

**СОПУТСТВУЮЩИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ
НА УРАНОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЯХ
СЕВЕРО-ТЯНЬШАНЬСКОЙ УРАНОНОСНОЙ ОБЛАСТИ**

Г.А. Савченко – канд. геол.-минер.наук, профессор

Определены состав и условия локализации сопутствующих химических элементов в песчано-глинистых и карбонатных отложениях позднего олигоцена-плиоцена и горизонтах сероцветных песчаников позднего триаса-ранней юры, сопровождающих урановую минерализацию в отложениях чехла Северо-Тяньшаньской ураноносной области. Эти данные позволяют предполагать комплексный полиэлементный характер оруденения на эпигенетических инфильтрационных месторождениях и проявлениях урана региона.

Ключевые слова: уран; элементы-спутники; Северо-Тяньшаньская ураноносная область.

Изучением минералого-геохимических особенностей урановых руд Северо-Тяньшаньской ураноносной области в Кыргызстане в 60–70-х годах прошлого века активно занимались Институт геологии АН Киргизской ССР, ВИМС, ВНИИХТ, Каменская экспедиция, позднее ОАО “Волковгеология” и другие научные и производственные организации Советского Союза.

В процессе исследований было установлено, что в рудах большинства известных месторождений и рудопроявлений урана Северо-Тяньшаньской ураноносной области, преобладают урановые черны – минералы четырехвалентного

урана, относимые к простым оксидам урана, которые обычно характерны для руд, содержащих повышенные концентрации органического вещества или других восстановителей [1].

В то же время на ряде объектов были сделаны единичные находки минералов шестивалентного урана – уранила. Так, на проявлении Чимынсай выявлен иоганнит (сульфат уранила), на проявлении Орток-1 – карнотит, на объектах Серафимовской группы – карнотит (сложный ванадат уранила), уранофан (сложный силикат уранила) и шрекингерит (сложный сульфат-карбонат уранила). Шрекингерит был обнаружен

и на Джильском уран-угольном месторождении. В сероцветных песчаниках, обогащенных углефицированной органикой на рудопроявлении Кызылбулак и уран-угольном месторождении Агулак, наряду с карнотитом, встречен коффеинит (четырёхвалентный силикат урана). Последний, как и оксиды, является одним из основных минералов на пластово-инфильтрационных месторождениях урана, где он обычно встречается в виде сажистых землистых выделений, внешне трудно отличимых от оксидов.

Большая группа проб урановых руд и вмещающих пород была подвергнута полуколичественному спектральному анализу, при этом определялись 30 элементов, которые условно разделены на четыре группы [1]:

1. Элементы, входящие в состав породообразующих минералов – *Si, Al, Ca, Mg, Na, Fe, Mn*.

2. Элементы, входящие в состав акцессорных минералов обломочной части пород, устойчивые в зоне гипергенеза – *Ti, Cr, Zr, Sn, Be, Ag, Zn*.

3. “Малые” элементы – *V, Mo, Cu, Pb, Sr, Ni, Co, Ba*.

4. Редкие элементы – *U, Th, Nb, Ce, Ge, La, Y, Yb, Sr* (уран определялся геофизическим и химическим методами).

Анализ и статистическая обработка спектрограмм показывают, что *элементы первой группы* присутствуют во всех без исключения литологических разностях пород в количествах более 3%, и выявить какие-либо закономерности их распределения по типам осадков на основе спектрального анализа не представляется возможным. *Элементы второй группы* преобладают в обломочных породах – песчаниках, алевролитах и глинах, в карбонатных разностях пород их количество заметно снижается. Однако наибольший интерес с геохимической точки зрения представляют *элементы третьей и, отчасти, четвертой групп*, так как они обладают значительной подвижностью в зоне гипергенеза и образуют своеобразные ассоциации в различных типах осадочных пород и урановых руд.

Изучение условий локализации сопутствующих элементов двух последних групп показывает, что для рудопроявлений урана, связанных с прослоями прибрежно-озерных зеленовато-серых песков (Санташ, Чимынсай, Биже, Карабулун и др.), весьма характерным является совместное нахождение основного компонента руд – урана с медью, ванадием, стронцием и другими сопутствующими элементами. При этом зависимость между содержанием урана и элементов-спутников на разных проявлениях урана проявляется по-разному.

