

УДК 550.42+574.23 (571.52)

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

Негативные экологические последствия разработки месторождений полезных ископаемых в России в прошлом веке: проблемы бывшего ГОК «Тувакобальт»

В. И. Забелин,Тувинский институт
комплексного освоения
природных ресурсов СО РАН,
г. Кызыл

Аннотация

В статье рассматриваются основные факторы вредного воздействия на окружающую среду и проблемы экологической безопасности бывшего горно-обогатительного комбината «Тувакобальт» по материалам геоэкологических исследований Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН 1962—2017 гг. Приводятся результаты анализов мышьяк содержащих кобальтовых руд, хвостов их гидрометаллургического передела, почв, вод и растений; подчеркивается опасность, исходящая от огромных объемов накопленных отходов с высокой концентрацией мышьяка, в т. ч. в растворимой токсичной форме. Отходы в настоящее время подвергаются ветровой и водной эрозии и при возможном массовом сбросе в бассейн Верхнего Енисея несут в себе угрозу широкомасштабного загрязнения природной среды. Решить проблему экологического риска территории бывшего ГОКа возможно лишь путем создания нового технологически совершенного горно-обогатительного предприятия с целью утилизации мышьяк содержащих отходов и разработки оставшихся в недрах запасов кобальтовых руд.

Ключевые слова: мышьяк, кобальт, отходы, угрозы, загрязнение, новое предприятие.

Содержание

Введение

1. Краткая характеристика объекта исследования
2. Геолого-геохимические особенности месторождения
3. Технология переработки руд и хранения отходов
4. Факторы экологической опасности

Заключение

Рекомендации

Литература

Введение

Разработка месторождений полезных ископаемых, как и любая промышленная технология, становится опасной, когда ее вредное воздействие на окружающую среду превышает установленные нормой пределы. Особенно это актуально для прекративших свое существование предприятий, где отходы переработки сырья помещались в различного рода накопители без соблюдения экологических требований и без учета долговременности их токсичного воздействия на окружающую обстановку. Таковыми техногенными системами являются хвостохранилища многих горно-обогатительных комбинатов, работавших в России в прошлом веке на территории от Урала до Дальнего Востока. Среди них ряд предприятий Кемеровской области, Тувы и Красноярского края, в том числе и действующих, экологическая обстановка которых привлекла в последнее время пристальное внимание не только широких кругов общественности, но и высоких государственных деятелей.

В Туве при разработке арсенидно-кобальтового месторождения Хову-Аксы важнейшей экологической и производственной проблемой являлась трудность связывания и захоронения соединений мышьяка в отходах гидрометаллургического передела руд при функционировании ГОКа «Тувакобальт» в 1970—1991 гг. и невыполнение комплекса ликвидационных мероприятий для безопасного долговременного хранения отходов после закрытия предприятия. В результате обширным техногенным загрязнением окружающей среды и увеличением со временем его масштабов создается серьезный экологический риск для здоровья проживающего здесь населения, домашнего скота и биоты в целом. Подобные проблемы при прогнозировании экологических рисков от действия мышьяка, тяжелых металлов и других загрязнителей в разных регионах России в силу их актуальности являлись предметом детального рассмотрения рядом исследователей [1—4, 13].

1. Краткая характеристика объекта исследования

Горно-обогатительный комбинат «Тувакобальт», производивший в 1970—1991 гг. высококачественный медно-никель-кобальтовый концентрат, расположен в административном центре Чеди-Хольского кожууна Республики Тыва — пос. Хову-Аксы,

который связан со столицей республики г. Кызылом автомобильной дорогой протяженностью 112 км, а с ближайшей железнодорожной станцией Абакан (Республика Хакасия) через хребты Западного Саяна — 387 км.

