

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ ПРОБ ВОДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РУДНЫХ ТЕЛ ТУЛУКУЕВСКОГО УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

И. В. Семенова, В. А. Петров, Ю. К. Шаззо

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, parcete2@rambler.ru

Представлены результаты определения концентрации микрокомпонентов в образцах жильно-трещинных вод из карьера Тулукуевского урановорудного месторождения методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и обсуждение возможности использования этих данных для оценки минерального состава рудных тел, размещенных в разных структурно-геологических обстановках.

Тулукуевское месторождение (Стрельцовское рудное поле) находится в Юго-Восточном Забайкалье и локализовано в трещинно-поровой среде мезозойских (140 млн лет) вулканитов кислого состава. В породах проявлена гидротермальная минеральная зональность (внутренняя, промежуточная и внешняя зоны), которая отражает суммарный эффект нескольких этапов позднемезозойского минералообразования: предрудных метасоматических изменений (гидрослюдизации), рудосопровождающих прожилково-метасоматических изменений и пострудных кварц-карбонатных прожилков и аргиллизации (каолинит, смектит) [Андреева, Головин, 1998; Полуэктов и др., 2007]. Гидротермальная минеральная зональность контролируется крутопадающими разрывными нарушениями.

Месторождение обрабатывалось открытым способом в период 1972–1998 гг. Жильно-штоковское оруденение контролируется крутопадающими разломами и оперяющими их системами трещин при наличии рудных тел пластового типа в зонах пологих срывов. В настоящее время невыбранные жильные тела локализованы в северо-западном и южном борту карьера (рис. 1). В первом случае рудное тело приурочено к зоне разлома 1А северо-западного простирания, а во втором – контролируется диагональным разломом 2А меридиональной ориентировки. С рудовмещающими разломами связаны источники жильно-трещинных вод, что отражает современную гидравлическую активность этих разрывных структур.

Урановая минерализация по времени формирования разделена [Петров и др., 2006] на три группы: 1) гипогенная; 2) гипергенная в связи с древней зоной окисления и 3) гипергенная в связи с современным окислением. Гипогенная минерализация представлена двумя типами первичных руд: преимущественно урановыми в зонах крутопадающих разломов и уран-молибденовыми в зонах пологих срывов на контактах пород. В урановых рудах преобладает настуран, а также присутствуют коффинит и тухолит, содержащий до 50 мас. % С и >10 мас. % U. Первичные руды подвержены процессам древнего (до отработки карьера) окисления, выраженного тремя субзонами (сверху вниз): выщелачивания, полного окисления и неполного окисления. Древняя зона окисления принадлежит к гидроксидно-силикатному типу [Белова, Федоров, 1977], для которого характерен постепенный переход первичных руд в гидроксиды и силикаты U с сохранением морфологии выделений. В участках вторичного обогащения, сопряженного с уровнем зеркала подземных вод до вскрытия карьера, образуются урановые черни. На фронте современного окисления, связанного с отработкой карьера, формируются уранофан, хейвеит, калькурмолит, либегит и др. Уровень стояния зеркала подземных вод и соответствующая ему зона вторичного уранового обогащения изменялись по мере отработки карьера. Гипергенные изменения пород сопровождались образованием Fe-Mn

