудной формации [2, 3].

Целью данной работы явилось изучение особенностей гидрогоеохимического поля месторождения и исследование вероятности формирования вторичной минеральной фазы водами, как в естественных, так и в нарушенных горными работами условиях.

Использованы данные химического анализа 57 проб воды. Для каждой водной пробы общепринятыми методами [8] определялись pH, Eh, основные макрокомпоненты, фтор. Концентрации металлов находились атомно-абсорбционным (Cu, Zn, Pb, Fe, Mn, Ni, Co, Ag и др.) и эмиссионно-спектральным (Mo, W, Sn) методами с предварительным концентрированием [1, 5]. Оценка равновесий в системе вода-порода осуществлялась посредством графических построений и термодинамических расчетов.

Вмещающими породами для Шахтаминского месторождения являются гранитоиды крупного одноименного массива средне-верхнеюрского возраста. Шахтаминский массив сложен в основном гранодиоритами, гранитами и граносиенитами, в меньшей степени диоритами, диоритосиенитами, монцодиоритами, габбро. Породы более основного состава слагают приблизительно 5% общей площади массива. Они приурочены, преимущественно, к краевым (северо-западной и северной) частям массива. Молибденовое оруденение представлено серией кварцевых жил, между которыми находится штокверковая минерализация. Состав жил - кварц-молибденитовый, кварц-карбонатно-молибденитовый и кварц-карбонатно-полиметаллический. Наиболее распространенные жильные минералы – кварц, карбонаты, полевые шпаты, слюда и флюорит; рудные – молибденит, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, антимонит, арсенопирит [7].

Шахтаминское месторождение расположено в пределах горно-таежной ландшафтно-климатической зоны, для которой характерны среднегорный рельеф с относительными превышениями над долинами 200-350 м; развитие многолетней мерзлоты островного характера, а также малые осадки зимой и сравнительно большие летом (до 480 мм).

В пределах Шахтаминского рудного поля формируются преимущественно оклонейтральные, ультрапресные и пресные гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные магниево-кальциевые воды (табл. 1). На общем гидрогоеохимическом фоне выделяются техногенные воды: слабощелочные пресные и с относительно повышенной минерализацией

(0,43-0,93 г/л) гидрокарбонатно-сульфатные магниево-кальциевые и магниево-кальциево-натриевые шахтные воды, а также щелочные с относительно повышенной минерализацией и солоноватые (0,70-1,45 г/л) хлоридно-гидрокарбонатные и сульфатные натриевые воды шламохранилища.

Таблица 1

Данные статистической обработки результатов химического анализа водных проб Шахтаминского месторождения (макрокомпоненты – мг/л, микрокомпоненты – мкг/л)

Показатель	Минимум	Максимум	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Вариация
pH	5,2	9,85	7,05	7	0,81	11,48
HCO ₃ ⁻	3,2	255	56,74	28	56,25	99,14
SO ₄ ²⁻	0,25	662,4	31,63	5,1	102,93	325,34
Cl ⁻	0,62	110	13,67	3,88	3,14	173,55
F	0,04	1,67	0,41	0,26	0,41	99,04
Ca	0,5	147	27,63	10,8	36,55	132,29
Mg	0,3	41	6,82	2,9	8,80	129,07
Na	0,5	502,5	20,39	2,4	77,39	379,46
K	0,02	14,6	1,71	1,1	0,34	150,35
Минерализация	7	1448	164,52	53	254,75	154,83
Mo	0,05	2040	152,84	1,74	400,28	261,88
W	0,12	31,46	1,58	0,38	5,37	338,42
Sn	0,56	9,12	3,73	1,7	3,89	104,32
Cu	0,9	67,3	8,71	5,7	10,87	124,88
Zn	1,1	59,8	15,06	11,4	13,66	90,74
Pb	0,5	51,5	4,88	2,7	7,61	155,77
Fe	20	2420	388,51	244	438,42	112,85
Mn	1,6	198	29,67	8,1	49,13	165,59
Li	5	75	27,83	21,5	26,89	96,63
Ni	0,1	8,9	1,50	1,1	1,50	99,79
Co	0,5	1,1	0,7	0,7	0,23	32,99
Ag	0,1	65	1,89	0,4	9,15	483,51

Присутствие карбонатов в составе минералов рудных жил способствует нейтрализации кислотных растворов, образующихся при окислении сульфидов руд и заметному росту значений pH вод. В результате, несмотря на присутствие в составе руд достаточного количества сульфидных минералов, сохраняется прямая зависимость между минерализацией и pH свойственная водам, формирующимся в естественных условиях (рис. 1).

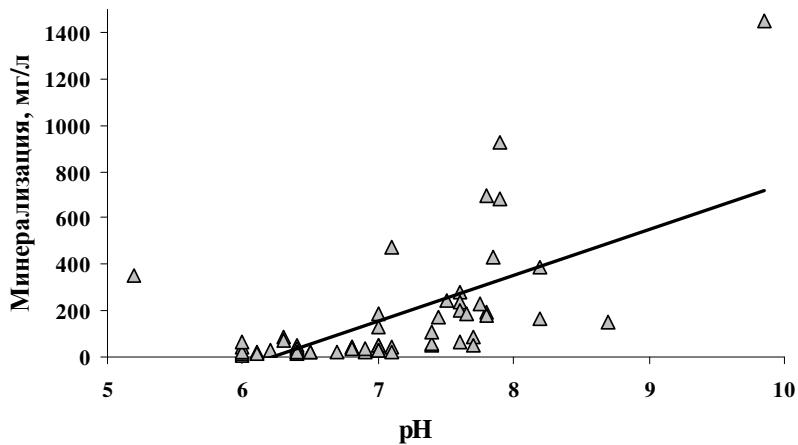


Рис. 1. Зависимость значений минерализации вод от величины pH.

Концентрации в водах рудных и сопутствующих компонентов определяются их содержанием в рудах и водномиграционными свойствами, которые, в свою очередь, зависят от

кислотно-щелочных условий среды миграции. Молибден относится к группе мигрирующих элементов, наиболее благоприятны для его миграции щелочные с повышенным содержанием натрия воды. [4, 12]. Максимальные концентрации молибдена (> 1 мг/л) установлены в водах шламохранилища и шахтных водах, а также по ряду скважин ($> 0,5$ мг/л), в том числе используемых для водоснабжения. В естественных водопроявлениях его содержания изменяются в пределах 0,15–57,54 мкг/л.

Из оклонейтральных и щелочных кальциевых вод возможно осаждение молибдена в виде повеллита и полимолибдатов [9]. Расчет равновесий в системе вода-вторичная фаза показал, что воды месторождения являются ненасыщенными по повеллиту, а также молибдатам свинца, железа и марганца [13].

Вольфрам известен как слабый водный мигрант зоны гипергенеза, наилучшей средой для его миграции являются щелочные обогащенные натрием воды [6, 12]. Максимальные концентрации вольфрама были зафиксированы в водах шламохранилища (табл. 1). Выведение вольфрама из среды миграции возможно вследствие образования вольфраматов, а также сорбции глинистыми минералами, а при $\text{pH} < 7$ – гидроксидами железа и марганца. Термодинамические расчеты показали, что воды зоны гипергенеза месторождения ненасыщены по вольфраматам меди, цинка, свинца и марганца, а также по шеелиту [13].

Сопутствующая полиметаллическая минерализация проявляется присутствием в водах района цинка, меди и свинца. Эти металлы относятся к группе мигрирующих элементов [12]. Основными процессами, выводящими их из раствора, являются сорбция гипергенными новообразованиями и, при высоких содержаниях в водах ионов HCO_3^{2-} и CO_3^{2-} , осаждение на карбонатном барьере. Концентрации их в водах Шахтаминского месторождения невелики – на уровне единиц-десятков мкг/л (табл. 1).

Вынесение данных на диаграмму равновесия вод с кальциево-натриевыми минералами (рис. 2) показало, что слабокислые и оклонейтральные ($\text{pH} < 7$), ультрапресные (минерализация $< 0,2$ г/л) поверхностные и подземные воды, развитые в верхних частях склонов, равновесны с каолинитом.

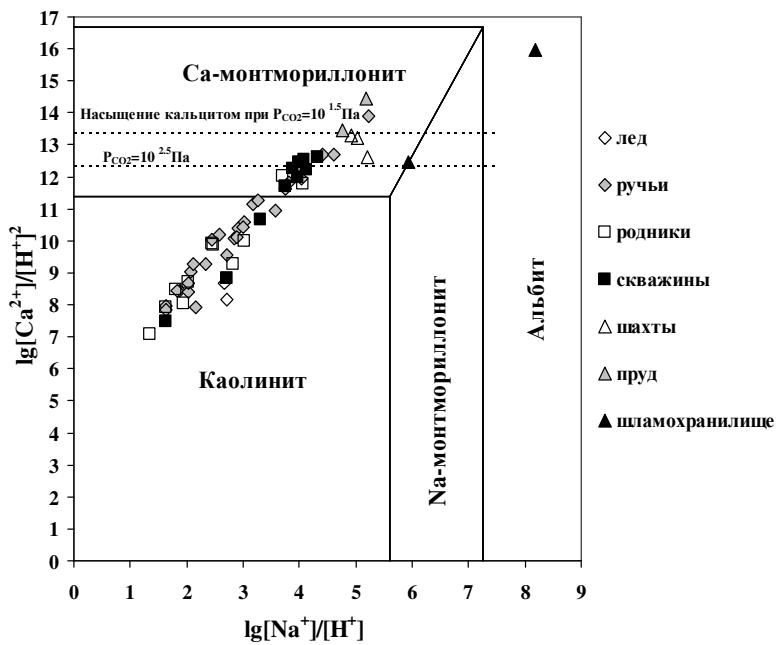


Рис. 2. Диаграмма равновесия вод зоны гипергенеза молибденового месторождения Шахтама с кальциево-натриевыми минералами.

В средних и нижних частях склонов, находящихся в зоне техногенного воздействия, формируются оклонейтральные и слабощелочные ($\text{pH} 7,1\text{--}7,7$) ультрапресные и пресные (минерализация $< 0,5$ г/л) воды насыщенные относительно Са-монтмориллонита. Дальнейший рост значений pH и минерализации вод способствует достижению равновесия с кальцитом (рис. 2, 3а). Воды пруда, шламохранилища и шахтные дренажи, характеризующиеся

максимальными значениями минерализации и pH (табл. 1), равновесны с Ca- и Na-монтмориллонитом, кальцитом и альбитом.

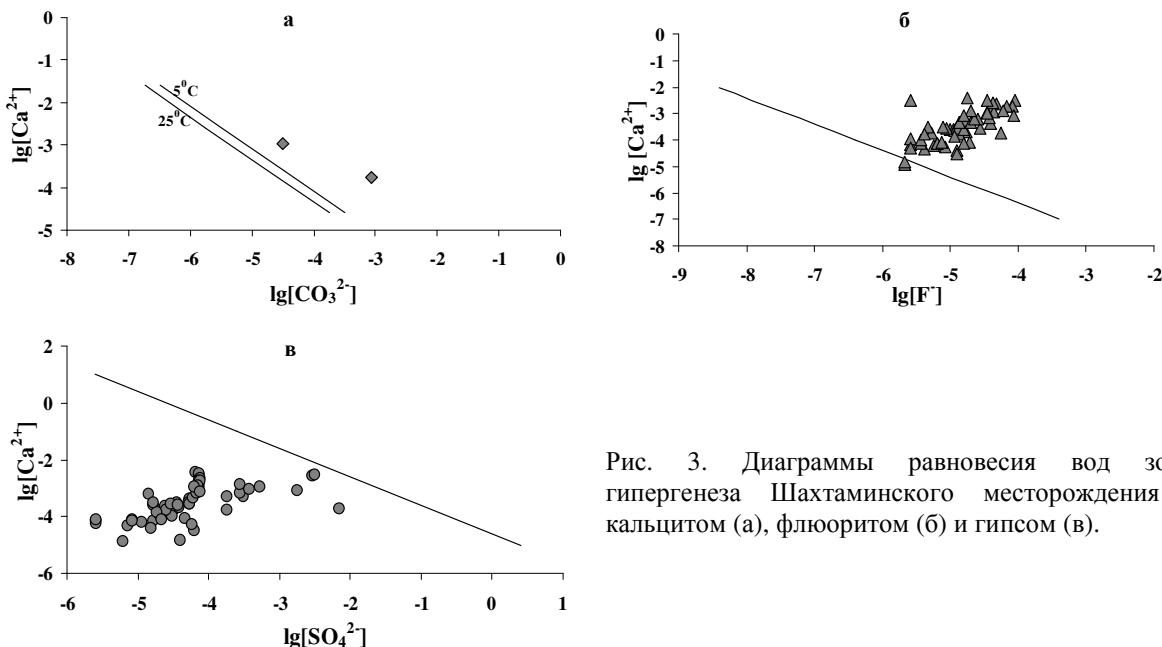


Рис. 3. Диаграммы равновесия вод зоны гипергенеза Шахматинского месторождения с кальцитом (а), флюоритом (б) и гипсом (в).

Несмотря на относительно невысокие содержания фтора (табл. 1) для вод зоны гипергенеза в пределах опробованной площади месторождения характерно повсеместное насыщение по флюориту (рис. 3б). Равновесие вод с гипсом, обычным вторичным минералом зоны гипергенеза сульфидных месторождений [15], не достигается в результате нейтрализующего действия карбонатов рудных жил (рис. 3в). Наиболее близки к равновесию с гипсом $\text{SO}_4 - \text{Na}$ воды шламохранилища и $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Mg}-\text{Ca}$ шахтные дренажные воды, концентрации сульфат-иона в которых достигают максимальных значений (172,0–662,4 мг/л).

Проведенные исследования показали, что в зоне гипергенеза Шахматинского молибденового месторождения основное развитие получили воды двух геохимических типов [14]: *алюминиево-кремнистого*, для которого характерно равновесие с каолинитом, и *кремнистого кальциевого и натриевого*, основной характеристикой которого является насыщение вод по Ca- и Na-монтмориллониту. Щелочные воды пруда и шламохранилища равновесные с Ca-монтмориллонитом и кальцитом отнесены к *кремнистому карбонатно-кальциевому* геохимическому типу вод.

Основным фактором, сдерживающим миграцию ионов молибдена и вольфрама, является сорбция гипергенными новообразованиями.

Литература

1. Баников В.А., Сусленкова Р.М., Кондратенко Л.А. Атомно-абсорбционное определение тяжелых металлов в природных водах с их предварительным концентрированием соосаждением с висмутом в виде диэтилдитиокарбаматов // Геохимия техногенеза. – Иркутск: СибГЕОХИ, 1985. – Т. 2. – С. 114-117.
2. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел / Г.А. Юргенсон, В.С. Чечеткин, В.М. Асоксов и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 574 с.
3. Геология и закономерности размещения эндогенных месторождений Забайкалья / под ред.: Д.И. Горжеевского, Н. А. Фогельмана. – М.: Недра, 1970. – 232 с.
4. Голева Г.А. Гидрогеохимия рудных элементов. – М.: Недра, 1977. – 216 с.
5. Загузин В.П., Ксензова В.И., Погребняк Ю.Ф. Химико-спектральное определение вольфрама, молибдена и олова в природных водах // Журн. анализ. химии. – 1980. – № 6. – С. 1143-1147.
6. Крайнов С.Р. Геохимия редких элементов в подземных водах. – М.: Наука, 1973. – 296 с.
7. Ларичкин В.А. Промышленные типы месторождений редких металлов. М.: Недра, 1985. – 176 с.

8. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1984. – 448 с.
9. Основы гидрогеохимических поисков рудных месторождений / Б.А. Колотов, С.Р. Крайнов, В.З. Рубейкин и др. – М.: Недра, 1983. – 199 с.
10. Погосов Е.В. Общая гидрогеохимия. – Л.: Недра, 1975. – 208 с.
11. Сотников В.И., Берзина А.П., Берзина А.Н., Гимон В.О. Шахтаминское молибденовое месторождение / В кн. Месторождения Забайкалья // Коллектив авторов. Под ред. акад. Н.П. Лаверова (в 2 книгах). – М.: Геоинформмарк, 1995. – Т.1, кн.1. – С. 187-192.
12. Удодов П. А., Онуфриенок И. П., Парилов Ю. С. Опыт гидрогеохимических исследований в Сибири. – М.: Высшая школа, 1962. – 190 с.
13. Чечель Л.П., Замана Л.В. Рудные элементы в гидрогеохимических ореолах молибденовых месторождений Восточного Забайкалья. Депонирована в ВИНТИ 29.01.01. № 228-B2001.
14. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Недра, 1998. – 336 с.
15. Яхонтова Л.К., Зверева В.П. Основы минералогии гипергенеза: Учеб. пособие. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 336 с.

СОВРЕМЕННОЕ МИНАРЛОБРАЗОВАНИЕ В ГЕОТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ

G.A. Юргенсон

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, yurgga@mail.ru

THE ACTUAL FORMATIONS OF THE MINERALS IN GEOTCHNOGENIC LANDSCAPS

G.A. Yrgenson

The institute of natural resources, ecology and cryology SB RAS, Chita, Russia, yurgga@mail.ru

Введение. Из различных форм нахождения химических элементов в ландшафтах минеральная является одной из наиболее устойчивых и во многом определяет их геохимические особенности. В минералах находятся практически все неподвижные или временно неподвижные их формы как в геологическом субстрате и коре выветривания, так и в почвах и на дневной поверхности. Часть из них входит в состав биоты.

Прежде всего, это относится к скелетам позвоночных и моллюсков, к зубам млекопитающих, а также к различным литофитам в растениях и различного рода камням (желчным, мочевым, сердечным, слюнным, зубным и другим), образующимся в процессе жизнедеятельности животных и человека.

Подобного рода камни представляют собою продукты выброса избыточных химических элементов, мешающих нормальному функционированию организма, оказывающихся в функционально важных биологических жидкостях. Их выброс и накопление в некоторых жизненно важных органах (желчном пузыре, холикохе, почках и мочевом пузыре и других) с одной стороны выполняет защитную функцию, а с другой – приводит к дисфункции и, в конечном счете, к его отмиранию, если не проведено хирургическое вмешательство.

Изучение этих камней на современном уровне начато лишь сравнительно недавно, начиная с 1970-х, когда впервые стали применяться инструментальные методы их диагностики и были познаны особенности процессов их образования что дало возможность подойти к пониманию этиологии мочекаменной и желчекаменной болезней [9, 10, 14]. В минералогии успешно развивается специальное биоминералогическое направление. Проводятся специальные конференции по органической минералогии [11].

Выявлена связь между особенностями геохимии ландшафтов, особенно минерализации подземных питьевых вод, и развитием мочекаменной болезни.

Важным фактором, способствующим образованию или разрушению минерального вещества непосредственно на ландшафте, является изменение погодных и климатических условий. Прежде всего, они определяют устойчивость водорастворимых минеральных форм.

К особой генетической группе можно отнести современные минералы, образующиеся в связи с техногенными и геотехногенными процессами, изменяющими ландшафт и окружающую среду в целом. В результате горнодобывающей, агрехимической, градостроительной и других видов деятельности человека перемещается огромное количество природного вещества, сопровождающегося разрывом связей в нем и кратным увеличением его поверхности, открываемой всем видам эрозии.

По опубликованным данным общее количество перемещенной на поверхность Земли только в связи с добычей полезных ископаемых масса горных пород и руд составляет более 100 миллиардов тонн. Цифра эта явно занижена. На территории бывшего СССР ежегодно складировалось до 5 миллиардов тонн вскрышных горных пород, 700 миллионов хвостов обогатительных фабрик и 150 миллионов тонн золы [2]. Утилизация составляла не более 4%. Например, выплавка 1 тонны меди сопровождается образованием около 30 тонн отходов обогащения и 4.2 т золы. Для получения одной тонны золота перерабатывается в среднем 23 миллиона т горной массы.

По неполным данным объем вскрышных пород горнорудных предприятий Забайкальского края составляет 2.87 млрд.т. Они занимают более 4 тыс. га земель [16]. Например, при отработке I очереди Удоканского месторождения предполагается ежегодно вынимать из недр и перерабатывать 7.5 млн.т руды, а всего предполагается добывать и переработать 1 млрд. 310 млн.т. Забайкальский ГОК в Забайкальском крае в период 1966-1990 гг. ежегодно добывал 700-1200 тыс.т руды и кроме этого извлекал из недр и перемещал 5-7 млн.т вскрышных пород. За 25 лет это составило более 200 млн.т руды и 1.5 млрд. т вскрышных пород [3].

Наряду с вскрышными породами в результате обогащения руд образуются, так называемые хвосты обогащения, содержащие в раскрытом, т.е. подготовленном для растворения и переноса в процессе водной миграции различные, в том числе, токсичные химические элементы. По неполным данным для 12 горнорудных предприятий только Забайкальского края, разрабатывавших коренные месторождения, масса хвостов обогащения составляет 166.67 млн.т.

Отвалы отработки только коренных и россыпных месторождений золота составляют почти 209 млн. т. Из них на долю горных пород вскрыши приходится 151. 9 млн.т (72.7%).

Открытая разработка рудных месторождений приводит к деструкции (нарушению структуры) ландшафтов и образованию котлованов. В зависимости от режима подземных и поверхностных вод они заполняются водой с образованием техногенных озер [1] и заболачивают местность, либо осушаются с нарушением гидрогеологического режима. В образовавшемся карьере резко интенсифицируются процессы окисления сульфидов и гидратации алюмосиликатов. Это приводит к образованию сернокислых вод с выносом на ландшафт токсичных металлов и загрязнением почв. В областях развития мерзлотных ландшафтов в результате деградации мерзлоты происходит усиление процессов окисления сульфидов меди, свинца, цинка, серебра и вынос их на ландшафт и концентрирование на геохимических барьерах с образованием различных минеральных ассоциаций.

Техногенез и геотехногенез. Формирование техногенных ландшафтов не заканчивается перемещением техническими средствами извлеченных из недр горных пород и руд. Последние проходят переработку, включающую их обогащение, извлечение полезных компонентов и складирование в хвостохранилищах отходов обогащения. Часть руд вследствие различных причин (упорность, бедность, экономическая нерентабельность в тот или иной момент деятельности предприятия и др.) остается лежать складированной под открытым небом и доступной всем факторам гипергенеза (рис. 1). Весь цикл собственно **техногенеза** приводит к созданию техногенных массивов. И на этом он заканчивается.

Но вследствие воздействия различных природных факторов, включающих собственно геологические (различные виды эрозии, размыв, развеивание, воздействие атмосферных осадков, включающих кислотные дожди, содержащие оксиды серы и азота, инфильтрация), минералого-геохимические (окисление, гидратация, водная миграция ионных и коллоидных растворов, образование гипергенных минералов на геохимических барьерах и др.), биогеохимические (воздействие корневых систем растений, колоний микробных и грибковых сообществ и др.) происходит медленное, но существенное преобразование техногенных массивов.

Процесс преобразования техногенных массивов уже относится к **геотехногенезу**. Образующиеся вследствие его наложения на техногенные массивы новые концентрации химических элементов, находящихся в новообразованных минералах, становятся **геотехногенными месторождениями** [15-21].