Так, на рудопроявлении Санташ урановорудный интервал вблизи выклинивания зоны пластового окисления (ЗПО) приурочен к участку повышенного содержания карбонатов в цементе сероцветных алевролитистых песчаников. С ростом концентрации урана здесь наблюдается увеличение содержания ванадия, свинца и одновременно снижение концентрации меди и никеля. В кровле нижнего водоупора, сложенного глинами и алевролитами, при резком снижении концентраций урана, свинца и ванадия увеличиваются содержания молибдена и никеля, что, очевидно, связано с изменением сорбционных свойств среды накопления в отношении этих элементов [2].

На рудопроявлении Чимынсай, где урановая минерализация приурочена к маломощным (8–20 см) прослоям и линзам серых и зеленовато-серых песчаников, часто переслаивающихся бурыми алевролитами и глинами, зависимость между содержаниями урана и сопутствующими химическими элементами несколько другая. С увеличением концентрации урана в песчаниках растут содержания таких элементов, как стронций, молибден, ванадий и, особенно, медь (табл. 1).

На рудопроявлениях Кичи-Кул, Кызыл-Ой, Чон-Чимчек, где вмещающими породами в основном являются известково-глинистые песчаники, алевролиты и глины концентрации большинства элементов 3-й группы в зоне урановых руд заметно ниже. Исключением являются сви-

Таблица 1

Зависимость содержаний сопутствующих элементов от содержания урана на рудопроявлении Чимынсай [1]

Урансодержащие породы	Содержание урана, %	Содержание сопутствующих элементов, %						
		Cu	V	Mo	Pb	Sr	Ni	Co
Песчаники	0,001–0,010	0,002	0,050	0,0005	0,003	0,002	0,003	0,001
Песчаники	0,010–0,050	0,092	0,082	0,0026	0,0007	0,120	0,006	0,001
Песчаники	>0,050	2,505	0,070	0,0010	0,002	0,050	0,002	0,0005

