

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЗАЛЕГАНИЯ, СОСТАВА И СВОЙСТВ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МОНГОЛИИ

*О.Е. Хоменко, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина  
Л. Ценджав, Монгольский государственный университет науки и технологии, Монголия*

Представлены результаты промышленных и лабораторных исследований условий залегания, состава и свойств урановых месторождений Монголии. Выполнены механические, геофизические и геохимические исследования вещественных и радиологических свойств урановых руд.

**Введение.** Глобальный мировой кризис только усилил изменение мировых энергетических ориентиров в сторону ядерного топлива. Ежегодный рост добычи урана осуществляется на фоне истощения основных источников сырья – утилизированных в США и России боеголовок. Мировые разведанные запасы урана 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. Прогнозные запасы Монголии составляют 1225,9 тыс. т, интенсивная эксплуатация которых гарантируют лидирующие мировые позиции в ближайшие 10 лет [1].

**Выделение нерешенной проблемы.** Мировой опыт эксплуатации урановых месторождений методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) показал, что производительность скважин в процессе их эксплуатации интенсивно снижается по причине коагуляции – засорения фильтров и прилегающих зон. От степени засорения скважин зависит время их безремонтной работы, порядка подачи реагентов, технологических простоев и ремонтов. Эта проблема наиболее актуально проявляется на монгольских гидрогенных месторождениях, которые имеют сложные горно-геологические условия залегания с содержанием урана в рудах от 0,01 до 0,074%. Быстрый ввод в эксплуатацию и стабильная разработка урановых месторождений Монголии рациональна с применением метода СПВ при оптимизации схем заложения эксплуатационных скважин, которые учитывают качественный состав руд [2].

Вопросами освоения месторождений с применением геотехнологических методов разработки занимались И.О. Кириченко, Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, Е.И. Шемякин, Д.П. Лобанова, Ю.Д. Дядькин, П.А. Кулле, П.Ф. Скафа, Г.И. Каравайко, А.И. Калабин, П.И. Дудко, А.М. Гайдин, Б.В. Исмагилов, Д.Н. Шпак, Л.И. Лунев, Н.И. Бабичев, Г.Х. Хчяян, О.В. Колоколов, Н.М. Табаченко, И.А. Садовенко, Д.В. Рудаков и др. Отсутствие научного обоснования при выборе схем заложения эксплуатационных скважин на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями приводят к снижению параметров извлечения и перерасходу затрат на ремонтные работы. Таким образом, обоснование геотехнологических параметров разработки урановых месторождений Монголии путем установления взаимосвязи между содержанием полезного компонента и расположением эксплуатационных скважин имеет актуальное значение в период стремительного промышленного развития страны [3].

**Основной материал. Механические исследования** выполнялись основным методом, методом буровых скважин. Буровые работы выполнялись совместно с двумя буровыми компаниями. Компания «Ord Geo» производила бурение на Ульдзуйтинском участке, компания «Tapan Impex» последовательно выполняла работы на Хайрханской, Гурван-Сайханской и Чойренской площадях. Обе компании в работе использовали по одному буровому станку колонкового бурения. Используемая технология буровых работ не отличалась от применяемых в предыдущие годы. Основные объемы бурения выполнены сплошным забоем без подъема керна, при этом через каждые 2 м проходки скважин производился отбор проб шлама. Отбор керна производился только по рудным залежам при бурении гидрогеологических скважин на Гурван-Сайханской площади. Глубина бурения варьировалась в широких пределах от 70 до 250 м. На разных участках и площадях глубина скважин была разной, что опре-

делялось решением различных геологических задач. Диаметр скважин составлял 93 – 112 мм. В качестве промывочной жидкости, в основном, применялся глинистый раствор с использованием полимеров, что в условиях рыхлого осадочного разреза обеспечивало лучшую устойчивость стенок скважин. В некоторых случаях, в условиях рыхлого, неустойчивого разреза, скважины обсаживались стальными трубами. Все гидрогеологические скважины были обсажены пластиковыми трубами, на исследуемые интервалы были установлены пластиковые фильтры. В 2010 г. совместно с компанией «Denisonmines Mongolia» были выполнены геологоразведочные работы на уран в Гобийском районе Монголии в рамках совместного проекта Монголо-Российско-Американского предприятия «Гурван-Сайхан». Из-за ограниченного финансирования полевые работы выполнены в сжатые сроки (2 месяца) с использованием небольших объемов буровых работ. Тем не менее, в соответствии с требованиями законодательства Монголии, они проведены на всех 6-ти лицензионных площадях, принадлежащих СП «Гурван-Сайхан».