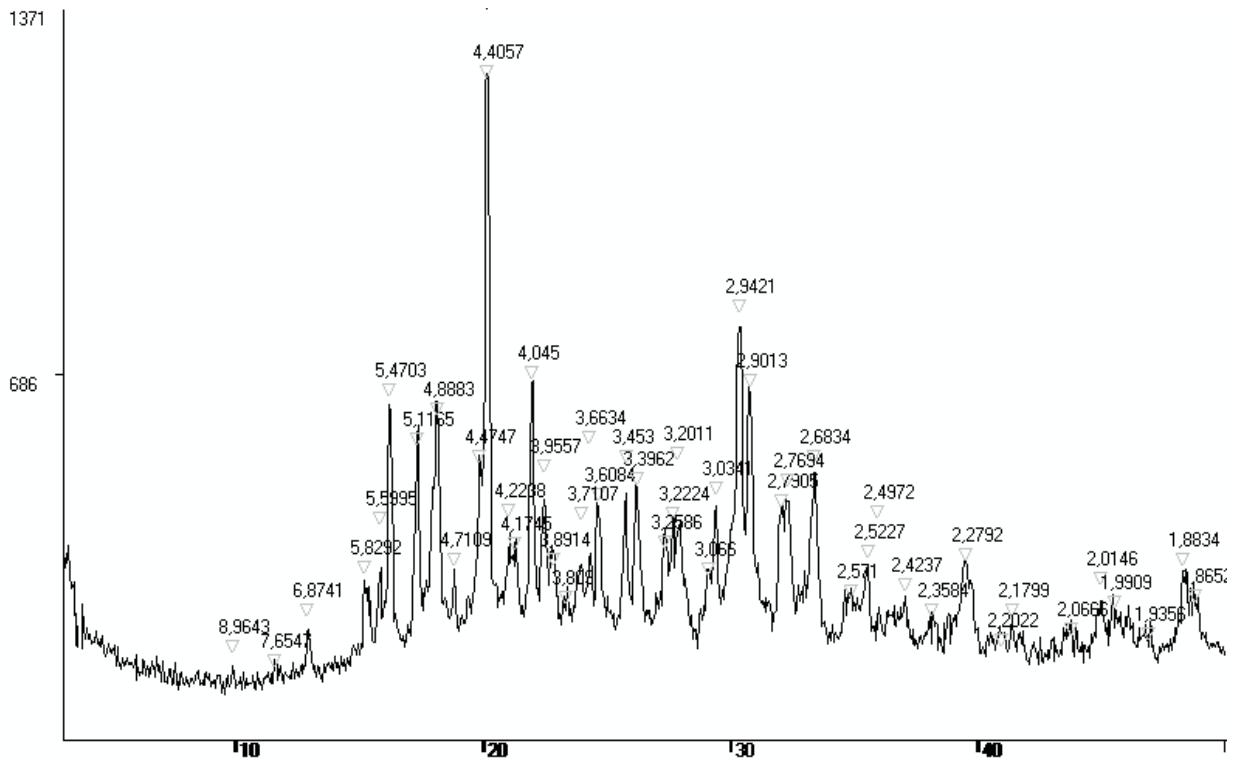


Рис. 1. Дифрактограмма образца Ключевского месторождения КЛЧ-СМО-06-1, показывающая на сложную минеральную ассоциацию, возникающую в процессе современного минералообразования.

Таким образом, к ***техногенезу*** предложено относить процессы преобразования и переотложения вещества ***непосредственно техническими средствами*** в понимании создателя термина А.Е. Ферсмана, а преобразование созданных таким образом техногенных массивов горных пород, бедных руд и отвальных хвостов обогащения в результате воздействия наложенных природных процессов относить к ***геотехногенезу***, и сформированные в результате этого месторождения полезных ископаемых относить к ***геотехногенным***. Они становятся неотъемлемым компонентом геотехногенных ландшафтов. Это определяет важность и актуальность исследований в области минералогии и геохимии ландшафтов в исторических горнорудных районах. Необходимость углубленного изучения минералого-геохимических процессов в техногенных массивах обусловлена также и тем, что они являются источниками экологической опасности для водных и терригенных эко- и геосистем.

Проблема миграции и концентрирования химических элементов в техногенных массивах. Проблемам особенностей миграции химических элементов в зоне геотехногенеза посвящена работы А.Е. Ферсмана, Л.В. Таусона, В.К. Лукашева, М.А. Глазовской; А.И. Перельмана, В.А. Алексеенко и др. Миграция вещества в условиях геотехногенеза происходит в тех же основных формах, что и в природных ландшафтах. В техносфере горнопромышленных комплексов она осуществляется по схеме: извлечение из недр → переработка в промышленных технологических цепочках → образование водоемов-хвостохранилищ → минералого-геохимические преобразования отвальных хвостов с осаждением илов и миграцией химических элементов в водных растворах → осаждение их на геохимических барьерах (в частности, перемычках и дамбах) с образованием специфических минералов → выход на ландшафт и участие в биологическом круговороте. При этом образуются локальные геотехногенные аномалии, нередко представляющие собою новые геотехногенные рудные тела [18].

Геотехногенные минералого-geoхимические преобразования. К числу природных и антропогенных факторов и агентов миграции и концентрирования содержащихся в техногенной массе перемещенных и неперемещенных (полученных с помощью геотехнологий подземного выщелачивания) масс рудных и рудоносных горных пород относятся физические, физико-химические, химические и бактериологические. Принцип их действия таков же, что и в

природных процессах. Но скорость и интенсивность их действия больше в силу того, что в отвалах горная масса измельчена и характеризуется несравненно большими поверхностями соприкосновения с химическими и биогенными агентами. Кроме того, в условиях геотехногенеза интенсивно протекают механохимические процессы, еще совсем плохо изученные для природных систем.

В результате перераспределения химических элементов в этих специфических геотехногенных ландшафтах формируются новые минеральные ассоциации, изучение которых может представлять значительный интерес как для оценки возникновения геотехногенных рудных тел и технологии их переработки, так и как источников заражения ландшафта подвижными формами токсичных элементов и их соединений. В результате различной миграционной способности различных химических элементов образуются зональные геотехногенные ореолы их рассеяния. В конкретных ландшафтно-геохимических системах возникают различные сочетания природных, техногенных и геотехногенных ореолов рассеяния. Познание их минерального состава и роль новообразованных минеральных ассоциаций – носителей рудного вещества – может быть достаточно актуальной.

На распространность тех или иных вредных веществ, входящих в состав техногенных массивов, в твердом (минеральном) и (или) жидком состоянии, влияют следующие факторы: 1) свойства этих веществ (твёрдость, спайность, отдельность, растворимость, окисляемость их минералов-носителей), 2) литолого-петрографический состав и механические свойства подстилающих горных пород, 3) локализация техногенного массива по отношению к грунтовым водам, 4) свойства грунтовых вод и направление их движения, определяющее потоки вредных веществ, загрязняющих ландшафт, 5) формы и механизмы миграции токсикантов и токсикогенов, 6) восполнение и трансформация грунтовых и фильтрационных вод, 7) нахождение разрабатываемых месторождений в определенных природно-климатических зонах.

Одним из примеров геотехногенеза является техногенный массив в хвостохранилище **Орловского ГОКа**. Этот ГОК в 60-х годах XIX столетия был построен для отработки и обогащения редкometалльных руд Орловского и вольфрамовых Спокойнинского месторождений. Мощность фабрики по руде составляла в конце 1980-х годов 660 тыс т/год и 80-100 т по концентрату с содержанием Ta_2O_5 5-15%. Хвосты обогащения руд обеих месторождений сбрасывались в одно хвостохранилище. За время деятельности ГОКа в нём накопилось 10 млн.т переработанной рудной массы, содержащей большое количество химических элементов, присущих обоим месторождениям, в том числе и токсичных. Эти количества следующие (т): окись берилля – 1440, литий-5 229, рубидий – 3 912, цезий – 282.5, калий – 127 193, германий – 232, трёхокись вольфрама – 6 480, tantal – 288, ниобий – 240 (данные Л.Н. Гинзбурга и др., 2001 г.). Фактически создано новое полиметалльное геотехногенное месторождение. Исследование геохимических особенностей хвостохранилища было проведено группой Л.Н. Гинзбурга с сотрудниками в 2001 году с помощью специально созданной машинно-ориентированной эколого-геохимической программой ЭКОСКАН. В результате создана карта геотехногенных и природных геохимических аномалий. Кроме указанных выше элементов преобразованные отвальные пески содержат свинец (0.005-0.1%), цинк (0.01-0.07%), олово (0.003-0.03%), цирконий (0.007-0.03%), скандий (7-20 г/т) и галлий (20-100 г/т). Минеральные формы всех указанных химических элементов почти не изучены. Тем не менее, некоторые результаты можно привести уже теперь.

Содержание окиси лития в исходной руде Орловского месторождения составляет 0,229, а хвостах – от 0,2 до 0,9%; В исходной руде Спокойнинского месторождения содержание окиси лития составляет 0,027%, а в хвостах обогащения до 0,01-0,02%.

В материале Орловского хвостохранилища в процессе измельчения и хранения водно-минеральной суспензии происходит гидратация слюд. Этот процесс сопровождается выносом из слоистых силикатов в водную среду калия, лития, цезия. При этом происходит обогащение воды хвостохранилища литием (до 0,1-0,3 мг/л), калием (до 9,9 мг/л). Кроме того, она содержит фтористоводородную (до 5 мг/л F), соляную (до 14 мг/л хлора) и серную (до 490 мг/л SO_4) кислоты [17].

Фтористоводородная кислота, являющаяся продуктом взаимодействия серной кислоты и флюорита, достаточно агрессивна и фильтруется через тело плотины на ландшафт. Источником серной кислоты являются продукты разрушения сульфидов, в частности пирита, арсенопирита,

висмутина, пирротина, галенита, сфалерита, козалита, халькопирита. Это приводит к обогащению воды хвостохранилища кадмием (до 2,1 мкг/л), свинцом (до 6,2 мкг/л), серебром (до 14,3 мкг/л), цинком (до 107 мкг/л). Огромные содержания зафиксированы для вольфрама (до 10 мг/л или 10 г/м³). Систематическая количественная оценка полученных данных позволила бы решить как проблемы утилизации хвостов, так и влияния их на окружающую среду. Особенно это касается таких токсикантов, как свинец, цинк и кадмий. Требуются технико-экономические расчеты целесообразности извлечения вольфрама и лития из воды хвостохранилища.

По данным Г.Н. Гончарова, А.В. Дырнаева и Ж.Б. Шепелевой (Ленинградский университет) содержание вольфрама (WO_3) в воде у поверхности отстойного пруда составляет 0,66-0,84 мг/л, а вблизи дна – 6,02 мг/л или 6020 мг/м³ (6,02 г/м³). Эти данные вполне сопоставимы с приведенными выше (~10 г/м³). Извлечение вольфрама в раствор в пульпе происходит уже по пути ее следования в пульпопроводе. Так, по данным указанных выше авторов, заборная вода фабрики содержала 1,1 мг/л WO_3 , а в пульпопроводе концентрации его увеличивались до 1,92 мг/л. Высокие содержания вольфрама в воде хвостохранилища связаны с освобождением его из окислов и гидроокислов вольфрама (тунгстита, гидротунгстита, а также их железистых и марганцовистых разностей), которые широко развиты в рудах Спокойнинского месторождения. Вольфрам из этих окисных минералов может легко извлекаться в раствор в присутствии серной, фтористоводородной и других кислот, находящихся в воде хвостохранилища.

Этот факт может представлять интерес как обоснование извлечения вольфрама непосредственно из воды хвостохранилища. Источником радиоактивных элементов в хвостохранилище являются тантало-ниобаты, монацит, торит, ксенотим, иттриалит, находящиеся в хвостах обогащения в породообразующих минералах, в основном – слюдах и полевом шпата, реже – в топазе.

Весьма интересны результаты изучения современного минералообразования из воды ручья, дренирующего Барун-Нарынского хвостохранилища бывшего **Джидинского** молибден-вольфрамового комбината, перерабатывавшего молибденитовые и сульфидно-губнеритовые руды месторождений Джидинского рудного поля, описанные нами в [21]. В аллювии одного из ручьев во время полевых работ 2005 г. были обнаружены гальки, покрытые корками минеральных новообразований. Они наблюдались лишь в местах заглубления дна ручья выше естественных перекатов, на механических (*гидродинамических*) геохимических барьерах, где скорость течения воды резко замедляется. Минеральные новообразования в виде корок белого и кремового цвета покрывали преимущественно части галек, ориентированные в сторону верховьев ручья. Корки имели волнистое строение наподобие знаков ряби, встречающихся в слоях дельтовых и прибрежно-морских отложений.

Особенностью этих минеральных новообразований является обогащенность их алюминием и фтором, не наблюдавшаяся в ранее изученных нами продуктах рудничных вод Антоновогорского месторождения вольфрама [22], которые были представлены, в основном, аморфной фазой тридимитоподобного кремнезема. Вещество рентгеноаморфно. Тем не менее, в области 2θ 18.5° – 50° отчетливо проявляются пики, характеризующие водный ортосиликат-фторид кальция и алюминия ($\text{CaAlF}(\text{SiO}_4)$) моноклинной сингонии с параметрами элементарной ячейки $a_0 = 6.9149\text{\AA}$, $b_0 = 8.5064\text{\AA}$, $c_0 = 6.4384\text{\AA}$. $\alpha = 90.000^\circ$, $\beta = 114.684^\circ$, $\gamma = 90.000^\circ$. Базоцентрированная решетка Бравэ A 2/a.

Однако пересчет анализов на кристаллохимическую формулу для подтверждения полученной на основе рентгенометрических данных состава элементарной ячейки невозможен из-за присутствия неопределенного количества и состава аморфной фазы: Подобный алюмофторосиликат среди минералов пока не обнаружен. Выполнены детальные электронно-микроскопические исследования этих новообразований, которые показали их полифазность. Состав одной из фаз однозначно соответствует приведенной выше формуле. Для расшифровки всей минеральной ассоциации необходимо дальнейшее их изучение.

Современные силикатные и алюмосиликатные минеральные образования отличаются от карбонатных и сульфатных неупорядоченной структурой, проявляющейся в развитии преимущественно рентгеноаморфных выделений, что затрудняет их диагностику и требует использования термогравиметрии и ИК-спектрографометрии.

В водах карьерных озер Джидинского рудного поля, по данным О.К. Смирновой и П.Ю. Ходановича, имеющих pH от 1,7–6,7, определены повышенные концентрации ($\text{мг}/\text{дм}^3$) сульфат-иона (2458), железа общего (до 7,7), кадмия (до 2,36), меди (до 38,57), никеля (до 0,65), цинка (до 64, 43). Процессы минералообразования на дне этих озер не изучены

Весьма широко современное минералообразование проявлено в отвалах и складах руд **Шерловогорского** олово-полиметаллического месторождения в Забайкалье. Здесь в отвалах развиты сульфаты меди (халькантит, бонаттит, халькокианит), железа (мелантерит, сидеротил, копиапит), магния (эпсомит, старкеит, гексагидрит, кизерит, блёйт (астраханит) и другие, цинка (госларит) кальция (гипс), свинца (англезит, плюмбоязозит и др.). Среди карбонатов выявлены: смитсонит, кальцит, церуссит, малахит. В составе сульфатов цинка постоянно присутствует кадмий в количестве 0.0029–0.106%. При этом прослеживается тенденция прямой зависимости содержаний цинка и кадмия в сульфатах. Но входит ли этот кадмий в состав сульфатов цинка изоморфно, как в источнике цинка – сфалерите, или он образует собственную фазу, предстоит выяснить.

Кроме того, в измененных складах бедных руд обнаружены новообразованные арсенаты свинца и железа, соответственно, миметит и скородит.

Эти минеральные новообразования формируются в зимний и летний сезоны в период отсутствия атмосферных осадков.

В прибрежной части озера, образовавшегося на дне карьера, в сухие годы (2004–2008) было обилие пленок, корок и почкообразных агрегатов различных сульфатов, аналогов выше упомянутым, и прибрежная ясть озера представляла собою весьма пеструю картину. Эти новообразования формировались на испарительных геохимических барьерах летом и мерзлотных – зимой. Источниками вещества были как временные водные потоки, так и высоко минерализованная озерная вода. Придонный слой песчано-глинистых осадков, пропитанных озерной водой, при высыхании покрывался пленками тех же минералов.

В 2009–2010 влажных годах эфемерные минералы исчезли или остались только в укромных местах.

В бортах карьера **Ключевского** месторождения современные минералы развиты в трещинах его стен, на поверхностях глыб и трещинах в них. Они представлены преимущественно различными сульфатами магния, меди и железа. Но наиболее распространены сульфаты магния. Это связано с тем, что основные рудовмещающие горные породы, содержащие биотит и амфиболы, обогащены им. В отдельных случаях устанавливается бура, что свидетельствует о гипергенном преобразовании широко развитого здесь турмалина и миграции борат-аниона. Многофазность минеральных агрегатов показана на рис. 1. Состав ассоциации: гексагидрит, примесь старкеита или роценита (по сильным линиям близки), следы гипса и, возможно, пентагидриита (3.66 Å) и сидеротила (3.71 Å). Очень слабый рефлекс 8.96 Å, возможно, от следов амфиболя.

В хвостохранилище бывшей Ключевской золотоизвлекательной фабрики также интенсивно проявлены сульфаты магния и железа. Они образуют корки непосредственно на стенках трещин в размытых временными потоками песках и в руслах бывших временных водных потоков.

Особенности минералообразования в хвостохранилище бывшего **Карамкенского ГОКа**, отрабатывавшего одноименное месторождение малоглубинной золото-серебряной формации в 1978–1992 гг., заключаются в следующем. Как установила Н.Е. Савва, в процессе геотехногенеза в пульпе произошли декарбонизация за счет воздействия образовавшейся при окислении сульфидов серной кислоты и хлора, внесенного в пульпу, возрастание доли глинистых минералов (каолинита и гидрослюды (до 20%)) за счет аргиллизации адуляра и других алюмосиликатов межзерновыми водами при подтягивании их из толщи пульпы к фронту испарительного барьера, в том числе и в зимнее время. Доля кварца уменьшилась от 67–74,5% до 50–55%. В 40% проб приповерхностных горизонтов встречены единичные зерна тонкого золота. В лежальных хвостах в сравнении с рудой возросло количество мелантерита, ярозита, галотрихита. Это позволяет сделать вывод, что в уплотненной пульпе происходит криоминералогенез в основном за счет окисления пирита с образованием типичных для него ассоциаций сульфатных зон окисления [20]. Зимой при криогенном высушивании поверхности хвостохранилища, летом за счет испарения пульпа покрывается налетом солей белого цвета –

сульфатов, образующих, иногда, корки толщиной до 1,5 см. В этих солях, как указывает В.Е. Глотов, накапливаются свинец, мышьяк, сурьма, медь, цинк и др. в пределах выше ПДК для почв и значительно больше их кларков в литосфере

Эта особенность распределения в разной степени подвижных рудных элементов и накопление их в приповерхностных частях хвостохранилищ наподобие пустынного загара характерна для верхних частей разрезов всех изученных и изучающихся хвостохранилищ. Выявлено, что в них происходит миграция рудных элементов к их поверхности и отложение в виде солей на испарительных и мерзлотных геохимических барьерах.

Примечательной особенностью всех изучаемых новообразований является широкое развитие сульфатов магния, меди и железа с различным содержанием молекул кристаллогидратной воды. Предварительный анализ последовательности их выделения позволяет определить, что на испарительных геохимических барьерах по мере испарения воды и возрастания в связи с этим концентрации солей в растворе последовательно образующихся простых сульфатах магния и меди уменьшается число молекул кристаллогидратной воды и они образуют ряды:

1) эпсомит $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ → гексагидрит $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ → пентагидрит $MgSO_4 \cdot 5H_2O$ → старкеит $MgSO_4 \cdot 4H_2O$ → кизерит $MgSO_4 \cdot H_2O$;

2) бутит $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ → халькантит $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ → бонаттит $CuSO_4 \cdot 3H_2O$ → халькокианит $CuSO_4 \cdot H_2O$ (рис. 2).



Рис. 2. Схема зависимости количества молекул кристаллогидратной воды в минерале от концентрации минералообразующего раствора.

Существенное влияние на способы переработки и извлечения золота из геотехногенных массивов оказывает степень окисленности природных и геотехногенных руд, содержащих существенные концентрации сульфидов. Дело в том, что, особенно в условиях мерзлоты, в коренных и геотехногенных рудах, обогащенных сульфидами, интенсивно идут процессы криогеохимии [7-8, 12-13] и криоминералогенеза [16-19]. Например, в зоне окисления Березитового месторождения золота в Приамурье, находящемся в зоне криоминералогенеза, интенсивно развиваются сульфаты, в частности, такие как сидеротил, халькантит, пизанит, госларит, пятиводный сульфат меди и железа, компоненты которых (медь, цинк и железо) легко мигрируют из техногенных массивов на ландшафт. Извлечение золота из этих руд кучным выщелачиванием цианистым натрием сопряжено с большими трудностями, так как сульфаты разрушают его. При этом миграция сидеро- и халькофилов на ландшафт из продуктов переработки руд сохраняется.

Установлено, что в отработанных золотоносных россыпях формируется промышленная золотоносность в результате процессов геотехногенеза, включающего: а) высвобождение тонкого золота вследствие морозного выветривания комков глин в эфелях, б) окисления сульфидов и выноса и переотложения золота в как в талых, так и мерзлых породах вследствие криоминералогенеза, в) жизнедеятельности криофильных бактерий, г) высвобождения золота из амальгам. Эти процессы приводят к нисходящей миграции и отложению золота на нижней границе техногенного массива и плотика с образованием нового промышленного пласта. Они

происходят после каждой новой отработки россыпей, о чем свидетельствуют факты многократной успешной добычи из них золота. Время созревания нового золота около 40-50 лет (рис. 3).

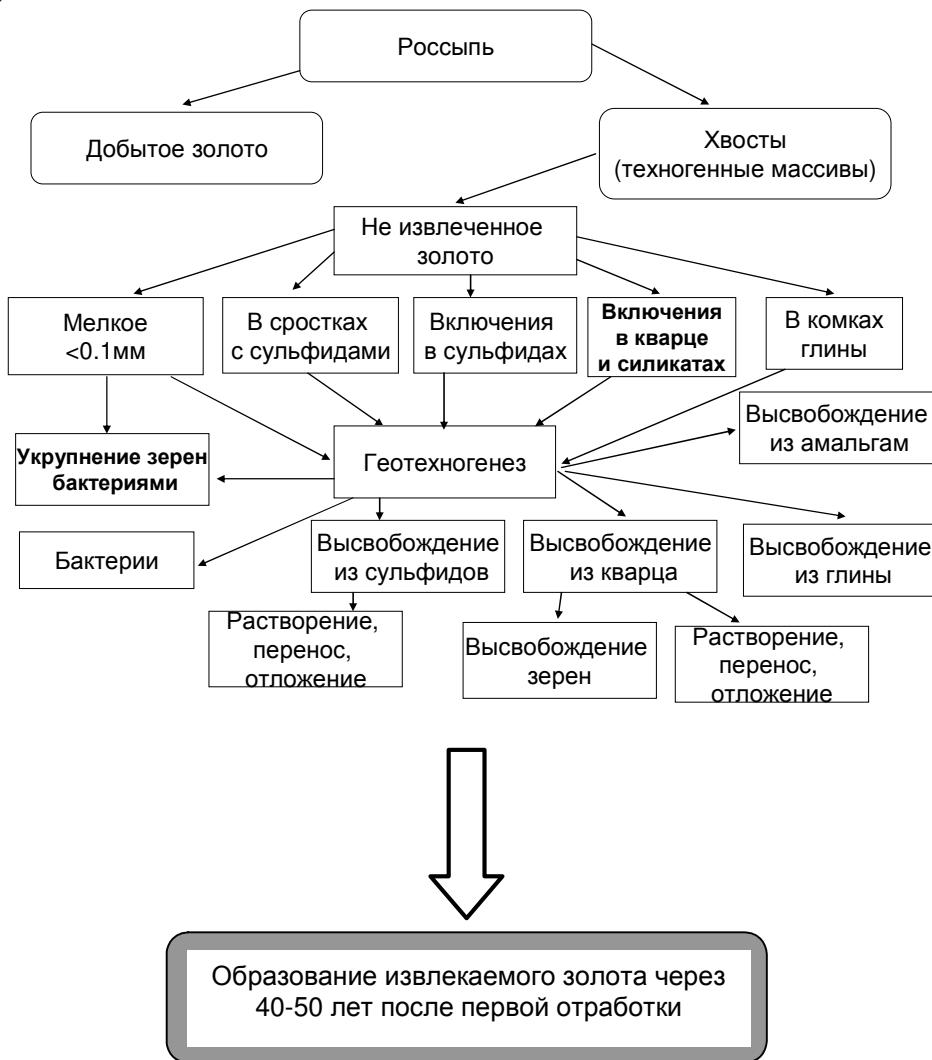


Рис. 3. Схема преобразований золота в техногенной россыпи.