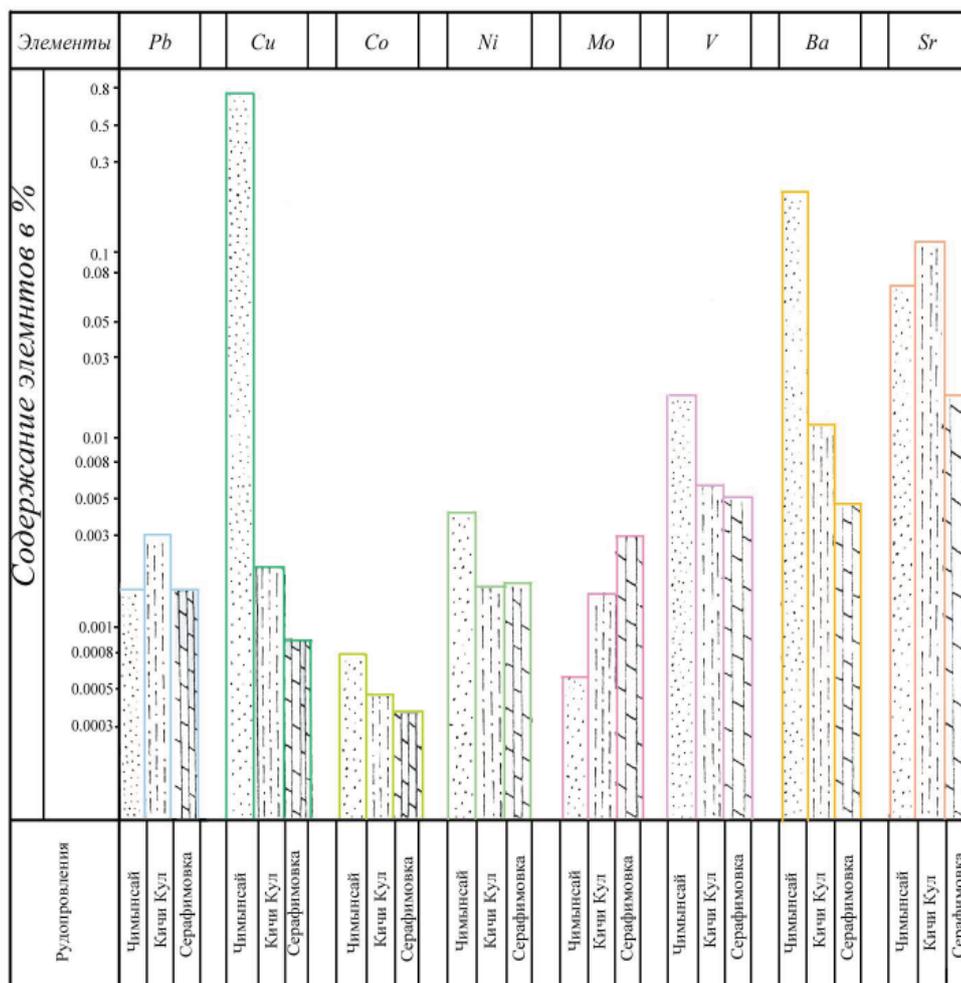


Диаграмма распределения элементов 3-й группы в урансодержащих отложениях Северо-Тяньшаньской ураноносной области [1].

нец и молибден, содержания которых несколько больше, как в среднем по рудоносному пласту, так и с увеличением содержания в нем урана.

На рудопроявлениях Серафимовской группы как в рудах, так и во вмещающих породах, представленных известняками, известковистыми алевролитами и мергелями, при увеличении содержания урана наблюдается заметный рост концентраций стронция и молибдена, а содержания бария, свинца, кобальта и никеля падают.

Сравнение средних содержаний сопутствующих элементов 3-й группы, выполненное для трех наиболее типичных рудопроявлений урана Северо-Тяньшаньской ураноносной области (Чимынсай, Кичи-Кул и Серафимовское) показывает колебания уровня концентраций сопутствующих химических элементов [1, 2]. Так, на

рудопроявлении Чимынсай концентрации меди, кобальта, никеля, ванадия и бария значительно выше, чем на рудопроявлениях Кичи-Кул и Серафимовской группы. На Серафимовской группе рудопроявлений наблюдается повышенное содержание молибдена, а для рудопроявления Кичи-Кул характерны более высокие содержания свинца и стронция (см. рисунок).

На перечисленных рудопроявлениях урансодержащие породы представлены литологически разностями, каждая из которых относится к определенному фациальному типу. Так, песчаники отлагались в прибрежно-озерных условиях, алевролиты, глины и карбонатные породы – в условиях несколько удаленных от береговой линии. Данные о средних содержаниях элементов 3-й группы для указанных типов пород приведены в табл. 2.

Таблица 2

Средние содержания сопутствующих элементов в литологических разностях пород [1], %

Литологическая разность пород	Pb	Cu	Co	Ni	Mo	V	Ba	Sr	Кол-во опред.
Песчаники	0,0031	0,3140	0,0007	0,0030	0,0006	0,0036	0,0810	0,0180	31
Алевролиты и глины	0,0013	0,0013	0,0004	0,0012	0,0011	0,0064	0,0096	0,0125	45
Мергели и известняки	0,0022	0,0010	0,0008	0,0027	0,0064	0,0033	0,0018	0,0207	14

При изучении ассоциаций сопутствующих элементов 3-й группы, несмотря на небольшой объем выборки, для отмеченных фациальных типов осадков нетрудно заметить общее снижение содержания свинца, меди, никеля, ванадия и бария и увеличение концентраций молибдена и стронция от песчаников к алевролитам и глинам и далее – к карбонатным породам. При этом максимум содержания ванадия приходится на алевролиты и глины.