Таблица 1

Объемы буровых работ

Наименование площадей	Единица измерения	Объем бурения, м
«Хайрханская»	п.м.	653,5
«Чойренская»	п.м.	591,2
«Ульдзуйтинская»	п.м.	3033,4
«Гурван-Сайханская»	п.м.	1355,8
Всего	п.м.	5633,9

Буровые работы производились по контракту с двумя монгольскими буровыми компаниями «Tanap Imprex» и «Ord Geo». Во всех пройденных скважинах проведены геофизические исследования, включая гамма- и электрокаротаж. Данные исследования выполнялись совместно с монгольской геофизической компанией «Geosan». Обработка керновых и геохимических проб производилась в канадской лаборатории «Actlabs». Лабораторные исследования проб выполнены в этой же лаборатории. Некоторые виды анализов выполнялись также в Центральной аналитической лаборатории Монголии и в Российской лаборатории компании «Сосновгеология». Кроме основных геологоразведочных работ на участках «Харат» и «Хайрхан» продолжались геоэкологические исследования, которые сводились к постоянному мониторингу воздушных и водных сред на участках месторождений и на территории базовых лагерей. Работы проводились совместно с австралийской компанией «Quaterra Mongolia».

В результате проведенных исследований на участке «Гурван-Сайхан» определены основные параметры рудной залежи № 1, установлены геологические и гидрогеологические условия залегания рудных тел. По результатам работ подсчет запасов урана категории С по залежи №1 и прогнозных ресурсов категории Р<sub>1</sub> по остальным рудным залежам, предварительная оценка которых выполнена ранее. На Хайрханской площади по данным глубокого бурения установлены перспективы прироста запасов урана месторождения «Хайрхан» на западном его фланге на глубине свыше 100 м. В пределах Чойренской площади, на северо-восточном фланге месторождения «Харат» бурением сформированы новые рудные профили, которые наряду с ранее полученными результатами в 2008 и 2009 гг., свидетельствуют о выявлении здесь новой рудной залежи, характеризующейся промышленными запасами урана.

**Геофизические исследования** проводились во всех пробуренных скважинах. Они включали исследования с помощью методов гамма- и электрокаротажа. Работы выполнялись, как и в предыдущие годы, по контракту монгольской компанией «Geosan». Применяемый аппаратный комплекс, методика проведения каротажа и обработки полученных данных за последние 5 лет – не изменялись. Контроль чувствительности аппаратуры осуществлялся путем проведения повторного каротажа контрольной скважины, расположенной на месторождении «Хайрхан», а также путем контрольных замеров от радиоактивного ториевого источника. Следует отметить, что за последние годы в компании «Geosan» не производился ремонт ка-

ротажной аппаратуры и калибровка ее на стандартных рудных моделях. Это обстоятельство вызывает беспокойство основных исполнителей геологоразведочных работ, ведущих поиски и разведку урановых месторождений, поскольку от качества и стабильности работы аппаратуры зависит эффективность проводимых исследований и, главное, объективность подсчета запасов урана на рудных объектах.

Керновое опробование было проведено на участке «Гурван-Сайхан». Пробы отобраны из рудного керна трех гидрогеологических скважин. Отбор проб осуществлялся по общепринятой методике, целесообразность которой подтверждается результатами предыдущих исследований. Всего на участке было отобрано 27 керновых проб. В этих же гидрогеологических скважинах взяты водные пробы из водоносных горизонтов, вмещающих рудные залежи. На площади «Урт-Цав» в этом году было проведено геохимическое опробование поверхности. Пробы отбирались по трем профилям, проложенным вкрест простирания рудной зоны, с шагом 100 м. Отбор проб массой 300 – 500 г производился из подпочвенного слоя в закопушках глубиной 0,2 – 0,3 м. В пробу отбиралась песчано-глинистая фракция. Всего на участке было отобрано 99 проб. Обработка керновых и геохимических проб производилась в Улаанбаатаре в канадской компании «Actlabs Asia» LLC по стандартной методике, включающей дробление, истирание, перемешивание и сокращение проб.