Обобщение аналитических данных о химическом составе новообразованных минеральных ассоциаций в хвостохранилищах и других преобразованных техногенных массивах, показало, что в них четко прослеживается микроэлементная специализация первичных руд. Например, для продуктов современного минералообразования, как сульфатного, так силикатного, золото-серебряных месторождений типичны золото, медь и серебро, мышьяк и теллур, олово-полиметаллических – цинк, свинец, медь, и кадмий, сурьма, кобальт. Но это относится лишь к подвижным элементам. Например, олово не фиксируется в сульфатах, развитых в геотехногенных образованиях олово-полиметаллического месторождения.

Выводы

1. Приведенный далеко неполный обзор современного минералообразования в геотехногенных ландшафтах однозначно свидетельствует о широком распространении в них новообразованных минералов.

2. Наиболее активно изменяются сульфиды с образованием агрессивных кислотных сред, способствующих разложению силикатов с образованием слоистых силикатов и переводу в миграционное сосотояние магния, цинка, меди, двухвалентных железа и марганца, калия, натрия. При этом быстро разрушаются эфузивные горные породы.

3. В хвостохранилищах за счет разложения сульфидов, флюорита и образования активных серной и фтористоводородной кислот интенсивно переводятся в раствор рудные элементы,

концентрации которых свидетельствуют о возможности образования осадков и руд, изучение минерального состава которых может иметь важное научное и прикладное значение.

4. Изучение современного минералообразования позволяет корректировать результаты физико-химического компьютерного моделирования с целью повышения надежности прогноза очищения водотоков, выносящих на ландшафт токсичные компоненты из геотехногенных объектов.

Литература

1. Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Айриянц А.А. Техногенные озера: формирование , развитие и влияние на окружающую среду. Новосибирск: изд.во СО РАН филиал ГЕО. – 120 с.
2. Гальперин А.М., Ферстер В., Шеф Х.-Ю. Техногенные массивы и охрана окружающей среды. – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 534 с.
3. Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья // Г.А. Юргенсон, В.М. Асосков. В.С. Чечеткин и др. – Новосибирск: Наука, 1999. – 574 с.
4. Голованова О.А. Минералы почечных камней и некоторые химические условия их образования у жителей Омского региона // ЗРМО, 2004. – Ч.133, № 5. – С. 94-104.
5. Зверева В.П. Современное минералообразование в техногенных системах оловорудных месторождений Дальнего Востока // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование. Чита: Экспресс-Издательство, 2006. – С. 150-154.
6. Макаров В.Н. Формирование химического состава рудничных вод при криогенном выветривании // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование. Чита: Экспресс-Издательство, 2006. – С. 13-16.
7. Макаров Д.В., Мазухина С.И., Нестерова А.А., Нестеров Д.П., Маслобоев А.А. Экспериментальное исследование и термодинамическое моделирование гипергенных процессов в хвостах обогащения медно-никелевых руд // Минералогия техногенеза-2007. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2007. – С. 146-164.
8. Маркович Т.И., Птицын А.Б. Неконтролируемое кислотное выщелачивание тяжелых металлов из сульфидных отвалов // Химия в интересах устойчивого развития. 1998. №5. – С. 349-354
9. Мироненко Г.А., Юрженсон Г.А. О составе желчных камней и возможных причинах их образования // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. - 1976. - Т. 117. - № 12. – С. 47-49.
10. Мироненко Г.А., Юрженсон Г.А. Состав и строение желчных камней человека // Клиническая медицина [Москва], 1979. - № 3. – С. 73-79.
11. Платонова Н.В., Котельникова Е.Н., Филатов С.К. I Российское совещание по органической минералогии // ЗРМО, 2003. – Ч.132, № 3. – С. 141-142.
12. Птицын А. Б., Абрамова В. А., Маркович Т. И., Эпова Е. С. Геохимия криогенных зон окисления.– Новосибирск: Наука, 2009. – 88 с.
13. Птицын А.Б., Абрамова В.А., Маркович Т.И. Специфика криогеохимических процессов в зоне техногенеза // Минералогия техногенеза-2009. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. – С. 215-217.
14. Севостьянова О.А., Полиенко А. К. Название: Структурные особенности ритмической зональности уролитов // ЗРМО, 2010. – Ч. 139, № 5. – С. 89-96.
15. Юрженсон Г.А. Геотехногенез и экологическая безопасность // Вестник МАНЭБ. СПб. - Чита. 2004. Т.9. – С 160-164.
16. Юрженсон Г.А. Геохимия ландшафта. Чита: Изд-во ЗабГГПУ. 2005. – 158 с.
17. Юрженсон Г.А. О некоторых общих проблемах минералогии и геохимии ландшафта исторических горнорудных территорий // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование. Чита: Экспресс-Издательство, 2006. – С. 33-41.
18. Юрженсон Г.А. Геотехногенез как процесс геолого-минералогического преобразования техногенных массивов // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование. Чита: Издательство ЗабГГПУ, 2008. – С. 32-36.
19. Юрженсон Г.А. Криоминералогенез в техногенных массивах // Минералогия техногенеза-2009. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. – С. 61-75.
20. Юрженсон Г.А. Второй Всероссийский симпозиум «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и Восьмые Всероссийские чтения памяти А.Е. Ферсмана « Современное минералообразование» // ЗРМО, Ч.СХХVIII, 2009, №4. – С. 115-117.
21. Юрженсон Г.А., Смирнова О.К., Меркулов Е.Б. Современное минералообразование в природно-техногенной системе Барун-Нарынского хранилища отходов обогатительного производства Джидинского молибден-вольфрамового комбината // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование. Чита: Издательство ЗабГГПУ, 2008. – С. 138-143.
22. Юрженсон Г.А., Замана Л.В., Котова Е.Н. Минеральная ассоциация в гидрогенном осадке дренажных вод месторождения вольфрама Антонова Гора (Восточное забайкалье) Литосфера 2009, №2. – С. 87-94.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СУЛЬФАТАХ МАГНИЯ КЛЮЧЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА

Г.А. Юргенсон¹, М.С. Борисова¹, Р.А. Филенко¹, Д.А. Никитин²

¹Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия,

²Читинский государственный университет, Чита, Россия.

NEW DATA ABOUT Mg SULPHATES OF THE KLUCHEVSKOE DEPOSIT OF GOLD

G.A. Yyrgenson¹, M.S. Borisova¹, R.A. Filenko¹, D.A. Nikitin²

¹The Institute of Natural Resources, Ecology and Criology SB RAS, Chita, Russia, yurgga@mail.ru.

²Chita state university, Chita, Russia, intel@chitgu.ru

The mineral formation white and blue of the color were found in the bottom of the Kluchevskoe deposit. This mineral association form in cracks of mountainous rocks contains. Investigation minerals formations appear provisions crystallized from waters solutions contains Mg, Fe, Cu and anions presents SO₄, CO₃, HCO₃. In the results interactions thesis groups form sulphates sols Mg, Fe, Cu.

Введение

На основе изучения современного минералообразования возможно познание закономерностей миграции химических элементов и минералообразования в ландшафте. Кроме того, может быть оценена вероятность природного очищения водоемов от токсичных элементов, так как в процессе циркуляции водотоков через нарушенные массивы руд и вмещающих их горных пород вымываются наиболее экологически опасные тонкие фракции. Современные минеральные образования захватывают токсические вещества, о чем свидетельствуют изменения состава растворов, проходящие через геохимические барьеры. Очищающиеся таким образом рудничные воды, попадая в различные водоемы, не загрязняют их [6].

Характеристика рудных тел Ключевского месторождения

Руды Ключевского месторождения относятся к умеренно-сульфидным слабозолотоносным. Количественные соотношения сульфидов и силикатов крайне непостоянны, содержание рудных минералов колеблются от нескольких процентов до 80-90% в отдельных кварц-турмалин-сульфидных жилах. В среднем оно составляет 15%. Наиболее богатыми являются кварц-турмалин-сульфидные жилы, слагающие рудоносные зоны. Эти жилы, обогащенные пиритом (до 13-15 г/т), а также вмещающие их граниты с кварц-турмалин-сульфидными прожилками являются основными источниками геохимической специализации дренирующих рудничных вод. Пиритизация прослеживается также и во вмещающих гранитах на расстоянии нескольких метров [3]. Практически все исследователи месторождения считают руды продуктами двух ассоциаций: кварц-турмалиновой и сульфидно-полиметаллической. Наиболее богатые рудные столбы формировались при их совмещении [2].

Зона окисления Ключевского месторождения

Зона окисления на месторождении достаточно хорошо выражена, но в настоящее время отработана ее наиболее богатая верхняя часть (в том числе и зона вторичного сульфидного обогащения). Реликты площадной зоны окисления, а также линейные ее элементы сохранились в северо-западной части месторождения. По данным Н.А. Криволукской и Б.И. Гонгальского [3] в бортах карьера отчетливо видно, что мощность, состав и строение зоны окисления сильно варьирует на разных участках. Максимальная мощность ее достигала 100 м (в среднем 30-40 м). При сильной трещиноватости отдельных блоков и зон поверхностные воды достаточно глубоко проникали в рудные тела, формируя линейные участки зоны окисления. Наиболее устойчивые к окислению являются сульфидно-кварц-турмалиновые тела, наименее – зоны вкрапленной, прожилково-вкрапленной минерализации, приуроченные к тектоническим нарушениям. Последние отчетливо выделяются на фоне вмещающих пород за счет рыжевато-буровой окраски. В результате проработки руд первого типа образуются массивные или полосчатые бурые железняки, а второго типа – губчатые лимониты. При разложении

анкерита возникают светло-желтые скопления, представляющие собою гидрооксиды железа. Среди новообразований обнаружены сода, халькантит, эпсомит и другие [3]. В зоне криоминералогенеза широко развиты водные сульфаты магния, меди и железа [4].

Материал и методы исследования

В работе приведены новые данные по изучению крупных скоплений сульфатов, развитых в стенках карьера. Выделенные для исследования фрагменты желваков имеют следующую кодировку: КЛЧ-СМО-06; КЛЧ-СМО-06/1, «КЛЧ» обозначает Ключевское месторождение, «СМО» - современное минеральное образование, «06» - год отбора пробы (2006 г.). Проба КЛЧ-СМО-06 белого цвета, КЛЧ-СМО-06/1 – голубого.

Фазовый состав был определен в Аналитическом центре Института Земной Коры СО РАН, г. Иркутск, рентгеноструктурным методом на аппарате Дрон-3.0, излучение – Си_{Kα}, Ni – фильтр, V = 25 kV, I = 20 mA, интервал 2θ, аналитик Т. С. Филева.

Инфракрасные спектры, были сняты в лаборатории Читинского Государственного Университета на спектрофотометре FTIR-8400S SHIMADZU, который регистрирует инфракрасные спектры пропускания исследуемых проб в диапазоне волновых чисел 4000 ...400 см⁻¹, в таблетках KBr.

Термогравиметрический анализ (прибор STA-449C, NETZSCH) проводился в лаборатории геохимии и рудогенеза Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН в корундовых тиглях с крышкой. Скорость нагрева 30⁰С/мин до 500⁰С в атмосфере воздуха, масса навесок 5,87-11,84 мг.

Формы минеральных новообразований

В 2007-2008 годах, отличавшихся жаркой и сухой погодой, на стенках карьера Ключевского месторождения наблюдались обильные образования белых, иногда голубовато-белых порошкообразных минеральных агрегатов. Ассоциации изученных минеральных образований представлены корками толщиной до 8 сантиметров (рис.1), а также желваками, рыхлыми скоплениями неправильной, часто причудливой формы (рис. 2).



Рис. 1. Внешний вид выделений сульфатов в нише в стенке карьера Ключевского месторождения.
Уменьшено в 4 раза.

Желваки имеют голубовато-белую окраску, блеск матовый. Ширина минеральных агрегатов, слагающих желваки, обычно 3-4 см (рис. 2). Корки состоят из двух слоев. Самый нижний слой, примыкающий к горной породе сложен агрегатом голубых столбчатых кристаллов, возможно халькантита. Верхний слой представлен белым неясно-кристаллическим агрегатом эпсомита.



Рис. 2. Почкиобразный облик образца КЛЧ-06. Одно деление линейки 1 мм.

Химический состав

По результатам атомно-эмиссионного анализа (табл. 1-2) видно, что основу минерального осадка составляют магний и медь, в меньших количествах содержатся марганец, цинк, кобальт и мышьяк. Никель, свинец, сурьма и стронций содержатся в сотых долях процента.

Таблица 1

Содержание основных и примесных элементов в минеральных новообразованиях

Элемент	КЛЧ-СМО-06/1, (в %)	КЛЧ-СМО-06 (в %)
Mg	9.86	11.5
Fe	0.08	0.18
K	0.08	0.05
Al	0.07	0.08
Ca	0.06	0.10
Na	0.04	<0.01
P	<0.01	<0.01
Ti	<0.01	<0.01
Cu	>1.0	0.4860
Mn	0.4730	0.1100
Zn	0.1070	0.0823
Co	0.0432	0.0466
As	0.0103	0.0190
Ni	0.0047	0.0072
Pb	0.0028	0.0021
Sb	0.0012	0.0013

Таблица 2
Химический состав минеральных новообразований

Компоненты	КЛЧ-СМО-06/1, (в масс.%)	КЛЧ-СМО-06, (в масс.%)
MgO	16.33	19.17
CuO	1.73	0.6
FeO	0.10	0.23
SO ₄	43.80	41.07
H ₂ O	41.36	39.91
Сумма	103.32	100.98

Исходя из данных рентгеноструктурного анализа (табл. 3-4), можно сделать вывод, что образцы имеют в основе своего состава эпсомит, с которым ассоциирует незначительное количество халькантита. При этом, в образце КЛЧ-СМО-06/1 его содержание, судя по количеству примеси меди, больше. С его примесью, вероятно, и связана слабая голубая окраска их тонкозернистых агрегатов.

Таблица 3
Результаты рентгенометрических исследований образца КЛЧ-СМО-06/1

№ линии	Интенсивность	Расшифровка дифрактограммы смеси исследуемого образца, d/n, Å		
		Отражения на дифрактограмме смеси	Эпсомит, по: [4]	Халькантит, по: [4]
1	3	5.9460	5.9	-
2	4	5.6951 ^x	-	-
3	10	5.4443	-	5.40
4	3	5.3272	5.3	-
5	1	4.8577 ^x	-	-
6	1	4.4516	4.5	-
7	10	4.1897	4.22	-
8	10	3.9363	-	3.95
9	2	3.7684	3.76	-
10	10	3.6943	-	3.69
11	2	3.41	3.41	-
12	8	3.2984	-	3.31
13	1	3.1607	3.17	-
14	6	3.0344	-	3.02
15	3	2.9635	2.96	-
16	3	2.8687	2.87	-
17	6	2.8003	-	2.82
18	2	2.7402	2.74	-
19	7	2.6687	2.66	-
20	8	2.6503	-	2.65
21	1	2.4719	2.48	-
22	4	2.1313	-	2.13
23	4	2.3485 ^x	-	-
24	2	2.0945	2.10	-
25	6	2.007	-	-
26	1	2.0353	2.03	-
27	2	1.918	-	1.890
28	2	1.8756	1.88	-
29	2	1.8562	-	1.845
30	2	1.8065	1.80	-
31	1	1.7228	1.72	-

Примечание. Индексом ^x обозначены отражения, соответствующие буре

Таблица 4
Результаты рентгенометрических исследований образца КЛЧ-СМО-06

№ линии	Интенсивность	Расшифровка дифрактограммы смеси исследуемого образца, d/n, Å		
		Отражения на дифрактограмме смеси	Эпсомит, по: [4]	Халькантит, по: [4]
1	3	5.9747	5.9	-
2	6	4.8736 ^x	-	-
3	10	4.2026	4.22	-
4	10	3.6881	-	3.69
5	8	3.3134	-	3.31
6	1	3.1714	3.17	-
7	3	2.878	2.87	-
8	6	2.8121	-	2.82
9	8	2.7443	2.74	2.74
10	8	2.6521	-	2.65
11	1	2.4778	2.48	-
12	2	2.3797	2.38	-
13	4	2.1319	-	2.13
14	2	2.0992	2.10	-
15	1	2.0391	2.03	-
16	1	2.0093 ^x	-	-
17	1	1.9546	1.96	-
18	6	1.8993	-	1.890
21	2	1.8775	1.88	-

Примечание. Индексом ^x обозначены отражения, соответствующие буре.

Инфракрасная спектроскопия (спектрофотометрия)

На рис. 3-4 приведены ИК-спектры образцов КЛЧ-СМО-06/1, КЛЧ-СМО-06. В данных пробах присутствует молекулярная вода, фиксируемая – валентными колебаниями в области $3000\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$. Полосы поглощения в области $400\text{-}700\text{ cm}^{-1}$ относятся к деформационным колебаниям Mg-O связей, $1100\text{-}1150\text{ cm}^{-1}$ – S-O связей [1].

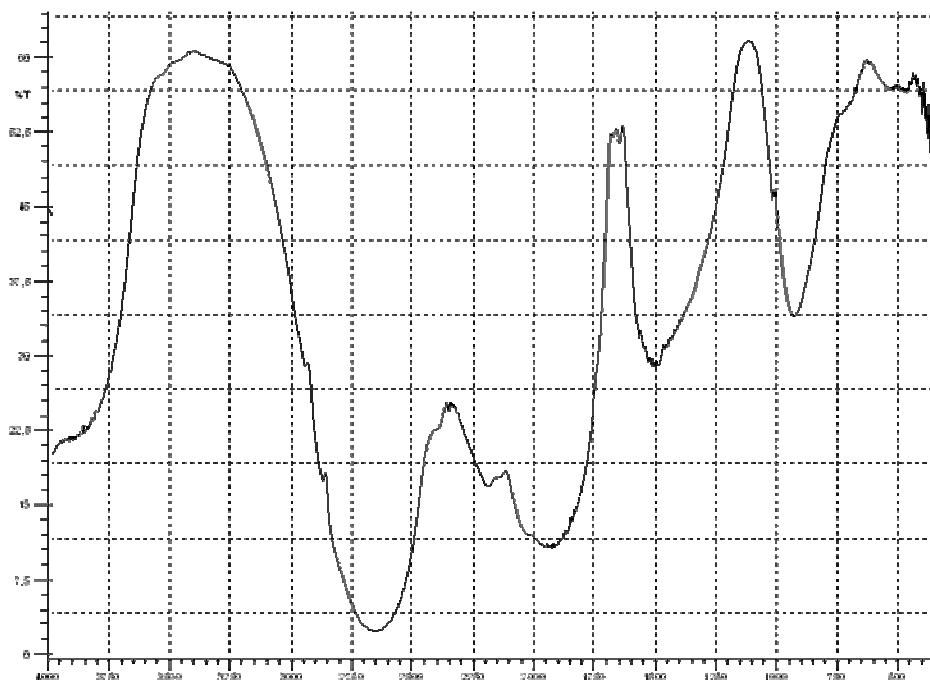


Рис. 3. – ИК-спектр образца КЛЧ-СМО-06/1.

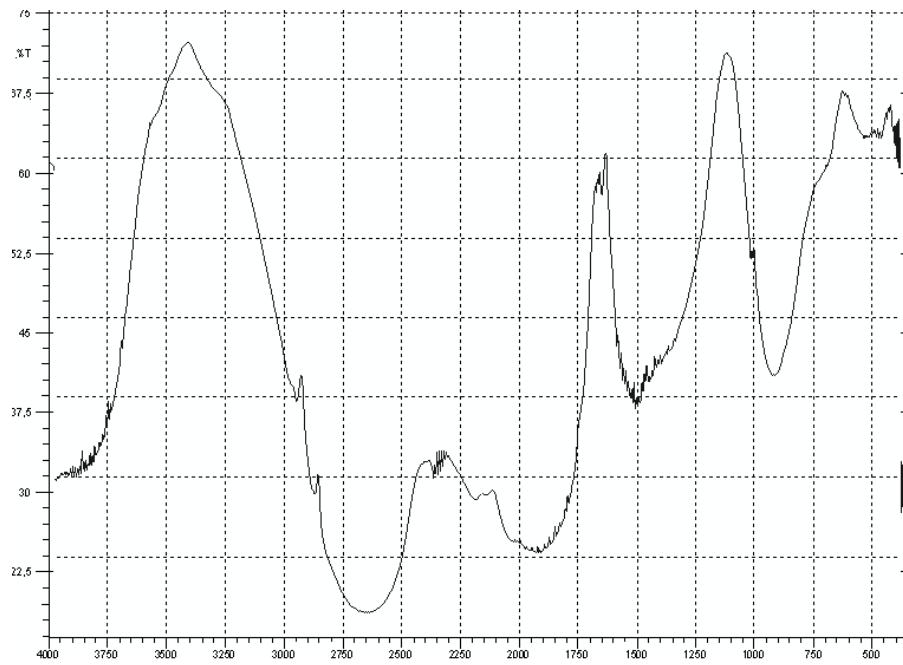


Рис. 4. – ИК-спектр образца КЛЧ-СМО-06.

Термический анализ

На рис.5-6 представлены термограммы исходных образцов. На рис.5 показана кривая ДСК образца КЛЧ-СМО-06, на которой фиксируются эндоэффекты с экстремумами 98.7; 117.9; 132.4; 170.0; 187.1; 237.4; 277.7°C, соответствующие десорбции кристаллогидратной воды, выход которой виден на ТГ кривой. Потеря массы при этом в сумме составляет 39.91%.

На рис. 6 представлена кривая ДСК образца КЛЧ-СМО-06/1 с экстремумами при 108.2; 136.2; 162.4; 192.0; 274.5°C. Это также указывает на дискретные выделение кристаллизационной воды, в сумме составляющей 41.36%. Сопоставление данных химического, термогравиметрического и рентгеноструктурного анализа позволяет уверенно отнести его к халькантиту – сидеротилу.

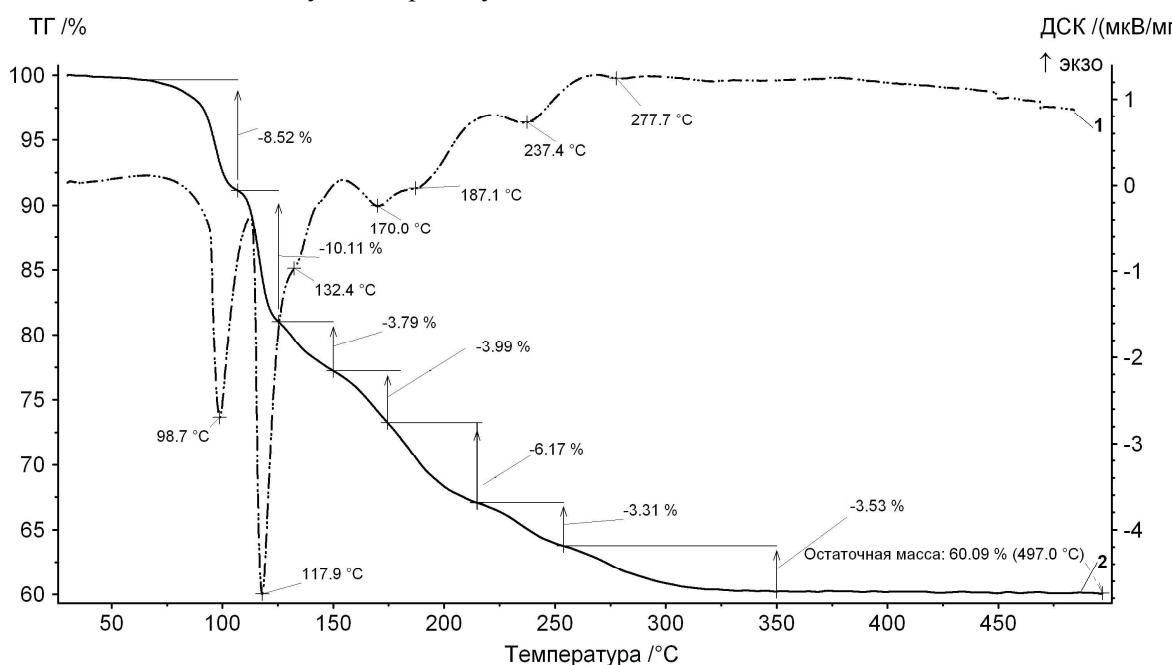


Рис. 5. Кривые ТГ(2) и ДСК (1) образца КЛЧ-СМО-06.

