

УДК 622.349.5

**Д.С. Антонов, З.А. Искаков, Ю.С. Александров,
А.С. Мукушева, Е.Е. Жатканбаев**

ИССЛЕДОВАНИЕ УРАНОНОСНЫХ ПЕСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИНКАЙ

Представлены результаты лабораторных исследований образцов руды месторождения Инкай. Изучен гранулометрический, химический и минералого-петрографический состав руды, проведены лабораторные испытания по выщелачиванию урана из рудоносных песков, исследовано влияние серной кислоты и её концентрации на скорость процесса выщелачивания урана.

Ключевые слова: уран, подземное выщелачивание, месторождение, коффинит, уранил, кольматационный эффект.

В основных направлениях развития НАК «Казатомпром» предусмотрено на основе достижений науки и техники обеспечить наращивание мощностей по выпуску урановой продукции.

Проектирование добычных полигонов предприятий подземного выщелачивания, ввод в эксплуатацию новых участков месторождения требует сбора ряда данных, характеризующих месторождение, постоянного изучения, подбора наиболее выгодных условия осуществления производства.

Технологические исследования керна являются обязательной частью в общем комплексе проектных решений предприятий подземного выщелачивания. Основное назначение исследований сводится к получению геотехнологических показателей, которые используются в качестве исходных данных для проектирования опытно-промышленного комплекса по добыче урана способом подземного выщелачивания.

Шу-Сырасуйская урановорудная провинция, в состав которой входит

месторождения Инкай, расположена в Южно-Казахстанской области Республики Казахстан [1].

Месторождение Инкай относится к гидрогенному типу, было открыто в 70-х годах XX века, частично разрабатывалось в 80-х годах, после чего было законсервировано. С 2007 года эксплуатация месторождения возобновляется.

В настоящей работе представлены результаты лабораторных исследований образцов руды месторождения Инкай. Изучен гранулометрический, химический и минералого-петрографический состав руды, проведены лабораторные испытания по выщелачиванию урана из рудоносных песков, исследовано влияние серной кислоты и её концентрации на скорость процесса выщелачивания урана, исследовано влияние добавок окислителей (Fe^{3+} , H_2O_2) на процесс выщелачивания урана.

В работе были использованы следующие методы исследований: ситовой анализ, фракционирование в дистиллированной воде, микроско-

Таблица 1

Гранулометрический состав технологической пробы месторождения Инкай

Фракция, мм										
+10,0	-10,0 +7,0	-7,0 +5,0	-5,0 +3,0	-3,0 +2,0	-2,0 +1,0	-1,0 +0,5	-0,5 +0,25	-0,25 +0,1	-0,1 +0,05	-0,05
Содержание, %										
5.1	3.3	5.1	9.3	9.7	19.7	3.1	20.3	18.8	4.5	1.0

Таблица 2

Химический состав технологической пробы месторождения Инкай

Компонент	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	U ₃ O ₈
%	82.9	0.2	6.3	2.6	0.6	0.02	2.2	0.3	0.072
Компонент	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S _{общ}	CO ₂	C _{орг.}	Влага	∑	
%	0.9	2.2	0.03	0.4	0.5	0.3	0.2	99.6	

Таблица 3

Средний минеральный состав технологической пробы месторождения Инкай

Минералы	%
Кварц SiO ₂	66.7
Калиевый полевой шпат KAlSi ₃ O ₈	13.1
Полевые шпаты (плаггиоклаз) NaAlSi ₃ O ₈	8,3
Каолинит [Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄]	4.0
Слюды (мусковит) [K ₂ Al ₄ (Si ₆ Al ₂ O ₂₀)(OH,F) ₄]	2.2
Кальцит (возможно Mg-кальцит) [Ca,Mg(CO ₃) ₂]	2.8
Минералы железа	2,9
Минералы урана	0.072

пия, оптико-петрографический анализ, рентгенофазовый анализ, рентгеноспектральный анализ, гамма-спектрометрия, химические методы. Обобщённые результаты анализов представлены в табл. 1—3.

