

НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛЬФРАМОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЯОГАН (ЮЖНЫЙ КИТАЙ)

А.Ю. Опекунов, В. Дэн

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: a_opekunov@mail.ru, dengweiru@hotmail.com

Статья поступила в редакцию 22.11.2014; принята к печати 12.03.2015

На основе опубликованной ранее оценки геоэкологических последствий разработки вольфрамового месторождения Яоган (южный Китай) обоснована система локального экологического мониторинга в пределах лицензионного участка. Факторами, определяющими неблагоприятную экологическую ситуацию на территории месторождения, служат химическое загрязнение окружающей среды и активизация экзогенных геологических процессов горнопромышленным производством. Химическое загрязнение затрагивает подземные и поверхностные воды, почвы и грунты. Большую опасность представляет риск загрязнения основного источника питьевого водоснабжения в этом районе – водохранилища Дунцзян, в водоохранную зону которого входит часть территории лицензионного участка. Развитие геологических опасностей – селей, оползней, обвалов – обусловлено горным рельефом местности и муссонным тропическим климатом, характеризующимся интенсивными ливнями в весенне-летний период. Основная опасность селеобразования исходит от шламохранилищ, хвостохранилищ, отстойников, отвалов пород общей площадью более 93 га, часть из которых размещена на склонах гор. Сеть локального мониторинга территории месторождения представлена 13 пунктами, каждый из которых расположен вблизи основных объектов горнодобывающей инфраструктуры (шламохранилищ, отвалов отходов, обогатительных фабрик), а также в зоне влияния горного производства на водохранилище. Обоснованы объекты (подземные и поверхностные воды, почвогрунты, недра) и перечень изучаемых показателей (нарушенность территории, гидрохимический состав вод, содержание рудных и сопутствующих элементов в компонентах окружающей среды).

Ключевые слова: вольфрамовое месторождение, экзогенные геологические процессы, почвы, химическое загрязнение, экологический мониторинг.

THE SCIENTIFIC PRINCIPLES OF ORGANIZATION OF GEO-ECOLOGICAL MONITORING IN YAOGANG TUNGSTEN FIELD (SOUTH CHINA)

A.Yu. Opekunov, W. Deng

Saint-Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia)

E-mail: a_opekunov@mail.ru; dengweiru@hotmail.com

Principles of local environmental monitoring of the license area of Yaogang tungsten field (South China) are justified based on the published assessments of the environmental impacts of developing the field. The main factors beneath adverse environmental conditions in the field are chemical pollution and exogenous geological processes enhanced by mining. Chemical pollution affects groundwater and surface waters and soil. A serious threat is associated with the risk of contamination of Dongjiang reservoir, a drinking water source whose protection zone is partly overlapped with the license area. Geological dangers are associated with mud flows, landslides, and collapses in the mountainous terrain influenced by tropical monsoonal climate characterized by heavy rains in spring and summer. The major risks of mud flows are produced by tailings dams, settlers, and waste rock dumps, their total area of more than 93 hectares being partly mapped to mountain slopes. The network of local monitoring of the field comprises 13 sites near the essential objects of mining infrastructure (concentrating mills, waste dumps, and tailings dams) and within the zone where mining can impact the reservoir. The choice of objects (such as underground and surface waters, soils, subsoils etc) and respective characteristics (relief anomalies, water concomitants, environmental pollutants etc.) is substantiated.

Keywords: tungsten field, exogenous geological processes, soils, chemical pollution, environmental monitoring.

Вольфрамовое месторождение Яоган расположено в провинции Хунань на юге Китая. Подземные горные работы ведутся здесь более 100 лет. В начале прошлого столетия добыча велась из неглубоких штолен, а руда обжигалась в специальных обжиговых печах. Все это осуществлялось в основном кустарным способом. Техногенная нагрузка на экосистему региона значительно возросла после строительства рудника и обогатительной фабрики в 50-х гг. XX в., резко увеличивших объем добычи. Площадь лицензионного участка в настоящее время составляет 23,3 км², а площадь, охваченная горнодобывающей деятель-

ностью, достигает 4,7 км². В последнее десятилетие принято решение о начале строительства нового современного комплекса предприятий по отработке открытым способом шеелитовой залежи в пределах лицензионного участка и о флотационном обогащении руд. В настоящий момент в связи с изменением маркетинговой ситуации на мировом рынке вольфрама реконструкция рудника Яоган приостановлена. Однако в будущем перспективы развития предприятия связаны с дальнейшей разработкой вольфрамитового месторождения подземным способом и освоением открытым способом шеелитовой залежи.

