УДК 622.364.1:622.234.42

П.ОЧИРБАТ, Н.ЖАДАМБАА
Монгольский государственный университет науки и технологии
М.И.ФАЗЛУЛЛИН, Н.Я.БАБКИН
ГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт химических технологий», Москва

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ АР-НАЙМГАН (МОНГОЛИЯ)

Рассмотрены инновационные подходы вовлечения в разработку глубокозалегающих месторождений ценных руд методом выщелачивания (на примере месторождения Ар-Наймган) для удовлетворения потребностей в природном минеральном сырье Республики Монголия.

Разработаны методики лабораторных и полевых исследований, обеспечивающие экологическую безопасность промышленных технологических экспериментов.

Innovative approaches of involving in development for satisfaction needs for natural mineral raw material of republic Mongolia of deeply lying deposits of valuable ores by a method lixiviation (on an example of deposit Ar-Naimgan) are considered.

The techniques of laboratory and field researches providing ecological safety of industrial technological experiments are developed.

В настоящее время принципиальные возможности совершенствования открытой и подземной разработки исчерпываются. Необходимы как инновационные подходы к разработке полезных ископаемых для удовлетворения потребности в природном минеральном сырье, так и вовлечение в разработку все более бедных месторождений, залегающих на большей глубине и в сложных горно-геологических условиях.

Одним из инновационных подходов является подземное выщелачивание (ПВ). Подземное выщелачивание металлов (урана, меди, золота) за время своего существования позволило накопить определенный опыт, который был использован в качестве основы для разработки нормативных методических документов с целью обеспечения экологической безопасности подземного выщелачивания золота.

Опытные работы по подземному выщелачиванию золота проводились в 2004 г. в Монголии на месторождении россыпного золота Ар-Наймган. Проектом предусматривалась рядная система с расстоянием между рядами скважин 15; 20 и 25 м, между скважинами в ряду 10; 15 и 20 м. Из-за необходимости проведения опытно-фильтрационных исследований было решено проводить опыт на ячейке с одной откачной и шестью закачными скважинами (см. рисунок).

Техногенная нагрузка на природную среду. В проекте изучалась возможная техногенная нагрузка на элементы экосистемы: подземные, поверхностные воды, почвенно-растительный слой и атмосферу.

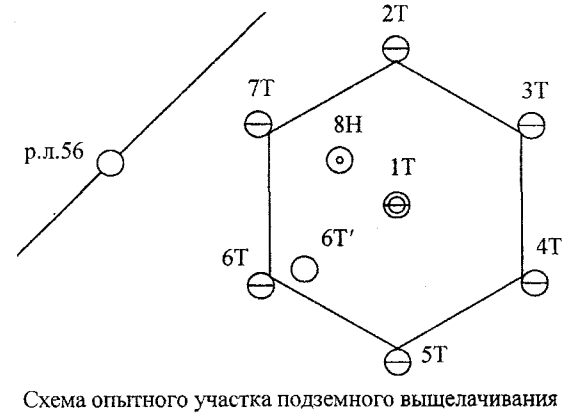


Схема опытного участка подземного выщелачивания
1Т – откачная скважина; 2Т-7Т – закачные;
8Н – наблюдательная (с керном);
р.л.56 – разведочная

Химический состав технологических растворов и подземных вод

Компонент	Класс опасности	ПДК, мг/л	Содержание компонента (мг/л) в		Соотношение содержания компонентов в технологических растворах с ПДК
			водах в природном состоянии	технологических растворах	
Al^{3+}	2	0,5	Н.д.	0,77	1,54
$Fe_{общ}$	3	0,3	Н.д.	9,0	30
Mn	3	0,1	Н.д.	0,02	0,2
Cr^{3+}	3	0,5	Н.д.	0,7	1,4
Hg	1	0,05	Н.д.	Н.о.	–
Mg^{2+}	–	–	14,46	100	–
Na^{+}	3	200	66,9	80,36	0,4
K^{+}	–	–	3,67	4,0	–
SO_4^{2-}	4	500	35,38	1100	2,2
Cl^{-}	4	350	143,82	2700	7,7
Хлор активный	3	–	Н.д.	200	Н.д.
pH	–	6-9	7,0	2-3	Н.д.
Сухой остаток	–	1000	430	2900	2,9

Примечание. Н.д. – нет данных; Н.о. – не обнаружено.