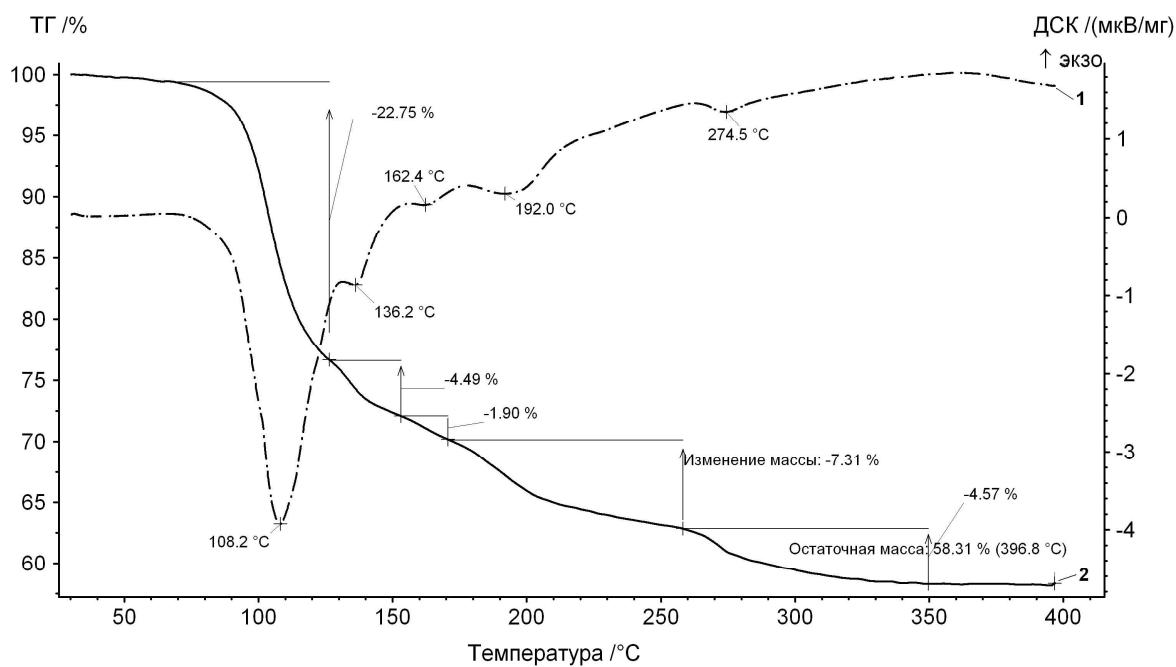


Рис. 6. Кривые ТГ(2) и ДСК (1) образца КЛЧ-СМО-06/1.

Таким образом, на основании полученных данных можно сделать вывод, что минеральные агрегаты, слагающие корочки голубовато-белого цвета, обнаруженные на испарительных барьерах, развитых в полостях рудных жил Ключевского месторождения, образованы сульфатами магния (эпсомитом) и меди (халькантитом с примесью сидеротила), имеющими в своем составе кристаллизационную воду.

О природе продуктов современного минералообразования Ключевского месторождения золота. Современные минеральные образования возникли на крутых карьерных откосах, бортах и отвесных стенах карьера, в котором отрабатывалось золото-сульфидное месторождение. Исследуемые минеральные образования сформировались в трещинах горных пород, вмещающих кварц-турмалин-сульфидное оруденение. Исследуемые минеральные новообразования являются продуктом кристаллизации из водных растворов, содержащих катионы Mg, Fe, Cu, 2-х валентного кобальта и Ca, анионы представлены SO_4 , CO_3 , HCO_3 . Преобладает сульфат-анион. В результате взаимодействия указанных анионов и катионов формируются сульфатные и карбонатные соли магния, железа, меди и кальция.

Литература

1. Болдырев А.И. Инфракрасные спектры минералов. - М.:Недра. – 1976. – 200 с.
2. Бородаевская М.Б. Особенности структуры Ключевского рудного поля (Восточное Забайкалье) // Тр. ЦНИГРИ. – 1958. – Вып.25, кн.1. – С. 11-31.
3. Криволуцкая Н.А., Гонгальский Б.И. Ключевское месторождение// Месторождения Забайкалья. Т.1. Кн.2, М: Геоинформмарк, 1995. – С. 33-40.
4. Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов – М.: Госгеолтехиздат, 1957.– 857 с.
5. Юргенсон Г.А. Особенности минералогии и формирования зоны окисления в условиях многолетнемерзлых пород // Проблемы рудообразования, поисков и оценки минерального сырья. – Новосибирск. Издательство СО РАН: 1996. – С. 127-160.
6. Юргенсон Г.А. Современное минералообразование как критерий состояния водных экосистем // Водные ресурсы и водопользование. Вып. 3. – Екатеринбург – Чита: Изд-во ЧитГУ, 2007. – С. 11-15.

4. МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЭКОСИСТЕМ ГОРНОРУДНЫХ РАЙОНОВ. ГЕОЭТИКА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ РУДНИЧНЫХ ВОД ДЖИДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

I.V. Бардамова, О.К. Смирнова

Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия, meta@gin.bscnet.ru

USING OF NATURE CORBENTS TO CLEAN MINE WATERS OF DZHIDA DEPOSIT

I.V. Bardamova, O.C. Smirnova

Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia, meta@gin.bscnet.ru

Many technogenic objects of Dzhida Mining and Processing Enterprise in Buryatia inflict irreparable damage on environment and health of local populations. Mine waters of Western Tunnel are in the hazardous concentration of heavy metals and other pollutants. The researches have shown that the local nature sorbents – zeolitic and volcanic tuffs and limestone - can be used to clean mine waters.

Джидинское молибдено-вольфрамовое месторождение расположено на водоразделе притоков р. Джиды – рр. Модонкуль и Мыргэн-Шено в северных отрогах Джидинского хребта. Месторождение состоит из трех участков: молибденового штокверкового (Первомайское), вольфрамового штокверкового (Инкур) и вольфрамового жильного (Холтосон). Коренное месторождение окружают золото-вольфрамовые россыпи, находящиеся в падях водотоков Инкур, Холтосон, Гуджирка, Барун-Нарын, Ивановский, Александровский и Мырген-Шено. Коренное месторождение и россыпи разрабатывались Джидинским вольфрамо-молибденовым комбинатом с 30-х годов прошлого столетия.

После закрытия производства в 1997 г. основными источниками загрязнения водных объектов территории продолжают оставаться отходы обогащения руд, отвалы горных пород, дренажные рудничные воды [3]. Так, воды реки Модонкуль, правого притока Джиды, по данным, приведенным в Государственных докладах «О состоянии оз. Байкал...» за 2007 и 2008 гг., содержат в опасных концентрациях алюминий (до 17 ПДК), кадмий (170 ПДК), марганец (40 ПДК) и другие металлы; минерализация достигает 1,2 г/дм³, концентрация сульфатов превышает 700 мг/дм³, фтора – 6 мг/дм³, нефтепродуктов – 2 мг/дм³ [2]. Целый комплекс загрязняющих веществ поступает в Модонкуль с поверхностными водами реки Инкур (правый приток р. Модонкуль),, которые содержат кобальт, медь, свинец на уровне ПДК, кадмий и хром – до 3-5 ПДК и характеризуются как кислые (рН 5,4) [1, 2]. Кроме того, значительное количество токсичных элементов поступает в р. Модонкуль с рудничными водами штолни «Западная», дренирующими месторождение Холтосон. По данным предшествующих исследователей (Кузьмин В.С., 1992, Ходанович П.Ю. и др., 2000; 2005 и др.), содержание в рудничных водах меди, цинка и других тяжелых металлов многократно превышает значения ПДК (табл. 1).

В настоящее время тяжелые и токсичные металлы продолжают поступать в водные объекты в угрожающих масштабах (рис. 1), нанося непоправимый вред здоровью населения города Закаменск. По данным Госсанэпиднадзора Бурятии в Закаменском районе самые высокие по республике показатели выхода на инвалидность (216,7 на 1000 обратившихся), женских и онкологических заболеваний.

Одним из способов выхода из создавшейся кризисной экологической ситуации является исключение неорганизованного сброса рудничных вод, т.е. проведение очистных мероприятий для снижения уровня токсичных загрязнений.

Среди методов, успешно применяющихся для снижения уровня загрязнений и восстановления экосистем, одним из наиболее эффективных является сорбционная очистка. В качестве сорбентов экономически выгодно по сравнению с синтетическими сорбентами применение природных минералов, горных пород. К ним относятся природные цеолиты, бентонитовые и палыгорскитовые глины, диатомиты, опоки и другие горные породы и минералы.

Таблица 1

Состав шахтных вод штолни «Западная», мг/дм³

Ингредиенты	ПДК*	Штолня «Западная»						
		**				2001	2005	2008
		07.10.1996	08.02.1998	02.10.1998	26.05.1999			
pH	6,5-8,5	6,2	1,7	3,95	6,3	3,08	4,47	3,56
Взвешенн. вещества	5,0	262,4	257,3	177	118	-		
Сухой остаток	-	-	-	-	-	3693,49		2488,04
Cl	300	4,21	4,13	4,47	2,4	< 0,2	16,05	5,67
SO ₄	100	518,2	210,2	-	656,0	2458,2	1564	1773,61
Ca	180	-	-	-	261	415,94	112	399,80
Mg	40	-	-	-	207	86,83	5	182,90
Fe _{общ.}	0,05	7,7	4,76	н/о	0,5	17,67	0,41	36,6
Cd	0,005	0,49	0,96	2,36	-	1,391	0,042	
Cu	0,001	4,27	19,84	0,505	1,7	34,88	0,811	
As	0,05	-	-	н/о	-	< 0,01	-	
Ni	0,01	0,31	0,51	0,56	-	0,617	0,021	
Cr	0,001	0,71	0,45	0,525	-	0,0135	0,0007	
Zn	0,01	6,17	2,01	1,05	2,7	64,43	1,927	
NH ₄	0,39	-	-	2,34	н/о	-	-	0,43
NO ₃	9,1	-	-	0,096	0,22	-	3,9	26,67
NO ₂	0,006	-	-	0,003	0,008	-	-	-
ХПК	30	-	-	-	10,4	-	-	-
БПК ₅	2,0	-	-	-	5,05	-	-	-
F	0,75	-	-	-	-	17,74	1,43	0,74

Примечание:

* жирным выделены ПДК и концентрации веществ, превышающие ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения;

** отчет по х/д работам БИП СО РАН, 2000 г.

*** отбор проб воды произведен в августе 2001 г. П.Ю. Ходановичем (ГИН СО РАН), анализ выполнен в Республиканском аналитическом центре (г. Улан-Удэ);

**** П.Ю. Ходанович и др., 2005, отчет (ГИН СО РАН);

***** И.В. Бардамова (ГИН СО РАН).

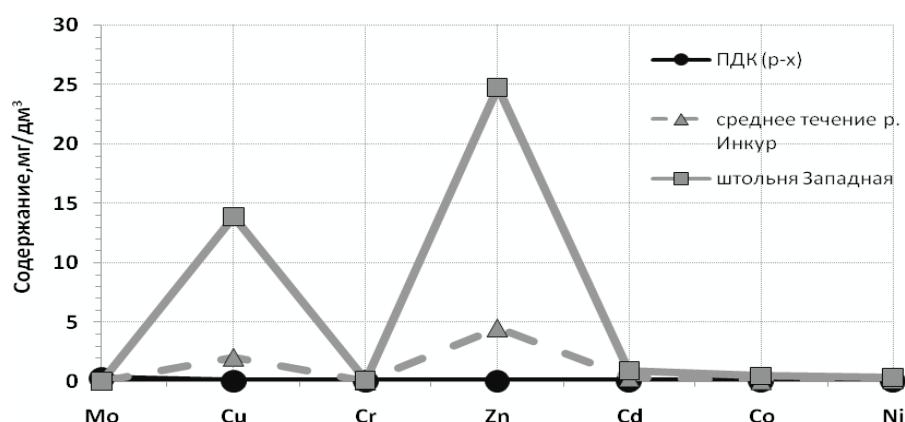


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в поверхностных водах Джидинского месторождения (данные авторов, 2009 г.).

Использование местных природных сорбентов для очистных мероприятий на горнопромышленных объектах Бурятии и Забайкалья, в соответствии с вышесказанным, может представить большой интерес.

Для исследования были взяты клиноптилолитовые туфы Холинского месторождения (Забайкалье) и морденитовые туфы месторождения Мухор-Тала (Бурятия, Заиграевский район), известняк и кальцит месторождения Зун-Нарын и туфы вулкана Хурай-Цакир (Бурятия, Закаменский район). Сорбционная способность выбранных материалов изучалась в лабораторных и полевых условиях.

В полевых условиях проводились предварительные испытания сорбционных свойств цеолитовых туфов месторождения Мухор-Тала и туфов вулкана Хурай-Цакир. Кассеты с сорбентами в течение 24 часов выдерживались в точке выхода рудничных вод штолни Западная. Сорбционные способности природных туфов оценивались по разности содержания химических элементов в них до и после опыта. Результаты полевого эксперимента (рис. 2) показали, что хурай-цакирский туф извлекает такие элементы, как барий (110 г/т) и свинец (5 г/т), а цеолитовый туф - цинк (43 г/т), свинец (14 г/т) и кадмий (1,4 г/т).

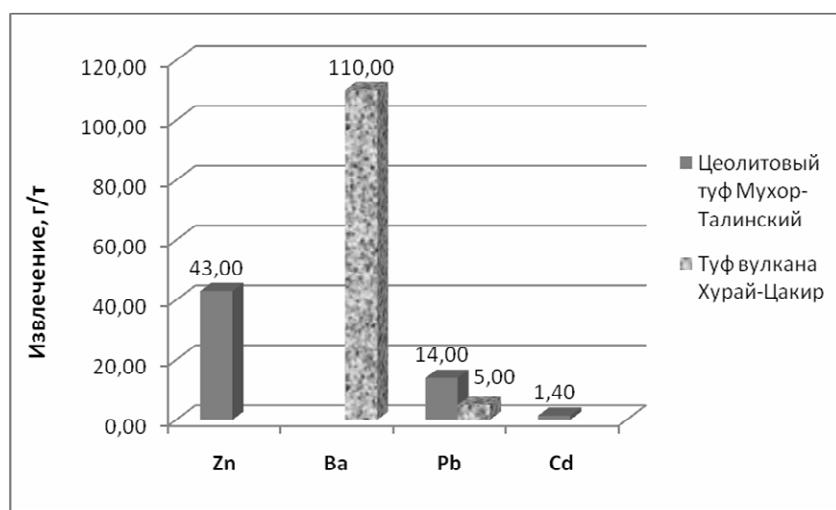


Рис. 2. Извлечение химических элементов природными сорбентами (полевой эксперимент).

Лабораторные испытания были проведены в динамическом режиме: через слой сорбента пропускали с определенной скоростью некоторый объем рудничной воды из штолни Западная. Степень извлечения химических элементов оценивалась по формуле:

$$I = \frac{100 \times (C_0 - C_p)}{C_0},$$

где I - степень извлечения, %; C_0 – начальная концентрация элемента в растворе, C_p – конечная концентрация элемента в растворе (равновесная концентрация).

Результаты исследований, представленные в таблице 2, свидетельствуют, что наиболее эффективным природным сорбентом оказался цеолитовый туф Холинского месторождения. Так, например, степень извлечения этим сорбентом свинца достигает 91%, меди – 75%, цинка, кадмия и вольфрама – выше 50%, других химических элементов - до 10%.

Другие сорбенты также показали хорошие сорбционные свойства. Известняк и хурай-цакирский туф показали высокую степень извлечения свинца, соответственно 90,65% и 88,41%, меди – 49% и 26,33%, кобальта – 35,18% и 11,68% и никеля – 34,01% и 11,3%.

Сопоставив результаты проведенных испытаний, можно сделать вывод, что для очистки рудничных вод месторождения Холтосон наиболее эффективными природными сорбентами являются клиноптилолитовый туф Холинского месторождения и известняк месторождения Зун-Нарын. Кроме того, для очистки рудничных вод могут быть также рекомендованы такие природные сорбенты, как туф вулкана Хурай-Цакир и морденитовый туф месторождения Мухор-Тала. Поскольку известняки и хурай-цакирские туфы – местное сырье, экономически целесообразно сосредоточить дальнейшие исследования на этих сорбентах.

Таблица 2

Извлечение химических элементов из рудничных вод штольни Западная
(лабораторный эксперимент)

Природный сорбент	Степень очистки рудничных вод от токсичных элементов, %											
	Cu	Cr	Zn	Pb	As	Cd	Fe	Ni	Co	W	Ba	Sb
Цеолитовый туф Холинского месторождения	75,4	7,8	59,6	91,0		54,4	3,8	30,4	40	56,8	27,7	10,0
Цеолитовый туф месторождения Мухор-Тала	13,2		9,7	54,2		4,7	21,4	5,2	5,6	6,34		21,4
Туф вулкана Хуртай-Цакир	26,3		15,5	88,4	2,0	16,7	16,0	11,3	11,7	9,5		
известняк Зун-Нарын	49,0		36,1	90,7	6,2	33,8	2,7	34,0	35,2	34,7		8,9
Кальцит Зун-Нарын	13,5		3,4	45,9		2,0	31,5	2,6	2,1	1,2		5,0

Таким образом, проведенные исследования показали, что природные сорбенты – цеолитовые туфы, вулканический туф и известняк могут быть использованы для очистки рудничных вод.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 08-05-98042-р_сибирь.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2006 году» Иркутск: Сибирский филиал ФГУНПП Росгеолфонда. 2007. – 420 с.

http://www.geol.irk.ru/baikal/rep_2006/pdf/baikal2006_p1-2-2-3.pdf

2. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2008 году». Доклад МПР России. 1.2.2.3. Минерально-сырьевые ресурсы. Филиалы по Иркутской области, Республике Бурятия и Забайкальскому краю. ФГУ «ТФИ по Сибирскому федеральному округу»; ФГУНПП «Росгеолфонд». http://www.geol.irk.ru/baikal/rep_2008/pdf/baikal2008_p1-2-2-3.pdf

3. Ходанович П.Ю., Смирнова О.К., Яценко Р.И. Загрязнение геологической среды в районе промплощадок Джидинского вольфрамо-молибденового комбината и его влияние на экосистемы. Сергеевские чтения. Материалы годичной сессии научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии 21-22 марта 2002 г. – М.:ГЕОС, 2002. – С. 353-356.

ПЕРВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПАЛЕОИХНОФАУНЫ В ПАЛЕОЭКОЛОГИИ И СТРАТИГРАФИИ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕГО МЕЗОЗОЯ ЗАБАЙКАЛЬЯ

E.C. Вильмова

Северный государственный университет, Магадан udokania@mail.ru

THE FIRST APPLICATION OF PALEOICHNOFAUNA IN PALEOECOLOGY AND STRATIGRAPHY OF CONTINENTAL DEPOSITS OF UPPER MEZSOZOIC OF TRANSBAIKALIA

E.S. Vilmova

North-Eastern State University, udokania@mail.ru

Впервые решены основные задачи палеоэкологии и стратиграфии континентального верхнего мезозоя Дуралейской впадины при помощи изучения палеоихнофауны.

The basic problems of paleoecology and stratigraphy of continental upper Mesozoic of Duraley depression are solved for the first time by means of studying paleoichnofauna.

Верхнемезозойские континентальные отложения Забайкалья выполняют изолированные межгорные впадины и представлены осадками временных водотоков, свалов, речных и озерных систем. Состав отложений, текстурные особенности и палеонтологическая характеристика

зависят от состава и рельефа обрамления, проточности впадины, типов речных систем, наличия открытых или закрытых озер и химизма их вод, примеси пирокластического материала и его состава, биоразнообразия обитателей и т.д. Разрезы впадин характеризуются сложным фациальным составом отложений, отсутствием маркирующих горизонтов, индивидуальностью палеонтологических характеристик, что вызывает естественные трудности при их расчленении и корреляции. В процессе изучения отложений, выполняющих впадины, было обращено внимание на наличие пачек пород, лишенных органических остатков, на скудность и плохую сохранность остатков, на наличие эндемиков, фациальной зависимости остатков, недостаточную изученность большей части групп, отсутствие послойных сборов и преобладание точечных местонахождений, а также на появление многочисленных и разнообразных следов жизнедеятельности организмов, особенно в пачках, лишенных известных палеонтологических остатков.

Следы жизнедеятельности в континентальных отложениях стали изучаться практически недавно. Их классификация и номенклатура отсутствуют. Для морских следов жизнедеятельности широко употребляется этологическая классификация А. Зейлахера [1]: *Cubichnia* - следы лежания (покоя); *Repichnia* - следы ползания; *Pascichnia* - следы пастьбищ на поверхности осадка; *Fodinichnia* - следы питания, поедания внутри осадка; *Domichnia* - следы обитания (жилые норки, берлоги). По данным Р. Микулаша и А. Дронова [2], классификация А.Зейлахера [1] приобрела иной вид. Кубихния (следы отдыха, покоя) – мелкие вмятины на поверхности осадка, оставленные животными, временно поселяющихся на поверхности осадка или зарывающиеся в осадок. Форма вмятин отражает форму животного. Такие структуры изолированы друг от друга. Репихния (следы ползания) – это следовые дорожки, горизонтальные бороздки выпахивания, часто извилистые, могут иметь штриховку на внутренней поверхности. Пасцихния (следы пастьбищ на поверхности осадка) – борозды, ямочки, желобки, образующиеся движущимися илоедами на поверхности дна или под ней. Агрихния (следы культивации) – сходны с предыдущими и возникают внутри осадка с целью создания условий для культивации бактерий или другой пищи. Фодинихния (следы питания, поедания внутри осадка)- однократное проникновение в субстрат (простые туннели). Домихния (жилые норки, берлоги) -простые вертикальные или U-образные норки, подповерхностные системы коридоров с горизонтальными и вертикальными сегментами. Предихния (следы хищничества)- нарушения раковин механическим или химическим путем. Хемихния (следы хемосимбиоза) – подводные каналы газов для культивирования бактерий. Фугихния (следы бегства) сохраняются лишь при быстром поступлении осадка. Многие илоеды стараются быстро выбраться на поверхность осадка, в результате чего возникают перпендикулярные поверхности – следы, не имеющие укрепленных стенок. Эквилибрихния (следы сохранения положения относительно поверхности осадка) образуются при быстром засыпании и эрозии дна, когда организм быстро зарывается, что приводит к образованию характерных следов.

При исследовании следов жизнедеятельности из континентальных отложений верхнего мезозоя Забайкалья были использованы категории этологической классификации А. Зейлахера [1].

Следы жизнедеятельности в континентальных отложениях верхнего мезозоя Забайкалья позволяют выявить ряд стратиграфических, седиментологических и палеоэкологических (палеонтологических) аспектов, так как часто становятся видами-индексами определенных пачек, толщ, слоев, их присутствие в разрезе указывает на определенные условия обитания и седиментации, степень твердости дна, наличие пищи и т.д. Кроме того, большинство слоев с многочисленными следами жизнедеятельности часто подвержены биотурбации, т.е. перемешиванию рыхлого осадка в результате деятельности обитавших в нем организмов и возникновению специфических текстур.