Район месторождения характеризуется складчато-структурным рельефом, имеющим северо-восточное – юго-западное простирание. По оси антиклинали расположена горная цепь с высотами 1000–1600 м, по оси синклинали сформировалась впадина. На современный облик территории большое влияние оказывают эрозионные процессы. По степени расчлененности рельеф относится к средне и сильно расчлененному. Самый высокий пик Тяньэфен в районе исследований характеризуется отметкой 1693 м над уровнем моря (рис. 1), минимальная абсолютная высота отмечается на юго-востоке исследуемой территории и составляет около 240 м. Таким образом, перепад высот в пределах лицензионного участка достигает более 1450 м. Сам рудник расположен на склонах с абсолютными отметками от 700 до 1400 м, то есть диапазон высот составляет 700 м. Средний угол склонов, на которых осуществляется горнодобывающая деятельность, – около 35°. Северный склон горного массива представляет собой выработанную структурную поверхность, образуемую выходом выветрелых горизонтов песчаников и сланцев, которые формируют три выраженных крутопадающих ступени высотой от 30 до 120 м. Более пологие склоны на скалах сформировались в результате выветривания глинистых песчаников и сланцев. От вершины горы Тяньэфен до юго-восточного подножия развиваются ступенчатые склоны, которые постепенно падают к шеелитовой залежи Хэшантань. Она имеет отметки над уровнем моря +600–+700 м. Уклон рельефа соответствует характеру залегания

горных пород и составляет от 20 до 30°. Северо-восточный склон горы Тяньэфен – крутой с отвесными скалами и образованными у подножья каньонами и глубокими впадинами, что в целом типично для сбросового рельефа.

Месторождение входит в вольфрамовый рудный район, расположенный в пределах восточного тектоно-магматического пояса притихоокеанского металлогенического региона, заложение которого проходило в периоды каледонской и герцинской тектоно-магматической активности. Рудное поле располагается в месте пересечения вольфрамового и вольфрамово-полиметаллического рудных поясов, что способствует формированию очень благоприятной металлогенической обстановки.

Территория проведенных исследований относится к Гуйчжоускому району субтропической зоны [1]. Она характеризуется континентальным субтропическим влажным муссонным климатом со значительной солнечной радиацией и большим количеством атмосферных осадков. По данным измерений метеостанции провинции Хунань (1960–2005 гг.) период инсоляции составляет 1300–1800 часов в год, количество безморозных дней – 260–310. С апреля по октябрь доза радиации составляет 70–76% годового уровня, за это же время выпадает 68–84% годовой нормы осадков. Среднегодовая температура на изучаемой территории составляет 16,5 °С при максимальной 43,6 °С и минимальной –4,3 °С. Среднегодовое количество атмосферных осадков за многолетний период наблюдений достигает 1414 мм, а макси-