Минерально-сырьевой базой комбината «Тувакобальт» являлось Хову-Аксынское месторождение богатых жильных кобальт-медно-никель-серебряных арсенидных руд, расположенное на южном и северном склонах горного массива Кара-Хая. Южный склон массива остепнен, и здесь на абсолютных высотах 1100—1200 м находится Южный рудный участок. В 4 км к северо-востоку от него на затаяженном склоне на высотах 1250—1350 м располагается Северный рудный участок; в целом рудное поле месторождения протягивается на 8 км. Южной его границей является сухой лог Хову-Аксы, он имеет субмеридиональное направление и впадает слева в р. Элегест на высоте 975 м. Здесь в устье лога в 3 км от месторождения находится пос. Сайлыг, а ниже по реке за небольшим перевалом выстроен рабочий поселок ГОКа Хову-Аксы, являющийся в настоящее время центром Чеди-Хольского района. После остановки комбината экономику района стал определять аграрный сектор с ведущей ролью животноводства. Население обоих поселков, составлявшее ранее свыше 10 тыс. чел., уменьшилось более чем наполовину и в настоящее время занято в личных подсобных хозяйствах (огородничество, мясо-молочное скотоводство) и в сфере обслуживания инфраструктуры районного центра. Промплощадка ГОКа расположена на левом борту лога Хову-Аксы, в 2,5 км от рабочего поселка, вблизи Южного рудного участка. В контурах горного и земельного отводов комбината здесь было построено и эксплуатировалось в течение 20 лет около сотни зданий и сооружений, в которых размещалось управление комбината, химико-аналитическая лаборатория, горный цех, гидрометаллургический цех с хранилищами отходов, энергоцех со службами тепло- и водоснабжения. После остановки работы ГОКа в 1991 г. и неоднократных попыток частичного использования его цехов предприятие в течение нескольких лет было полностью выведено из строя путем демонтажа оборудования, разрушения зданий, сооружений и всей ранее созданной инфраструктуры.

2. Геолого-геохимические особенности месторождения

Месторождение Хову-Аксы было открыто в 1947 г. геолого-съемочной партией Тувинской экспедиции ВСЕГЕИ. Детальная разведка на южном фланге рудного поля была начата весной 1949 г., а в целом по месторождению была завершена к 1953 г. Разведкой была установлена большая практическая значимость рудного объекта и обосновано строительство горно-обогатительного комбината. В процессе разведки был детально изучен вещественный состав руд и установлено, что самый ценный компонент месторождения — кобальт, а также сопутствующие ему никель, медь, висмут, серебро и др. содержатся преимущественно в арсенидах и частично — в минералах сульфидно-сульфосольной стадии, заключенных в карбонатные жилы или карбонатно-метасоматические породы. Химический состав руды характеризовался в среднем следующими концентрациями компонентов: кобальт 1,99%, никель 2,49%, медь — 0,61%, висмут — 0,09%, сера — 1,2%, серебро — 51 г/т, золото 1,5—27,3 г/т, железо 7—9% и марганец до 0,05%. Но особенно велико было содержание мышьяка, составлявшее в среднем 12,5% (в минералах от 15 до 71%). Во всех типах руд концентрация мышьяка была в 6—8 раз выше, нежели кобальта, и в 2—3 раза выше суммы других металлов. Другой особенностью арсенидных руд являлось то, что, будучи извлеченными из недр, под влиянием атмосферных факторов за несколько лет они почти полностью окисляются и переходят в растворимые в воде арсенаты, гидроокисные образования и ряд минералов трехвалентного мышьяка — арсенолит и арсениды [9].

Зона окисления руд на месторождении распространяется на глубину 40—70 м и служит естественным объектом формирования ореолов рассеяния рудных элементов в рыхлых подпочвенных отложениях, в почвах, растениях, а также принимает участие в образовании потоков рассеяния элементов в подземных водах, поверхностных водотоках и их донных отложениях. В рыхлых отложениях комплексные литохимические ореолы рассеяния вокруг рудных участков развиваются на удалении до 100—300 м, вокруг отдельных рудных тел — на 20—70 м. Опыты по водному выщелачиванию почв Южного рудного участка с содержанием мышьяка 0,01—0,045% показали, что его значительная часть способна перейти в раствор [12] и подвергаться миграции.