На месторождении Инкай рудное тело представлено средне и крупно-зернистым песком с примесью гальки и преобладающим размером частиц -2 +0,1 мм.

Минеральный состав руд, как и вмещающих пород, складывается из кварца, полевых шпатов и обломков кремнистых и алюмосиликатных пород, т.е. устойчивых (кварц, кремнистые породы) и менее устойчивые (полевые шпаты, алюмосиликатные породы) к воздействию кислых и щелоч-

ных реагентов используемых в практике подземного выщелачивания [1; 2]. Уран представлен в основном настураном, отмечается коффинит.

Низкое содержание карбонатов в руде свидетельствует о том, что наиболее подходящим выщелачивающим реагентом, в данном случае является серная кислота. Поэтому дальнейшее опробование керна на выщелачивание урана проводили серной кислотой.

Для определения геотехнологических параметров влияющих на процесс подземного выщелачивания урана была проведена серия экспериментов. Лабораторные исследования по выщелачиванию урана проводились в фильтрационных трубках по

Таблица 4
Состав исходных выщелачивающих растворов

№ опыта	Концентрация (H ₂ SO ₄), г/л	Окислитель
1	5	
2	10	
3	20	
4	30	
5	40	
6	5→30	
7	30	Fe ³⁺ 1 г/л

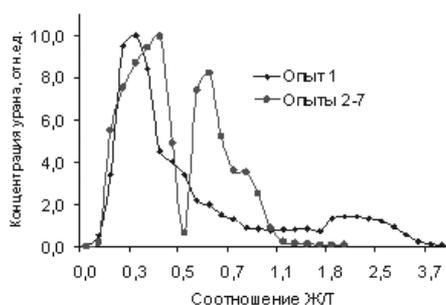


Рис. 1. Зависимость изменения концентрации урана в продуктивных растворах от Ж:Т

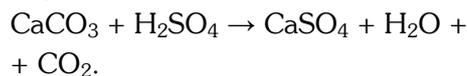
стандартной методике изложенной в работах [2; 3].

Состав выщелачивающих растворов на стадии закисления представлен в табл. 4. В процессе выщелачивания концентрацию серной кислоты в выщелачивающем растворе постепенно снижали (кроме опыта 1), так чтобы обеспечить на выходе величину рН продуктивных растворов 2,0 — 2,5. В опыте 6 выщелачивание проводилось в «мягком» режиме — постепенное увеличение кислотности выщелачивающего раствора с 5 до 30 г/л, и затем, снижая до 3 г/л. В опыте 7 определяли влияние окислителей на процесс выщелачивания, в качестве окислителя использовали ионы трёхвалентного железа, окисленные перекисью водорода.

На рис. 1 представлена зависимость изменения концентрации урана в отбираемых пробах продуктивных растворов от Ж:Т. Кривая полученная в результате проведения опыта 1 имеет один пик с максимальной концентрацией урана при рН = 7.5-8.5, также в этот период в растворах обнаружено наличие бикарбонат ионов HCO₃⁻, что очевидно соответствует выщелачиванию урана по кислотно-бикарбонатному механизму (см. ниже).

Вторая кривая (опыты 2—7) характеризует изменение концентрации урана в продуктивных растворах в процессе выщелачивания в опытах 2-7. При этом частные зависимости имеют аналогичный вид, поэтому на рисунке показана усреднённая кривая, объединяющая зависимости каждого опыта, в которых процесс выщелачивания сопровождается появлением двух пиков с максимальной концентрацией урана в продуктивных растворах.