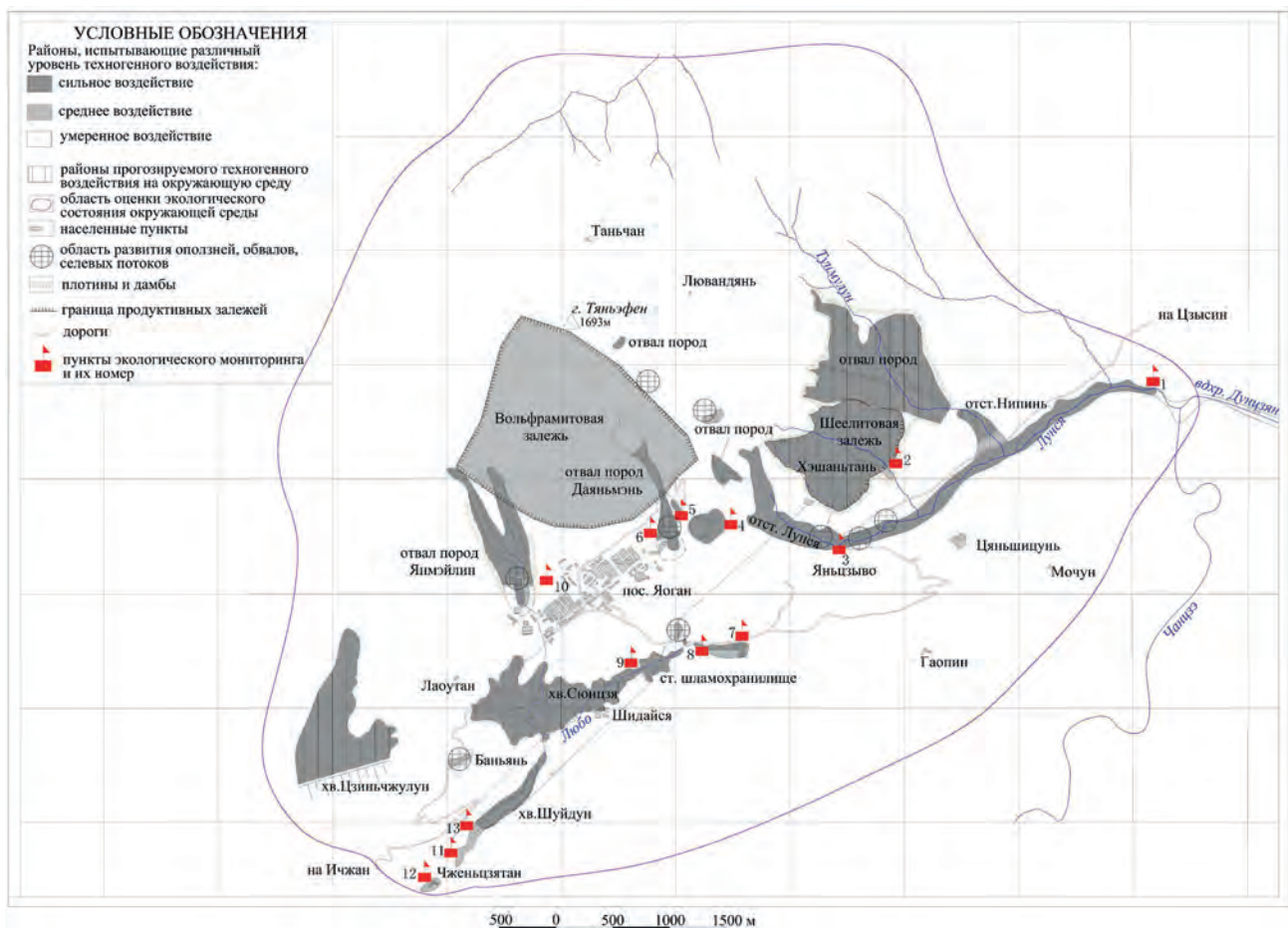


Рис. 1. План-схема организации геоэкологического мониторинга на территории лицензионного участка вольфрамового месторождения Яоган

мальный слой осадков составил 2014 мм (1994 г.). Максимальное количество атмосферных осадков, выпадающих в течение одного дня, за многолетний период наблюдений составило от 137 до 172 мм. Величина испаряемости за год достигает 1120–1330 мм. Средняя скорость ветра в год не превосходит 1,5 м/с. Летом примерно в равной степени выражены южные и северо-западные ветры, зимой преобладают северо-западные ветры.

Отчетливый муссонный ритм характерен и для поверхностных вод. Зимой расходы рек минимальны, а летом наблюдаются частые и резкие подъемы уровней воды, сопровождающиеся наводнениями на низменностях. Такая сосредоточенность осадков (их обилие и интенсивность выпадения в весенне-летний период) обуславливает значительный плоскостной смыв и исключительную эрозионную деятельность поверхностных вод. Вследствие этого ландшафты характеризуются сильно расчлененным рельефом, размывами и выщелоченными почвами, загроможденными руслами рек, которые, в свою очередь, на нижних топографических отметках в результате выноса наносов формируют плоские аллювиальные равнины.

В районе месторождения гидрографическая сеть представлена малыми реками и ручьями. Минимальный базис эрозии данной области находится на отметке +240 м. Реки и ручьи на территории исследования относятся к водотокам дождевого питания. Наибольшее значение имеют реки Лунся и Чанцэ (рис. 1). Кроме того, в пределах лицензионного участка представлены многочисленные сезонные ручьи, пересыхающие в сухое время года, которые впадают в основном в р. Лунся. В обычных условиях расход р. Лунся меняется от 0,023 до 1,32 м³/с. В период наводнений данные по расходу реки отсутствуют, но ориентировочно он увеличивается в десятки раз. Площадь ее водосбора составляет 17 км². Река Лунся пересекает в северо-восточном направлении шелитовую залежь Хэшантань. Русло имеет отметки над уровнем моря +300–+400 м. Южный склон реки, где размещается залежь Яньцзыво, сложен преимущественно известняками. Это обусловило широкое развитие карстовых явлений по южному склону долины водотока. Поэтому формы рельефа осложнены карстовыми воронками и трещинами, каррами, пещерами. Здесь же имеют место подземные ручьи. Река впадает в водохранилище Дунцзян.

Ручей Любо спускается с противоположного к руднику склона. Русло ручья в сухой сезон пересыхает, а в сезон дождей расход реки может достигать 25 м³/с. Площадь водосбора водотока составляет 3,7 км², общая протяженность – более 2 км. В пределах его водосборной площади эксплуатируются два хвостохранилища (Шуйдун и старое хвостохранилище), которые ограждены от русла ручья плотинами и водоотводными канавами.

В 2 км к северо-востоку от границы лицензионного участка расположено построенное в 1989 г. водохранилище Дунцзян – источник питьевого водоснабжения. Его площадь составляет $2 \cdot 10^9$ м², в сезон дождей она увеличивается до $5 \cdot 10^9$ м². Объем водохранилища – $8,1 \cdot 10^9$ м³. Восточная и северо-восточная границы территории лицензионного участка находятся в его водоохранной зоне.

В распределении почв в горной местности большое значение имеет высотная поясность. На исследован-

ной территории подножие гор располагается в поясе латеритов, которые выше сменяются оподзоленными красноземами, далее уступающими место серо-бурым лесным почвам или бурым оподзоленным почвам. Для красноземов типичны низкое содержание в верхнем горизонте гумуса (1,2%) и кислая реакция среды (рН 4,4). Почва характеризуется высокими концентрациями Al₂O₃ (до 20%) и Fe₂O₃ (8% и более). Глинистая фракция в составе почвы составляет около 50%. Таким образом, красноземы имеют высокие показатели буферности к поллютантам по содержанию полуторных оксидов и глинистых минералов, но небольшое количество гумуса снижает ее устойчивость к химическому загрязнению. Кислая реакция способствует активной миграции катионных элементов, в том числе концентрирующихся в рудах Cu, Zn, Cd и др., но уменьшает миграционный потенциал рудного W и его спутников – аниогенных элементов (As, Sb, Mo).