Разновозрастные ассоциации следов жизнедеятельности установлены в разрезе Дуралейской впадины, расположенной на левобережье р. Шилка в бассейне рек Дуралей-Торга и выполненной верхнеюрскими туфогенно-осадочными и осадочными отложениями укурейской свиты. Опорным разрезом свиты является дорожный карьер у с. Новоберезовское, который расчленен на нижнюю туфогенную и верхнюю – алевролитовую толщи. Для нижней туфогенной толщи характерно переслаивание

туфопесчаников с туфоалевролитами, которые содержат многочисленные напластования тонкостебельных хвощей *Equisetites undense* Sreb., иногда с корневой системой. В туфоалевролитах встречены остатки панцирей щитней *Prolepidurus daja* (Tchern.), единичные конхостраки *Pseudograptia*, силуэты тел личинок поденок *Proameletus caudatus* Sin., фрагменты тел личинок и имаго стрекоз *Sinitsia*. В двух слоях туффитов, лишенных фаунистических остатков, обнаружены следы жизнедеятельности *Reperolithos apsatensis* Vilmova и *Discretella serpentina* Vilmova. Верхняя алевролитовая толща охарактеризована только следами жизнедеятельности, которые установлены на 4 уровнях.

Снизу вверх в разрезе двух толщ выделяются:

1. Ихнофация реперолитос – *Reperolithos apsatensis* Vilmova – протяженный выпуклый синусоидальный след ползания (*Repichnia*) длиной выше 20 см, диаметр следа до 3-4 мм. Приурочен к поверхности напластования горизонтально слойчатого пеплового туффита нижней туфогенной толщи. На площадке 30x20 см насчитывается около 15 пересекающихся валиков и поперечных овальных сечений. Редко совместно присутствуют личинки поденок проамелетусы. Реперолитосы встречаются в пачке алевролитов апсатской свиты Апсатского угольного месторождения и в туффитах укурейской свиты Оловской впадины, которые датируются поздней юрой.

2. Ихнофация дискретелла – *Discretella serpentina* Vilmova представляет собой протяженные извилистые выпуклые цепочки пеллет (*Fodinichnia*) длиной до 5 см, диаметр пеллет – 0,5 мм. Приурочены к пепловым туффитам нижней туфогенной толщи и встречаются без сопутствующей фауны.

3. Ихнофация феррофибра – *Ferrofibra duraleica* Vilmova – слабо выпуклые, замещенные железистыми оранжевыми образованиями, интенсивно насыщающие породу (биотурбация), ветвящиеся следы длиной до 5 см, диаметр следа до 2-4 мм (следы питания *Fodinichnia*?). На площадке 20x20 см насчитывается выше 50 следов. Сопутствующие остатки не обнаружены. Приурочены к алевролитам переходного уровня от туфогенной к алевролитовой толщам.

4. Ихнофация артикулярама – *Articularama berezowskaja* Vilmova – сильно выпуклые, членистые и ветвящиеся следы длиной до 3-5 см, диаметром до 2-3 мм (следы питания? *Fodinichnia*). Следы приурочены к пачке серых алевролитов верхней толщи и встречаются совместно с плоскими следами планопаллена и феррофибра.

5. Ихнофация планопаллена – *Planopallena nidica* Vilmova – плоские, еле заметные бледно-желтые, слабо ветвистые следы длиной до 1-2 см (следы питания? *Fodinichnia*), приуроченные к пачке серых алевролитов верхней толщи. Совместно встречаются фрагменты игольчатых листьев хвойных и единичные семена – крылатки.

6. Ихнофация феррофибра, аналогичная описанной выше, установлена в верхах разреза верхней толщи, где отмечается появление прослоев песчаников.

Следовательно, нижняя туфогенная толща укурейской свиты в районе с. Новоберезовское характеризуется следами двух ихнофаций: *Reperolithos apsatensis* – *Discretella serpentina*, а верхняя алевролитовая – следами четырех ихнофаций – *Ferrofibra duraleica* – *Articularama berezowskaja* – *Planopallena nidica* – *Ferrofibra duraleica*. Ихнофации выделены по доминирующими следами и отличаются по составу и этологическим категориям.

Внутрирегиональная корреляция проведена по реперолитосам с апсатской и укурейской свитами региона. Что же касается ихнофауны алевролитовой толщи, то можно отметить некоторое сходство ожелезненных следов феррофибра с ферролитосами Бичектуйского разреза Күэнгинской впадины. Так, в разрезе верхнего мезозоя пади Бичектуй (кутинская свита?) установлены две ихнофации: ферролитосов (*Ferrolithos*) и валлюмболитосов- торруSELL *Vallumbolithos-Plectronia-Latibulina-* *Petelilithos-Torrusella*. Ферролитосы напоминают феррофибр, однако, отличаются большей протяженностью, слабым ветвлением, не образуют войлока, представляют собой протяженные уплощенные, слегка ветвящиеся следы, выполненные оранжевым ожелезненным материалом. Вторая ихнофация представлена в основном следами лежания, покоя, обитания, что не позволяет сопоставить их с дуралейскими ихнофациями, где подобные следы отсутствуют.

Таким образом, проведена первая попытка расчленения и корреляции разрезов континентального верхнего мезозоя по ихнофауне с выделением ихнофаций. Следы жизнедеятельности, как никакая другая группа фауны, однозначно указывают на захоронение

«на месте», на особые условия обитания – значительное количество пищи, кислородную обстановку на дне, создание особых биотурбированных текстур, что является важным при палеореконструкциях.

Литература

1. Seilacher A. *Studien zur Palichnologie.I. Uber die Methoden der Palichnologie. – Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaontologie, Abhandlungen*, 1953, 96.— S.421-452.
2. Микулаш Р., А. Дронов. *Палеоихнология. Введение в изучение ископаемых следов жизнедеятельности*. – Прага, 2006. – 106 с.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ ГОРНОРУДНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ АЛТАЯ

А.И. Гусев

Бийский педагогический государственный университет им. В.М. Шукшина, Бийск, Россия,
anzerg@mail.ru

BIOGEOCHEMICAL INDICATORS OF TECHNOGENIC POLLUTION ECOSYSTEMS BY MINING ENTERPRISES OF ALTAI

A.I. Gusev

The Shukshin Pedagogical State University of Biysk, Biysk, Russia, anzerg@mail.ru

Technogenic pollution of ecosystems causing by activity mining enterprises of Altay revealed on basis biogeochemical indicators. Content of hard metals analyzed in different plants in mining enterprises that it absorb selectively from soil and air environment. Composition of hard metals in plants determine by composition of ores on the deposits. Anomalous content of Hg in the plant of Sinukhinskoe ore district link with process of cyanidation for selection of gold on the gold-extraction factory.

Key words: Hard metals, ecosystems, pollution.

На Алтае известны различные горнорудные предприятия, оказывающие значительное техногенное влияние на природные экосистемы: Синюхинское золото-медно-скарновое, Золотушинское, Змеингорское золото-колчеданные барит-полиметаллические, Калгутинское молибден-вольфрамовое кварцево-грейзеновое, Акташское, Чаган-Узунское ртутнорудные и другие. Некоторые из них существуют и действуют ещё с 18 века (Золотушинское, Змеингорское), вокруг них были созданы посёлки и техногенное воздействие на экосистемы в процессе отработки и обогащения руд создали весьма напряжённую обстановку со значительным загрязнением почв, донных отложений малых рек. Загрязнение тяжёлыми металлами природных систем привело к тому, что опасные концентрации металлов вошли в цепь питания: растения- животные-человек.

На Синюхинском золото-медно-скарновом месторождении в процессе проведения биогеохимических поисков рудных тел с участием автора (1992-1993 годы) проведены исследования и по выявлению масштабов захвата и биологического накопления тяжёлых металлов различными видами растений над участками рудных тел. Поиски рудных тел проводились по диффузионным геохимическим ореолам восходящей миграции. Известно, что в потоке диффундирующего вещества присутствуют все те элементы первичного ионного геохимического поля, для которых отмечается разность концентраций в рудных телах и перекрывающих их породах. Движение ионов в пристеночном слое жидких плёнок способствует сохранению элементарных парагенезисов, которые существуют в материнских первичных рудах. Последнее позволило разработать объективные критерии интерпретации вторичных ореолов диффузионной природы с позиций парагенетического анализа.

Ранее биогеохимические поиски осуществлялись на основе анализа золы растений после их сжигания. Такая методика определения концентраций элементов в растениях приводила к искажению истинных содержаний элементов в растениях, так как при озолении проб происходит потеря некоторой части летучих элементов (Mo, V, U, Zn, B, Au, As, Sb, Bi, Se, Te, Pb, Cd, Tl, Hg), которая имеет наибольшую величину (от 50 до 90%) в неизмельчённых пробах ветвей, корней, коры и древесины для Cd, Pb, Tl, Zn, B, As, Bi, а для ртути она составляет даже 90-97% [3].

На Синюхинском месторождении апробирована методика определения химических элементов в растениях без озоления материала, а выявление и интерпретация ореолов диффузионной природы, пригодных для биогеохимических целей, выполнена с использованием высокочувствительной съёмки с рентген-радиометрическим анализом (РРА) на аппаратуре типа NOKKIA. Вторичные ореолы диффузионной природы представляют собой вертикальную проекцию погребённых рудных тел и фиксируются при мощности перекрывающих отложений до 600 м. При РРА анализируемый слой в листьях, ветвях, коре растений составляет первые микроны поверхности, где концентрируется большая часть тяжёлых металлов, накопленных растениями за их жизнь.

Интерпретация выделенных при таких съёмках аномалий проводится с позиций парагенетического анализа. Сонахождение элементов в объекте исследований не является критерием их парагенетичности. Для выделения природных парагенетических ассоциаций элементов, обусловленных тем или иным компонентом ландшафта, применяют методы многомерной статистики. Наиболее эффективен для этих целей метод главных компонентов (МГК) факторного анализа, позволяющий выявлять взаимосвязи элементов в отдельных процессах [1].

Перед проведением биогеохимической съёмки были выполнены опытно-методические работы по выявлению элементов-индикаторов руд Синюхинского месторождения на той же самой аппаратуре РРА. Изучены рентгеновские спектры руд месторождения с анализом проб (более 120) на широкий круг элементов: Fe, Cu, Zn, Pb, As, Zr, Nb, Y, Sr, Rb, Ba, Se, Tl, Ag, Bi, Sb, Co. К числу элементов-индикаторов отнесены: Fe, Cu, Zn, Pb, As, Zr, Sr, Ag, Bi, Sb, Co.

При биогеохимической съёмке было отобрано 4000 биогеохимических проб по профилям (расстояние между профилями – 200 м., шаг опробования по профилю – 10 м.) из наиболее распространённых растений в рудном поле (мхов, папоротников, осоки, мать - и - мачехи). В дальнейшем анализ проводился по всем предварительно высущенным растениям только на элементы-индикаторы. Следует отметить, что концентрации таких элементов как медь, серебро, висмут, сурьма в некоторых растениях в районе рудных тел на порядок и более превышали таковые на участках безрудного пространства. Другим важным свидетельством аномально высоких концентраций тяжёлых металлов в надрудном пространстве является отсутствие лишайников в этих местах, которые чутко реагируют на повышенные концентрации металлов и в почве, и в диффузионных геохимических ореолах.

Результаты анализа проб, отобранных в районе медно-золоторудных тел сведены в табл.1.

Таблица 1
Содержания элементов-индикаторов (%) и значения коэффициентов концентрации в растениях
Синюхинского рудного поля в районе рудных тел

Элементы	Мх, n=155		Папоротник, n= 163		Осока, n = 95		Мать-и-мачеха, n=44		Ср. состав золы наземн. растений
	C	K _к	C	K _к	C	K _к	C	K _к	
Fe	3,3	4,1	2,1	2,6	2,0	2,5	2,2	2,75	0,8
Cu	0,015	7,5	0,013	6,5	0,013	6,5	0,014	7,0	0,002
Zn	0,009	3,0	0,0005	1,67	0,004	1,33	0,006	2,0	0,003
Pb	0,0011	2,75	0,009	2,2	0,008	2,0	0,001	2,5	0,0004
As	0,0007	2,33	0,0005	1,67	0,0005	1,67	0,0006	2,0	0,0003
Zr	0,0006	1,5	0,0005	1,25	0,0005	1,25	0,0004	1,0	0,0004
Sr	0,05	1,67	0,04	1,33	0,03	1,0	0,03	1,0	0,03
Ag	0,0002	10,0	0,00007	3,5	0,00007	3,5	0,00008	4,0	0,00002
Bi	0,0007	17,5	0,0005	12,5	0,0004	10,0	0,00032	8,0	0,00004
Sb	0,0012	3,0	0,001	2,5	0,0011	2,75	0,0011	2,75	0,0004
Cd	0,00014	2,8	0,0001	2,0	0,00011	2,2	0,0001	2,0	0,00005
Co	0,0019	4,75	0,0014	3,5	0,0012	3,0	0,0013	3,25	0,0004

Примечание. Коэффициент концентрации K_к – есть отношение содержаний элемента в пробах растений Синюхинского рудного поля к среднему содержанию в золе наземных растений по А.И. Перельман [4]; n – количество проанализированных проб по каждому виду растений.

Анализ закономерностей концентраций элементов в растениях показывает, что наибольшие концентрации тяжёлых металлов обнаруживаются во мхах, а наименьшие – в мать-и-мачехе. Обращает на себя внимание очень высокий коэффициент концентрации висмута почти во всех растениях Синюхинского рудного поля, что намного превышает приводимые оценки по литературным данным [4]. Вероятно, это объясняется тем, что в анализируемом районе наряду с высокими концентрациями висмута в рудах имеют место и благоприятные факторы гипергенного перевода этого металла в легкорастворимые формы, что способствует его повышенной миграционной способности в диффузионных ореолах с последующей фиксацией в растениях в аномально высоких концентрациях.

Преимущество использования МГК при выявлении парагенетических ассоциаций элементов в природных объектах заключается в том, что выявляется структурное единство модели, описывающей поведение химических элементов системы при изменении внешних условий, и модели метода главных компонент [1]:

$X_i = \sum W_{ij} Z_j$, где Z_j – значения j -го фактора; W_{ij} – факторная нагрузка j –го фактора на i -ю переменную; ($i=1,2,3,\dots,m$; $j=1,2,3,\dots,r$; $r \leq m$).

Расчёт факторных нагрузок для наших данных по выборкам анализов для наиболее представительных по объёму выборок мха ($n=155$) и папоротника ($n=163$) выглядит следующим образом:

ΦI мха, $D=61\%$, $Bi_{0,96} Ag_{0,88} Cu_{0,61} Co_{0,53} Fe_{0,42}$

ΦI папоротника, $D=49,8$, $Bi_{0,78} Cu_{0,63} Ag_{0,51} Co_{0,51} Fe_{0,34}$

Где ΦI – факторные нагрузки первого порядка, D – вклад факторных нагрузок в процентах; значения факторных нагрузок конкретных элементов даны рядом с элементом при значениях вероятности 0,95%.

Полученные результаты в сопоставлении с данными табл.1 показывают, что выявленные парагенетические ассоциации отражают комплексы химических элементов, имеющих природную дисперсию содержаний тяжёлых металлов в диффузионных геохимических ореолах, а конкретные значения факторов ранжированы по степени увеличения коэффициентов концентрации или биологического накопления (или аномальности в опробованных растениях). Парагенные ассоциации химических элементов во мхе и папоротнике имеют черты сходства и различий. У них имеются общие ассоциации элементов (висмут, серебро, медь, кобальт, железо), однако вклад факторных нагрузок и величины их в анализируемых растениях различны. Особенно контрастное различие в фиксации тяжёлых металлов намечается для мха и папоротника по таким элементам как медь и серебро. Если в папоротнике больше концентрируется меди, то во мхе – серебра, что подтверждается их различным положением в иерархическом ряду факторных нагрузок.

Вблизи карьеров участков Рудная Сопка, Западный, Файфановский Синюхинского рудного поля у хвои сосны часто наблюдается заболевание – ауксобилия, проявляющаяся в резко укороченной длине хвоинок и укороченных веточках. Проведено сравнение состава тяжёлых металлов в поражённой болезнью хвое и хвое сосны за пределами Синюхинского рудного поля (район селения Чои) (табл. 2).

Полученные данные указывают на то, что в сравнении с концентрациями тяжёлых металлов с фонового участка в хвое, поражённой ауксобилией наблюдается значительное накопление таких элементов, как Fe, Cu, Zn, Pb, As, Zr, Sr, Ag, Bi, Sb, Cd, Co, Hg. При этом, повышенные концентрации элементов в хвое, поражённой ауксобилией, в основном, отражают повышенные концентрации их в рудах. Аномально высокое накопление ртути в поражённой хвое, вероятно, связано с рассеянием ртути в результате процессов цианирования при извлечении золота.

Аналогичные исследования проведены нами и в районе месторождений золото-колчеданной барит-полиметаллической формации в 2005-2009 годах [2]. Для этого типа экосистем (Змеиногорск) парагенные ассоциации выявлены для листьев тополя и полыни (наиболее распространённых растений в городе) целиком определяются составом добываемых полиметаллических руд из золото-колчеданных барит-полиметаллических месторождений, расположенных вблизи города (Змеиногорское, Корбалихинское, Среднее, Петровское и другие).

ΦI тополя, $D=52,4\%$, $Ba_{0,97} Cu_{0,93} Zn_{0,91} Pb_{0,89} Sr_{0,88} Ag_{0,81} Cd_{0,60} Mo_{0,46} Tl_{0,39}$

ΦI полыни, $D=44,5$, $Ba_{0,92} Ag_{0,91} Cd_{0,85} Zn_{0,81} Pb_{0,69} Cu_{0,53} Sr_{0,48} Mo_{0,42} Tl_{0,29}$

Таблица 2

Содержания элементов-индикаторов (%) и значения коэффициентов концентрации в хвое фонового участка и хвое поражённой ауксобилией

Элеме- нты	Хвоя, поражённая ауксобилией, n=15		Хвоя фонового участка (район сел. Чоя), n= 11		Ср. состав золы наземн. Растений
	C	K _k	C	K _k	
Fe	3,8	4,75	1,3	1,6	0,8
Cu	0,03	15,0	0,001	0,5	0,002
Zn	0,011	3,7	0,004	1,3	0,003
Pb	0,0018	4,5	0,0003	0,75	0,0004
As	0,0011	3,7	0,0002	0,67	0,0003
Zr	0,0009	2,2	0,0003	0,75	0,0004
Sr	0,08	2,7	0,01	0,33	0,03
Ag	0,0009	50,0	0,00002	1,0	0,00002
Bi	0,0010	25,0	0,00002	0,5	0,00004
Sb	0,0019	4,75	0,00003	0,075	0,0004
Cd	0,00017	3,4	0,00003	0,6	0,00005
Co	0,0020	5,0	0,0003	0,75	0,0004
Hg	0,00003	15,0	0,00002	1,0	0,000002

Значительную роль в парагенетических ассоциациях тяжёлых металлов в обоих растениях получили барий, медь, серебро, кадмий, таллий. Последние два элемента являются примесями в рудах, тем не менее, они оказались важными полютантами, поглощаемыми растениями.

Для г. Горняк (известное Золотушинское барит-полиметаллическое месторождение), где отмечено рождение «жёлтых детей», факторные нагрузки и парагенные ассоциации тяжёлых металлов представлены в следующем виде:

Ф I тополя, D=59,9%, Hg_{0,98} Pb_{0,96} Ba_{0,95} Ag_{0,92} Cu_{0,90} Ti_{0,87} Zn_{0,86} Mo_{0,60} Cd_{0,41} Tl_{0,39}

Ф I полыни, D=48,8, Pb_{0,99} Ba_{0,92} Hg_{0,90} Ag_{0,88} Cu_{0,73} Cd_{0,71} Zn_{0,61} Mo_{0,42} Tl_{0,29} Ti_{0,25}

Степное барит-полиметаллическое золото-колчеданное месторождение, расположено в Рубцовском рудном районе, в настоящее время разведывается. Оно расположено в 4 км от посёлка Таловка (в Таловке находится одноименное месторождение, но оно находится на глубине и ранее разведывалось скважинами колонкового бурения). На Степном месторождении пройден карьер с отвалами, занимающими значительную площадь. Месторождение находится в степи и в его районе деревья отсутствуют. Нами опробованы полынь и пырей ползучий (по 15 проб каждая из трав). Для указанных растений факторные нагрузки представлены в следующем виде:

Ф I полыни, D=43,4, Ba_{0,90} Ag_{0,87} Cd_{0,81} Zn_{0,81} Pb_{0,69} Cu_{0,53} Sr_{0,41} Tl_{0,21}

Ф I пырея, D=41,5, Ba_{0,92} Ag_{0,90} Cd_{0,82} Zn_{0,80} Pb_{0,69} Cu_{0,56} Sr_{0,48} Tl_{0,25}

Характерной особенностью факторных нагрузок на Степном месторождении является значительно меньшие их значения, чем на Змеиногорском и Золотушинском месторождениях. Кроме того, в обоих видах растений отсутствует молибден, что также отличает это месторождение от ранее рассмотренных колчеданных объектов Рудного Алтая.

Таким образом, на основе полученных результатов установлены биогеохимические индикаторы биологического накопления тяжёлых металлов во мхе, папоротнике, осоке и мать-и-мачехе при диффузионном процессе восходящей миграции плёночных вод над рудными залежами Синюхинского месторождения. Из большого числа проанализированных элементов к числу индикаторов биологического накопления можно отнести висмут, медь, серебро, кобальт, железо. Обращает на себя внимание резко аномальные концентрации всех элементов в хвое сосен, поражённых ауксобилией.

На колчеданных барит-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая полютанты в листьях тополя и полыни также отражают состав основных рудных компонентов и некоторых примесных металлов (таллий, кадмий).

Литература

1. Бугаец А.Н., Дуденко Л.Н. Математические методы при прогнозировании месторождений полезных ископаемых. – Л. «Недра», 1976. – 270 с.

2. Гусев А.И., Гусева О.И. Биогеохимическая индикация антропогенного загрязнения растительности Алтайских городов // Международный журнал экспериментального образования, 2010. – №7. – С. 17-19.

3. Григорян С.В., Соловов А.П., Кузин М.Ф. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М., Недра, 1983. – 191 с.

4. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М., Высшая школа, 1975. – 234 с.

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ СУХИХ ХВОСТОВ КОМСОМОЛЬСКОГО РАЙОНА НА ГИДРОСФЕРУ МЕТОДОМ ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.П. Зверева¹, А.В. Савченко², А.М. Костина³

¹Геологический институт ДВО РАН и Дальневосточный государственный университет,
Владивосток, Россия, zvereva@fegi.ru

²Институт океанологии ДВО РАН, Владивосток, Россия, alsav@poi.dvo.ru

³Геологического института ДВО РАН, Владивосток, Россия, alyona5vbc@mail.ru

EVALUATION AND PROGNOSIS OF ACTION OF DRY TAILING DUMPS OF KOMSOMOLSK DISTRICT ON HYDROSPHERE USING PHYSICAL-CHEMICAL MODELING METHOD

V.P. Zvereva¹, A.V. Savchenko², A.M. Kostina³

¹Far East Geological Institute, FEB of RAS, Far East State University; Vladivostok, Russia

²Institute of Oceanology, FEB of RAS

³Far East Geological Institute, FEB of RAS; Vladivostok, Russia

Hypogene processes in technogenic systems of cassiterite-sulfide deposits become more active due to increasing contact surface of weathering agents with sulfides. Expensive monitoring works in the mining districts allow the evaluation of the ecosphere ecological state in a definite time interval as well as the prognosis of the processes of its contamination for the nearest future. Unfortunately, they don't give a full picture of the sulfide oxidation and don't make it possible to quantitatively estimate a wide element spectrum evacuated from the tailing dumps of the mining technogenic system. Use of the physical-chemical modeling allows the calculation of the volumes of many toxic elements carried out from the tailing dumps and the prognosis for decades and even for centuries.