Появление первого пика на выходной кривой (опыты 2—7) концентрации урана соответствует рН продуктивных растворов 7.5—8.5. Также во время первого пика в продуктивных растворах обнаружено наличие бикарбонат ионов HCO₃⁻, которые образуют с ионами уранила хорошо растворимые комплексные соединения. Вероятно, в данном случае имеет место выщелачивание урана по кислотно-бикарбонатному механизму, когда при введении в трубку разбавленной серной кислоты происходит взаимодействие последней с карбонат содержащими вмещающими породами [2]:



Образующийся диоксид углерода растворяется в воде с образованием

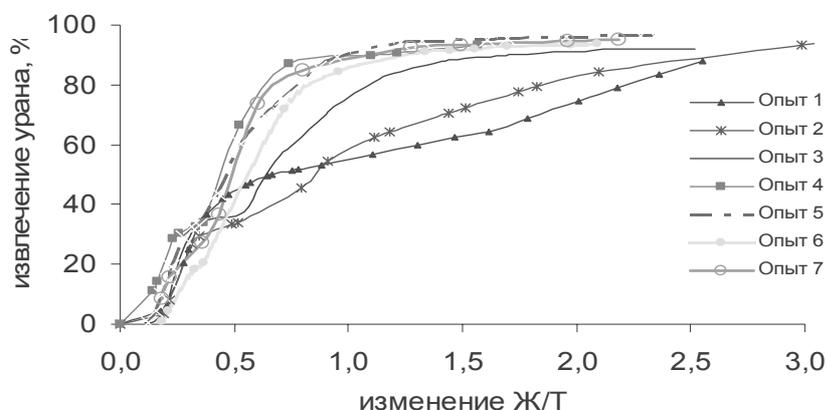


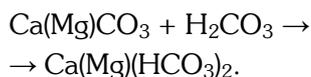
Рис. 2. Зависимость степени извлечения урана от Ж:Т

Таблица 5

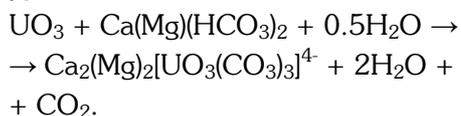
Средняя скорость фильтрации выщелачивающего раствора через слой руды на различных стадиях выщелачивания

Опыт	Средняя скорость фильтрации, м/сут		
	Защелачивание	Выщелачивание	Довыщелачивание
1	0,07—0,08	0,15—0,18	0,15—0,18
2	0,08	0,22—0,24	0,22—0,24
3	0,08	0,22—0,24	0,22—0,24
4	0,08	0,26—0,28	0,26—0,28
5	0,05—0,06	0,22—0,23	0,22—0,23
6	0,09	0,23—0,24	0,23—0,24
7	0,09	0,23—0,24	0,23—0,24

угольной кислоты, которая также взаимодействует с карбонатами вмещающих пород:



И далее взаимодействие идет по уравнению



Второй пик (pH=3,5-2,5) соответствует выщелачиванию урана по кислотному механизму, когда произошло взаимодействие кислоты с рудовмещающими породами и началось

растворение минералов урана в серной кислоте.

На рис. 2 представлена зависимость степени извлечения урана от Ж:Т. Из графика видно, что наилучшие показатели по выщелачиванию урана получены при использовании выщелачивающих растворов с концентрацией серной кислоты 30 г/л и выше. Однако увеличение концентрации кислоты с 30 до 40 г/л приводит к незначительному возрастанию скорости выщелачивания урана. При использовании выщелачивающих растворов с концентрацией серной кислоты 5 г/л скорость выщелачивания урана низкая.

Использование растворов с концентрацией серной кислоты 5 г/л не позволяет получить в процессе выщелачивания двух максимумов на кривой концентрации урана в продуктивных растворах (см. рис. 1, опыт 1), что и является причиной низкой скорости перехода урана из руды в раствор.

В опыте 6, где закисление проводилось в «мягком» режиме, скорость выщелачивания достаточно высокая и позволяет несколько уменьшить кольматационные эффекты. Цель данного опыта — снизить химическую кольматацию возникающую в период закисления.

Применение окислителей повышает степень извлечения урана на 1,28 %.