Таблица 2

Результаты геофизических исследований

Номер профиля (скважины)	Глубина залегания рудных тел, $H$ , м	Количество рудных тел, шт.	Мощность рудных тел, $m$ , м	Содержание урана в руде, $U$ , %
Месторождение «Хайрхан»				
(33377)	18 – 100	5	1,4 – 2,4	0,018 – 0,043
(33378)	30 – 50	2	2,1 – 2,4	0,018 – 0,026
(33379)	70 – 195	10	1,0 – 6,1	0,012 – 0,027
Чойренская площадь				
7	28 – 800	5	0,8 – 5,9	0,013 – 0,069
Месторождение «Гурван-Сайхан»				
19	25 – 30	3	1,3 – 1,4	0,017 – 0,019
	45 – 60	3	0,8 – 1,0	0,023 – 0,059
23	25 – 35	1	0,9 – 3,5	0,022 – 0,036
	60 – 70	1	1,1 – 1,6	0,020 – 0,071
25	45 – 65	2	1,5 – 4,7	0,015 – 0,031
		1	0,9	0,074
Ульдзуйтинская площадь				
49	30 – 200	2	0,2 – 7,0	0,01 – 0,05
70	165 – 180	1	0,4 – 0,6	0,013 – 0,032
	70 – 170	2	1,0 – 1,8	0,014 – 0,062
71	33 – 171	3	0,8 – 3,0	0,015 – 0,028

**Геохимические исследования** проводились в 2010 г. совместно с компанией «Denison mines Mongolia» где были выполнены геологоразведочные работы на всех, лицензионных площадях. На Гурван-Сайханской площади проведена предварительная разведка одной из ранее выявленных рудных залежей. На Ульдзуйтинской, Хайрханской и Чойренской площадях продолжены поисковые работы в пределах перспективных участков. На площади «Урт-Цав» выполнено профильное геохимическое опробование поверхности. В состав работ входило бурение скважин и геофизические исследования в них. На Гурван-Сайханской площади кроме этого выполнено бурение 3 гидрогеологических скважин, в которых проведены исследования и отобраны керновые и водные пробы. В различных лабораториях проведены физические исследования керновых, геохимических и водных проб.

Работы выполнялись в соответствии с разработанными и утвержденными в предисследовательский период проектами и планами. Все керновые и геохимические пробы проанализированы в Канадской лаборатории «Actlabs» методом ICP+ICP/MS. Данный метод позволяет определить в пробах содержания 62 элементов, в том числе уран и торий с точностью 0,1 ppm. Выборка из 30 рудных керновых проб, отобранных в 2009 – 2010 гг. на участке «Гурван-Сайхан», проанализирована радиохимическим методом на радий с целью изучения радиоактивного равновесия руд данного участка. Анализы на радий выполнены в Российской специализированной на радиоактивные элементы лаборатории компании «Сосновгеология» (г. Иркутск). Выборка проб, составлена из ранее анализированных проб на уран в лаборатории «Actlabs» и представляет разные классы руд с содержаниями урана 0,01 – 0,04%, 0,05 – 0,10% и свыше 0,10%. Кроме этого, по этим же пробам сделаны контрольные анализы на уран рентгеноспектральным методом для контроля качества анализов Канадской лаборатории. В лаборатории «Сосновгеологии» проанализированы также водные пробы на уран лазерным методом. В центральной аналитической лаборатории Монголии выполнены химический анализ водных проб и спектральный анализ сухого остатка. В состав топогеодезических работ в 2010 г. входила разбивка профилей поискового и разведочного бурения, и привязка скважин. На участке «Урт-Цав» для проведения поверхностного геохимического опробования также выполнялась разбивка профилей и привязка точек отбора проб. Работы осуществлялись геологами с помощью приборов спутниковой навигации GPS «Garmin».