Растительность над рудными телами также насыщается большинством химических элементов руд, при этом их повышенные содержания обнаруживаются в березовом соке; у лиственницы *Larix sibirica* и березы *Betula microphylla* наблюдается двух-четырёхкратное развитие шишек и семенных сережек за летний сезон, а у караган *Caragana pygmaea* и *C. bungei* — появление линзообразных и бочонкообразных вздутых паренхимной ткани. Развивается и ряд характерных растений, в частности бурачок обратнойцевидный *Alyssum obovatum*, ассоциации таволги *Spiraea* и кизильника *Cotoneaster* [7].

Для талых и дождевых проточных вод, дренирующих зону окисления месторождения, характерно повышенное содержание большинства рудных элементов и мышьяка, концентрация которого составляла от 0,01—0,04 до 0,06—0,7 мг/л и в половине проб превышала ПДК (0,05 мг/л) до 14 раз. Значительно большие концентрации растворимого мышьяка были обнаружены в проточных штольневых водах — до 11,5 мг/л (230 ПДК), а максимальные — в застойных рудничных водах — до 25 мг/л (500 ПДК).

Таким образом, в условиях ненарушенной природной среды зона окисления выходящих на поверхность рудных жил и развивающиеся вокруг нее ореолы и потоки характеризуются относительно невысокими концентрациями элементов типоморфного комплекса медно-никель-кобальтового оруденения, и лишь в некоторых случаях в короткие периоды времени (две-три недели) талые воды и воды временных дождевых потоков могут содержать до 10 и более ПДК мышьяка, что может представить определенную опасность для человека и животных. Вместе с тем, по словам местных чабанов, пастьба скота в долинах стекающих с площади месторождения ручьев сказывалась весьма благоприятно на состоянии домашних животных, поскольку способствовала их быстрому очищению от подкожных паразитов [6].

3. Технология переработки руд и хранения отходов

Добыча и переработка руд месторождения Хову-Аксы началась горно-обогатительным комбинатом «Тувакобальт» в 1970 г. Проектная мощность предприятия составляла 70 тыс. т руды в год с содержанием кобальта 1,19% и предполагаемым извлечением кобальта 79%, никеля — 85%, меди — 56%. Разработка рудных жил осуществлялась штольневыми горизон-

тами на двух основных участках месторождения — Южном и Северном. Добытая руда доставлялась автотранспортом на дробление, а затем шла на переработку аммиачно-автоклавным способом в гидрометаллургический цех на основе технологии, разработанной НИИ «Гипроникель». По предложенной технологической схеме перевод в раствор ценных компонентов (Co, Ni, Cu) осуществлялся в автоклавах раствором карбоната и гидрата аммония, затем полученный раствор воздействием каустического магнезита и осаждением малорастворимого арсенатно-магнезимального осадка очищался от мышьяка до уровня не выше 0,05 г/л [3]. Конечный продукт ГОКа «Тувакобальт» — коллективный кобальтовый концентрат с содержанием 8—14% кобальта, 8—20% никеля, 3—12% меди, не более 2,5% мышьяка в специальных контейнерах доставлялся автомобильным и железнодорожным транспортом на Уфалейский никелевый завод, где производился окончательный металлургический передел концентрата.

Отходы передела руд, состоящие из смеси твердых остатков рудовмещающих пород и арсенатно-магнезимальных осадков с водой, по пульпопроводу перекачивались в виде шлама в хранилища прудового типа (карты), которых рядом с промплощадкой было сооружено пять. Шестая карта отходами ГОКа не заполнялась, но после закрытия комбината в нее было сброшено 356 т шламовых отходов РЭП «Тардан» с концентрацией цианистого натрия 3,4 г/л. Кроме того, в первые годы работы ГОКа отходы вывозились на специально оборудованных самосвалах на удаленную площадку, где сваливались в траншеи. Траншеи располагаются в левом борту сухого лога Хову-Аксы в 3 км от промплощадки на высоте 1100 м, а карты — также в левом борту на высоте 1050 м в 0,5—0,8 км от гидрометаллургического цеха, т.е. и те и другие находятся с превышением над уровнем р. Элегест на 125—75 м. Все траншеи (кроме двух) засыпаны с поверхности грунтом. Поверхности карт № 1 и 2 вскоре после заполнения также были рекультивированы засыпкой слоем грунта и почвы мощностью около 0,5 м, остальные три карты оставались открытыми и подвергались воздействию солнца, талых и ливневых вод и ветровой эрозии, которая с особой силой в виде пыльных бурь проявлялась в весеннее время. В первые 10—12 лет после закрытия предприятия весной и в начале лета в углублениях на поверхности открытых хвостохранилищ стояла вода слоем 0,5—2,5 м,

