

Дойникова О.А., Тарасов Н.Н., Карташов П.М.  
(ИГЕМ РАН)

### УРАНОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПАЛЕОДОЛИННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВИТИМА

*Обобщены результаты изучения минерального состава руд семи палеодолинных месторождений Хиагдинского рудного поля (Витимский урановорудный район, Бурятия). Для руд характерна высокая дисперсность, что обусловило выбор электронной микроскопии (АЭМ) как основного метода исследования. Преобладающий минерал — Са-фосфат четырехвалентного урана — нингиоит, представленный кристаллической и минералоидной формами. Руды представляют собой малоизвестный ранее и новый для России тип промышленных урановых руд — фосфатные черневые. **Ключевые слова:** урановая руда, палеорусловые месторождения, дисперсный нингиоит.*

Doynikova O.A., Tarasov N.N., Kartashov P.M. (IGEM RAS)  
URANIUM MINERALIZATION OF VITIM  
PALEOVALLEYS DEPOSITS

*The results of material composition study of ores of seven paleovalley deposits of Khiagdinsky ore field (Vitim uranium ore district) are summarized. High dispersion of ore substance, that is characteristic for ores, led to the choice of EM as the main method of mineralogical research. The predominant ore component is Ca-phosphate of the tetravalent uranium, ningyoite, which is represented by crystalline and mineraloid forms. The ores are a little-known earlier and are new type of industrial uranium ore for Russia — phosphate black's. **Keywords:** uranium ore, paleovalley deposits, finely dispersed ningyoite.*

#### Введение

Урановорудный Витимский район — ресурсная база одного из трех уран-добывающих предприятий России. Основной рудный объект — Хиагдинское рудное поле (ХРП) — расположен на Витимском плато, Северо-Восточное Забайкалье (Бурятия) и объединяет восемь разведанных месторождений урана неогенового возраста, которые локализованы в палеодолинах, врезанных в кристаллический фундамент (рис. 1). По классификации МАГАТЭ они относятся к песчаниковому промышленному типу (базальный подтип). Изучение первого из месторождений этой группы — Хиагдинского — началось в 1980-е годы, по имени которого в дальнейшем было названо все рудное поле. Добыча урана на этом месторождении осуществляется наиболее экономичным и экологически безопасным методом подземного выщелачивания. Рентабельность и перспективность эксплуатации месторождений ХРП [10] определяет актуальность изучения минеральной формы урана в рудах.

Детальная геологическая разведка месторождений ХРП возобновилось с 2009 г. (ВИМС, ВНИИХТ, ИГЕМ), что позволило собрать уникальный материал для детального исследования вещественного состава

руд. Было установлено, что рыхлые черневые руды этих месторождений сложны для минералогического изучения. Это обусловило привлечение аналитической электронной микроскопии (АЭМ) к их исследованию. Уже первое изучение руд месторождения Хиагда минералогами ИГЕМа (методами просвечивающей АЭМ) показало, что преобладающий рудный компонент — Са-фосфат четырехвалентного урана — нингиоит [11]. Другими исследователями этот минерал вплоть до последнего времени отмечался как подчиненный по значимости в составе преимущественно настуран-коффинитовых руд как этого, так и других месторождений ХРП. Недавно опубликованы сообщения о нингиоитовом составе руд одного из месторождений [12] и доминировании этих фосфатных руд в других залежах ХРП [5].

Результаты комплексного изучения геологии ряда месторождений ХРП: Дыбрынское, Намаруское, Кореткондинское, Хиагдинское, Вершинное опубликованы ранее [7, 8, 9]. Как и все известные месторождения с нингиоитовым составом руд [2], выявленным с применением ЭМ, месторождения ХРП относятся к пластово- и грунтово-инфильтрационному генетическому типу [6].

В настоящем сообщении дано подробное изложение полученных нами минералогических данных о составе урановых руд шести из восьми известных месторождений ХРП. Состав рудного вещества в шести месторождениях ХРП изучен методами АЭМ (JSM-5610LV+INCA-450; JEM-2100+IETEM INCA-250). Наши многолетние исследования подтвердили характерную для всех месторождений микронную размерность рудного вещества и преобладающий фосфатный состав черневых руд, что позволило выявить новый для России тип промышленных урановых руд — фосфатные черневые [5].