На рассматриваемой территории преобладающей растительностью являются влажные субтропические леса. Они распространяются до абсолютных высот 1000–1100 м. Однако в пределах лицензионного участка коренная растительность практически полностью уничтожена вследствие освоения вольфрамитового месторождения. В местах вырубок вечнозеленые леса сменялись вторичными высокотравными лугами или хвойными лесами.

Таким образом, рельеф и климат в районе рудного поля Яоган предопределили физико-географические условия недропользования в этом регионе. С одной стороны, длительный засушливый период приводит к пересыханию русел сезонных ручьев и шламохранилищ. Источником промышленного водоснабжения в такие периоды служат исключительно рудничные воды, которые накапливаются в отстойниках. Поверхностный сток в это время практически отсутствует, а соответственно снижается опасность загрязнения окружающей среды промышленными стоками и отходами из отстойников и шламохранилищ. С другой стороны, в период обильных атмосферных осадков резко возрастают экологические риски. В сезон дождей горные потоки на склонах выносят значительное количество обломочного материала, подмывая склоны, вызывают оползни и обвалы. Горный рельеф усугубляет ситуацию, увеличивая энергию потока воды и вызывая сели, приводящие к разрушению строений и технологических конструкций, прорыву дамб в хвостохранилищах и отстойниках. Подземная добыча служит источником опасностей, обусловленных подземными водами (при нарушении гидрогеологического режима) и выработкой подземного пространства (табл. 1).

В последние годы на территории лицензионного участка произошел ряд аварий, вызванных селевыми потоками, часть из которых была спровоцирована техногенной деятельностью. Так, в июле 2006 г. в течение 42 часов выпало 340 мм атмосферных осадков. Селями были разрушены 412 технологических помещений, 770 м дорог, защитные крепления склонов, 3 моста, а также жилые здания в поселке Яоган. Произошел прорыв плотины отвала пород на р. Лунся. Около 1 млн м³ отходов попали в реку, что привело к загрязнению водохранилища Дунцзян [3]. Потоки шламов накрыли около 60 га земель, из которых бо-

лее 13 га относятся к категории сельскохозяйственных (пахотных). В настоящее время оползнями и обвалами нарушена территория площадью более 2,5 га, селявыми потоками – 52 га. К этому следует добавить 60 га земель в месте залегания вольфрамитовой залежи, которые подвергаются деформации в ходе освоения подземного пространства.

Состав руд (табл. 2) и флотационный метод обогащения служат причиной накопления в отходах добычи и переработки, складываемых на территории предприятия в отстойниках, отвалах породы, хвосто- и шламохранилищах, широкого комплекса

химических элементов, среди которых необходимо выделить W, Bi, Pb, Zn, Cu, Sn, Mo, As, Se, Te, Ge. Как следствие, в воде искусственных водоемов (отстойников, хвостохранилищ) установлены аномально высокие концентрации мышьяка, свинца, кадмия, фтора и сульфидной серы (табл. 3). Сброс на рельеф, загрязнение подземных и поверхностных вод при инфильтрации сточных вод – результат отрицательного химического воздействия добычи и переработки руд. Кроме того, селявые потоки, оползни и обвалы приводят к разносу техногенного материала и загрязнению им территории.

Табл. 1

**Генетическая классификация экзогенных геологических опасностей
в пределах лицензионного участка вольфрамового месторождения Яоган**

Группы опасностей по их причинам	Классы опасностей	Типы опасностей
Энергия рельефа (сила тяжести)	Движение горных пород без потери или с незначительной потерей контакта со склоном	Оползни
	Движение горных пород с потерей контакта со склоном	Обвалы, осыпи
Поверхностные воды	Водотоки	Эрозия, аккумуляция наносов, сели
Подземные воды	Растворение и выщелачивание	Карст
	Понижение уровня подземных вод	Оседание поверхности
Выработка подземного пространства	Добыча ТПИ и подземное строительство	Проседание и сдвигание земной поверхности

Табл. 2

Средние содержания (%) рудных и сопутствующих элементов в рудах месторождения Яоган

Элементы	Залежь	
	вольфрамитовая	шеелитовая
WO ₃	1,19	0,30
Sn	0,098	0,033
Cu	0,056	0,017
Pb	0,085	0,168
Zn	0,218	0,20
S	2,0	0,86
As	1,02	0,017
Sb	0,0134	н. д.
Bi	0,019	0,032
Mo	0,038	0,013
Cd	н. д.	0,005
MnO	0,49	1,24

Примечание: н. д. – нет данных.

