

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ИХ РОЛЬ В ОЦЕНКЕ И ОСВОЕНИИ ПЛАСТОВО-ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ШУ-САРЫСУЙСКОЙ И СЫРДАРЬИНСКОЙ ПРОВИНЦИЙ КАЗАХСТАНА

А. А. Мендыгалиев<sup>1</sup>, Е. Г. Язиков<sup>2</sup>, Я. К. Аршамов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University

Алматы, Казахстан, adilmسلم@mail.ru

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

Томск, Россия, yazikoveg@tpu.ru

## GEOCHEMICAL FEATURES AND THEIR ROLE IN THE ASSESSMENT AND DEVELOPMENT OF THE ROLL-FRONT URANIUM DEPOSITS IN THE SHU-SARYSUY AND SYRDARYA PROVINCES OF KAZAKHSTAN

A. A. Mendygaliyev<sup>1</sup>, E. G. Yazikov<sup>2</sup>, Y. K. Arshamov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University

Almaty, Kazakhstan, adilmسلم@mail.ru

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University

Tomsk, Russia, yazikoveg@tpu.ru

The geochemistry of rocks and waters of productive horizons forms the redox environment of the subsoil and determines the main ore-controlling factor in the formation of «roll-front» uranium deposits in the Shu-Sarysu and Syrdara provinces. Increasing the consumption of leaching agents because of the high electrochemical activity of harmful impurities as well as colmatation effects create technological obstacles to the development of deposits by the sulfuric acid method of in-situ leaching, and therefore several blocks belonging to the technological imbalance (mainly in terms of carbonate content,  $\text{CO}_2 > 2\%$ ).

### Введение

Технологическая простота извлечения минерального сырья из недр и чистота извлекаемого сырья в большей степени определяют геохимическими особенностями обрабатываемых недр. Даже при наличии богатых содержаний полезных компонентов присутствие вредных примесей может приводить к чрезмерно большим тратам реагентов на извлечение или очистку минерального сырья, ухудшать фильтрационные или диффузионные свойства веществ, приводить к аварийным обстановкам или вовсе препятствовать возможности извлечения полезных компонентов. Наличие полезных примесей и попутных полезных компонентов напротив могут приводить как к технологическим улучшениям, так и к повышению общей ценности извлекаемого сырья. Несмотря на это геохимические особенности продуктивных горизонтов пластово-инфильтрационных месторождений урана традиционно изучаются второстепенно и относительно поверхностно. Данная статья посвящена обобщенному исследованию геохимических особенностей данных месторождений на основе геологоразведочных работ на Шу-Сарысуйской и Сырдарьинской провинциях.

### Материалы и методы

Геохимические исследования при поисково-разведочных исследованиях пластово-инфильтрационных месторождений урана Шу-Сарысуйской и Сырдарьинской урановорудных провинциях (УРП) традиционно проводятся второстепенно на керновых минералого-геохимических профилях по сети в два-четыре раза превышающей разведочную (800 м при разведочной сети 400–200 × 50 м и 1600–3200 м при разведочной сети 800–400 × 100–50 м). По данным геохимическим исследований составляются геохимические разрезы и карты масштаба 1 : 25 000 и 1 : 5 000. При геохимических исследованиях проводятся количественные определения  $C_{\text{орг.}}$ ,  $S_{\text{общ.}}$ ,  $S_{\text{сульф.}}$  форм железа, Sc, Se, Re, Y, Mo, ΣTR, смежно с которыми проводится также рудное опробование на U, Ra, изучается гранулометрический состав и карбонатность, pH и плотный остаток, виды состава органики и минералогические исследования. Более подробные геохимические исследования проводились на более ранних региональных стадиях исследований. На основе Отчётных результатов геологоразведочных работ на месторождениях урана Шу-Сарысуйской и Сырдарьинской провинций и предшествующих региональных исследований определены геохимические особенности данных провинций и отмечена их роль в оценке и освоении месторождений.