Оловорудная промышленность в Комсомольском районе развивается около шестидесяти лет. Это оловянные, медно-оловянные и олово-полиметаллические месторождения, которые отрабатывались как открытым, так и закрытым способом. Руды перерабатывались комплексно с извлечением Sn, Cu, Pb и Zn. Все месторождения в районе, кроме одного м. Фестивальное закрыты, хотя запасы руд не отработаны. Здесь две обогатительные фабрики, из которых в настоящее время работает одна, и три хвостохранилища. Первое хвостохранилище находится рядом с фабрикой и в непосредственной близости с пос. Горный (около 100 м). Отходы там накапливались с 1963 по 1997 г. его площадь 20 га, объем 10,4 млн. т, среднее содержание олова в хвостах 0,13%. Второе – расположено около другой фабрики и вблизи г. Солнечный (500-700 м). Здесь накапливались отходы с 1969 по 2001 г. Оно по площади самое большое – 40,3 га, объем 24,09 млн. т, среднее содержание олова в хвостах – 0,207%. Хвосты на этих двух хвостохранилищах находятся в сухом виде. Самое молодое третье хвостохранилище закрыто сверху шламовыми водами. Объем его составляет 6,8 млн. т, площадь 30,5 га, а находится оно в 5 км от пос. Горный в направлении к г. Солнечный. Развитие горнорудной промышленности привело к появлению многочисленных канав, расчисток, карьеров, штолен и хвостохранилищ, что способствовало созданию горнопромышленной техногенной системы площадью десятки гектар. Так как при развитии горнорудной промышленности в районе санитарные нормы не были соблюдены, то жилые зоны – пос. Горный и г. Солнечный оказались расположены в пределах горнопромышленной техногенной системы.

Благодаря увеличению поверхности соприкосновения открывящихся сульфидных руд в горных выработках и отходов горнорудного производства – хвостов с агентами выветривания (кислород, поверхностные воды и т.д.) гипергенные процессы активизируются. Главными

сульфидными минералами, которые в процессе гипергенеза интенсивно окисляются, являются: пирит, пирротин, арсенопирит, халькопирит, галенит и сфалерит. Окисление сульфидов и появление гипергенных растворов правильнее описывают уравнения, относящихся к условиям среды с $\text{pH} \leq 3$ [5]. Процесс окисления сульфидов начинается в микропорах и микротрещинах, где образуется раствор с повышенной концентрацией кислых ионов, в том числе и HSO_4^- , в связи с чем первыми продуктами окисления сульфидов будут комплексные катионы типа $[\text{AHSO}_4]^+$, где A – Fe^{+2} , Fe^{+3} , Cu, Pb, Zn – в зависимости от окисляющегося сульфида, и соответствующие комплексные катионы $[\text{FeHSO}_4]^{+2}$, $[\text{FeHSO}_4]^{+2}$, $[\text{CuHSO}_4]^+$, которые при разбавлении растворов могут испытывать гидролизные превращения. В результате в пределах горнопромышленной техногенной системы возможна кристаллизация широкого спектра гипергенных и современных техногенных минералов Fe, Cu, Pb и Zn [8], главным образом из класса сульфатов. Проведенные одним из авторов минералогические исследования [2, 5] позволили в рассматриваемой горнопромышленной техногенной системе установить более 80 гипергенных минералов, из которых 35 кристаллизуются в виде современных техногенных моно- и полиминеральных форм из концентрированных рудничных и поровых вод.

Поровые растворы, дренажные и концентрированные рудничные воды, из которых кристаллизуются вышеупомянутые минералы, выносятся круглогодично ничем не сдерживаемые и попадают в поверхностные и грунтовые воды на протяжении многих десятилетий, что приводит к изменению гидрохимического фона района. Это способствует ухудшению состава поверхностных и грунтовых вод, из которых в районе происходит водозабор питьевых вод.

Сильные ветра, характерные для данного района способствуют загрязнению атмосферы тонкодисперсными отходами горного производства – хвостами, которые, попадая в почву, благодаря процессам гипергенеза окисляются. Кислые растворы, обогащенные рудными элементами, способствуют их накоплению в растениях, что приводит к изменению биохимического фона района.

Наличие горнопромышленных техногенных систем и активно протекающих в них гипергенных процессов привело к тому, что Комсомольский оловорудный район по показателям загрязнения водного и воздушного бассейнов характеризуется как территория с критической и катастрофической экологической ситуацией. Поселок Горный и г. Солнечный находятся в данной зоне. С каждым годом границы этой зоны расширяются, а площади увеличиваются [4].

Дорогостоящие мониторинговые работы в горнорудных районах позволяют оценить экологическое состояние экосферы в определенный промежуток времени, а также прогнозировать процессы ее загрязнения на ближайшее время. К сожалению, они не дают полную картину окисления сульфидов и не позволяют количественно оценить широкий спектр элементов, выносимый из хвостохранилищ горнопромышленной техногенной системы. Использование же программного комплекса «WinSel» (разработчики И.К. Карпов, К.В. Чудненко, В.А. Бычинский) физико-химического моделирования позволяет методом минимизации термодинамического потенциала (энергия Гиббса) рассчитать объемы многих токсичных элементов, выносимых из хвостохранилищ и сделать прогноз на десятилетия и даже столетия. Все стадии, через которые проходит хвостохранилище и изменения, происходящие с хвостами, можно представить в виде ряда физико-химических моделей (табл. 1). Начальный процесс изменения отходов горнорудного производства – хвостов начинается на стадии переработки руд, извлечения концентрата и сброса пульпы на хвостохранилище с помощью трубопровода. На этой стадии происходит взаимодействие руды и хвостов с реагентами, которые используются при флотационном методе извлечения концентрата (I модель, табл. 1). В качестве реагентов в данном районе используются (г/т): серная кислота – 825, бутиловый ксантофенат – 50, флотационное масло – 15 (сосновое, которое состоит в процентах из: пинена – 40, лимонена – 40, борнилацетата – 11 и спирта – 9), жидкое стекло – 750, Ди-2-ЭГФК (ди-2-этил-гексилфосфорная кислота) – 500 и изооктиловый спирт – 550.

После попадания жидких хвостов на хвостохранилище они подвергаются воздействию гипергенных агентов (вода, кислород воздуха и др.), т. к. происходит активное разбавление пульпы осадками – дождевыми и талыми водами. Пока горнорудное предприятие работает и сбрасывает отходы на хвостохранилище оно действующее и сверху закрыто шламовым озером.

В этот период времени хвосты находятся в жидким состоянии (I вариант II модели, табл. 1). Шламовые воды частично дренируют и уже в виде дренажных вод попадают в поверхностные и грунтовые. При создании критической ситуации в результате прорыва дамбы шламовые озера и хвосты частично или полностью попадают в поверхностные водотоки. Аварии во всех горнорудных районах происходят достаточно часто.

Таблица 1

Схема этапности физико-химического моделирования экологической ситуации на хвостохранилищах

Тип модели		Характеристика места нахождения и состояния отходов горнорудного производства – хвостов	Факторы, учитываемые при моделировании процессов гипергенеза
I модель		Хвосты после удаления рудного концентратата (в трубопроводе)	Состав шламовых вод
II модель	I вариант	Действующее хвостохранилище, закрытое полностью шламовым озером, объем хвостов возрастает	Состав шламовых, дождевых и талых вод
	II вариант	Не работающее хвостохранилище, закрытое частично шламовым озером, объем хвостов постоянный	
III модель		Осушение хвостохранилища, объем хвостов постоянный	Состав дождевых и талых вод

После прекращения поступления отходов на хвостохранилище и до момента высыхания шламового озера проходят десятки лет (II вариант II модели, табл. 1). Далее хвосты десятилетиями находятся в сухом виде (III модель, табл. 1) и активно пылят. Если хвостохранилища не рекультивировать, то благодаря гипергенным процессам, которые продолжаются на протяжении столетий, они будут постоянно воздействовать на экосферу. С того момента, когда отходы перестают поступать на хвостохранилище и до исчезновения шламового озера работают совместно вторая (II вариант) и третья модель. Каждое хвостохранилище в зависимости от развития горнорудной промышленности в районе и его возраста проходит все три стадии, а длительность стадий различна. Следует отметить, что при создании физико-химических моделей учитываются и климатические факторы: годовое количество осадков – 570 мм, что составляет $0,15 \cdot 10^9$ кг воды, средняя скорость ветра – 25 м/сек, температура воздуха, которая по сезону изменяется от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$ и давление 1 атм. Первый этап физико-химического моделирования проводился авторами для условий: $T = +25^{\circ}\text{C}$, общем давлении 1 атм. и соответствующем валовом химическом составе хвостов (табл. 2). Модели были открыты к атмосфере. Химический состав атмосферы рассчитан по Хорну [6]. Состав 100 кг атмосферы в молях: O – 1414,847, C – 1,036, N – 5394,787. В расчетах учитывались 678 зависимых компонента, из которых 365 растворенных частиц, 16 газов и 297 минералов и твердых растворов (наиболее вероятные гипогенные и гипергенные минералы) [6]. Коэффициенты активности рассчитывались по уравнению Дебая-Гюкеля в модификации Хельгесона [10]. Исходная термодинамическая информация (энергия Гиббса, энталпия, энтропия, коэффициенты для уравнения теплопроводности) взяты из публикаций [3, 9, 11, 12, 14]. Если в сводках были указаны только логарифмы констант устойчивости, то авторами были рассчитаны энергии Гиббса соответствующих комплексных соединений микроэлементов по соответствующим формулам. Разнообразие зависимых компонентов и внутренняя согласованность термодинамической информации по ним обеспечивает надежность полученных результатов, верификация которых проводилась по основному минеральному составу [2, 5].

Наиболее актуальной на данном этапе является III модель, так как в настоящем время в Комсомольском районе два хвостохранилища из трех осушены. Моделирование показывает, что окисление сульфидов хвостов происходит в следующем порядке: халькопирит – пирит – сфалерит – галенит (СОФ – Солнечная обогатительная фабрика) и халькопирит – сфалерит – галенит – пирит (ЦОФ – Центральная обогатительная фабрика). В результате чего из 1 кг хвостов в окружающую среду поступает большое количество тяжелых металлов (табл. 3).

Таблица 2
Валовый химический состав хвостов (в %)

Компоненты	Состав хвостов	
	СОФ	ЦОФ
SiO ₂	67,00	62,60
TiO ₂	0,16	0,41
Na ₂ O	0,81	0,76
K ₂ O	1,12	1,75
CaO	1,29	0,35
MgO	1,50	0,65
Fe ₂ O ₃ +FeO	15,90	15,90
Al ₂ O ₃	10,20	10,20
MnO	0,16	0,13
P ₂ O ₅	0,52	0,23
Cu	0,13	0,38
Zn	0,25	0,11
Pb	0,32	0,03
As	0,20	0,69
S	1,87	1,94

Таблица 3
Количество элементов, выносимых из хвостов осущененных хвостохранилищ (мг/л)

Элемент	СОФ	ЦОФ
Fe	0,02	2,58
Cu	0,09	83,79
Zn	4227,00	212,00
Pb	415,20	384,60
S раствор.	312000,00	3693000,00

Скорость окисления сульфидов зависит от многих факторов: влажности хвостов, их рыхлости, температуры, давления, окислительно-восстановительного потенциала и др. Процесс окисления хвостов происходит в основном на поверхности хвостохранилищ, поскольку содержание кислорода с глубинной резко снижается. По экспериментальным данным до 35% сульфидов, находящихся при постоянном контакте с воздухом и при достаточном количестве влаги окисляется за 6 месяцев [1]. Толщину окисленного слоя можно получить, учитывая коэффициент диффузии кислорода, влажность и рыхлость хвостов, скорость растворения и последующего смыва дождевыми водами минералов, содержащихся в хвостах. Расчет показал, что ежегодно в гидросферу выносится до сотен тысяч тонн элементов (табл. 4).

Физико-химическое моделирование также позволило сделать прогноз на будущее. Полное окисление сульфидов хвостов на хвостохранилище СОФ при наиболее благоприятных условиях произойдет за 210 лет. Медь из хвостохранилища ЦОФ в гидросферу будет поступать в течение 160 лет, цинк 205, свинец 210, а железо 200 лет. Полное окисление сульфидов хвостов на хвостохранилище при наиболее благоприятных условиях произойдет за 170 лет. Загрязнение медью будет продолжаться в течение 30 лет, цинком 160, а свинцом и железом около 170.

Таблица 4
Ежегодное поступление элементов из хвостохранилищ в гидросферу (кг)

Элемент	СОФ	ЦОФ
Fe	6,95	294,35
Cu	31,29	9552,06
Zn	1469384,24	24168,00
Pb	144331,28	43844,40
S раствор.	108457034,00	421002000,00

Следующий этап физико-химического моделирования гипергенных процессов в сухих хвостохранилищах СОФ и ЦОФ проводился в интервале температур от 0°C до + 40°C. Поведение элементов при окислении сульфидов в хвостах хвостохранилища СОФ показало, что содержание свинца в растворе увеличивается на порядок, меди на два порядка, а цинка и железа уменьшается на порядок. Поведение элементов в растворе при окислении сульфидов в хвостах хвостохранилища ЦОФ следующее: содержание меди и свинца остается на одном уровне, а цинка и железа уменьшается примерно на порядок. Изменение давления в интервале от 0,8 до 1,2 бар при моделировании гипергенных процессов на содержание меди, свинца, цинка и железа в растворе не влияет.

Литература

1. Вишняк А.И. *Изменение химического состава подземных вод в ограниченных карбонатных структурах при окислении пирита покровных отложений: На примере Полдневского месторождения Егоршинско-Каменской синклиналии Восточно-Уральского прогиба*. Дис. канд. геол.-минерал. наук. Москва, 2005. – 107 с.
2. Зверева В.П. *Экологические последствия гипергенных процессов на оловорудных месторождениях Дальнего Востока*. Владивосток: Дальнаука, 2008. – 166 с.
3. Карпов И.К., Киселев А.И., Летников Ф.А. *Моделирование природного минералообразования на ЭВМ*. М.: Недра, 1976. – 255 с.
4. Мирзеханова З.Г., Дебелая И.Д., Булгаков В.А. *Тенденция изменения геоэкологической обстановки в Хабаровском крае // География и природные ресурсы*. 2003. № 1. – С. 93-99.
5. Постникова В.П., Яхонтова Л.К. *Минералогия зоны гипергенеза оловорудных месторождений Комсомольского района*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. – 122с.
6. Хорн Р. *Морская химия*. М.: Мир, 1972. – 398 с.
7. Яхонтова Л.К., Зверева В.П. *Основы минералогии гипергенеза*. Владивосток: Дальнаука, 2000. – 336 с.
8. Яхонтова Л.К., Зверева В.П. *Минералы зоны гипергенеза*. Владивосток: Дальнаука, 2007. 164 с.
9. Allison J.D., Brown D.S., Nova-Gradac K.J. *A geochemical assessment model for environmental systems: user's manual*. Athens, Georgia, 1991.
10. Helgeson H.C., Kirkham D.H., Flowers G.C. *Theoretical prediction of the thermodynamic behaviour of aqueous electrolytes at high pressures and temperatures: Calculation of activity coefficients, osmotic coefficients, and apparent molal and standard and relative partial molal properties to 600°C and 5 Kb*. // Amer.Jour.Sci, 1981. V. 281. P. 1249-1516.
11. Johnson J.V., Oelkers E.H., Helgeson H.C. *SUPCRT92: A software package for calculating the standard molal thermodynamic properties of minerals, gases, aqueous species, and reactions from 1 to 5000 bar and 0-1000°C*. // Comput. Geoscie. 1992. V. 18. P. 899-947.
12. Kulik D.I., Dmitrieva S.V., Chudnenko K.V., Karpov I.K., Sinitsyn V.A., Aja S.U., Khodorovski M.S., Shibetsky Yu.A. *User's manual for Selector-A*. – Brooklyn-Kiev, 1997.
13. Shock E.L., Hegelson H.C. *Correlation algorithms for ionic species and equation of state prediction to 5 Kb and 1000°C*. // Geoch. Cosmoch. Acta, 1988. V. 52. P. 2009-2036.
14. SUPCRT1992-1998. Database: <http://zonvark.wustl.edu/geopig>.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ УЛАН-УДЭНСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА

Ю.А. Кучумова, Е.В. Борхонова

Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия, borhonova@mail.ru

MODERN CONDITION OF GROUND WATERS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF INDUSTRIAL COMPLEX OF THE CITY ULAN-UDE

J.A Kuchumova, E.V. Borhonova

Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences

The information about condition of the ground waters, obtained of hydro-geological services of Buryatiya in process of work of various destinations for last decades testifies to impairment of hydrochemical conditions of water-bearings horizon distributed within the limits of industrial complexes of republic. Industrial complex of the city Ulan-Ude is not exception. Investigation of technogenic systems and objects in its limits has revealed pollution of surface and ground waters by components of nitric group, mineral oil, phenols, iron, manganese, etc.

В г. Улан-Удэ проживает около трети населения всей республики. Промышленность города представлена разнопрофильными предприятиями: авиационный, локомотивовагоноремонтный, приборостроительный и судостроительный заводы, деревообрабатывающий комбинат, фабрика по переработке шерсти и производству шерстяных тканей, мясокомбинат, мелькомбинат и др., а также множеством мелких частных предприятий мебельного производства и пищевой промышленности. В пределах Улан-Удэнского промузла располагаются ТЭЦ-І и ТЭЦ-ІІ, крупные хранилища ГСМ, многочисленные АЗС. Все эти предприятия по виду воздействия на геологическую среду делятся на следующие основные типы:

- промышленный (энергетические объекты, машиностроение, обрабатывающая промышленность, целлюлозно-бумажное производство и др.);
- транспортный (автомобильный, железнодорожный транспорт);
- селитебный (площади жилой застройки населенных пунктов);
- сельскохозяйственный (животноводство, земледелие);
- горнодобывающий (карьеры по добыче строительных материалов);
- отбор подземных вод.

Гидрогеологическая обстановка района г. Улан-Удэ, существовавшая во второй половине прошлого столетия, отражена в материалах Л.В. Замана [Замана, 1962]. Более чем за 40 лет появились новые объекты промышленности, увеличилось народонаселение, расширилась территория городов, изменилась экологическая ситуация. Все это не могло не сказаться на состоянии подземных вод. Оценку произошедших изменений в подземной гидросфере провели гидрогеологи Улан-Удэнской партии в 2001-2005 гг. [Кислицина, 2005].

В середине прошлого столетия при характеристике гидрогеологических условий территории речь о загрязнении подземных вод шла только о верхних частях водоносного горизонта вблизи непосредственного источника загрязнения. За истекшее время ситуация изменилась настолько, что теперь приходится говорить о загрязнении подземных вод, затрагивающем не только первые от поверхности водоносные горизонты, но и нижележащие. Изменился тип подземных вод, распространенных на площади, увеличивается количество элементов, концентрация которых в подземных водах превышает ПДК.

Режимные наблюдения гидрогеодинамических и гидрогеохимических показателей водоносных структур республики ведутся с 1964 г. специализированными организациями. По результатам их работы в пределах г. Улан-Удэ обозначились основные источники загрязнения подземных вод, выявились локально загрязненные участки.

В 1988-90 гг. А.С. Соколовской была сделана первая попытка оценки экологогеохимической обстановки на территории Улан-Удэнского промышленного узла. Из сравнительной оценки данных А.С. Соколовской и гидрогеологов Улан-Удэнской партии, подтверждается факт многолетнего загрязнения нефтепродуктами, фенолами, веществами азотной группы и др. подземных вод ряда районов города.

Основными очагами, где происходят резкие изменения химического состава вод, являются:

- пос. Кирзавод (фенольный отстойник ЛВРЗ, шламонакопитель ТЭЦ-І);
- пос. Восточный (склад ГСМ и технологические корпуса завода, склад ГСМ «Бурятских авиалиний»);
- пос. Стеклозавод (нефтебазы);
- падь Ключи (отстойник фенольных вод тонкосуконного комбината).

Техногенное загрязнение охватывает грунтовые водоносные горизонты, распространенные под источниками загрязнения.

В пос. Кирзавод испытывает техногенное давление верхненеоплейстоцен-голоценовый водоносный горизонт 2(Q_{III-H}). Здесь в умеренно опасных концентрациях в воде присутствует Na , SO_4 , нефтепродукты, повышена минерализация воды, в опасных концентрациях присутствует NH_4 , F . Показатель фенольного индекса в воде достигает 25 mg/dm^3 , в 100 раз превышая ПДК ($0,25 mg/dm^3$). Загрязненные воды движутся вниз по потоку к реке Уда. Их движение контролируется кустом режимных скважин территориальной сети расположенных на высокой пойме р. Уды в 700 м от объекта-загрязнителя. Изменения в химическом составе воды отмечены в скважине, контролирующей грунтовый водоносный горизонт. Химический состав воды в скважинах, вскрывающих меловой водоносный горизонт, пока остается без изменений.

На территории Улан-Удэнского авиазавода загрязнение контролируется в грутовом горизонте, приуроченном к меловым отложениям (алевролиты, песчаники), химический состав подземных вод трансформировался до хлоридно-гидрокарбонатного. У складов ГСМ в воде в опасных концентрациях присутствуют Na, фенолы, нефтепродукты. У корпусов завода вода содержит NH₄, SO₄, нефтепродукты в умеренно опасных концентрациях, Mn – в опасной концентрации.

Располагающиеся на правом берегу р. Селенги (п. Стеклозавод) хранилища нефтепродуктов дают такие утечки, что излишки нефтепродуктов в почве можно собирать на дне копуш, пройденных в береговых аллювиальных отложениях. Кроме нефтепродуктов в подземных водах в умеренно опасных концентрациях содержатся Fe, Mn Sr, Pb, NH₄.

В аллювиальных отложениях левого берега р. Селенги, где расположено множество дач и поселков сельского типа, наблюдается интенсивное загрязнение компонентами азотной группы.

Существует локальный участок загрязнения мелового водоносного горизонта в долине р. Верхняя Березовка. Загрязнение обусловлено несовершенством системы отведения бытовых отходов от жилого поселка в районе Ипподрома. В наблюдательной скважине, располагающейся рядом с накопителем бытовых стоков, отмечается повышенная минерализация подземных вод (до 0,7 мг/л), окисляемость, в опасной концентрации содержится Mn, в умеренно опасной NO₃ (177,7 мг/дм³), Fe.

В ближайшее время следует ожидать ухудшения качества подземных вод по содержанию нефтепродуктов в связи с интенсивным ростом количества заправочных станций на территории города.

В последние годы наблюдается тенденция уменьшения финансирования работ по ведению регионального мониторинга подземных вод, которая может привести к снижению качества контроля за состоянием подземной гидросферы в пределах Байкальской природной территории, что совершенно недопустимо. Возрождение промышленности и сельского хозяйства после экономического спада приведут к увеличению водопотребления, сброса сточных вод и, как следствие, интенсификации процессов загрязнения подземных вод. В такой ситуации необходимо совершенствовать и расширять региональную сеть наблюдений, так как ведение только объектного мониторинга не даст полной картины состояния подземных вод как в пределах Улан-Удэнского промышленного узла, так и в регионе в целом.

Литература

Замана Л.В., Шульга Ф.И. Отчет Улан-Удэнской гидрогеологической партии о результатах работ за 1960-62 гг. БГУ, Улан-Удэ, 1962.

Кислицина Л.Б. Результаты гидрогеологического и геоэкологического доизучения масштаба 1:200 000. Отчет Улан-Удэнской партии за 2001-2005 гг., Улан-Удэ, 2005.