Табл. 3

**Содержание загрязняющих веществ (мг/л) в воде искусственных водоемов месторождения Яоган
(по единичным замерам)**

Водоем	Ингредиенты	As	Pb	Cd	S ²⁻	F ⁻	Взвешенные вещества	рН	
Хвостохранилище Шуйдун		0,831	0,012	0,008	0,39	5,71	13,1	7,54	
Отстойник на р. Лунся		1,60	0,121	0,142	0,12	15,86	85,0	6,69	
Отстойник мышьяковистого завода		12,5	Не анализировались						

Результаты геохимических исследований миграционных форм элементов на месторождениях, аналогичных Яоган, показали [7], что основной формой миграции вольфрама в любых щелочно-кислотных условиях вод района месторождения является ион WO_4^{2-} . Преобладающая форма нахождения молибдена в околонеутральных, слабощелочных и щелочных водах изученных месторождений – MoO_4^{2-} (до 99,7%). Ведущие формы миграции других элементов: простые катионы, гидрокарбонатные и карбонатные соединения, а также гидроксокомплексы. Простые катионные формы наиболее характерны для железа (II) в слабокислых, околонеутральных и слабощелочных водах, а также марганца, цинка и кадмия в слабокислых и нейтральной средах. Преимущественный гидрокарбонатный состав природных вод в районе Яоган определяет распространение гидрокарбонатных комплексов с металлами. Высокое значение таких комплексов отмечается для свинца и меди в слабокислых водах. Доля гидрокарбонатных комплексов других металлов не превышает 10%. По мере роста pH вод увеличивается миграция в составе карбонатных комплексов (от 25 до 97%), которые в щелочных водах становятся основными формами переноса марганца, железа (II), меди, цинка, свинца и кадмия. В комплексе с гидроксид-ионом осуществляется миграция значительной доли свинца в околонеутральных и слабощелочных водах; цинка в слабощелочных и щелочных средах; а также железа (III) в широком диапазоне pH.

Исходя из вышесказанного, следует ожидать, что в процессе разработки вольфрамитовых руд наибольшая опасность загрязнения поверхностных и подземных вод исходит от анионогенных элементов: как рудных (вольфрам и мышьяк), так и петрогенных (сурьма, молибден). Это в частности подтверждается очень высокими концентрациями мышьяка в дренажных водах месторождения (табл. 3). Основная форма нахождения перечисленных элементов анионная – WO_4^{2-} , AsO_4^{3-} , MoO_4^{2-} , а наиболее подвижными среди этих элементов являются молибден и мышьяк. В сульфатных водах широко могут быть представлены комплексные соединения мышьяка и молибдена с серой [4]. Если принять во внимание три основные

характеристики, позволяющие оценить опасность вещества: концентрацию (табл. 2 и 3), токсичность и формы миграции в данных условиях, то можно сделать вывод, что наибольшую экологическую опасность в связи с разработкой месторождения Яоган представляют мышьяк, молибден, кадмий, висмут и цинк. Все остальные элементы либо встречаются в относительно низких концентрациях (олово, марганец), либо находятся в комплексных соединениях, где их токсичность по сравнению с ионной формой заметно снижается (медь, свинец).

После приостановки работы предприятия нами была выполнена комплексная оценка геоэкологических последствий эксплуатации месторождения и дан прогноз развития ситуации при продолжении освоения вольфрамитовой и шеелитовой залежей [2]. Результаты оценки легли в основу предлагаемой системы экологического мониторинга территории лицензионного участка и обоснования сети наблюдений, которая охарактеризована ниже.

На территории лицензионного участка выделены три категории районов по уровню техногенного воздействия на них: сильного, среднего и умеренного (рис. 1). Необходимо отметить, что к категориям сильного и среднего воздействия относятся районы, где размещены основные объекты инфраструктуры предприятия «Яоган»: отвалы вскрышных пород и накопители шламов, хвостохранилища. Здесь широкое развитие получили экзогенные геологические процессы, а также деформация поверхности над подземными выработками. В пределах этих районов подземные воды подвержены загрязнению в результате производственной деятельности (рис. 2). Остановимся на краткой характеристике основных результатов оценки.

Вероятность развития экзогенных геологических процессов высока там, где они уже имели место, либо в районах с измененным рельефом (отвалы, врезанные в скалы участки дорог, места складирования твердых отходов, дамбы хвостохранилищ и отстойников). Необходимо иметь в виду, что отвалы складировались преимущественно на склонах гор, увеличивая тем самым риск оползней, обвалов, селей, осыпей и т. д.