Основную нагрузку, в силу особенностей метода ПВ, испытывают подземные воды. Исследования запроектированы в интервале распространения золотосодержащих отложений мощностью до 3 м в геометрическом контуре площадью 240 м^2. Основным требованием процесса ПВ является равенство закачки и откачки; движение выщелачивающих растворов осуществляется в замкнутом гидродинамическом контуре площадью 369 м^2. По опыту работ на участках подземного выщелачивания золота растекание растворов в плане не превышает 20 %, по мощности не более 30 %. Объем подземных вод, затронутых технологическим процессом, составит около 530 м^3. Ожидаемый химический состав технологических растворов, остающихся в недрах после завершения опытных работ, сопоставлен с нормативными предельно допустимыми концентрациями (ПДК) и химическим составом подземных вод в природном состоянии (см. таблицу).

Исходя из проведенных расчетов, для очистки технологических растворов от компонентов-загрязнителей подземных вод потребуется профильтровать их через 1150 т твердой фазы водоносного горизонта, что при плотности горно-рудной массы (ГРМ) 1,95 т/м^3 соответсвует объему 590 м^3. При ширине ореола 20 м, мощности около 4,0 м, путь растекания составит около 7,5 м. С учетом гидродинамической дисперсии, требущей 2-3-кратной смены объемов смешения и активной пористости $n = 30$ %, истинная длина перемещения ореола должна составить 75 м.

При гидравлическом уклоне естественного потока подземных вод $I = 0{,}067$, коэффициенте фильтрации 1,37 и 2,3 м/сут (в расчетах принято среднее значение $K_ф = 1{,}8$ м/сут), истинная скорость миграции ореола

$$v = \frac{K_ф I}{n} = \frac{1{,}8 \cdot 0{,}067}{0{,}3} = 0{,}4 \text{ м/сут.}$$

Время рекультивации подземных вод за счет естественной деминерализации t_e = = 75:0,4 = 187,5 суток (6,25 месяца).

Для ускорения процесса нейтрализации технологических растворов рекомендуется проведение рекультивации подземных вод методом принудительной «протяжки» ореола через целик ГРМ, не затронутой выщелачиванием.

В качестве возмущающей (откачной) скважины используется гидрогеологическая скважина, расположенная в 50 м вниз по потоку подземных вод от полигона. Откачиваемые из скважины пластовые воды, подаются в центральную откачную и в две наи-

более удаленные закачные технологические скважины полигона.

В результате моделирования с использованием комплекса программ «Экология подземных вод» получена гидродинамическая модель «протяжки». Из рассчитанной схемы следует, что для полного вытеснения технологических растворов за пределы контура полигона и их «протяжки» по не затронутым процессом выщелачивания породам в линии технологическая скважина – гидрогеологическая скважина требуется 20 суток при производительности системы 84 $м^3$/сут. Общий объем поданной в пласт воды за 20 суток составит 1680 $м^3$. При пористости пород 30 % это соответствует объему пород 5600 $м^3$. За вычетом объема ГРМ полигона в гидродинамическом контуре, технологические растворы будут «протянуты» через 4124 $м^3$ пород, что заведомо достаточно для их полной нейтрализации.

Источниками выделения загрязняющих веществ в атмосферу являются следующие объекты и технологические операции:

- воздухоотделение при эрлифтной откачке продуктивных растворов и вентиляция оборотных емкостей технологических растворов;
- выхлопы дизельного компрессора и выделение паров дизельного топлива при заливке его в расходный бак;
- хлораторная со складом хлора в баллонах;
- выбросы аналитической лаборатории;
- выбросы автотранспорта;
- испарение со склада серной кислоты.