## Результаты и их обсуждение

Месторождения Шу-Сарысуйской и Сырдарьинской УРП локализованы в песчаных горизонтах артезианских бассейнов верхнего мела и палеогена разделенным на две провинции более молодым Каратауским поднятием.

**Мынкудукский горизонт** –  $K_2 t_1$ . По данным геохимических исследований характерные спектры элементов отмечены повышенными концентрациями свинца, фосфора и марганца в сероцветных отложениях, циркония и кобальта – в красноцветных и пестроцветных, вольфрама и кобальта – в эпигенетически окисленных. Кларки концентрации по данным геохимической обработки спектральных анализов песчаных проб керна характеризуются повышенными значениями для Pb (3,9), Zn (5,6), Cu (9,78), Ba (13,38), Ag (2,61), W (5,45), Mo (32,11), Be (6,12), Sn (13,01), Mn (211,2), V (4,07), Nb (24,7), Ti (3,11), Sc (10,54), As (32,2), Sb (74,09), Ni (24,04) и ряда других элементов. Прослой глины и алевропелитов выделяются надкларковыми значениями Ag (29,5).

Тяжелая фракция песков мынкудукского горизонта содержит повышенные концентрации сидерита, ильменита, лейкоксена, циркона, андалузита

**Инкудукский горизонт** –  $K_2 t_2 - P_1^1$ . По данным спектрального анализа сероцветные и зеленоцветные слагающие его песчаные породы характеризуются повышенными кларками концентрации некоторых рудных элементов: Pb – 5,84; Zn – 5,44; Cu – 14,67; Ag – 2,61 (в глинах – 12,03); Mo – 35,11; W – 3,93; Sn – 8,93; Be – 5,69; V – 3,98; Mn – 148,12; Ti – 3,12; P – 2,96; Ba – 11,35; Nb – 27,74; Ag – 1,75 (в глинах – 12,03); Sc – 10,54; Ni – 25,75; As – 37,5. Зеленоцветно-сероцветные глины горизонта выделяются ещё более высокими значениями кларков концентрации V (5,31) и Mn (286,9).

В тяжелой фракции песчаных пород класса 0,25–0,1 мм отмечаются повышенные концентрации сидерита, ильменита и лейкоксена, циркона, ставролита и андалузита.

**Жалпакский горизонт** –  $K_{2km} - P_1^1$ . Величина кларков концентрации характерных элементов (в неокисленных сероцветных и зеленоцветных песчаных породах как наиболее представительных): Cu – 8,59, Pb – 4,74, Zn – 5,09, Mo – 25,86, V – 4,88, Mn – 233,20, Ba – 12,27, Ag – 2,18, Ti – 3,47, Sn – 15,90, Nb – 22,0, W – 4,58, Sc – 10,39, La – 1,77, Ce – 0,60. Кларк концентрации большинства цветных, некоторых редких и редкоземельных элементов характеризуется повышенными значениями в неокисленных песках горизонта. В глинах, как и в других горизонтах, резко возрастает кларк концентрации серебра и, в определенной мере, иттрия. Что касается других элементов, то их кларк концентрации в зеленоцветно-сероцветных глинах меньше (Pb, Zn, V, Ti, W, Li) или значительно меньше (Mo, Cu, Mn, Ba, Sn, Nb), чем в песчаных отложениях.

Зона древнего грунтового окисления характеризуется в песках ещё более высокими концентрациями марганца (246,5), практически такими же – скандия (8,39 и 9,70), для зоны вторичного восстановления характерна повышенная карбонатность, каолинизация, новообразования сульфидов железа