Соколовская А.С. Эколо-гидрохимическая оценка природной среды Улан-Удэнского промузла. Отчет по теме № 395 за 1988-90 гг., Бурятгеология, Улан-Удэ, 1990.

К ВОПРОСУ О ВРЕМЕНИ ВОЗНИКОВЕНИЯ ДРЕВНЕГО ГОРНОРУДНОГО РЕМЕСЛА В ЗАБАЙКАЛЬЕ (НА ОСНОВЕ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ХЕНТЕЙ-ЧИКОЙСКОГО НАГОРЬЯ)

В.Б. Попов¹, И.И. Разгильдеева²

¹ООО «Востокгеология», Чита, Россия, powkam@mail.ru

²Забайкальский государственный гуманитарный педагогический университет, Чита, Россия, labpaleo@yandex.ru

FOR THE MATTER OF THE TIME OF BEGININGS OF ANCIENT MINING INDUSTRY IN ZABAIKALYE (BASED ON ARCHAEOLOGICAL DATE OF HANTEY-CHIKOISKOGO PLATEU)

V.V. Popov¹, I.I. Razgildeeva²

¹ Ltd. "Vostokgeologiya", Chita, Russia, powkam@mail.ru

²Transbaikal State Humanitarian-Pedagogical University, Russia, labpaleo@yandex.ru

Archaeological material and modern data on mining fields in Hantey-Chikoiskiye plateau bring up the question of local origins of ancient metal industry in mountain taiga part of Zabaikalye.

Проблема возникновения в древних сообществах ранних форм горнорудного дела, собственно зарождение приемов обработки «специфического» каменного сырья, требующего особых навыков и секретов производства вызывала и вызывает неизменный интерес. Считается, что появление культур ранних металлов относится примерно к середине III тыс. до н.э. В тоже время, появление новых технологий базировалось на эмпирических знаниях накопленных за предшествующий период каменного века.

Настоящая статья посвящена отдельным страницам истории зарождения металлургии в Забайкалье. Согласно определению, «металлургия – это добывание металла из его природных руд и вторичного сырья, с изменением их состава, свойств, структуры и придания им определенной формы». Первые известия о Даурской земле, полученные в 1638 г. казаками Максима Перфильева, содержали сведения о даурских князьях Батоге и Лавкае. Они проживали со своими подданными на Витиме, Шилке и занимались меновой торговлей серебром. Проникая в Забайкалье, казаки узнавали о древних «чудских» и «мунгальских» копях. Но только в начале 1670-х годов были организованы поиск и добыча серебросвинцовой руды [4]. С этого времени официально начинает развиваться горнорудное ремесло в Забайкалье.

По археологическим материалам известно, что в Забайкалье первые изделия из металлов появились в III тыс. до н.э. [4]. При этом, племена – создатели культуры Плиточных могил, обитавшие на территории Южного Забайкалья в конце II – первой половине I тыс. до н.э. уже были замечательными металлургами, о чем свидетельствуют отдельные изделия из погребений и клады; а также памятники горного дела – древние копи, плавильные печи. В погребениях обнаружены бронзовые наконечники стрел, ножи, мечи, художественно оформленные поясные пряжки и др. Впоследствии появляются изделия из железа. Обнаружение в ряде погребений литейных форм и льячек, позволило исследователям интерпретировать захоронения как могилы литейщиков, что в свою очередь, свидетельствовало о выделении металлургии в специализированную отрасль производства и о появлении профессиональных мастеров-ремесленников [4].

Следует заметить, что такое положение не могло возникнуть спонтанно, сложному процессу освоения обработки металлов должен был предшествовать длительный период развития и становления. Существует мнение, что основы горнорудного ремесла были привнесены в забайкальские степи из других краев, в частности с юга.

В географическом отношении Южное Забайкалье располагается на стыке Центральной Азии с горнотаежными районами Восточной Сибири. На его территории степи центральноазиатского типа по долинам рек вклиниваются далеко на север, а таежные массивы восточносибирского типа уходят по горным системам региона на территорию Монголии. Одной из таких систем является Хэнтэй-Чикойское нагорье на стыке Бурятии, Забайкальского края и Монголии.

Если памятники степных культур Забайкалья начали изучаться еще со времен Великих академических экспедиций XVIII в., то культура таежного населения становится предметом детальных исследований лишь в 70-х гг. XX в., в частности благодаря работам М.В. Константинова и его коллег. Обследованная ими область Хэнтэй-Чикойского нагорья получила название Чикойско-Мензенской провинции. Материалы памятников II-го – первой половины I тыс. до н.э. освещены в публикациях М.В. Константинова, Л.В. Семиной и других исследователей [11].

Полученные материалы позволили Л.В. Семиной более пятнадцати лет назад [10] выделить археологическую культуру бронзового века Чикойско-Мензенской провинции. Предлагаем рассмотреть археологические данные по этой территории с точки зрения становления древней металлургии.

Культурные горизонты древних многослойных поселений Алтан, Студёное-1, Усть-Менза-2, Нижняя Еловка содержали материалы, указывающие на добычу руды, выплавку металла и изготовление изделий из бронзы. Они включали кусок окисленной медной руды (малахит), кусочки шлака и капельки бронзы, каменную мотыгу, использовавшуюся как кирка при добыче руды, фрагмент литейной формы для отливки орудий типа шильев. Была расчищена яма глубиной до 1,5 м, предназначенная для обжига древесного угля. Не раз встречались абразивные инструменты, которые могли употребляться для заточки металлических изделий. Перечисленные факты указывают на возможность существования очага бронзолитейного производства, основанного на местной сырьевой базе [3].

Немаловажным фактом, представляется активное использование древним населением минеральной краски (охра), которая в виде отдельных кусочков повсеместно встречается в культурных горизонтах, начиная с эпохи палеолита. Активные потребности вынуждали человека уделять особое внимание поиску минеральных красок [8]. На территории Хэнтэй-Чикойского нагорья, древний человек добывал и применял ее как в эпоху бронзы, так и в неолитическое время, причем в эпоху неолита добывание минеральных красок приобретает характер горных выработок с использованием целого набора каменных горнорудных инструментов, в том числе и мотыг [9]. Краски находили применение как в ритуальных, в частности при погребении, так и в бытовых целях: для окраски одежды, деревянных изделий, керамики и т.д. Приведем несколько примеров по результатам археологических изысканий.

Два погребения бронзового века были выявлены при раскопках поселения Усть-Менза-3 (Красночикойский район). Одно, включало остатки комплекса с кольцевой выкладкой из камней, внутри которой по центру находилась овальная могильная яма. Другое представляло собой вторичное захоронение с неглубокой ямой, засыпанной охрой. Инвентарь в погребениях был бедным. Материалы опубликованы [1].

Еще одно погребение было выявлено при вскрытии верхней части отложений на памятнике Усть-Менза-5. Под разреженной каменной выкладкой в могильной яме, засыпанной охрой, лежал костяк женщины среднего возраста с явными монголоидными признаками. Инвентарь отсутствовал. Материалы опубликованы [7].

На северной окраине Хэнтэй-Чикойского нагорья (Хилокский район) в окрестностях с. Дуты на р. Арей, притоке р. Хилок были выявлены петроглифы Шаман-гора, которые предварительно датированы временем позднего неолита – ранней бронзы. В пяти пунктах скального массива обнаружены наскальные рисунки, один из них располагается в гроте. Все изображения нанесены красной охрой. Сюжеты представлены антропоморфными фигурами разных типов, в том числе одна из них с бубном (вероятно изображение шамана), вертикальными прямыми и дугообразными линиями (многие из которых группированы в ряды), рисунком кабана [5].

Использовалась охра и в неолитических погребениях.

Если двигаться вглубь веков, то немаловажным является факт обнаружения в коллекции среди артефактов – скребел, отбойников, каменных орудий и их обломков стоянки- мастерской палеолитического времени Усть-Менза-14 (Лагерная), – небольшого фрагмента магнетит-силикатного скарна (магнетита около 75%). Артефакт представляет собой продолговатый скол темно-бурого цвета, имеет размеры 4 на 3 см с толщиной чуть больше сантиметра. По спинке скола сохраняется окатанная первичная галечная(?) поверхность, по брюшку имеется раковистый излом. Виден след от удара, позволившего отколоть образец, он заметно выделяется желто-бурыми окислами железа (размером около 1 кв. см). Предварительно, на основе стратиграфического положения и характера археологических материалов горизонт датируется начальной стадией сартанского криохиона [6].

Вопрос об источниках столь необычного для палеолита сырья остается пока открытым. Как нерешенным остается и вопрос о происхождении используемой древним населением охры. Конечно, охру можно добывать из месторождений, но их нет поблизости, есть охристые отложения толойской свиты, но из них охру надо добывать и обогащать. Возможен был другой вариант, извлечение охры из магнетитовой руды, путем обжига.

По геологическим данным, обратившись к карте полезных ископаемых (рисунок), находим в бассейнах р.р. Чикой и Менза небольшие местонахождения олова, самородной меди и железорудных проявлений, в том числе и скарнового типа. В данном случае мы наблюдаем наличие с одной стороны источников сырья, с другой – продуктов переработки и изделий металлургического производства на протяжении около 20 тыс. лет.

Приведенные примеры археологические материалы могут позволить проследить последовательное развитие горнорудного ремесла в одной местности – от добычи и применения охры до добычи оловянных и медных руд и литья бронзовых изделий.

Возникает задача исследования этих мест с целью обнаружения следов древних разработок. Это возможно, если проводить исследования совместными усилиями, как археологов, так и геологов.

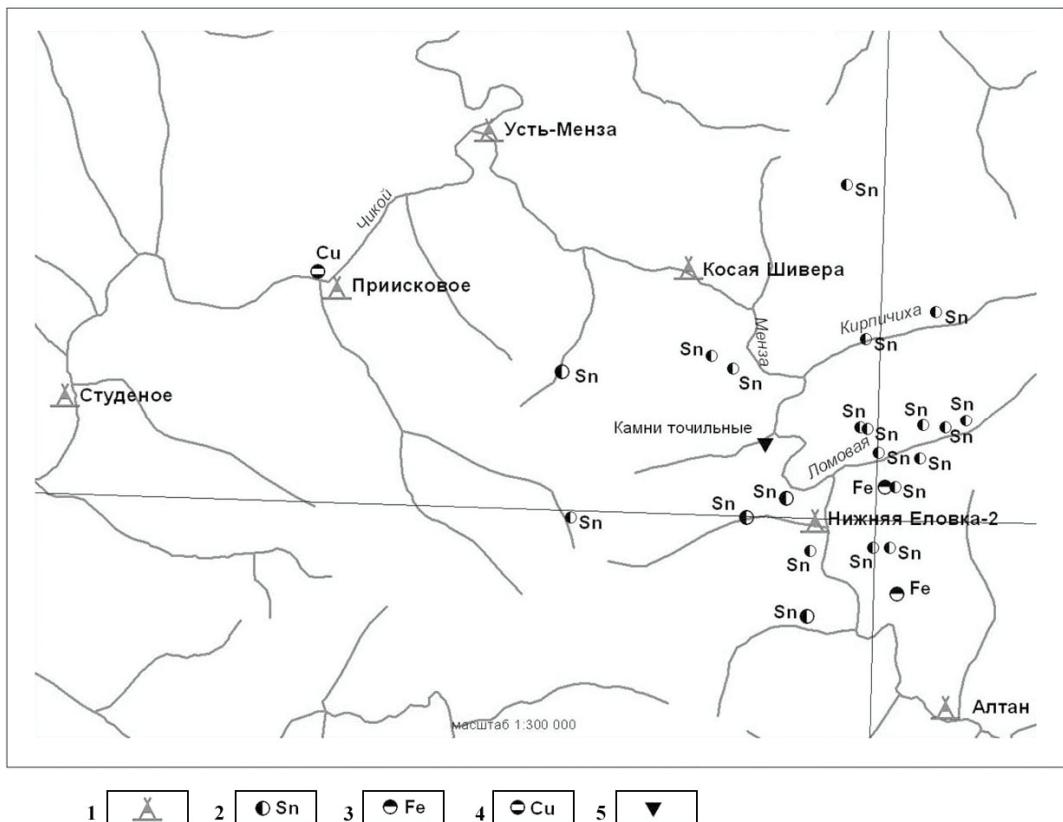


Рисунок. Расположение археологических памятников и рудопроявлений полезных ископаемых.
Условные обозначения: 1) археологические памятники; Рудопроявления: 2) олово; 3) железо; 4) медь;
5) точильные камни.

Можно предположить, что древняя металлургия имеет местные корни и возникла в эпоху перехода от палеолита к неолиту в горно-таёжном районе Забайкалья, развивалась на протяжении длительного времени, а потом перешла на степные просторы, где и остались ее многочисленные следы в более поздние эпохи.

Литература

1. Базарова Л.Д., Васильев С.Г., Конюхов А.Ю. Усть-Менза 3: проблемы стратиграфии и поиск палеокультуры // Четвертичная геология и первобытная археология Южной Сибири: Тез. докл. Всесоюз. конф. Ч. 2. — Улан-Удэ: Изд-во БФ СО АН СССР, 1986.
2. Константинов М. В. Каменный век восточного региона Байкальской Азии. К Всемирному археологическому интер-конгрессу (Забайкалье, 1996). Ин-т общ. Наук БНЦ СО РАН; Изд-во Чит. Пед. Ин-та. Улан-Удэ-Чита, 1994. — 200 с.
3. Константинов М.В., Семина Л.В. Таежные племена на восточной окраине скифо-сибирского мира // Скифо-сибирское культурно-историческое единство. — Кемерово, 1980.
4. Константинов А. В., Константинова Н. Н. Забайкалье: ступени истории (с древнейших времен до 1917 года). Новосибирск: Издательство СО РАН, 2007. — 264 с.
5. Константинов М. В., Константинов А. В., Васильев С. Г. и др. Под покровительством Большого Шамана: археологическое путешествие по Забайкалью. Чита: Изд-во «Экспресс-тиография», 2003. — 53 с.
6. Разгильдеева И. И. Новый памятник Усть-Менза 14 (Лагерная) / Евразийское культурное пространство актуальные проблемы археологии, этнологии, антропологии / Материалы докладов ведущий ученых на V (L) Российской (с международным участием) археологического-этнографической конференции студентов и молодых ученых, 4-9 апреля 2010 г., Иркутск. — : Изд-во "Оттиск", 2010. — С. 208-209.
7. Родникова Е.А., Селин В.В. Усть-Менза 5: погребение бронзового века // Четвертичная геология и первобытная археология Южной Сибири: Тез. докл. Всесоюз. конф. Ч. 2. — Улан-Удэ: Изд-во БФ СО АН ССР, 1986.
8. Семенов С.А. Первобытная техника // МИА – Материалы и исследования по археологии СССР. № 54 1957

9. Семенов С.А. Развитие техники в каменном веке. Л., 1968. – С. 33
10. Семина Л.В. Эпоха неолита и палеометалла Юго-Западного Забайкалья: Автореф. дис. канд. ист. наук. — Л., 1986.
11. Цыбиктаров А.Д. Хэнтэйская культура эпохи раннего металла севера Центральной Азии //Социогенез в Северной Азии: Материалы 3-й научно-практической конференции, (Иркутск, 29 марта — 1 апреля, 2009 г.), Иркутск, 2009.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПЛИОЦЕН-ЭОПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ПАЛЕОЭКОСИСТЕМАХ ЗАБАЙКАЛЬЯ

C.M. Синица

ИПРЭК СО РАН, sinitsa-sm@rambler.ru

NEW DATA ABOUT PLIOCENE-EOPLEISTOCENE PALEOECOSYSTEMS OF TRANSBAIKALIA

Sinitsa S.M.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of Siberian Department under the Russian Academy of Sciences, sinitsa-sm@rambler.ru

Впервые приведено описание трех палеоэкосистем плиоцен-эоплейстоцена Забайкалья, которые отражают палеогеографические особенности трех бассейнов осадконакопления и развития биоты.

The description of three Pliocene-Eopleistocene paleoecosystems of Transbaikalia, which represent paleogeographical features of three sedimentation basins and development of biota, for the first time is given in this article.

Кайнозойские палеоэкосистемы Забайкалья изучены крайне недостаточно, и при стратиграфических исследованиях они практически не применяются. Считается, что экосистема является фундаментальной единицей экологии и состоит из биотической и абиотической компонент. Биотическая часть включает группы продуцентов (цианобактерии и все зеленые растения, производящие органическую массу), консументов (животные, питающиеся готовой органической массой) и редуцентов (организмы, разлагающие органическое вещество). Абиотическая часть – это составные среды обитания (свет, вода, почвы, озера и т.д.). Обе части экосистемы выступают как единое целое и их эволюция – сложный процесс, сопровождаемый экосистемными перестройками, приуроченными к геологическим катастрофам (трансгрессии-ретрессии морей, горообразование, оледенение и др.) [2]. В кайнозое Забайкалья протекали различные, порой катастрофические геологические события: в палеогене и отчасти в неогене идет разрушение, пенепленизация горного региона и образование кор выветривания; в неогене и эоплейстоцене – переотложение кор выветривания; в неоплейстоцене – 4 стадии покровного и горно-долинного оледенения; образование впадин байкальского типа с системами рек и озер; окончательная смена мезофита кайнофитом; становление кайнозойской фауны беспозвоночных и позвоночных; образование россыпных месторождений золота, олова, вольфрама и др., что несомненно отразилось на палеоэкосистемах. При описании разрезов кайнозоя часто отсутствуют сведения о цикличности, по гранулометрическому составу осадков, текстурам, фациальному составу, нет анализа орнитоценозов, а приводится только список определений, нет данных о сохранности палеонтологического материала, типах и генезисе захоронений и т.д. Поскольку почти все стратиграфические подразделения кайнозоя региона охарактеризованы в основном спорово-пыльцевыми спектрами, следовало бы ожидать более детального анализа палинологического материала с выделением расцвета или обеднения тех или иных групп, с обоснованием появления новых форм, смены экологических доминантов, сохранности спор и пыльцы, их миграции, переотложения и т.д. [1].

На юге Забайкалья широко развиты отложения переходного плиоцен-эоплейстоценового возраста (цасучайский горизонт [1]), три основных палеоэкосистемы которых изучены автором в последнее время и отражают их строгую индивидуальность.

Ножийская палеоэкосистема. Озеро Ножий располагается в Ульдза-Торейской впадине и его юго-восточные, восточные и северо-восточные берега сложены белесыми глинами (до 5-

10 м). Отложения залегают с базальными осадочными брекчиями (до 3 м) на размытых метаморфических образованиях протерозоя. В белесых комковатых или неясногоризонтально слойчатых глинах обнаружены многочисленные рассеянные хаотично или собранные в гнезда, или нечеткие слойки (до 1 см) раковинки двустворок *Vallonia*, *Sphaerium*, *Pisidium* и гастропод *Lymnaea*, *Nerpeutis*, при этом обычно встречаются слойки только с двустворками или только с гастроподами. Редки гнездовые скопления скорлупы яиц птиц, фрагментов их скелетов (кости, черепа) и костей грызунов. Установлено около 30 линз (от 5x5 см до 20x70 см и единственная крупная до 30 см x 5 м) многочисленных костей монгольской жабы и других амфибий: *Bufo raddei*, *Bufo mongolica*, *Rana* с остатками скелетов рыб *Carassius*, *Percomorpha*, челюстей грызунов: *Mustella* (куньи), *Lepus* (пищухи), *Tamias* (бурундук), *Spermophilus* (суслики), *Allactada* (тушканчики), *Rattus* (крысы), *Cricetus* (хомячки), *Microtus* (полевки-экономки, восточные, монгольские и др.). Редки кости скелетов пресмыкающихся *Lacerta* и верблюдов *Camelus* (определение М.А.Ербаевой). Единичны линзы погребенной почвы с хаотически захороненными стеблями злаковых и насекомых (*Coleoptera*, *Diptera*, *Odonata*). Все орнитоценозы моллюсков-автохтонные, тогда как остальные – аллохтонные.

По Н.В.Толстиковой [4], присутствие только одних двустворок в слоях свидетельствует о приуроченности водоема обитания к гумидной климатической зоне, в то время как господство гастропод и, главным образом, легочных, указывает на аридные условия. Для Ножия, очевидно, гумидные условия чередовались с аридными. Биота и отложения позволяют реконструировать крупное мезо-эвтрофное озеро, располагавшееся в степной, возможно, полупустынной зоне, для которого можно выделить водные бентонные сообщества – двустворки и гастроподы; нектонные общества – рыбы и наземные или прибрежно-наземные сообщества амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих. По биоразнообразию органических остатков, в основном позвоночных, местонахождение Ножий не имеет аналогов в мире [3]. Палеоэкосистема озера Ножий относится к системам стоячих водоемов, состоит из белесых глин – продуктов переотложения глинистых кор выветривания, водных сообществ консументов (двустворки, гастроподы, рыбы) и наземных консументов (насекомые, монгольская жаба, рептилии, птицы, млекопитающие). Продуценты крайне редки и найдены лишь в линзах почв (злаки). Спорово-пыльцевые спектры невыразительны.

Уртуйская палеоэкосистема. В 8 км к северу-северо-западу от пос. Краснокаменск в устье пади Уртуй располагается карьер, вскрывающий угленосные мезозойские отложения, которые перекрываются песками и глинами плиоцен-эоплейстоцена и плейстоцена. Во вмещающие желтые средне-грубозернистые пески вложена синклинальная структура, выполненная песками (5 м), галечниками (5-6 м) с пачкой (до 44 м) серых горизонтально слойчатых алевритистых глин с мм-выми слойками коричневатых мергелей с трещинами усыхания и с раковинками гастропод *Lymnaea*, двустворок *Unio*, *Sphaerium*, остракод *Condoma*, конхострак. Редки слойки желтых глинистых песков (до 10 см) с хаотическим напластованием листьев, стеблей и семян: *Rumex* (околоплодники щавеля), *Bunias* (стручки свербиги), *Leonurus* (плоды пустырника), *Gahnia* (плоды осоковых), *Menyanthes* (орешки вахты), *Potamogeton* (эндокарпры рдестов), *Turpha* (плоды рогоза), *Bidens* (плоды череды), *Lappula* (семена липучки), *Carex* (мешочки осок) и др. (определение Е.А.Карасева). Остатки насекомых представлены в основном жуками *Coleoptera* (15 семейств): *Carabeidae* (жужулицы), *Dyriscidae* (плавунцы), *Curculionidae* (вертлячки), *Hydrophilidae* (слоники-долгоносики), *Heteroceridae*, *Georycidae* (жуки-водолюбы), *Coccinellidae* (божьи коровки), *Silphidae* (мертвоеды), *Staphylinidae*, *Eucinetidae*, *Elateridae* (жуки-щелкунчики), *Cerambycidae* (жуки-древосеки), *Chrysomelidae* (жуки-листоеды), *Brucidae* (жуки зерновки); более редки *Hymenoptera* (перепончатокрылые): *Formicidae* (муравьи); *Heteroptera* (бабочки); *Hemiptera* (клопы): *Corixidae* (клопы-гребляки), *Lygaeidae* (голубянки), *Pentatomidae* (щитники); *Diptera* (двукоильные); *Orthoptera* (прямокрылые) (определение С.А.Кузьминой).

Остатки растений (семена и плоды) позволяют реконструировать на суще наземную палеоэкосистему с продуцентами – лугово-степным биомом [2] (доминанты щавель, свербига, субдоминанты бобовые, пустырники, вахты, череда и др.). Консументы наземной палеоэкосистемы представлены в основном насекомыми, которые обитают на листьях, семенах, цветках, в растительном детрите, гниющих растениях, на падали и представлены жужелицами, слониками-долгоносиками, навозниками, божьими коровками, мертвоедами, жуками-щелкунчиками, дровосеками, листоедами, зерновками. Наиболее разнообразны жуки: слоники-

долгоносики (9 родов), много жужелиц (6 родов), вертлячек (6 родов), листоеды (6 родов), водолюбы (3 рода), божки коровки (2 рода). Остальные насекомые представлены 1 родом. Таким образом, уртуйская палеоэкосистема относится к системам стоячих водоемов с продуцентами – рогозами, рдестами, осоками (растения мелководья) и консументами (насекомые с доминантами жуками, среди которых многочисленны водные представители – плавунцы, вертлячки, жуки-водолюбы; двустворки, гастроподы, остракоды, конхостраки). Уртуйское озеро располагалось в степной зоне и по обилию остатков водных обитателей явно относилось к эвтрофным. Данное местонахождение по моллюскам коррелируется с ножийским, однако, располагает рядом отличительных особенностей.