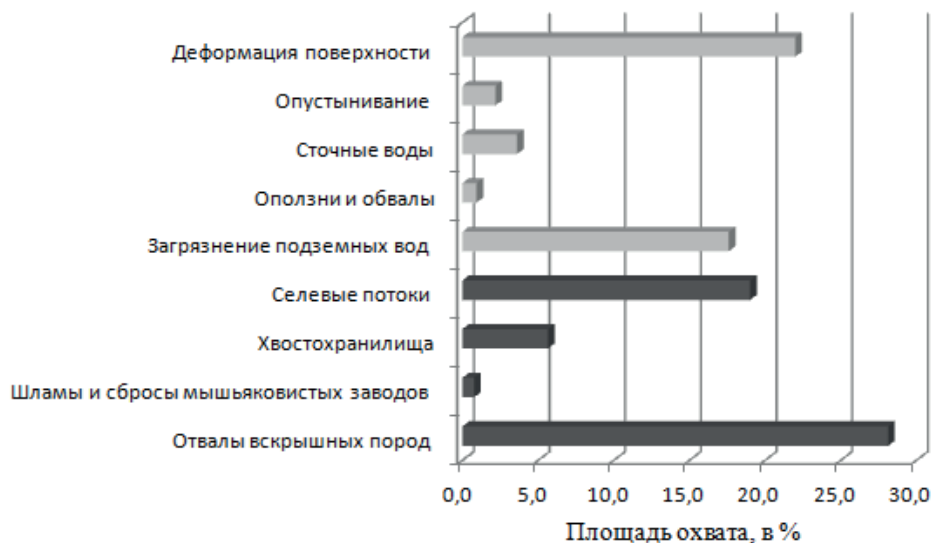


Рис. 2. Площадь территорий в пределах лицензионного участка, испытывающих сильное (черный цвет) и среднее (серый цвет) воздействие (по факторам воздействия)

Влияние на земельные ресурсы оценивается как серьёзное. Выведение из оборота земель обусловлено использованием территории под отвалы пустой породы или для складирования промышленных отходов. Одновременно происходит загрязнения почвогрунтов, утрачивающих в этом случае свою природопользовательскую ценность. При сбросе токсичных сточных вод на рельеф происходит постепенное опустынивание территории. В пределах лицензионного участка в соответствии с земельным законодательством КНР выделяется четыре категории земель: пахотные, огородные, лесные и неиспользуемые земли. В основном геоэкологические проблемы (сильное и среднее воздействие) затронули неиспользуемые и лесные земли (около 80 га). Они охвачены просадками и обвалами поверхности, опустыниванием, на них выражено воздействие селей и оползней. Так как более половины этих земель отведено под отвалы, то их восстановление и использование по прямому назначению не только в ближайшем будущем, но и в перспективе практически исключается. Количество пахотных земель, которые затронуты воздействием, составляет 11,0 га, а само воздействие носит локальный характер (например, загрязнение почв в селе Чженьцзятан). Еще меньше техногенному влиянию подвержены огородные земли (2,75 га).

Воздействие на подземные воды отражается в основном в их химическом загрязнении. Главные источники поллютантов – промышленные сточные воды обогатительной фабрики вольфрамитовой руды и заводов по обогащению мышьяка. Здесь высока вероятность загрязнения подземных вод вольфрамом, молибденом и мышьяком, активно мигрирующими в слабощелочной среде. Основное воздействие на поверхностные водные объекты – реки, ручьи и водохранилище – в основном проявляется в химическом загрязнении и замутнении воды. Главными источниками загрязнения выступают сброс промышленных и дренажных вод, шламы обогатительной фабрики и заводов по обогащению мышьяка, хвостохранилища и отстойники.

Таким образом, наибольшую экологическую опасность на территории месторождения представляют: экзогенные геологические процессы (сели, обвалы, оползни и просадки земной поверхности), химическое загрязнение подземных и поверхностных вод, почв и грунтов под влиянием сточных вод, выщелачивание поллютантов из отходов атмосферными осадками, разнос отходов селями и оползнями. Одно из неблагоприятных последствий добычи – выведение из целевого использования земель, на которых производится складирование отходов производства, и их химическое загрязнение [2].

Разрабатываемая система геоэкологического мониторинга совмещает элементы мониторинга локального уровня и производственного экологического контроля (ПЭК). Если локальный мониторинг ориентирован на оценку состояния компонентов окружающей среды (загрязнение природных вод, почв и грунтов, нарушенность земель и ландшафтов) и риска экзогенных геологических процессов, то объектом ПЭК являются условия функционирования техногенных систем. Следовательно, геоэкологический мониторинг месторождения Яоган и прилегающей территории содержит подсистемы мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды, мониторинга недр (включая активность экзогенных геологических про-

цессов) и земель, а также контроль безопасности гидротехнических сооружений (в рамках ПЭК).

Мониторинг загрязнения обеспечивает наблюдение, анализ и прогноз уровня химического воздействия на компоненты окружающей среды: природные воды, почвы и грунты. В его задачи входит отбор проб и лабораторный анализ содержания загрязняющих веществ. Цель: снижение уровня загрязнения с использованием систем очистки сбросов и нейтрализации образующихся отходов. Мониторинг состояния недр представляет систему регулярных наблюдений за изменениями в недрах, вызванных добычей (прошедшей и будущей) полезных ископаемых. В его задачи на территории месторождения Яоган входит мониторинг состояния подземных вод, экзогенных и эндогенных геологических процессов, нарушения и загрязнения недр. Экологический мониторинг земель обеспечивает оценку их состояния и прогноз изменения под воздействием природных и антропогенных факторов, а также разработку рекомендаций по предотвращению химического загрязнения и снижения плодородия сельскохозяйственных земель. ПЭК следит за состоянием гидротехнических сооружений, в том числе дамб и водоотводящих каналов, соблюдением проектных условий их эксплуатации, состоянием, уровнем воды в акватории с учетом его подъема в период экстремальных гидрометеорологических явлений. Кроме того, в его задачи входит соблюдение проектных условий образования отвалов пород.