В табл. 5 представлены величины средней скорости фильтрации выщелачивающего раствора через слой руды на различных стадиях выщелачивания. Во всех опытах в период закисления наблюдается временная кольматация, которая затем исчезает. Очевидно в этот период кислые растворы, обогатённые железом и алюминием в результате реакции с породами, продвигаясь по направлению к выходу, нейтрализуются за счёт взаимодействия с новыми объёмами пород, и гидроксиды железа и алюминия вследствие увеличения в растворах концентрации ионов OH^- выпадают в осадок.

Выпавшие в осадок гидроксиды из-за весьма рыхлого характера осадка и ухудшают проницаемость пробы, что выражается в снижении объёмов отбираемых проб продуктивных растворов. Однако последующими порциями более кислых растворов, нейтрализуемыми в прогрессивно уменьшающейся степени, выпавшие гидроксиды вновь растворяются, так что через некоторое время после выхода

продуктивных растворов с $\text{pH}=2$ ниже описанные кольматационные эффекты исчезают [4].

Из табл. 5 видно, что наибольшая кольматация проявляется в опыте 1, когда на протяжении всего опыта не изменялась концентрация кислоты в выщелачивающем растворе (5 г/л) и в опыте 5, где на закисление использовался раствор с концентрацией серной кислоты 40 г/л.

Следует отметить, что опыты по фильтрационному выщелачиванию проводились на технологической пробе с нарушенной структурой, поэтому по полученным результатам по скорости фильтрации невозможно сделать окончательных выводов о фильтрационных свойствах изучаемого образца. Тем не менее, определение скорости фильтрации на перемешанном материале даёт возможность оценки изменения проницаемости рудной пробы в результате взаимодействия раствора реагента с пороодообразующими минералами.

В результате проведённых исследований выявлено, что рудные пробы месторождения Инкай представлены средне- и крупнозернистым полевошпаткварцевым песком, с низким содержанием карбонатов.

Ураноносные пески месторождения Инкай характеризуются благоприятными показателями для сернокислотного подземного скважинного выщелачивания урана. Урановая минерализация легко вскрывается растворами серной кислоты с концентрацией в пределах от 5 до 40 г/л.

Степень извлечения урана достигнутая в лабораторных условиях составляет, для всех опытов 90 % и выше.

Использование на стадии закисления выщелачивающих растворов с концентрацией серной кислоты до 10 г/л характеризуется медленным про-

течением стадии закисления и медленной скоростью вскрытия урановой минерализации.

Повышение скорости закисления и скорости выщелачивания урана наблюдается при использовании выщелачивающих растворов с концентрацией серной кислоты 30 г/л.

Использование выщелачивающих растворов с концентрацией кислоты

40 г/л — не рационально, т.к. значительно увеличивает скорость выщелачивания урана и стадию закисления, а также способствует ухудшению фильтрационных свойств рудной пробы.

Применение окислителей (Fe^{3+} , H_2O_2) в вышеуказанном варианте выщелачивания повышает извлечение урана на 1,28 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бровин К.Г., Грабовников В.А., Шумилин М.В., Язиков В.Г. Прогноз, поиски, разведка и промышленная оценка месторождений урана для отработки подземным выщелачиванием. — Алматы: Гылым, 1997. — 384 с.
2. Шевченко В.Б., Судариков Б.Н. Технология урана. — М.: 1961.

3. Справочник по геотехнологии урана. /В.И. Белецкий, Л.К. Богатков, Н.И. Волков и др.; Под. ред. Д.И. Скороварова. — М.: 1997. — 672 с.
4. Грабовников В.А. Геотехнологические исследования при разведке металлов. М.: 1995. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Антонов Д.С., Искаков З.А., Александров Ю.С., Мукушева А.С., Жатканбаев Е.Е. — Национальная атомная компания «Казатомпром», Алматы, Республика Казахстан.



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Д.СЕРИКБАЕВА И ДГП «ИНСТИТУТ ГОРОГО ДЕЛА ИМ. Д.А.КУНАЕВА			
ТУНГУШБАЕВА Зухра Кыдыргазиновна	Разработка методических основ оперативного снижения потерь разведанных запасов при эксплуатации полиметаллических месторождений	25.00.22	к.т.н.