#### Геологические условия локализации уранового оруденения

Хиагдинское рудное поле расположено на левобережье р. Витим, в пределах обширного Амалатского плато базальтов. Оно приурочено к Байсыханскому поднятию, которое прослеживается по выходам гранитоидов фундамента в поле базальтового покрова (рис. 1). Положение месторождений контролируется крупными палеодолинами и их притоками, которые врезаны в породы кристаллического фундамента на склонах поднятия и перекрыты мощным базальтовым покровом. Рудные залежи приурочены к русловым отложениям палеодолин и их притоков.

Общие для всех месторождений ХРП черты геологического строения: структурные условия локализации оруденения, литолого-фациальный состав рудовмещающих пород, минеральный состав руд. Они различаются лишь размерами палеорусел и сосредоточенных в них рудных залежей. Оруденение на всех месторождениях локализуется преимущественно в терригенных и вулканогенно-осадочных отложениях, реже в перекрывающих базальтах и гранитоидных породах фундамента. Породы фундамента имеют повы-

шенные содержания урана (в среднем  $5,5-6,0 \times 10^{-4}$ ) и большинством исследователей рассматриваются как источник урана для данных месторождений [13, 8].

Вмещающие оруденение породы — неоген-четвертичные отложения джилдинской свиты. Они представлены делювиально-пролювиальными буровыми дресвяниками, сероцветными песчано-глинистыми породами, а также аллювиальными песками, озерно-болотными глинистыми алевритами, глинами и торфяниками. Породы обогащены органическим веществом в виде растительных остатков и тонко рассеянного углефицированного детрита. Среднее содержание  $C_{орг}$  в осадках 0,1–0,3 % достигает в обогащенных участках первых процентов. В верхней части разреза осадки содержат примесь вулканогенного материала: пепла, лапилли, обломков вулканитов. Осадочные породы перекрываются покровом (мощностью до 200 м) базальтов и их туфов практически на всей площади рудного поля.

Как во всех инфильтрационных месторождениях урана песчаникового типа на ХРП проявлены классические закономерности формирования ролловых рудных тел на редокс границе в проницаемых осадочных толщах. Это граница неизмененных сероцветных пород с эпигенетически измененными, обеленными (белесая окраска бывших сероцветных пород является результатом прохождения по ним фронта эпигенетических редокс процессов). Положение и морфология этой границы в разрезе и в плане определяется литологическим составом рудовмещающих пород, их эффективной пористостью и проницаемостью. Рудные тела в терригенных и вулканогенно-осадочных породах **расположены обычно** в первичных сероцветах вблизи контакта с обеленными породами, реже в самих обеленных участках.

Залежи приурочены к осевым частям палеорусел. Предполагается, что оруденение формировалось на геохимическом восстановительном барьере, который создавался при участии бактериального разложения органического вещества рудовмещающих пород.

Преобладают лентообразные в плане и линзовидные в поперечном сечении (мощность  $n \div 20$  м) рудные тела, которые объединяются в залежи (от сотен метров до 8 км). Реже встречаются рудные тела неправильной столбообразной формы, которые прослеживаются на всю мощность осадочной толщи, захватывая частично породы фундамента и перекрывающих базальтов. Предполагается, что локализация таких тел обусловлена поступлением из фундамента в рудовмещающую толщу углекислых вод в зонах пересечения крупных разломов [7, 9].