Выделенные подсистемы геоэкологического мониторинга на территории месторождения тесно увязаны между собой. Факторы негативного влияния относятся в основном к регулируемым, отрицательный эффект от которых можно предотвратить или снизить (экзогенные геологические опасности, химическое загрязнение) [6].

Экзогенные геологические опасности возникают на участках отвалов горных пород, складированных в основном на крутых (30° и более) склонах. На них наблюдаются оползни, осыпи и даже обвалы. Кроме того, они развиваются на техногенно измененных склонах долин рек и ручьев, затрагивают некоторые участки автодорог, которые врезаются в естественный рельеф. Сели возникают в период сильных ливней на естественных и искусственных склонах, а также при прорыве дамб. Они создают угрозу жизни людей в пос. Яоган, где проживает более 8 тыс. человек, разрушают производственные конструкции, вызывают загрязнение природных и искусственных водных объектов, почвенного покрова, а также выводят из хозяйственного оборота огромные площади земель. Основная опасность селеобразования с наиболее губительными последствиями исходит от шламохранилищ, хвостохранилищ, отстойников, отвалов пород, общая площадь которых на территории лицензионного участка составляет более 93 га (рис. 3).

Для контроля экзогенных геологических процессов на территории лицензионного участка предлагается организовать пять пунктов мониторинга (ПМ) на наиболее опасных техногенных объектах (см. рис. 1).

1. Ограждающая дамба шламохранилища (отстойника) Лунся (ПМ-3). Накопленный объем твердого материала составляет 2,4 млн м³. В данном пункте проводится контроль уровня воды, состояния дамбы и водоотводящих каналов, а также мониторинг загрязнения подземных вод.

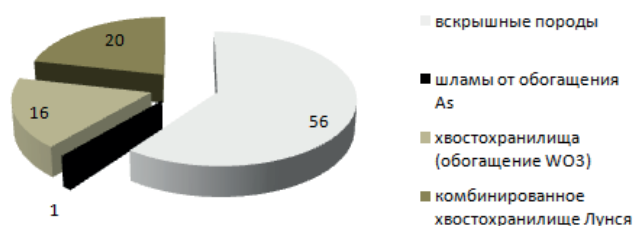


Рис. 3. Площадь лицензионного участка, используемая под складирование отходов (га)

2. Дамба отвала отходов рудной зоны Даяньмэнь (ПМ-6). Объем отвальных пород достигает 1,2 млн м³. Ранее здесь наблюдался селевой поток объемом около 100 тыс. м³, покрывший территорию площадью 2,75 га. Контроль уровня воды, состояния дамбы и водоотводящих каналов.

3. Дамба старого хвостохранилища (ПМ-9). В настоящее время общий объем хвостов здесь достигает 1,8 млн м³. Мониторинг опасности селевых потоков и загрязнения подземных вод.

4. Плотина № 2 отвала отходов рудной зоны Яньмэйлин (ПМ-10). Объем пород в отвале составляет 0,95 млн м³. Здесь отмечался селевой поток объемом более 20 тыс. м³, охвативший площадь 3 га. Контроль уровня воды, состояния дамбы и водоотводящих каналов.

5. Дамба хвостохранилища Шуйдун (ПМ-13). Объем накопленных хвостов составляет 3,66 млн м³. Контроль уровня воды, состояния дамбы и водоотводящих каналов, а также мониторинг загрязнения подземных вод.

Основные контролируемые параметры в пунктах мониторинга геологических опасностей: состояние гидротехнических сооружений, содержание в воде Cl⁻, SO₄²⁻, Mg²⁺, W, Mo, As, Sn, Hg²⁺, Zn²⁺, Pb²⁺, Cu²⁺. Критериями оценки выступают «Технический регламент эксплуатации шламохранилища», а также допустимые содержания загрязняющих веществ в природных водах (стандарт GB 3838-2002). Контролируемые очаги селеобразования могут стать источником очень крупного селя (более 500 тыс. м³), который приведет к катастрофическим последствиям. Поэтому результаты мониторинга должны быть использованы при разработке мероприятий по снижению риска их возникновения.

Мониторинг загрязнения компонентов окружающей среды планируется в восьми пунктах наблюдения.

1. На выходе с лицензионного участка р. Лунся (ПМ-1) для контроля химического состава речной воды и содержания в ней поллютантов. Это обусловлено потенциально возможным влиянием отстойника на качество воды в водохранилище.

2. Мониторинг содержания поллютантов в почвогрунтах на участке ниже отвала пород и отходов Хэйшантань (ПМ-2), образовавшегося при добыче и обогащении шеелитовой руды кустарным способом. Несанкционированная разработка служит причиной высокого уровня загрязнения дренажных вод и опустынивания территории в районе отвала.

