

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА ДЛЯ ГИДРОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МОНГОЛИИ**

Опираясь на результаты промышленных и лабораторных исследований, обоснованы параметры выщелачивания урана и даны рекомендации по технологии разработки гидрогенных месторождений Монголии.

Спираючись на результати промислових і лабораторних досліджень, обґрунтовано параметри вилуговування урану і надані рекомендації з технології розробки гідрогенних родовищ Монголії.

Based on the results of industrial and laboratory research, substantiated uranium leaching parameters and recommendations for technology development hydrogenise oil fields in Mongolia.

Глобальный мировой кризис только усилил изменение мировых энергетических ориентиров в сторону ядерного топлива. Ежегодный рост добычи урана осуществляется на фоне исчерпания основных источников сырья – утилизированных в США и России боеголовок. Мировые разведанные запасы урана (без учета Монголии) составляют более 5 млн т, а обладатели уранового сырья расположены в следующем порядке. Австралия обладает 1234 тыс. т, Казахстан – 817, Россия – 545, ЮАР – 435, Канада – 423, США – 342, Бразилия – 278, Намибия – 275, Нигер – 274, Украина – 200, Иордания – 112 и Аргентина – 105. Разведанные запасы Монголии составляют 1475,0 тыс. т, интенсивная эксплуатация которых геотехнологическими методами гарантирует в ближайшее время лидирующие мировые позиции [1].

Существующий опыт эксплуатации урановых месторождений методом скважинного подземного выщелачивания показал, что безотказная работа геотехнологического оборудования эффективна в условиях плюсовых температур. Географическое расположение Монголии характеризуется континентальным климатом Средней Азии, где плюсовая температура фиксируется в летние месяцы, а максимальная зимняя температура превышает  $-50^{\circ}\text{C}$ . Бурение геотехнологических скважин и монтаж-демонтаж оборудования, работа с растворами и материалами в таких климатических условиях носит сезонный характер и обусловлена необходимостью их максимальной концентрации в летнее время года.

Вопросами усовершенствования параметров добычи минерального сырья геотехнологическими методами занимались исследователи и производители в различных климатических условиях континентов Земли. Обоснование путей интенсификации и концентрации горных работ на гидрогенных месторождениях Монголии, которая отличается сложными климатическими условиями и характеризуется высокой изменчивостью размеров и формы рудных тел, содержанием урана и количеством радиоактивных элементов в рудах, имеет актуальное значение в период стремительного промышленного развития страны [2].

Бурение вскрывающих скважин являлось основным видом промышленных исследований, применяемых на гидрогенных месторождениях урана в Монголии. Так, например, на месторождении «Ульзит» было пробурено около 25000 п.м. скважин. Большая часть этого объема приходилась на бескерновое

бурение с поинтервальным (каждые 2 м) отбором шлама. Около 10 % буровых работ выполнено с селективным или полным керноотбором. Учитывая лентообразную, вытянутую в меридиональном направлении форму месторождения и субгоризонтальное залегание рудных тел их разведка производилась системами вертикальных разрезов, расположенных вкрест простирания рудоносной зоны. Сеть буровых скважин на стадиях буровых работ была различной и сгущалась на основе стандартного метода последовательных приближений. На начальной стадии буровых работ проводилась заверка и изучение участков радиоактивных аномалий и зон с повышенным радиогеохимическим фоном неравномерной сетью буровых скважин. Единичные профили располагались вкрест простирания Ульзитинской депрессии, вблизи ее северо-западного обрамления. Шаг в профиле между скважинами определялся масштабом и характером развития оруденения и составлял 800–400 м со сгущением в благоприятной ситуации до 200–100–50 м. Глубина бурения составляла 50–100 м [3].

В дальнейшем весь седиментационный бассейн Ульзитинской депрессии подвергся специализированному изучению на поиск урановых месторождений. Проводилось поисково-рекогносцировочное бурение. Региональные профили буровых скважин ориентировались вкрест простирания впадины, по направлению наибольшей изменчивости литолого-фациального состава пород. Опорные структурно-картировочные скважины бурились с керном через 1600 и 800 м в профиле, с последующим сгущением в благоприятных обстановках до 400–100 м. Основным критерием определения глубины бурения являлось развитие окислительных процессов, контролирующих урановое оруденение с учетом благоприятной литолого-фациальной обстановки и гидрогеологических условий. Вследствие этого скважины бурились на глубину 150–250 м (до 320 м).

Лабораторные исследования являются одним из основных этапов научно-исследовательских работ по определению вещественного состава и свойств горных пород, которые выполнены на примере месторождения «Ульзит». Основной объем лабораторных работ приходился на обработку 359 керновых проб, отобранных из кернового материала на месторождении «Ульзит» в 2011 г. и обработанных в различных лабораториях Монголии, Канады и России [3].