ее уровень за счет испарения постепенно понижался вплоть до полного высыхания, но при выпадении осадков повышался вновь. Летом 2003 г. выпало необычно много осадков и это привело к их интенсивному просачиванию через шлам с образованием русел водотоков и воронок на поверхности хранилищ. Отходы гидрометаллургического передела, содержащие в среднем Co — 0,14%, Ni — 0,17%, Cu — 0,17%, As — 3,4%, Ag — 34 г/т, выводились из технологической схемы и, составляя сопоставимую с добытой рудой массу, складировались в отвальных прудах — картах захоронения. Карты представляют собой прямоугольные емкости размером около 250—350 × 110—165 м глубиной 11—16,5 м, обвалованные дамбами из вынутых грунтов. Дно и борта емкостей защищены противифильтрационным экраном из полиэтиленовой пленки толщиной 0,5 мм, уложенной на подстилающий слой песка толщиной 20 см и защищенной сверху песчаным слоем толщиной 40 см.

Шламовые продукты поступали в хранилища в виде тонкозернистого порошка желтовато-серого цвета. Они характеризовались высокой дисперсностью и на 92—95% состояли из фракции крупностью более 0,01 мм. Основная масса сохранившихся в них минералов кобальта, никеля, меди и других металлов, а также мышьяка была локализована в электромагнитной и тяжелой фракциях, составляющих около 7% массы лежалых шламов. Среди нерудных минералов резко преобладали карбонаты. Состав шламов преимущественно карбонатно-силикатный с массовым содержанием (в пересчете на оксиды): SiO_2 ~ 29—36%, CaO ~ 25—30%, Al_2O_3 ~ 5—11%, MgO ~ 2,8—4,2%, Fe_2O_3 ~ 11,5—13,6%, As_2O_3 ~ 5,22—11,29%, K_2O ~ 2,9—3,8%, SO_3 ~ 1,1—3%, TiO_2 ~ 0,7—0,9%, Na_2O ~ 0,3—1,0%. Мышьяк поступал в хранилища преимущественно в виде малорастворимых соединений — $\text{Mg}(\text{NH}_4)_2\text{AsO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и в форме арсенидов металлов, не разложившихся в процессе автоклавного выщелачивания. Концентрация мышьяка в шламах составляет от 2,2 до 10,06%, и ее колебания отражают качество добываемых в то время руд в зависимости от мощности жил, полноты извлечения, переработки и других технологических факторов, а также происходящих в массе лежалого шлама процессов диагенеза, при которых происходит перераспределение элементов по разрезу и их миграция с изменением формы нахождения. Особо значимым становится тот факт, что в шламах

восьмиводный арсенат магния $Mg_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$, вызывавший в технологической схеме мышьяк, в настоящее время содержится в крайне малых количествах [10]. За время хранения под воздействием процессов окисления и растворения он разложился с образованием легкорастворимых арсенатов Co, Ni, Cu и Ca, которые в виде высокотоксичных соединений вымываются за пределы хранилищ водными потоками, а при высыхании поверхности карт разносятся ветром [3].

В шламовых отходах, накопленных в хвостохранилищах, содержатся значительные ресурсы ценных компонентов в промышленных концентрациях: кобальта, никеля, меди, висмута, серебра и золота. По результатам отбора в 1992—1993 гг. 322 проб, характеризующих качество отходов карт 1—3 на полную глубину, ресурсы ($C_2 + P_1$) ценных компонентов в них составляют: Co — 1708 т (при среднем содержании 0,122%), Ni — 1712 т (0,125%), Cu — 1746 т (0,116%), Bi — 231 т (160 г/т), Ag — 82,5 т (52,9 г/т), Au — 59 кг (0,038 г/т), As — 43,8 тыс. т (2,973%). В четвертой карте захоронения, заполнявшейся в 1987—1988 гг., по 97 пробам определены следующие средние содержания компонентов: Co — 0,07%, Ni — 0,08%, Cu — 0,07%, Bi — 0,022%, Ag — 7,5 г/т, Au — 0,017 г/т. Содержание мышьяка здесь составило 3,54%, а запасы — 22,9 тыс. т. Несколько меньшими ресурсами мышьяка обладает карта 5.