3. Отвалы отходов обогащения вольфрамитовой руды (ПМ-4), объем которых составляет 34,7 млн м³, площадь – 5,7 га. Мониторинг загрязнения почвогрунтов дренажными водами должен проводиться в юго-западной части отвала на наиболее низких отметках рельефа.

4. Отстойник шламов обогащения (первичной флотации) вольфрамитовой руды (ПМ-5). Мониторинг химического состава воды в отстойнике.

5. Территория вокруг заводов по обогащению и переплавке мышьяка в поселках Гуансинь (ПМ-7) и Яочжень (ПМ-8). Мониторинг состава сточных вод и уровня загрязнения почво-грунтов.

6. Прилегающий район к хвостохранилищу Шуйдун (ПМ-11). Мониторинг загрязнения сточными водами подземных вод и почво-грунтов на площади около 1 га.

7. Территория вблизи села Чженьцзытан, куда периодически сбрасывается вода из хвостохранилища Шуйдун (ПМ-12). Контроль загрязнения почвенного покрова на территории в 10 га.

В число основных контролируемых ингредиентов в почво-грунтах включены W, Mo, As, Sn, Cd, Bi, Hg, Zn, Pb, Cu; в сточных водах – Cl⁻, SO₄²⁻, Mg²⁺, W, Mo, As, Cd, Bi, Hg²⁺, Zn²⁺, Pb²⁺, Cu²⁺, значение pH. Те же вещества анализируются в воде р. Лунся. Перечисленные металлы и As характеризуются высокими концентрациями в рудах и вмещающих породах, а при обогащении накапливаются в хвостах. Как отмечалось выше, они в разной степени токсичны, в зависимости от физико-химических условий склонны к миграции в воде, либо накоплению в твердой фазе (в донных осадках и почве) в подвижных формах [5]. По катионно-анионному составу можно судить о степени техногенной метаморфизации подземных и поверхностных вод.

Критериями оценки служат предельно допустимые концентрации поллютантов в почве и в воде хозяйственно-питьевого назначения. Содержание загрязняющих веществ в воде шламо- и хвостохранилищ, а также в сточных водах должно отвечать требованиям к этим категориям сточных вод, принятым в Китае (стандарт GB89786-1996). Общий порядок хранения отходов регулируется действующим в КНР стандартом (GB18599-2001).

Таким образом, результаты оценки геоэкологических последствий разработки вольфрамового месторождения Яоган, выполненной нами ранее [2], позволили выявить основные факторы развития неблагоприятной экологической ситуации, обосновать подсистемы мониторинга и сформировать сеть локального экологического мониторинга. На территории месторождения она представлена 13 ПМ, расположенными вблизи основных объектов горнодобывающей инфраструктуры (обогажительных фабрик, шламохранилищ, отвалов отходов), а также в зоне влияния горного производства на водохранилище Дунцзыан. Определены объекты мониторинга (подземные и поверхностные воды, почво-грунты, недра) и перечень основных показателей (нарушенность территории, гидрохимический состав вод, рудные и сопутствующие металлы и элементы). Дана прогнозная оценка опасности химических элементов, поступающих в окружающую среду при разработке и обогащении руд. В перечень наиболее опасных элементов включены мышьяк, молибден, кадмий, висмут и цинк. В дальнейшем при возобновлении хозяйственной деятельности предлагаемая сеть должна быть расширена за счет пунктов мониторинга вблизи введенных в эксплуатацию объектов (карьера, отвалов пород, хвостохранилищ и др.) (см. рис. 1).

Литература

1. Географические Карты Китая / Ред.: Ван Цзин Ай, Цзо Вэй. – Пекин : SinoMaps, 2010. – 362 с.
2. Дэн В., Опекунов А.Ю. Опыт комплексной оценки геоэкологических последствий разработки вольфрамового месторождения Яоган (южный Китай) // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. – 2013. – Вып. 2. – С. 153–157.
3. Дэн В., Опекунов А.Ю. Оценка влияния разработки вольфрамового месторождения Яоган (Южный Китай) на геологическую среду // Сергеевские чтения / Мат-лы годичной сессии Научного совета РАН «Устойчивое развитие: задачи геоэкологии», 21–22 марта 2013 г. Вып. 15. – М. : Изд-во РУДН, 2013. – С. 127–131.
4. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / Ред.: Н.П. Лаверов. – М. : Наука, 2004. – 677 с.
5. Опекунов А.Ю. Экологическая седиментология. Учебное пособие. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2012. – 224 с.
6. Природные опасности и общество / Ред. : В.А. Владимиров, Ю.Л. Воробьев, В.И. Осипов. – М. : Крук, 2002. – 248 с.
7. Чечель Л.П. Основные формы водной миграции металлов в зоне гипергенеза вольфрамовых месторождений Агинского рудного узла (Восточное Забайкалье) // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2009. – № 2. – С. 153–158.