Расставив элементы 3-й группы в порядке убывания содержания, можно получить следующие ряды: песчаники – Cu, U, V, Ba, Sr, Pb, Ni, Co, Mo; алевролиты и глины – U, Sr, Ba, V, [Pb, Cu], Ni, Mo, Co; карбонатные породы – U, Sr, Mo, V, Pb, Ba, Cu, Co. Если отбросить элементы, содержащиеся в количествах меньших 0,005% (минимальная величина содержания урана, принятая при составлении табл. 2), то получатся следующие геохимические ассоциации сопутствующих химических элементов для ураносодержащих пород отложений верхнеальпийского комплекса межгорных впадин Северо-Тяньшаньской ураноносной области:

- песчаники – Cu, U, V, Ba, Sr;
- алевролиты и глины – U, Sr, Ba, V;
- карбонатные породы – U, Sr, Mo.

Присутствие достаточно высоких содержания урана практически во всех выделенных типах осадков позволяет сделать предварительный вывод о том, что хотя на отдельных проявлениях повышенные концентрации урана связаны с определенными литологическими разностями пород и контролируются элементами слоистости, в целом литологический состав пород Северо-Тяньшаньской ураноносной области, очевидно, не является определяющим фактором накопле-

ния в них урана [1]. В то же время следует подчеркнуть, что в разрезе позднеальпийского комплекса на большинстве проявлений урана преобладают глинистые разности пород.

Причины накопления повышенных концентраций урана в выделенных типах осадков, а также ассоциирующих с ним элементов, скорее всего, связаны с физико-географическими условиями осадочного процесса, которые определяют скорость и направление разрушения материнских пород области сноса, пути и формы миграции элементов в область седиментации и господствующие в различных частях последней геохимической обстановки и, в частности, с наличием или отсутствием восстановителей.

В случае присутствия на проявлениях урана органогенно-обломочных пород – лигнитов, углистых глин и обогащенных органическим веществом песчаников наблюдается более широкий спектр элементов. Постоянными элементами-спутниками, наряду с указанными выше, в этом случае являются галлий, германий, а на некоторых проявлениях (Орток-1, Орто-Нура, Санташ и др.) – бериллий, иттрий и другие элементы 4-й группы.

В то же время условия локализации таких сопутствующих химических элементов, как рений, селен, скандий, цериевые лантаноиды, широко распространенных в рудах пластово-инфильтрационных месторождений урана Чу-Сарьсуйской, Илийской и других урановорудных провинций, связанных с выклиниванием ЗПО в песчаных и алеврит-глинистых отложениях продуктивных горизонтов, изучены в Северо-Тяньшаньской ураноносной области очень слабо. Вероятно, это обусловлено техническим уровнем аналитической базы, существовавшей

в тот период, отсутствием детально разработанной модели инфильтрационного рудообразования урана и его элементов-спутников, а также прекращением и переносом в 60–70-х годах масштабных геологоразведочных работ на уран из Северо-Тяньшаньской ураноносной области в Кызылкумскую и Чу-Сарысуйскую урановорудные провинции в связи с открытием там в мел-палеогеновых отложениях крупных пластово-инфильтрационных месторождений урана.

Многие из перечисленных элементов (Ga, Ge, Re, V, Y и др.) концентрируются на участках выклинивания ЗПО в углистых пластах и песчаных продуктивных на уран-горизонтах на урано-угольных проявлениях Джергалан, Джергес, месторождениях Кавакской группы (Северо-Тяньшаньская ураноносная область), а также на аналогичных месторождениях Кольджат и Нижнеилийское в соседней Илийской урановорудной провинции (Казахстан) [1–4].

При этом концентрации некоторых из них довольно значительны. Так, например, установлено, что поскольку на месторождениях данного типа активными концентраторами германия являются бурые угли, сорбирующие этот элемент и образующие с ним трудноразлагаемые гуматы, многие урано-угольные объекты часто характеризуются как существенно германиевые. Средние содержания германия на Нижнеилийском месторождении в зоне уранового оруденения колеблются в пределах от 3,3 до 70 г/т. В угленосных толщах урано-угольных месторождений Минкуш и Джергалан содержание германия достигает 5,6 г/т, галлия – до 200 г/т, ванадия – 4–180 г/т, молибдена – до 22 г/т, рения – 0,2–21 г/т, серебра – до 0,4 г/т, сумма РЗЭ – до 136 г/т [5]. Это приблизительно соответствует уровню концентраций перечисленных элементов в угленосных толщах Илийской урановорудной провинции, поэтому можно предположить, что непосредственно на геохимическом барьере выклинивания ЗПО урано-угольных месторождений Северо-Тяньшаньской ураноносной области концентрация этих элементов в углях и песчаных горизонтах также будет значительно выше.