В целом отходы гидрометаллургического передела бывшего ГОКа «Тувакобальт» накоплены в объеме около 2 млн куб. м лежалого шлама с промышленными концентрациями и запасами кобальта, никеля и меди (по 2 тыс. т), серебра (около 100 т) и не менее чем 100 тыс. т мышьяка при среднем содержании 3,3%, представляющих собой техногенное месторождение промышленного значения. Не менее 500 т мышьяка содержится в породных отвалах, оставшихся от штольневой разработки обоих рудных участков. Объем отвалов измеряется цифрой порядка 3 млн куб. м, но среднее содержание в них мышьяка низкое и вряд ли превысит 0,01%.

4. Факторы экологической опасности

Переход мышьяка из отходов в токсичные водные растворы фиксировался и в период работы ГОКа [14]. В 1989—1991 гг. в заполненных шламом картах 3 и 4 стояла вода, накопившаяся за счет таяния снега и атмосферных осадков. Концентрация мышьяка в этих временных накоплениях доходила до 29,5 мг/л,

что было равноценно 590 ПДК и напрямую доказывало существование в отходах растворимых форм этого токсичного элемента. В последние годы в составе отходов обнаружена ртуть; ее концентрация во всех пяти картах и в траншее составила в среднем 1,324 мг/кг, что превышает 4 ПДК. Гидробиологическим обследованием была установлена полная безжизненность и чрезвычайная ядовитость этой техногенной среды обитания. Во время работы комбината наблюдалось несколько случаев сброса отходов в р. Элегест, что вызвало гибель рыбы. Особую опасность представляли стоящие в хранилищах лужи для пасущегося поблизости домашнего скота, поскольку из-за отсутствия других водных источников скот устремлялся на водопой к картам захоронения, ограждения вокруг которых были разобраны местным населением после 1991 г. В результате в начале лета почти каждого года наблюдался падеж домашнего скота в количестве до 30 голов.

Ниже участка хранения отходов по склону в сторону пос. Сайлыг и р. Элегест за счет водной и ветровой эрозии отходов, а также миграции растворенных веществ сформировался очаг загрязнения, охватывающий территорию примерно 5 кв. км. На этой площади концентрация мышьяка в почвах составляет от 40 до 23 ПДК, кобальта до 5 ПДК, никеля до 10 ПДК, а степень загрязнения растений преимущественно за счет пыли колеблется в зависимости от удаленности от хранилищ отходов в пределах от 400 до 2 [5]. В органах домашних животных, выпасаемых вблизи бывшего ГОКа, установлено накопление мышьяка с превышением ПДК для пищевых продуктов в 4,5—7,3 раза, что свидетельствует об опасности потребления мяса таких животных [11]. Вместе с тем по результатам многолетних наблюдений по скважинам и колодцам следует, что зона загрязнения подземных вод вниз по потоку от хвостохранилищ не достигает территории пос. Сайлыг; во всех пробах содержание макро- и микрокомпонентов, включая и мышьяк, не превышает санитарных норм для питьевых вод. Воды р. Элегест выше ГОКа также характеризуются как относительно чистые, но ниже его на фоне 0,010—0,037 мг/л отмечались и аномальные концентрации мышьяка, достигающие 0,18 мг/л (3,6 ПДК). Канцерогенный риск загрязнения мышьяком поверхностных вод доказывался исследователями неоднократно [1]. Пути поступления загрязненных