**Уванасский (канжуганский) горизонт** –  $P_1^{1-2}$ . Кларки концентрации в зеленоцветно-сероцветных песках уванасского горизонта некоторых химических элементов (в основном данные полуколичественного спектрального анализа): Pb – 5,14, Zn – 4,96, Cu – 12,93, Mo – 29,53, W – 3,76, Sn – 13,57, Nb – 35,17, Ag – 2,49, V – 4,59, Mn – 189,51, Ti – 8,57, Ba – 15,45, Sc – 10,08, Y – 1,35, Yb – 9,34, Li – 4,89. Ряд цветных металлов (Pb, Zn, Cu, Mo, W, Sn), благородных (Ag), черных (Mn, V, Ti), редких (Nb) и редкоземельных (Yb) элементов присутствуют в уванасском горизонте в аномально повышенных концентрациях. В глинах, за некоторыми исключениями (Ag – 17,11, Y – 2,14, Yb – 14,37), содержание указанных элементов, как правило, ниже. То же самое можно отметить и в отношении желто-цветных эпигенетически-окисленных песков и, в целом, для окисленных и пестроцветных глин, в которых в повышенных концентрациях присутствуют те же элементы (Ag, Y, Yb).

**Уюкский горизонт** –  $P_1^2 - P_2^1$ . В проницаемых зеленоцветно-сероцветных отложениях, по данным обработки результатов спектрального анализа проб керна, кларки концентрации значатся: Pb – 5,6, Zn – 4,73, Cu – 13,50, Ag – 2,81, Ba – 15,43, Mo – 35,92, Sn – 12,69, W – 3,96, Be – 12,3, Nb – 32,77, Mn – 149,35, V – 4,52, Ti – 3,68, Y – 1,34, Yb – 7,20, La – 1,40, Sc – 9,91, Li – 4,07.

Так же, как и в других горизонтах платформенного комплекса, в проницаемых отложениях уюкского горизонта отмечаются повышенные кларки концентрации основных цветных элементов (Pb, Zn, Cu, Mo, W, Be, Sn), серебра, некоторых редких (Nb) и рассеянных (Sc), редкоземельных (Yb) и черных (V, Mn, Ti) металлов. В глинах, за исключением отдельных элементов (Ag, Yb и др.), их содержание, как правило, ниже, так же как и в пластово-окисленных породах. Некоторые элементы встречаются в аномально повышенных концентрациях: в связи с сульфидной минерализацией – незначительные концентрации Mo – до 0,08 %, Cu – до 0,01 % и Zn – до 0,01 %; в песках и глинах – редкоземельные концентрации иттриевой группы – в сумме до 0,03 % и выше; аномальные содержания фосфора, приуроченные к скоплениям костей и чешуй рыб (0,03–0,8 %); в связи с акцессорными минералами – повышенные содержания Ti (до 0,4 %), циркония (до 0,06 %). Однако выдержанных рудных тел или значимых ореолов указанные элементы, за исключением редкоземельных, не образуют.

**Иканский горизонт**  $P_2^2$ . кларки концентрации в серых и зелено-цветных песках иканского горизонта: Pb – 5,2, Zn – 4,91, Cu – 12,49, Mo – 35,53, W – 3,17,

Sn – 11,59, Mn – 232,19, V – 5,21, Ti – 2,59, Ag – 2,81, Ba – 17,27, Sc – 10,16, La – 1,41, Ce – 0,47, Yb – 9,46, Y – 1,40, Nb – 31,56, Li – 4,21. Как следует из этих геохимических (спектральных) данных, провинциальный кларк концентрации в песках иканского горизонта либо выше (Pb, Zn, W, V, Ti, Ag, La, Y, Li), либо много выше (Cu, Mo, Sc, Yb, Nb) относительно установленных для этого типа пород. В глинистых (непроницаемых) породах кларки концентрации ниже. Исключение составляют серебро (в глинах 17,34) и иттрий (2,21).

**Интымакский горизонт** –  $P_2^{2-3}$ . Кларки концентрации в зеленоцветно-сероцветных песках следующие: Pb – 4,3, Zn – 6,12, Cu – 10,37, Mo – 35,88, W – 4,60, Sn – 12,0, Ag – 3,53, Ba – 15,35, V – 6,68, Mn – 243,2, Ti – 3,31, Nb – 7,78, Y – 2,02, Yb – 24,73, Sc – 19,75, Li – 3,53. Таким образом в данном горизонте в повышенных концентрациях присутствуют те же, что и в других мел-палеогеновых отложениях элементы – цветные, черные, редкоземельные, благородные (серебро).