Кроме того, на выклинивании ЗПО многих урано-угольных и пластово-инфильтрационных месторождений Притяньшаньского урановорудного пояса наблюдаются повышенные концентрации серебра и золота [5]. При этом в рудах урано-угольных месторождений эпигенетические концентрации золота обычно на порядок выше. Так, в богатой пробе угля (с U, Mo, Re, Ge) из месторождения Кольджат содержание

золота достигает 810 мг/т, причем отмечается его ассоциация с пиритом. Максимальные значения серебра на этом месторождении составляют 30 г/т, а на Нижнеилийском – 193 г/т, при среднем 54 г/т.

Проведенные исследования условий локализации сопутствующих химических элементов на инфильтрационных проявлениях урана в Северо-Тяньшаньской ураноносной области показали, что:

1. Основные сопутствующие химические элементы на инфильтрационных проявлениях в связи с выклиниванием зон пластового окисления представлены Cu, V, Mo, Sr, Ba и локализуются, как и уран, в песчано-глинистых и карбонатных отложениях позднего олигоцен-плиоцена (позднеальпийский СФК). В случае присутствия на проявлениях урана органогенно-обломочных пород – лигнитов, углистых глин или обогащенных органическим веществом песчаников, в урановорудных интервалах наблюдаются также Ga, Ge, Be, Y и др.

2. Сопутствующие химические элементы инфильтрационных проявлений урано-угольного типа локализуются совместно с основным компонентом – ураном в рудных телах на геохимических барьерах зон древнего поверхностного и пластового окисления и представлены Ge, Mo, V, Re, ΣTR, Pb, Ag и некоторыми другими элементами. Рудовмещающими являются углистые пласты и горизонты проницаемых сероцветных песчаников раннеальпийского СФК (поздний триас-ранняя юра).

3. Урановая минерализация в мезо-кайнозойских отложениях чехла Северо-Тяньшаньской ураноносной области сопровождается сопутствующими химическими элементами, что позволяет предполагать здесь, как и в других урановорудных провинциях Притяньшаньского урановорудного пояса, комплексный полиэлементный характер оруденения на эпигенетических инфильтрационных месторождениях и проявлениях урана.

Литература

1. *Неймышев М.В.* Уран в третичных отложениях межгорных впадин Северной Киргизии. Отчет по теме: “Выяснение перспектив ураноносности третичных отложений межгорных впадин Северной Киргизии”. – Бишкек: Фонды Госгеоагентства КР, 1964.
2. *Кан А.К., Кононов В.Я. и др.* Выяснение перспектив ураноносности третичных отложений межгорных впадин Северной Киргизии за

Г.А. Савченко. Сопутствующие химические элементы на урановых проявлениях...

1960–1962 гг.: Отчет. – Бишкек: Фонды Госгеолагентства КР, 1963.

3. *Неймышев М.В.* Морфология и история формирования рудных тел месторождения Майли-Су. – Бишкек: Фонды Института геологии АН КР, 1959.
4. *Цалюк Ю.П., Цыганкова М.С., Петров Н.С. и др.* Отчет комплексной геологической экспедиции № 39 за 1979–1980 гг. по оценке перспектив ураноносности мезозойских и кайно-

зойских отложений альпийских депрессионных структур Северной Киргизии для поисков гидрогенных месторождений урана на основе специализированных прогнозных карт масштаба 1:500000–1:200000 (геологическое задание 39–38). – Бишкек: Фонды Госгеолагентства КР, 1980.

5. *Петров Н.Н., Язиков В.Г., Аубакиров Х.Б. и др.* Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). – Алматы: Гылым, 1995. – С. 264.