В проекте выполнены расчеты выбросов для каждого источника. Значимых значений по загрязнению атмосферного воздуха не получено.

В проекте также рассмотрена возможная аварийная ситуация в хлораторной. Для предупреждения аварийных выбросов хлора проектными решениями предусмотрены герметичное исполнение оборудования, автоматическая сигнализация на наиболее важных технологических процессах и система аварийной вентиляции, которая включает в себя два параллельно работающих адсорбера с активированным углем и центробежный вентилятор.

Контроль за экологической безопасностью при проведении опытных работ. Опытные работы на гексагональной ячейке включали комплекс буровых работ, гидрогеологических, технологических исследований и оценку техногенного воздействия работ на геоэкологическую обстановку.

В процессе проведения опытных работ с использованием технологических растворов, содержащих серную кислоту, газообразный хлор и хлористый натрий, ионный состав проб поверхностных вод (ключ Ар-Наймган, воды карьера, река Туул) не изменялся. Существенно изменился состав проб из технологических скважин: pH снизился с 7,07-8,37 до 1,45-3,26; содержание Cl^- выросло с 10,6-33,7 до 1036-1223 мг/$дм^3$; SO_4^{2-} – с 40,0-115,0 до 1890-2936 мг/$дм^3$; минерализация увеличилась в 15-17 раз.

После проведения опытных работ значения pH пришли в исходное состояние, то же самое можно сказать и об ионном составе подземных вод.

Исследования по установлению качественных и количественных показателей почвы участка проведения опытных работ проводились в три основных этапа: полевые работы, лабораторные исследования и обобщение материалов.

Был выполнен отбор проб на четырех участках (производственном, компрессорном, приготовления растворов и полигоне) и установлены их агротехнические показатели, отбор сопоставительных проб из не затронутых опытными работами ненарушенных земель, расположенных восточнее месторождения Ар-Наймган.

В лаборатории Монгольского института геоэкологии были определены химический и механический состав почв, некоторые их физические показатели. Было сделано в общей сложности 28 лабораторных анализов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что благодаря принятым мерам по обеспечению экологической безопасности района проведения работ состояние почв не нарушено.

Выводы

Анализ техногенного воздействия подземного выщелачивания на воздушный бассейн, дневную поверхность и водоносные горизонты гидрогеологических систем, вскрываемых эксплуатационными скважинами, показывает, что наиболее значительному загрязанию подвергается подземная часть локальных экосистем. Таким образом, решение всех природоохранных проблем лежит в сфере геоэкологии. С учетом изложенного выше и проектировались работы по обеспечению экологической безопасности опытных работ по подземному выщелачиванию золота на месторождении Ар-Наймган.

Выбор гексагональной ячейки в качестве опытного участка позволил достаточно быстро выполнить весь комплекс исследовательских и сопутствующих работ по выщелачиванию золота. Выщелачивающий золото раствор содержал серную кислоту, газообразный хлор и хлористый натрий. Содержание Cl^- в подземных водах водоносного горизонта при проведении опыта увеличилось в 50-100 раз, SO_4^{2-} в 30-50 раз, минерализация в 15-17 раз. Ионный состав проб поверхностных вод в процессе проведения опыта не изменился.

Химический состав остаточных растворов к концу опыта стабилизировался и пришел к первоначальному природному качеству подземных вод, pH растворов в технологических скважинах снизился с 7,07-8,37 до 2,45-3,26.

Комплекс выполненных исследований свидетельствует, что при соблюдении требований по охране окружающей среды, можно обеспечить экологическую безопасность работ по подземному выщелачиванию золота.

В рамках выполненной работы разработаны методики лабораторных и полевых исследований, обеспечивающие экологическую безопасность проведения укрупненных и промышленных технологических опытов по подземному выщелачиванию золота.