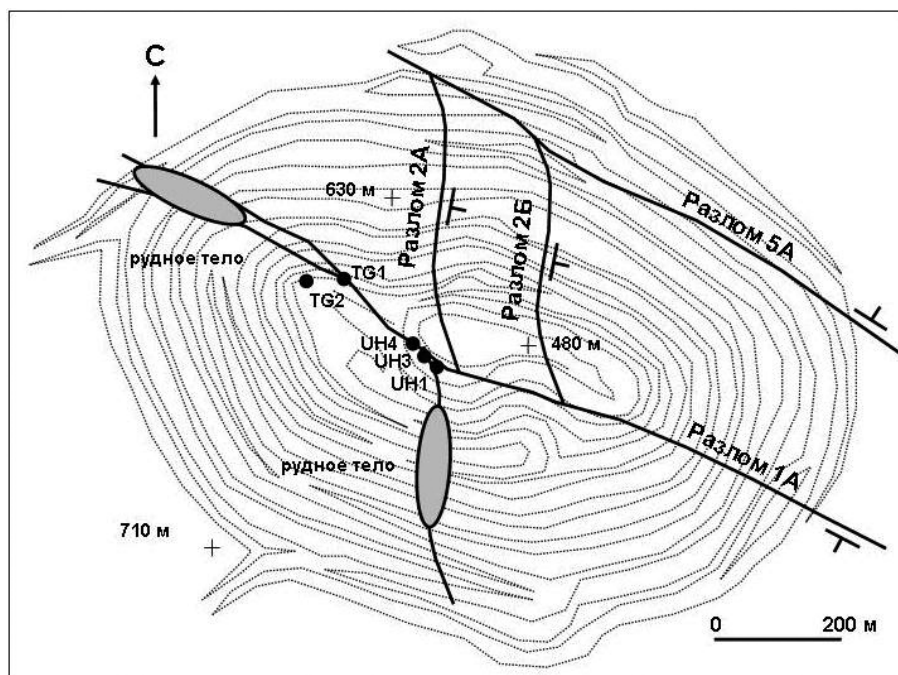


Рис. 1. Расположение и номера источников подземных вод в карьере Тулукуевского месторождения. Показаны трассы основных крутопадающих разломов, проекции рудных тел на горизонтальную плоскость и высотные отметки.

оксигидроксидов (гётит, Fe-вернадит, гематит, ферригидрит), которые являются активными сорбентами урана, а также интенсивным развитием иордизита (MoS_2), трассирующего зоны пологих срывов.

В 2010 г. было проведено опробование пяти источников подземных вод, расположенных группами на нижних уступах карьера в его северо-западной (TG-1 и TG-2) и центральной (УН-1, УН-3 и УН-4) частях. Источники пространственно тяготеют к зоне разлома 1А, которая в южной части карьера осложнена диагональным разломом 2А. Вода отбиралась в пластиковые контейнеры объемом 0.5 л и подкислялась HNO_3 осч (концентр. 66 %) из расчета 3 мл кислоты на 100 мл пробы. Химический анализ водных проб проводился в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН посредством масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой (X Series 2 Thermo Scientific). Данные по некоторым компонентам приведены на рис. 2.

Из приведенного рисунка видно, что концентрации элементов отчетливо распадаются на две группы. Так, значительно большее количество молибдена характерно для источников подземных вод группы Н. При этом разница между содержанием элемента в группах TG и УН варьируется от 313 до 1696 ppb. Молибден относится к ряду элементов (U, Se, As), которые не растворяются в восстановительных условиях и растворяются в окислительных. При адвективно-диффузионном продвижении фронта окисления такие элементы выщелачиваются из минеральной матрицы и могут переноситься в водном потоке на различные расстояния. Различия в концентрации (интенсивности миграции) молибдена в сходных геологических условиях зависят, прежде всего, от: 1) окислительно-восстановительной обстановки, обусловленной содержанием кислорода в трещинной среде и инфильтрационных водах, 2) распределения и реакционной способности органического вещества и других потенциальных восстановителей в водном горизонте, 3) скорости циркуляции подземных вод, 4) формы, в которой элемент содержится в породе, т.е. минерального состава рудных тел и осадочно-вулканических пород.