Ново-Павловская палеоэкосистема. На левом берегу р.Хилок на южных и юго-западных окраинах пос. Ново-Павловка располагается Ново-Павловский угольный карьер, который, начиная с 1993 г., затопляется грунтовыми водами. Юрско-меловые угленосные отложения перекрываются с несогласием кайнозойскими осадками, в разрезе которых выделяются снизу: галечники (5 м) плохо отсортированные, состоящие из хорошо окатанной гальки (до 10 см) разного состава и песчаного цемента (до 3%), перекрываемые косослоистыми песками (1 м) желтого цвета мелко-среднезернистыми до гравийного в низах слоя; на песках залегает прослой суглинков (до 2м) серых с напластованиями стеблей и листьев ивы Salix, берес Betula, злаков, среди которых обнаружены домики ручейников из растительного материала Folindusia, из секреторного Secrindusia и комбинированные Folsecrindusia, крайне редки надкрылья и фрагменты тел жуков Coleoptera, на листьях часты черные овальные образования – галлы ? Перекрываются суглинки песками (до 1м) и современными почвами (до 0,50 м).

Примерно в 3 км к северо-западу от южного разреза установлен близкий разрез, отличие которого проявлено в захоронении крупных до 5 м в длину стволов деревьев. Отложения и органические остатки южного и северо-западного разрезов кайнозоя Ново-Павловского местонахождения свидетельствуют о формировании осадков и захоронений органических остатков в речной долине. Стволы деревьев и состав листовой флоры позволяют реконструировать на суще наземную палеоэкосистему с продуцентами бересовым лесом (биом) с зарослями ив. Аллювиальные озера относятся к разряду «лесных» и характеризуются исключительно личинками ручейников (консументы сообществ проточных водоемов). Ново-Павловское кайнозойское местонахождение домиков ручейников плиоцен-эоплейстоценового возраста пока является единственным в мире.

Приведенные три палеоэкосистемы переходного плиоцен-эоплейстоценового возраста отражают уникальность кайнозойских палеоэкосистем Забайкалья, необходимость их детального изучения для реконструкции бассейнов седиментации и обитания и решения основных задач стратиграфии кайнозоя региона.

Литература

1. Карасев В.В. Кайнозой Забайкалья. – Чита, 2002. – 127 с.
2. Одум Ю. Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
3. Синица С.М., Шишкова С.А., Подлесных Н.И., Барабашева Е.Е. Ножий-геологический памятник природы Центрального Забайкалья / Геология и полезн. ископ. Читинск. обл. – Чита, 2002. – С. 242-250.
4. Толстикова Н.В.О возможности использования моллюсков для реконструкции палеоклиматических условий в древних озерах аридного и гумидного климата / Палеолимнология озер в аридных и гумидных зонах. – Л.: Наука, 198. – С.62-85.

О РАДИОАКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ «НЕРАДИОАКТИВНЫХ» ОБЪЕКТОВ ГОРНОГО ПРОМЫСЛА

В.И. Флешилер¹, Г.А. Юргенсон²

¹ ООО «ЛЭП», Чита, Россия; ² ИПРЭК, Чита, Россия

Рассмотрена проблема радиоактивности продуктов технологического передела россыпных и коренных месторождений с позиций радиационной безопасности в техногенных ландшафтах и минерагении

Одним из аспектов использования радиоактивных материалов, их учета и контроля, в настоящее время недостаточно разработанным в геохимическом нормативном,

технологическом и правовом отношении, является обращение с продуктами технологического предела горного сырья на т.н. «нерадиоактивных» месторождениях.

Эти продукты зачастую являются фактически бесхозными, поскольку никогда не находились под соответствующим контролем, их перемещение переработка, хранение, использование и обладание не осуществлялись должным образом.

Примерами таких радиоактивных продуктов могут быть образующиеся в горно-обогатительном цикле отработки месторождений концентраты, промпродукты, хвосты, шлаки и даже готовая продукция объектов, «*in situ*» не отличающихся повышенным, а тем более промышленно-значим содержанием радиоактивных элементов (минералов).

Научными и геологическими изысканиями [2] на забайкальских промышленных месторождениях россыпного золота и олова установлены содержащие радиоактивные минералы концентраты, с радиоактивностью 1200-21800 Бк/кг, промпродукты 850-12700 Бк/кг, шлиховое золото до 4200 Бк/кг, шлаки тигельной плавки до 34000 Бк/кг – во всех случаях кратно превышающей установленные (СП 2.6.1.798-99) безопасные нормы для минерального сырья.

Количество продуктов предела на рельфе современных речных долин, становящихся отходами, в течении одного промышленного сезона для отдельного золотоносного района может составить, по предварительным данным, несколько десятков тонн, а за столетний период добычи – на несколько порядков больше.

Известные факты наличия в песках золотоносных россыпей радиоактивных минералов не являются случайными и присущими только Восточно-Забайкальской минерагенической провинции. Давно и на примере многих регионов мира установлены закономерные связи золотого и уранового оруденения, что обусловлено, очевидно, не только пространственной совмещённостью проявлений урана и золота, но и генетическим сродством этих двух компонентов в определенных геологических условиях. Наиболее детально изучены золото-уранные конгломераты, среди которых выделяются объекты-гиганты с колоссальными запасами золота и урана – Витватерсrand в Южной Африке, Сьерра – де – Жакобина в Южной Америке и многие другие. Золотоносным конгломератам мира посвящено значительное количество специальных исследований. В отдельных публикациях приводится характеристика только ураноносных конгломератов мира. Так, П. Дж. Пиенаар (1967 г.) посвятил свою докторскую диссертацию рассмотрению ураноносности конгломератов Блейнд-Ривер (Онтарио, Канада).

Вместе с тем, Ф.П. Кренделев, длительное время изучавший конгломераты, в монографии «Металлоносные конгломераты мира» (1974 г.), делает заключение о том, что в природе не существует объектов, представленных золотоносными или ураноносными конгломератами чистой линии. Все они в разной степени золотоносны и ураноносны. В составе отдельных из них отмечаются также металлы платиновой группы (МПГ), серебро, медь, полиметаллы, олово, железо, марганец и другие компоненты.

В этой же монографии показано, что золото, уран и др. элементы из числа перечисленных встречаются не только в конгломератах, но и в гравелитах, песчаниках, алевролитах и даже аргиллитах. Во многих случаях оруденение по простиранию горизонтов или пластов переходит из одних пород в другие.

Из литературных источников также известно, что главная часть золота и значительная часть урана добывается из докембрийских конгломератов.

Вместе с тем, имеются объекты промышленного значения, приуроченные к осадочным образованиям палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. В частности, нижним мелом датируется отрабатываемое ныне месторождение «Каменские конгломераты» в Балейском районе [3].

Каменские конгломераты, составляющие литологическую основу месторождения, относятся к верхам тургинской свиты, возраст которой определяется как верхнеюрский-раннемеловой. Залегает она в Балейском грабене, преимущественно на северо-восточной окраине. Преобладают средне- и крупногалечные конгломераты; меньше развиты валунные и мелкогалечные отложения, брекчии, дресвяники, гравелиты, песчаники, алевролиты, аргиллиты. Характерна пестроцветная окраска пород – фиолетовая, буровато-красная, серая, белесая. Гальки и валуны умеренноокатанные; среди них преобладают гранитоиды, нередко окварцованные, и кварц. Изредка встречаются диоритовые порфиры, грейзенизованные

граниты и мраморизованные известняки. Заполнитель конгломератов составляет от 30 до 80% объема породы. Обычно он песчано-глинисто-дресвянный, глинисто-песчаний, слабосцементированный, до рыхлого.

Псаммито-алевролитовая фракция отложений состоит, в основном, из плагиоклаза, кварца, калиевого полевого шпата, биотита; из акцессориев – циркон, апатит, рутил, гранат, турмалин, магнетит, монацит. Кроме того, отмечаются зерна пирита, галенита, киновари, молибденита, самородного золота.

На породах свиты развита кора выветривания мощностью в среднем 55-60 м. По наблюдениям Р.М. Файзуллина, в приповерхностной части коры выветривания выделяется зона дезинтеграции, гидратации, гидролиза и окисления минералов с локальными скоплениями гидроокислов железа. На глубине 50-60 м развита зона цементации.

Для конгломератов характерно высокопробное (850-900 до 950) золото. Характерны постоянные примеси меди, свинца, реже теллура и мышьяка.

В пределах контуров отработанной части карьера в различных его частях было из материала конгломератов отобрано несколько десятков проб, характеризующих различные их составляющие по окраске: буровато-красные, серые, желто-лимонные, слабофиолетовые. Они исследованы на суммарное содержание естественных радиоэлементов (урана, тория и калия) с применением бета-гамма радиометрического анализа на установке РКС-20.03 «Припять» (табл. 1) и спектрометра «Гамма 1с».

Применение различных, дополняющих друг друга способов определения радиоактивности объектов, организаций-исполнителей и периодов исследований по нашему мнению увеличивает представительность выводов и соответствует требованиям к методикам контроля, нормативно-метрологическим и квалификационным показателям и рекомендуемым приемам пробоотбора – методическим указаниям по радиационно-гигиенической оценке полезных ископаемых.

Анализ положения продуктивных отложений каменской свиты на региональной карте радиоактивных проявлений показывает, что на площади 25-30 кв.км развития верхнемезозойских отложений (каменская свита) отсутствуют радиоактивные аномалии, минерализованные точки и более существенные объекты урановой и ториевой минерализации. По данным ЗабНИИ, участки с высокой радиоактивностью (моноцитовые россыпи), ранее отрабатывавшиеся п/я 1084МСМ, находятся на расстоянии 5-6 км к СЗ и 9-10 км к ЮЗ от участка Каменского золоторудного карьера.

Уровень гамма- поля по данным аэрогамма-спектрометрии на площади распространения золотоносных Каменских конгломератов составляет 12-16 мкР/час – низкий естественный фон; в пределах гранитоидов Борщовочного хребта (к СЗ от карьера) МЭД гамма- поля повышается до 20-30 мкР/час. В районе нынешней площади горного отвода Каменского карьера, находящейся между г. Балей и пос. Каменка, аномалий содержания радона не выявлено – это также совпадает с низким естественным фондом гамма- поля.

По данным лабораторных определений Испытательного лабораторного центра Читинского управления Госсанэпидназора РФ (ИЛЦ ГСЭН) и НПП Специисследований суммарная удельная эффективная активность проб (Аэфф) соответствует первому (самому безопасному) классу минерального сырья и меняется от 185 до 410 Бк/кг; по полевым измерениям НПП СИ- от 180 до 350 Бк/кг – I класс. С учетом 20% (паспортной) погрешности измерений сходимость результатов вполне удовлетворительная, измерение мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения в отдельных точках (10-17 мкР/час) согласуется со значениями Аэфф и с данными аэрогамма-спектрометрии. С радиогеохимической точки зрения установленные колебания радиоактивности пород (Аэфф) также не являются значимыми и не имеют четко выраженной связи с вещественно-литологическими особенностями горных пород.

Аномально высокой радиоактивностью характеризуются некоторые продукты технологического передела золотоносных отложений и коренного месторождения золота Каменские конгломераты (табл. 2, 3), на примере которого отчетливо проявляется тенденция накопления, наряду с золотом, и других тяжелых устойчивых металлов, в том числе и радиоактивных в концентратах, шлаках и др., даже на месторождениях, не обладающих повышенной радиоактивностью.

Таблица 1

Результаты радиометрического исследования горных пород в карьере Каменского месторождения золота

№ п/п	Объект исследования	Метод измерения, прибор	Исполнитель, год	Аэфф, Бк/кг	Класс минерального сырья	МЭД в т.о., мкР/час по СРП-98
1	Рыхлая фракция конгломератов	Стационарный гамма-спектрометр «Гамма 1с»	ИЛЦ И СЭН 2001	201	I	
2	То же	То же	То же	212	I	
3	Полускальный материал конгломератов	То же	То же	113		
4	То же	То же	То же	181	I	
5	То же	То же	То же	184	I	
6	Рыхлая фракция конгломератов	Бета-гамма установка РКС-20.03	НПП СИ 2005	410	I	16
7	То же	То же	То же	395	I	
8	То же	То же	То же	292	I	
9	То же	То же	То же	291	I	15
10	То же	То же	То же	331	I	11
11	То же	То же	То же	361	I	14
12	То же	То же	То же	358	I	11
13	Песчаный мелкозем	Бета-гамма установка РКС-20.3	НПП СИ 2003	277	I	
14	Песчано-глинистый мелкозем	То же	То же	211	I	12
15	То же	То же	То же	354	I	
16	То же	То же	То же	190	I	12
17	Песчано-глинистый мелкозем	Бета-гамма установка РКС-20.03	НПП СИ 1996	311	I	17
18	Песчаный мелкозем	То же	То же	402	I	
19	Песчано-глинистый мелкозем	То же	То же	270	I	11
20	Шлам скв. развед. бурения	То же	НПП СИ 2003	395	I	То же
21	То же	То же	То же	401	I	То же
22	То же	То же	То же	382	I	То же
23	Поверхность выветрелых когломератов	РСУ-01 «Сигнал»	НПП СИ 2005	350	I	11
24	То же	То же	То же	270	I	15

Общее число проб продуктов технологического передела, подвергнутых комплексному радиометрическому – гамма-спектрометрическому анализу, составило 93, вполне репрезентативное для математической оценки. Размах значений – от 79 Бк/кг (min) до 34000 Бк/кг (max), распределение одномодальное, логнормального вида, асимметричное, с аномальным «хвостом» в правой (максимальной) ветви, статистически однородное, не противоречащее гипотезе о природной однородности процессов накопления радиоактивных минералов.

Модальное значение распределения около 500 Бк/кг, границы аномалии 1, 2 и 3 порядков 1300, 3200 и 9800 Бк/кг, соответственно (A_1 , A_2 , A_3).

Радиоактивность исходного материала, определенная по россыпям Жарча, Алия, Кадара изменяется от 157 Бк/кг до 410 Бк/кг, на месторождении Каменские конгломераты от 197 до 780 Бк/кг – соответствует модальному интервалу, ниже минимального аномального A_1 и только в единичных случаях превышающем порог I класса (самого низкорадиоактивного до 740 Бк/кг) СП 2.6.1.798-99.

Таблица 2
Сравнительная характеристика радиоактивности отходов из месторождения золота Каменские конгломераты

Объект, материал	А эфф. Бк/кг	Радиоактивные минералы	Прочие основные минералы	ЕРН, г/т		Класс радиоактивности минерального сырья	Данные ЭСА, СПЗ
				U	Th		
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Отходы ШОУ, (пром. продукт)	12687	Монацит, циркон, сфен, эвксениит	Магнетит, ильменит, гидроксиды железа, рутил	9,1	71	IV	Ti n · % La, Pb, Zr, n · 0.1% As, Ce, Nb, Sn, n · 0.01% Ag, Cu n · 0.001%
2. Хвосты	213	нет данных	нет данных			I	нет данных
3. Шлак	10671	нет данных	нет данных	12	80	IV	дополнительно к поз. 1: B, Na, P; Au - 7 г/т

Максимальной радиоактивностью – в десятки процентов содержания урана (свыше 34000 Бк/кг) - отличается шлак после выплавки золота из шлихов Кудеинской золотоносной россыпи. При этом полученный сплав Доре по уровню радиоактивности не отличается от фона и составляет всего 17-18 мкр/час, 80 Бк/кг.

Превышают уровень IV, самого опасного, класса радиоактивности шлих и золотоносный концентрат, в промпродукте суммарная удельная активность Аэфф. относится к III классу; а в хвостах передела, после извлечения золота и тяжёлых минералов не превышает уровень I класса.

Аналогичная тенденция падения показателя Аэфф. от шлаков, концентратов к промпродуктам и хвостам, наблюдается и на других золотоносных объектах (табл. 3) и, по мнению авторов, она может являться общим правилом для всех золотоносных объектов региона.

Таким образом, радиационному исследованию (контролю) подлежат продукты технологического передела шлихобогатительных установок (ШОУ) и (ЗПК) золотопромышленных комплексов, прежде всего концентраты, шлиховой металл и шлаки выплавки последнего. Исследование исходного материала (песков) и хвостов цикла имеет гораздо меньшее значение.

Общее количество шлаков, при переплавке всего добытого за год в Читинской области золота, может составить, по предварительной оценке, 250-300 кг. Суммарный вес отходов ШОУ за вычетом хвостов – на один килограмм золота может составить 3-4 тонны.

Минералогическая и элементная характеристика проб объекта Каменские конгломераты приведена в табл. 2.

Радиоактивные минералы, обусловившие аномально высокую радиоактивность тяжёлых фракций шлиха, представлены чаще всего монацитом, tantalо-ниобатами, радиоактивным цирконом (малаконом, циртолитом); реже – ортитом, ксенотитом, сфеном, эвксениитом; в единичном случае (Кудеинская россыпь) в шлиховом золоте отмечены кристаллы уранинита. Не исключено, что аномально высокая радиоактивность золотин вызвана импрегнацией атомов естественных радионуклидов в кристаллическую структуру металла и (или) с концентрированием их во вторичной пленке (рубашке) из гидроокислов железа.

Данное предположение следует проверить исследованием строения зерен золота с применением растровой микроскопии. Эта методика была успешно применена в совместных НИР по изучению природы радиоактивности чароита в предыдущие годы.

Достаточно разнообразный набор радиоактивных минералов отмечен в штуфах горных пород из горных выработок Дарасунского золоторудного узла.

Таблица 3
Радиоактивность некоторых продуктов технологического предела

Объект	Сумм. удельная радиоактивность (А эфф.), Бк/кг						Класс радиоактивности минерального сырья
	Сплав Доре	Черновой металл (шлиховое золото)	Концентрат	Пром. прод.	Хвосты	Шлак	
1	2	3	4	5	6	7	8
Кудеинская золотоносная россыпь		4200	21756			34000	4
							3
				2798			2
	80					324	1
Алиинская золотоносная россыпь							4
							3
		2900					2
				854			1
					303		
Месторождение золота Каменские конгломераты				12687			4
						10671	3
							2
						213	1
Золотоносная россыпь Жарча					4038		4
							3
						985	2
							1
Золотоносная россыпь Кадара							
		2620					
			1166	861		525	

Отчетливой пространственной зависимости между радиоактивностью тяжелой фракции рыхлого золотоносного материала – с одной стороны, и расположением объектов радиоактивной минерализации и содержанием ЕРН в коренных горных породах – с другой – не наблюдается. Однако, нельзя не отметить, что максимальное содержание урана и тория в концентрате отмечено в непосредственной близости от проявлений урана и тория.

Следует отметить, что попытки обнаружить золото-уранные гиганты типа Витватерсранда неоднократно предпринимались и на территории России, но пока не увенчались успехом. По классификации Ф.П. Кренделева, которая учитывает масштабы месторождений, все докембрийские конгломераты, которые характеризуются специфическими условиями залегания, различным составом галечного материала и цемента, а также полезных минералов, разделены на 2 типа. К первому (сульфидному) типу относятся олигомиктовые конгломераты Витватерсранда и многих других крупных объектов золота. Эти конгломераты имеют золото-урannую специализацию и характеризуются высокими перспективами на указанные металлы. Второй (магнетит-маргитовый) тип олигомиктовых конгломератов имеет уран-ториевую,

ториевую или золотую специализацию и обладает относительно некрупными масштабами золотой минерализации. Представителями подобных объектов являются тассилийские отложения (палеозой) Хоггара (Алжир) и конгломераты месторождения Тарква (Гана), из которых было добыто около 200 тонн золота (среднее содержание 10 г/т). Они содержат также торий и уран, сформированы в условиях либо континентальной молассы в среднем-верхнем протерозое в прогибе Леоно-Либерийского щита (Тарква), либо залегают в основании останцов чехла протерозойских платформенных отложений Туарегского щита (Хоггар).

Металлоносность докембрийских и палеозойских конгломератов объясняется по-разному. Многие исследователи (П. Рамдор, И.С. Рожков, Ю.П. Инвесен, Л.Т. Нэл и др.) считают их аналогами погребенных россыпей, в которых золото, уран и другие рудные компоненты имеют кластогенную природу.

Вероятно, подобное происхождение золото и радиоактивные минералы имеют и в мезозойских конгломератах (месторождения Каменские конгломераты) и в многочисленных золотоносных россыпях, сформированных в кайнозойскую эру и в четвертичное время, широко распространенных на территории Забайкальского края.

Памятая пространственную связь рудных и россыпных месторождений, здесь необходимо отметить также наличие в Восточном Забайкалье комплексных золото-урановых объектов различного металлогенического ранга. В частности, на схеме минерагенического районирования Забайкальского края, в междуречье Газимура и Аргуни выделен уран-золотополиметаллический рудный пояс (Чечеткин и др., 1996 г.). Кроме указанного района, пространственные связи золотого и уранового оруденения в ранге отдельных проявлений были подмечены ранее (работы А.Г. Миронова, В.Е. Вишнякова, Д.Н. Алексеева, Ю.А. Беломытцева и др.) в Балейском, Дарасунском, Кариjsком, Могочинском рудных районах, в Зачикской горной стране. Вопрос о совмещении золота и урана в рудных месторождениях области был рассмотрен ранее особо [1, 4].

С учетом слабой изученности проблемы связи золота и урана, только намеченной для области в последние годы, по ряду геологических признаков правомерно предположить наличие на территории Восточного Забайкалья комплексных золото-урановых рудных месторождений и более широкое участие урановых и других радиоактивных минералов в россыпях золота.

Достаточно интересным с точки зрения прогноза месторождения, подобного Каменским конгломератам в пределах Балейского грабена, может быть предположение о том, что оно представляет собою приподнятое основание разреза, залегающего на юрской коре выветривания. Оно образовалось в результате эрозии коренных месторождений золота среднеглубинной золото-кварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций, широко развитых в прибрежных частях обрамления Балейского грабена. Об этом свидетельствует высокая пробность обломочного золота, присутствие золота, в том числе и видимого, в гранитном и галечном материале конгломератов, а также факт находки в 1980-х годах глыбы с прожилками высокопробного золота в гранитах, имеющих отношение к шахтаминскому комплексу.

Литература

1. Тупяков В.Е., Флешилер В.И., Йоргенсон Г.А. Радиоактивность россыпных месторождений Восточного Забайкалья // Проблемы геологической и минерагенической корреляции в сопредельных территориях России, Китая и Монголии / Труды VI международного симпозиума по геологической и минерагенической корреляции в сопредельных территориях России, Китая и Монголии и Чтений памяти акад. С.С. Смирнова. 11-15 октября 2005 г., Чита, Россия.– Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. – С. 150-153.
2. Флешилер В.И., Тупяков В.Е. и др., Радиоактивность россыпных золотоносных объектов Восточного Забайкалья и предложения по минимизации их воздействия на окружающую среду и человека // Вестник МАНЭБ. Т.9, № 6. – СПб, Чита, 2004. – С. 193-199.
3. Флешилер В.И., Дзасохов В.Г., Котова Н.П. Радиоактивность пород Каменского карьера золотоносных конгломератов // Вестник МАНЭБ. Т. 11, № 5. – СПб, Чита, 2006. – Чита, 2006 – С. 161-164.
4. Флешилер В.И., Тупяков В.Е. Связь золота и урана в месторождениях Восточного Забайкалья // «Ресурсы Забайкалья» № 3 (11), – Чита, 2003., – С. 52-54.