Как видно из таблицы, основной объем лабораторных исследований приходится на изучение содержания радиоактивных элементов в керновых пробах и их спутников. 359 керновых пробы были обработаны высокоточным методом ICP+ICP/MS в канадской лаборатории «Actlabs», имеющей свой филиал в г. Улан-Батор. На сегодняшний день это единственная сертифицированная лаборатория на территории Монголии, обеспечивающая качественное и точное определения урана в пробах до 0,1 ppm. 43 дубликата проб были проанализированы для контроля качества в специализированной лаборатории ГП «Сосновгеология» (Иркутск, Россия). Данная лаборатория аттестована в России и имеет аккредитацию Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

Виды и лаборатории проведения исследований

№ п/п	Вид анализа	Кол-во проб	Привлекаемая лаборатория
1	ICP+ICP/MS на 62 элемента, включая уран и торий	359	Лаборатория «Actlabs» (Канада)
2	Рентгено-спектральный анализ на уран и торий	43	Центральная аналитическая лаборатория ГП «Сосновгеология» (Россия)
3	Рентгено-флуоресцентный анализ на уран	44	Центральная геологическая лаборатория (Монголия)
4	Радиометрический анализ радия в эквиваленте равновесного урана	43	Центральная аналитическая лаборатория ГП «Сосновгеология» (Россия)
5	Пламенно-фотометрический на калий	43	Центральная аналитическая лаборатория ГП «Сосновгеология» (Россия)
6	Химический анализ керновых проб	8	Центральная геологическая лаборатория (Монголия)
7	Изучение физико-механических свойств рудовмещающих пород	5	Компания «Жоншт-Уул ХХК» (Монголия)
8	Минералогический анализ	2	Центральная геологическая лаборатория (Монголия)
9	Опыт по лабораторному статическому выщелачиванию урана	4	
10	ICP-MS водных проб	3	Лаборатория «Actlabs» (Канада)
11	Химический анализ воды	19	Центральная геологическая лаборатория (Монголия)
12	Лазерно-люминисцентный анализ воды на уран	3	Центральная аналитическая лаборатория ГП «Сосновгеология» (Россия)
13	Спектральный анализ сухого остатка водных проб	3	Центральная геологическая лаборатория (Монголия)

Также для 44 дубликатов керновых проб проведен контрольный анализ методом XRF (рентгено-флуоресцентный анализ) в Центральной геологической лаборатории Монголии, обеспечивающий точность определения урана до 10 ppm. В целом данные контрольных испытаний, проведенных в Российской Центральной геологической лаборатории прекрасно коррелируются с результатами анализов лаборатории «Actlabs». В лаборатории ГП «Сосновгеология», были проведены анализы на радий и калий, необходимые для выяснения радиологических свойств руд. Другие виды исследований: такие как изучение химического и

минералогического составов рудовмещающих пород, их физико-механических свойств были проведены на базе Центральной геологической лаборатории Монголии и лаборатории компании «Жонш-Уул ХХК». Четыре керновых пробы были отправлены в Центральную геологическую лабораторию Монголии для проведения лабораторного опыта по выщелачиванию урана, о чем составлен соответствующий отчет.

Данные лабораторных анализов использовались для изучения качества и радиологических свойств руд. Результаты анализов на уран использовались также для контроля качества гамма-каротажа скважин, данные которого, в основном, применяются для определения параметров уранового оруденения. По результатам лабораторных исследований устанавливается наличие элементов-спутников урана и их концентрации в рудах, исходя из чего, определяется их практическая значимость. Кроме этого по данным анализов устанавливается наличие в рудах полезных компонентов и вредных примесей. В гидрохимических пробах, отобранных из вмещающих водоносных горизонтов, анализировался общий химический состав воды и определялось содержание урана. В сухих остатках водных проб установлен элементный состав солей, растворенных в воде.

Эксперименты, выполненные при натурном опыте подземного выщелачивания, показали возможность стабильного и достаточного динамичного процесса выщелачивания урана при непрерывной подаче техногенного окислителя (перекиси водорода) со средней концентрацией 0,06 г/л (100%), либо природного окислителя – трехвалентного железа. Высокая природная кислотность рудовмещающих пород ( $pH = 4-5$ ), определенная в процессе лабораторных исследований и при гидрогеохимическом опробовании подземных вод, указывает на выбор щадящего режима закисления горнорудной массы. При добыче урана закисление рекомендуется проводить растворами с концентрацией кислоты 10–15 г/л, а выщелачивание – растворами с концентрацией кислоты 8–12 г/л (рис. 1).