По ряду проб, отобранных из различных пачек горизонта, отмечаются повышенные и аномальные содержания Mo – 0,005–0,006 %, V – до 0,1–0,15 %, Y – 0,01–0,008 %, P – 0,1–1,0 %. В базальном слое, помимо указанных, присутствуют аномальные значения Ni и Co – до 0,015–0,02 %, Zn – 0,015, Cu – до 0,01 %.

Таким образом Шу-Сарысуйская и Сырдарьинская УРП также являются редкоземельными и полиметаллическими провинциями, а возможность попутного выщелачивания многих из перечисленных компонентов уже была доказана в тематических и специализированных работах. Помимо полезных компонентов при оценке месторождений особое внимание уделяется карбонатности. Несмотря на то, что все месторождения относятся к бескарбонатным ( $CO_2 < 2\%$ ) и слабокарбонатным (2–4 %  $CO_2$ ) даже небольшие содержания карбонатности приводят к значительным повышением расхода выщелачивающих

реагентов и негативным кольматационным эффектам, в связи с чем блока с карбонатностью  $\geq 2\%$  относятся к технологическому забалансу.

## Заключение

В профиле рудоконтролирующей зональности по направлению движения подземных вод выделяются три основные зоны: пластового окисления, оруденения и неокисленных безрудных пород.

В первой зоне воды содержат свободный кислород и обладают высокими положительными значениями окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). Минералы двухвалентного железа в породах здесь полностью замещены гидрооксидами железа. Пластовые воды этой зоны обладают повышенными концентрациями урана ( $n \cdot 10^{-5}$  –  $n \cdot 10^{-6}$  г/дм<sup>3</sup>), селена, молибдена, рения, скандия, редких земель.

Вторая зона характеризуется повышенными содержаниями в рудных песках веществ - восстановителей ( $Fe^{2+}$ ,  $H_2^+$ ,  $H_2S$ ,  $S^{2-}$ ,  $C_{орг}$ ,  $P_2O_5$ ), резким снижением Eh вод до отрицательных значений и развитием анаэробной (сульфатредуцирующей, водородообразующей) микрофлоры. Здесь происходит осаждение урана и ряда других элементов с переменной валентностью (Se, Mo, Re) на восстановительном геохимическом барьере. В воде уменьшается содержание сульфат-иона, иногда незначительно падает их общая минерализация, а концентрации урана не превышают  $3 \cdot 10^{-6}$  г/дм<sup>3</sup>.

В третьей зоне породы не изменены эпигенетическими процессами окислительного характера и содержат фоновые концентрации сопутствующих элементов. В пластовых водах этой зоны, как правило, не отмечаются высокие концентрации элементов, участвующих в рудных эпигенетических процессах на границах ЗПО. Содержания урана не превышают  $n \cdot 10^{-7}$  г/дм<sup>3</sup>.

Геохимические и гидрогеохимические исследования позволяют оценить роль попутных полезных компонентов, рудоконтролирующую зональность,

**Таблица 1.** Распределение аномальных значений некоторых элементов по данным спектрального анализа

№№ п/п	Наименование горизонтов	Всего проявлений	в т. ч. по элементам			
			Лантан $\geq 1,5 \cdot 10^{-2}$	Церий $\geq 1,5 \cdot 10^{-2}$	Иттербий $\geq 1 \cdot 10^{-2}$	Иттрий $\geq 10 \cdot 10^{-3}$
1.	интымакский $P_2^{2-3}$	38	10	2	1	25
2.	иканский – $P_2^2$	27	12	2	2	11
3.	уюкский – $P_2^1$	23	14	-	2	7
4.	уванасский $P_1^2$	34	15	6	2	11
5.	жалпакский $K_2 km-P_1^1$	23	7	5	2	9
6.	инкудукский $K_2 t_2-st$	8	2	2	-	4
7.	мынкудукский $K_2 t_1$	4	1	1	-	2

благоприятные примеси окислителей, количественный анализ форм восстановителей и сорбентов с различной степенью технологического извлекаемости и тем самым более подробно оценить месторождений,

снизить риски и улучшить условия для установления оптимального технологического режима их вскрытия и отработки.