Месторождение «Хайрхан» является типичным гидрогенным рудным объектом, формирование оруденения на котором связано с проявлением зон поверхностного, грунтового и субпластового окисления осадков. Рудовмещающие отложения на месторождении представляют собой сложнопостроенную пачку переслаивания песков, глин, алевроитов и бурых углей, в значительной степени осложненную наложенной дизъюнктивной тектоникой и эпигенетическими процессами (карбонатизация, гематитизация, сульфидизация и т.д.). По минеральному составу вмещающие осадочные породы соответствуют аркозовым разностям альбито-ортоклазо-кварцевого типа с монтмориллонитовым цементом типа соприкосновения и выполнения пор. В виде обломков в породах отмечаются гидрослюда, биотит, мусковит, а также каолинит, псевдоморфно заместивший полевые шпаты. По содержанию основных петрогенных элементов руды месторождения «Хайрхан» относятся к алюмосиликатным (содержание кремнезема 69,5 – 78,3%, глинозема 8,7 – 11,9%). Они характеризуются низкими содержаниями  $Fe_2O_3$  (1,3 – 2,68%), FeO (0,2 – 0,76%). Содержание серы – 0,12 – 1,94%, основная доля ее концентрируется в сульфидах. Содержание углерода органического происхождения – 0,25 – 1,56%.

Из радиологических свойств руд, определяющих методику проведения и интерпретации разведочного гамма-каротажа, в настоящей работе рассматриваются лишь предварительные результаты анализа состояния радиоактивного равновесия между ураном и радием, так как к настоящему времени выполнены только соответствующие лабораторные результаты. На месторождении «Хайрхан» на равновесие апробированы 10 скважин, из которых отобраны 280 частных керновых проб. Пробы отобраны из интервалов со 100%-ым выходом керна, длина пробы колебалась от 0,1 до 0,9 м, в среднем около 0,3 м.

Результаты лабораторных анализов урана и радия, расчетов  $K_{pp}$  показывают, что среднее взвешенное значение  $K_{pp}$  для месторождения составляет 0,93. Использованное при обработке гамма-каротажа среднее значение  $K_{pp}$ , равное 1,0, гарантирует определение средних параметров уранового оруденения с 5%-ым запасом прочности. Анализ аномальных по величине  $K_{pp}$  проб ( $K_{pp}$  больше 2,0) показывает, что 5 проб отвечают условиям с безрудными концентрациями урана и радия, где из-за низких анализируемых концентраций возможны большие погрешности в  $K_{pp}$  за счет лабораторных ошибок; 4 пробы представлены рудными концентрациями, в этих пробах фиксируются локальные сдвиги равновесия; 16 проб отвечают условиям с безрудными концентрациями урана и рудными радия, что свидетельствует о вероятном наличии на месторождении радиевых ореолов.

Анализ корреляционной связи  $K_{pp}$  и содержания радия

Класс содержания Ra	Объем проб/м	Содержание Ra, %	МС радия	МС урана	$K_{pp}$ в классе
0,0025 – 0,0100	34/10,2	0,007	0,0695	0,0578	1,20
0,0101 – 0,0200	59/16,7	0,015	0,2439	0,1927	1,27
0,0201 – 0,0300	40/14,2	0,026	0,3627	0,4009	0,90
0,0301 – 0,0400	33/12,7	0,035	0,4439	0,4169	1,06
0,0401 – 0,0500	24/7,7	0,045	0,3469	0,3478	1,00
0,0501 – 0,0700	27/10,8	0,059	0,6397	0,6127	1,04
0,0701 – 0,1000	16/4,5	0,082	0,3702	0,3903	0,95
0,1001 – 0,2000	28/9,1	0,136	1,2391	1,3328	0,93
> 0,2000	18/5,9	0,736	4,3415	4,8790	0,89

Как видно из таблицы, в первых 2-х классах содержания радия (менее 0,02%) руды характеризуются небольшим сдвигом равновесия в сторону радия ( $K_{pp} = 1,20 - 1,27$ ). Для диапазона концентраций до 0,1% наблюдается практическое равновесие, в рудах с концентрациями радия более 0,1% равновесие сдвинуто в сторону урана. Результаты этого анализа также свидетельствуют о вероятном существовании на месторождении радиевых ореолов. Кроме того, для интерпретации рудных интервалов с концентрациями более 0,1% необходим учет недостатка радия.