подземных вод в бассейн р. Элегест не установлены, но в донных пробах в 30 км ниже по течению содержание мышьяка составляет 0,9 ПДК, а в 70 км в месте впадения реки в Енисей достигает 1,2 ПДК. В песчаных донных осадках Саяно-Шушенского водохранилища, расположенного на р. Енисей в 100 км ниже устья р. Элегест, мышьяк фиксируется в концентрациях 1—3,95 ПДК. Здесь же в осадках отмечены никель (1—2,3 ПДК), цинк (1—1,6 ПДК), кадмий (1,1—1,9 ПДК), в невысоких концентрациях — кобальт, свинец, железо, марганец, а также в воде медь — 2—3 ПДК. Этот комплекс токсичных элементов, типичный для руд месторождения Хову-Аксы, стал фиксироваться в составе осадков водохранилища 15—20 лет назад; динамика его накопления и выноса остаются неизученными [8].

Заключение

Анализ проведенных исследований позволяет оценить влияние на окружающую среду месторождения Хову-Аксы и функционировавшего на его сырьевой базе горно-обогатительного комбината «Тувакобальт» через 25 лет после его закрытия.

1. Месторождение медно-никель-кобальтовых арсенидных руд как геологическое образование, выходящее на поверхность и имеющее над рудными жилами зону окисления с вынесенными из нее растворимыми соединениями мышьяка и других токсичных элементов, фиксируется в природной обстановке геохимическими ореолами и потоками ряда элементов. В силу ограниченной площади их распространения и низких содержаний элементов они не представляют какой-либо опасности для окружающей среды.

2. Отвалы штольневой отработки рудных жил, занимающие значительные площади на обоих рудных участках, сложены преимущественно скарнами, вмещающими карбонатные жилы и метасоматические породы с рудным веществом. Последние в большинстве своем добыты, вывезены на гидрометаллургический передел и получение кобальтового концентрата. Оставшееся в отвалах некоторое количество рудных минералов находится в основном в окисленной форме и в какой-то мере оказывает влияние на окружающую среду мигрирующими из отвалов соединениями мышьяка и других токсичных элементов. Интенсивность и масштабы этих процессов невелики и почти не изучены.

3. Вследствие недостаточной проработки проектными институтами технологии передела арсенидных кобальтовых руд месторождения на территории бывшего ГОКа накоплены огромные объемы отходов. Их хранилища, содержащие в себе большие запасы мышьяка, в том числе в растворимой высокотоксичной форме, создают риск катастрофического загрязнения природной среды как путем постепенного распространения токсичных соединений мышьяка с объектов бывшего ГОКа «Тувакобальт» на территорию сельскохозяйственных земель Чеди-Хольского кожууна Республики Тыва, так и возможного массового сброса мышьякосодержащих отходов в р. Элегест и бассейн Верхнего Енисея, что неминуемо приведет к крупной экологической катастрофе — гибели рыбы, птицы и заболеваниям населения на всем протяжении Енисея.

Рекомендации

1. Для недопущения массового выноса мышьяка и тяжелых металлов в окружающую среду с целью предупреждения угрозы чрезвычайной ситуации необходимо принятие срочных мер по ликвидации ветровой и водной эрозии мышьякосодержащих отходов хранилищ, открытых с поверхности. Для этого необходимо в первую очередь выполнить работы по их рекультивации, восстановлению разрушенных дамб, размытых бортов, ограждений, подновлению водоотводящих систем вокруг хранилищ; в дальнейшем предусмотреть строительство ограждающих сооружений.

2. Предусмотреть продолжение научных исследований с целью мониторинга экологического состояния бассейнового комплекса рек Элегест — Енисей и степени его загрязнения токсичными металлами, определения изменений природной среды под влиянием мышьяка и сопровождающих его токсичных элементов и их влияния на флору, фауну, домашних животных и здоровье населения, изучения вероятности катастрофических сбросов мышьякосодержащих отходов.

3. Предусмотреть проведение исследований, направленных на разработку новых совершенных технологий переработки мышьякосодержащих отходов гидрометаллургического передела арсенидных руд месторождения Хову-Аксы с целью вывода мышьяка из сложившейся техноэкосистемы.