Для интенсификации процессов выщелачивания необходимо увеличить время взаимодействия рабочих растворов с горной массой. Это можно достичь при увеличении расстояния между рядами скважин до 30–50 м. Водопроницаемость горизонтов позволяет это успешно выполнить. На месторождениях с подобным геоморфологическим строением руд, широко применяется рядная схема расположения технологических скважин с соотношением расстояния между рядами и расстояния между скважинами в ряду 2:1. Это соотношение расстояний способствует более направленному движению растворов по линиям тока. Кроме того, позволяет вести процесс с более полным извлечением урана. Для месторождения «Хараат» рекомендована сеть для обводненного горизонта 30×15 (12,5) м. На месторождении «Гурван-Сайхан» также возможно использование подобной сети технологических скважин так как морфология рудных залежей и условия залегания этих месторождений вполне сопоставимы.

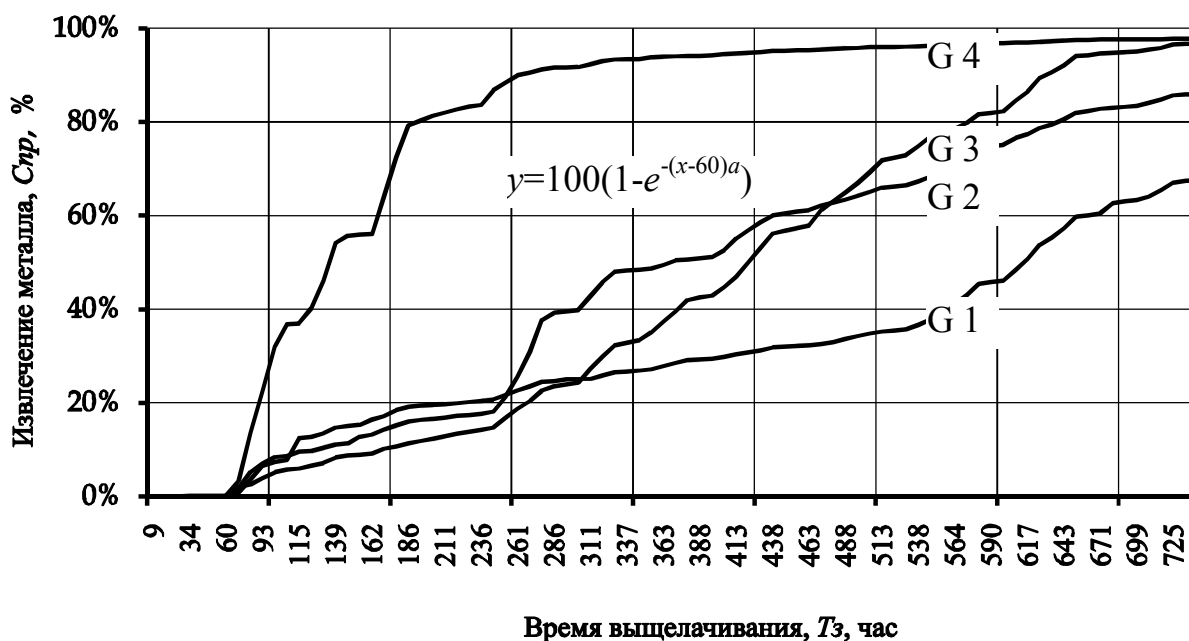


Рис. 1. Скорости выщелачивания урана при различной концентрации кислоты в растворе: G 1: 5 г/л + KCl<sub>3</sub>, G 2: 5 г/л, G 3: 10 г/л, G 4: 20 г/л

Зависимости, описывающие рациональную скорость выщелачивания урана имеют экспоненциальный вид

$$\hat{C}_{np} = 100(1 - e^{-(T_z - 60)\alpha}), \text{ г/л,}$$

где  $\alpha$  – скорость извлечения урана для обрабатываемого объема пород, 1/час.

Простое строение рудных тел с их ориентированным простиранием в плане и выдержанной мощностью, определяет выбор коаксиальной схемы разбивки залежи на добычные блоки. Ячейки закачных и откачных скважин должны располагаться вкрест простирания рудных тел с учетом направленности стока подземных вод, ориентированного вдоль рудовмещающей речной палеодолины. Уточнение расположение сети технологических скважин будет определено в процессе выполнения подготовительных работ, проводимых перед началом добычи.

К настоящему времени на месторождении «Ульзит» локализована и разведана одна рудная залежь, характеризующаяся промышленными запасами. По результатам геологоразведочных работ оценены ресурсы урана. Проведена предварительная разведка, по результатам которой определены запасы урана промышленной категории С, пригодные для подземного выщелачивания скважинным методом. Эти запасы составляют 2611,8 т. Объем запаса вполне достаточно для начала эксплуатации этого объекта. Также реален существенный прирост запасов по южной части месторождения и его северным флангам.