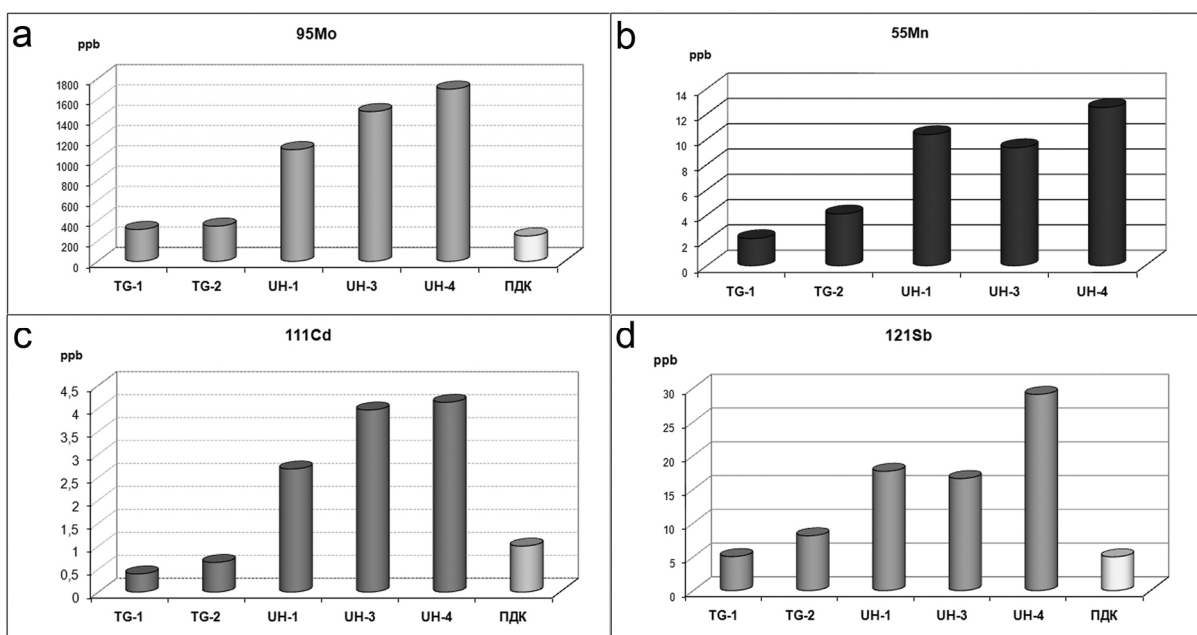


Рис. 2. Содержание в пробах молибдена (а), марганца (b), кадмия (с) и сурьмы (d). Для сравнения приведены значения ПДК.

Исходя из того, что значения pH проб воды изменяются незначительно от 7.8 до 8.3, а скорость движения водного потока в первом приближении одинакова, можно предположить, что высокие содержания молибдена в пробах группы УН свидетельствуют о значительно больших концентрациях молибденита в качестве сопутствующего минерала в настурановых рудах. Повышенные концентрации Mn в водах источников группы УН указывают на более интенсивное выщелачивание Fe-Mn оксигидроксидов (гётит, Fe-вернадит, гематит, ферригидрит) из вмещающих пород этой части карьера.

Таким образом, определение концентрации микрокомпонентов в образцах жильно-трещинных вод карьера Тулукуевского урановорудного месторождения методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой позволило установить следующее:

1. Выделены две группы источников подземных вод, которые контролируются одной протяженной разломной зоной, но характеризуются резко отличными концентрациями изученных элементов.

2. Повышенные концентрации Mo в группе источников УН (центральная часть карьера) указывают на повышенные содержания молибденита в рудах и отражают его интенсивное разложение с образованием иордизита, сопровождающееся выщелачиванием и выносом элемента.

3. Поскольку уран-молибденовые руды контролируются зонами пологих срывов на контактах пород можно предположить, что в южном борту карьера помимо ранее установленных крутопадающих жильных тел существует не вскрытая пологая рудонасыщенная структура.

Литература

Андреева О. В., Головин В. А. Метасоматические процессы на урановых месторождениях Тулукуевской кальдеры в Восточном Забайкалье (Россия) // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40. № 3. С. 205–220.

Белова Л. Н., Федоров О. В. Некоторые данные о минеральном составе зоны окисления урановых месторождений Стрельцовского рудного поля // Материалы по геологии урановых месторождений. Вып. 45. М.: ВИМС, 1977. С. 65–76.

Петров В. А., Полуэктов В. В., Андреева О. В., Голубев В. Н., Дубинина Е. О., Карташов П. М., Овсейчук В. А., Щукин С. И., Лесинас М., Хаммер Й. Миграция урана и геохимические барьеры в зоне аэрации месторождения Тулукуевское, ЮВ Забайкалье / Материалы конференции «Геохимия биосферы». М.: МГУ, 2006. С. 290–292.

Полуэктов В. В., Петров В. А., Голубев В. Н., Надьярных Г. И. Миграция и накопление урана в процессе гидротермальных и гипергенных преобразований кислых вулканитов месторождения Тулукуевское, ЮВ Забайкалье / Материалы конференции. М.: ИГЕМ РАН, 2007. С. 157–161.

Petrov V., Poluektov V., Hammer J., Schukin S. Fault-related barriers for uranium transport / Uranium Mining and Hydrogeology. B. J. Merkel, A. Hasche-Berger (edit.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. P. 779–789.