4. Решить проблему экологической безопасности бывшего ГОКа «Тувакобальт» возможно лишь путем создания нового горнообогатительного предприятия, сырьем для которого послужат как отходы прежнего производства, содержащие в своем составе кобальт, никель, медь, серебро, мышьяк и др., так и оставшиеся в недрах месторождения Хову-Аксы около 13,5 тыс. т кобальта в руде, которые обеспечат запасами работу комбината на 15—20 лет.

Внедрение природоохранных технологий на новом предприятии предотвратит возникновение чрезвычайных экологических ситуаций на хвостохранилищах бывшего ГОКа и при утилизации отходов в процессе возобновления переработки кобальт-арсенидных руд по новым технологиям.

Литература

1. Башкин В.Н., Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Канцерогенный риск загрязнения мышьяком водных экосистем // Проблемы анализа риска. 2016. Т. 13. № 3. С. 26—29.
2. Башкин В.Н., Припутина И.В. Биогеохимический анализ экологических рисков // Проблемы анализа риска. 2011. Т. 8. № 4. С. 8—21.
3. Бортникова С.Б., Гаскова О.Л., Бессонова Е.П. Геохимия техногенных систем. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2006. 169 с.
4. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Риск загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами при техногенезе // Проблемы анализа риска. 2012. Т. 9. № 5. С. 40—47.
5. Гаскова О.Л., Бортникова С.Б., Бессонова Е.П. Почвенные аномалии в районе хранилища отходов комбината «Тувакобальт», Хову-Аксы, Тыва // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2003. № 11. С. 115—120.
6. Забелин В.И. Распределение токсичных химических элементов в природных и антропогенных средах на территории бывшего горнообогатительного комбината «Тувакобальт» // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Эколого-экономические проблемы природопользования. Вып. 14.: Сб. ст. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2016. С. 119—128.
7. Захаров Е.П. Геолого-геохимические методы поисков кобальтовых и кобальто-медных руд в районе месторождения Хову-Аксы. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Кызыл, 1968. 35 с.
8. Кальная О.И., Аюнова О.Д. Формирование водно-прибрежных экосистем Саяно-Шушенского водохранилища в пределах Тувы // Управление ресурсным потенциалом регионов на базе геоинформационных технологий: Сб. ст. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2010. С. 89—98.
9. Лебедев В.И. Рудномагматические системы эталонных арсенидно-кобальтовых месторождений. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. 136 с.
10. Молдурушку Р.О., Каминский Ю.Д., Тимошенко Е.Н., Манзырыкчы Х.Б. Поведение мышьяка в растворах выщелачивания отходов кобальтового производства и природных водах // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. Вып. 10, 11. Сб. ст. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН. 2010. С. 98—101.
11. Ондар У.В. Разработка методического обеспечения... для комплексного изучения загрязнения мышьяком объектов окружающей среды. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Иркутск, 2001. 18 с.
12. Поляков М.Л., Магдиг Н.Я. Исследование поверхностных, подземных, рудничных вод и почв района месторождения Хову-Аксы на содержание мышьяка. Отчет. Хову-Аксы: Бывшие фонды ГОК «Тувакобальт». 1971.
13. Припутина И.В., Башкин В.Н. Экологические риски в связи с техногенным загрязнением окружающей среды: анализ подходов и методов оценки // Проблемы анализа риска. 2012. Т. 9. № 5. С. 4—25.
14. Шимит Б.Д. Изучение растворимости мышьяка, содержащегося в рудах и хвостах Хову-Аксинского кобальтового месторождения, в воде и растворах, аналогичных по составу промышленным водам и дистеллерной жидкости. Отчет. Хову-Аксы: 1965. Бывшие фонды ГОК «Тувакобальт».

Сведения об авторе

Забелин Владимир Иванович: кандидат геолого-минералогических наук, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Лаборатории биоразнообразия и геоэкологии ФГБУН ТУВИКОПР СО РАН, заслуженный деятель науки Республики Тува
Количество публикаций: 196
Область научных интересов: геоэкология, биоразнообразие, охрана природы
Контактная информация:
Адрес: 667007, Республика Тува, г. Кызыл, ул. Интернациональная, д. 117А
Тел.: +7 (39422) 66218
E-mail: zabelinvi@mail.ru