Геотехнологические параметры по результатам промышленных, лабораторных и теоретических исследований, определенных для месторождения «Ульзит»

Технологический параметр	Ед. изм.	G 1	G 2	G 3	G 4
Содержание урана в руде	ppm	295,4	134,7	29,0	9,40
Первичное расчетное содержание урана в руде	ppm	398,0	103,7	13,58	9,34
Масса сухого образца	г	2500			
Тип применяемого выщелачиваемого реагента	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
Доза выщелачиваемого реагента	г/л	5,0		10,0	20,0
Окислительный реагент	тип	KCl <sub>3</sub>	-		
Дозировка окислительного реагента	г/м <sup>3</sup>	28,57			
Объем полученного обогащенного раствора	мл	271774,0	281719,0	276105,0	283073,0
Отношение руды к раствору	□ ratio	0,18	0,19		
Время выщелачивания	мин.	44585	44357	44568	44942
	ч	743	739	743	749
	сут.	31			
Скорость текучести раствора	мл/мин	6,10	6,35	6,20	6,30
	м/сут.	2,0	2,1	2,0	2,1
Выщелоченный уран	мг	1,6	2,3	3,3	2,3
Суммарное полученное количество урана	ppm	5,9	9,4	12,0	8,2
Средний кислотно-щелочной баланс <i>pH</i>	-	1,36	1,34	1,2	1,08
Средний <i>ORP</i>	mV	437,0	376,07	363,6	373,6
<b>Извлечение металла</b>	%	<b>67,6</b>	<b>86,0</b>	<b>96,7</b>	<b>97,8</b>

План отработки месторождения «Ульзит» предусматривает организацию модульного добычного участка, на котором будет проводиться добыча урана, отсадка его на смолах с дальнейшим получением насыщенных растворов. Переработка растворов и получение готовой продукции в виде окиси-закиси урана планируется на месторождении «Хайрхан», где будет работать завод по обогащению урана. Расстояние между участками месторождений «Ульзит» и «Хайрхан» составляет 420 км. Такая схема отработки месторождения с начальной производительностью 100 т/год с дальнейшим увеличением до 200 – 300 т/год представляется вполне рентабельной.

Перед началом эксплуатации на месторождении «Ульзит» необходимо проведение подготовительных работ, направленных на детальное изучение эксплуатационных блоков. В процессе выполнения подготовительных работ будет более тщательно изучаться характер распределения урана в рудах, динамика подземных вод, гидрогеологические характеристики вмещающих пород, технологические свойства руд и другие параметры. Этот этап работ является обязательным на месторождениях, эксплуатация которых предусматривается способом подземного выщелачивания. По результатам подготовительных работ уточняется схема расположения закачных и откачных скважин, их конструкция и глубина, рассчитываются дебиты скважин и исходя из этого определяется производительность фильтрационной установки по растворам. Также решается ряд других вопросов, связанных с технологическим процессом добычи.

Таким образом, к настоящему времени на месторождении «Ульзит» разведана одна рудная залежь, запасы которой достаточны для организации первой очереди добычных работ. На месторождении имеются реальные перспективы прироста запасов урана, что обеспечит дальнейшее развитие добычи. Основная часть рудного поля месторождения «Ульзит» подготовлена для детальных предэксплуатационных работ по доскональному изучению геотехнологических параметров и последующего ввода этого объекта в добычную стадию наряду с другими месторождениями урана Монголии: «Хараат», «Хайрхан» и «Гурван-Сайхан».

#### Список литературы

1. Ценджав, Л. Монгол улсын ураны үйлдвэрлэл, Цөмийн эрчим хүчний салбарын Өнөөгийн байдал, хөгжлийн хэтийн төлөв / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Уул уурхайн сэтгүүл. Улаан-Баатар: ШУТИС-ийн УУИС – 2011. – №. 1. – Х. 25 – 29.
2. Ценджав, Л. Современное состояние и тенденции развития урановой отрасли Монголии [Текст] / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // «Школа подземной разработки»: междун. науч.-техн. конф. Ялта: Арт-Пресс – 2011. – С. 122 – 125.
3. Ценджав, Л. Исследование условий залегания, состава и свойств урановых месторождений Монголии [Текст] / О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // «Форум гірників» Міжн. наук.-практ. конф. Дніпропетровськ: РВК НГУ, – 2012. – Т. 1. – С. 120 – 125.

*Рекомендовано до публікації д.т.н Бондаренком В.І.  
Надійшла до редакції 03.04.2013*