### Литература

1. Геологическое строение Чу-Сарысуйской депрессии. – Л., 1980. – Инв. № 2552 с, фонды ЦНИЛ.
2. Артезианские воды Чу-Сарысуйской впадины. Ахмедсафин и др. А-Ата, «Наука» Каз.ССР, 1979.
3. Отчет Изучение геолого-гидрогеологических и технологических особенностей руд и вмещающих пород месторождений Чу-Сарысуйской депрессии с целью усовершенствования и оптимизации процесса ПВ для промышленной добычи урана. Инв. № 2470 с, фонды ЦНИЛ, 1979.
4. ОТЧЕТ по глубинному геологическому картированию мезозойско-кайнозойского чехла Чу-Сарысуйской депрессии в масштабе 1 : 200000 листов L-42-XXII, XXVIII, XXXII (124), XXXIII, XXXIV, K-42-III (5-Б, 6-А, Б, Г), IV (7–8) за 1996-2001 гг.
5. К. Г. Бровин, И. В. Венатовский и др., СЫРДА-РЫНСКАЯ УРАНОВОРУДНАЯ ПРОВИНЦИЯ. – Москва, Ротапринт ОЭП ВИМСа, 1985.

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В РФ МЕТОДА КНД-М ПРИ РАЗВЕДКЕ И ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА СКВАЖИНЫМ ПОДЗЕМНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ

А. Р. Миносьянц<sup>1</sup>, А. А. Новгородцев<sup>1</sup>, Е. А. Гурулев<sup>2</sup>, Ю. И. Лаптев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Акционерное общество «РУСБУРМАШ»  
Москва, Россия, ARMinosyants@rbm-armz.ru, AANovgorodtsev@rbm-armz.ru

<sup>2</sup>Акционерное общество «Хиагда»  
Чита, Россия, EvAGurulev@rosatom.ru

<sup>3</sup>Акционерное общество «Далур»  
Уксянское, Россия, YILaptev@rosatom.ru

## EXPERIENCE OF USING THE KND-M METHOD IN THE RUSSIAN FEDERATION FOR EXPLORATION AND DEVELOPMENT OF URANIUM DEPOSITS BOREHOLE UNDERGROUND LEACHING

A. R. Minosyants<sup>1</sup>, E. A. Gurulev<sup>2</sup>, Y. I. Laptev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>"RUSBURMASH" Corp  
Moscow, Russia, ARMinosyants@rbm-armz.ru, AANovgorodtsev@rbm-armz.ru

<sup>2</sup>"Hiagda" Corp  
Chita, Russia, EvAGurulev@rosatom.ru

<sup>3</sup>"Dalur" Corp  
Uksyanskoe, Russia, YILaptev@rosatom.ru

The report presents some results of the KND-M method application with the AINK-49 equipment in the exploration and operation of uranium deposits by borehole underground leaching. It shows the possibility of using the KND-M method for rapid assessment of the main radiological characteristics of ores at the stage of field exploration. It also presents some results of refining the reserves of individual blocks during mining and preparatory work. The results of the assessment of the residual and technogenic redeposited uranium in the subsurface at the existing sites of borehole underground leaching during their modernization of the sites and in the wells of control drilling are shown.

### Введение

Представленный материал тезисно обобщает имеющийся опыт применения метода КНД-М в России, для решения различных задач при ведении раз-

ведочных, горно-подготовительных работ и отработке месторождений урана способом СПВ в период с 2016 по 2020 гг.

В статье приведены основные результаты Опытных-методических (ОМП) и опытно-промышленных