Для оценки величины бортовой концентрации радия, соответствующей в радиологических условиях месторождения принятому бортовому содержанию для урана (0,01%), выполнен анализ кровель и почв рудных залежей. Этот анализ выполнен согласно рекомендаций «Инструкции по ГК...». Приведенные результаты также подтверждают наличие на месторождении радиевых ореолов – средние бортовые концентрации радия составляют для кровель и почв соответственно 0,016 и 0,015%. Закрывая анализ радиоактивного равновесия между ураном и радием на месторождении «Хайрхан», можно сделать выводы о широком диапазоне (0,2 – 0,10%) концентраций руды являются равновесными; для достоверного изучения наметившихся особенностей равновесия в области бортовых концентраций и богатых руд необходимы дополнительные целенаправленные радиологические исследования.

На площади «Урт-Цав» в пределах ранее установленной бурением минерализованной зоны было проведено поверхностное геохимическое опробование. Основной целью этих работ являлось выяснение возможности данного метода на выявление признаков слабо проявленного или не проявленного с поверхности гидрогенного уранового оруденения во впадинах. Опробование было проведено по профилям, проложенным вкрест простирания минерализованной зоны и вдоль буровых профилей. Расстояние между ними составило 1600 м. Шаг опробования по профилю – 100 м. Пробы отбирались из подпочвенного слоя в закопашках глубиной 0,2 – 0,3 м. Материал опробования – песчано-глинистая фракция. Обработка проб и их аналитические исследования осуществлялись в Канадской лаборатории «Actlabs». Пробы были проанализированы методом ICP+ICP/MS на 62 элемента. Для обработки и анализа было отобрано 26 элементов, в том числе: U, Th, Be, Na, Ca, Sc, Cr, Ni, As, Se, Zr, Cs, Ba, Nd, Zn, La, Ce, Y, Cd, Mo, Pb, Cu, Yb, Co, V, Ga. Выбор данных элементов связан с тем, что некоторые из них являются элементами – спутниками урана на известных гидрогенных урановых месторождениях. Это такие элементы как Th, Sc, As, Se, Zn, La, Ce, Y, Mo, Pb, Cu, Yb, V. Другие элементы образуют определенные корреляционные связи с ураном при различных рудообразующих процессах. По всем отобраным элементам были построены карты ореолов их распределения на участке опробования.

Таким образом, в результате проведенных лабораторных исследований по геохимическому опробованию на участке «Урт-Цав» установлено, что выделенная здесь ранее бурением ураноносная зона фиксируется не только повышенными концентрациями урана, но некоторых других элементов, в том числе Th, Rb, Cs, Cu, Zn, Pb, Ni, V. Данные элементы имеют корреляционные связи с ураном на исследуемой площади и могут служить индикаторами

гидрогенного рудообразующего процесса. В последующем геохимический метод наряду с автогамма-спектрометрической съемкой можно использовать в качестве опережающего метода при поисках слабопроявленного или непроявленного с поверхности гидрогенного уранового оруденения на новых площадях и на флангах известных проявлений урана в Гобийском районе Монголии.

**Вывод.** В результате выполнения промышленных и лабораторных исследований условий залегания, состава и свойств урановых месторождений Монголии были установлены механические, геофизические и геохимические исследования вещественных и радиологических свойств руд, которые позволят усовершенствовать технологические схемы скважинного подземного выщелачивания при снижении засорения фильтров и прилегающих зон.

#### Список литературы

1. Khomenko O. The first Ukrainian corporative university / O. Khomenko, D. Rudakov // Scholl Underground Mining: New techniques and technologies in mining. – Netherlands: CRC Press Balkema, 2010. – P. 203 – 206.
2. Хоменко О.Е. Современное состояние и тенденции развития урановой отрасли Монголии / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Л. Ценджав / Школа підземної розробки: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Ялта: Арт-Пресс, 2011. – С. 122 – 125.
3. Билэгсайхан Ж. Монгол улсын ураны үйлдвэрлэл, Цөмийн эрчим хүчний салбарын Өнөөгийн байдал, хөгжлийн хэтийн төлөв / Ж. Билэгсайхан, О.Е. Хоменко, Ц. Лхагва // Уул уурхайн сэтгүүл. Улаан-Баатар: ШУТИС-ийн УУИС, 2011. – № 1. – Х. 25 – 29.