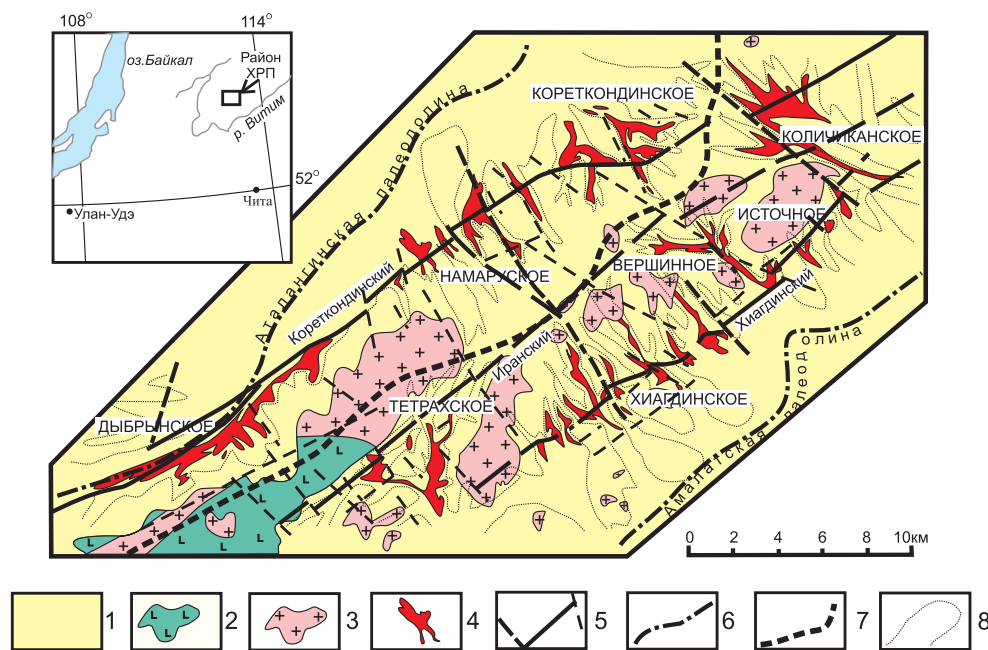
#### Ураново-рудная минерализация месторождений ХРП

На всех изученных месторождениях урановая минерализация однотипна; визуально по морфологии выделений относится к урановым черням. Рудовмещающие породы различные: светлые пески, темные пески и алевриты, граниты, базальты. Изученные рудные образцы из терригенных осадочных пород представляют собой песок или песчано-глинистый слабо сцементированный, рыхлый материал темно-серого цвета, что обусловлено присутствием углефицированных растительных остатков. Оруденелые вулканиты представлены измененными пористыми базальтами и их туфами. Рудные образцы из фундамента — это выветрелые граниты. Урановая минерализация в базальтах и гранитах выполняет трещины и пустоты, отмечена в прожилках с хлоритом и глинистыми минералами.

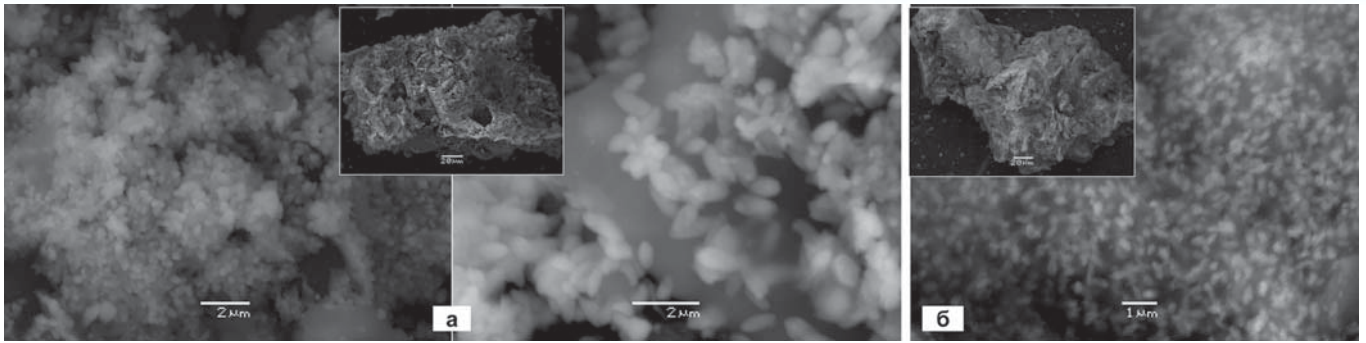
Общими характеристиками рудного вещества месторождений Хиагдинского РП являются: состав урановой

минерализации, высокая дисперсность и цементирующий характер рудных выделений (рис. 2, 3), который проявлен во всех разновидностях рудовмещающих пород. В песках рудный минерал нарастает на обломочные зерна, развивается по трещинам измененных полевых шпатов. По данным радиогрфии более 50 % оруденения в осадочных породах приурочено к глинистому цементу песчаников, меньше — в виде пленок на обломочных и породообразующих минералах; наиболее контрастное проявление приурочено к растительным остаткам.

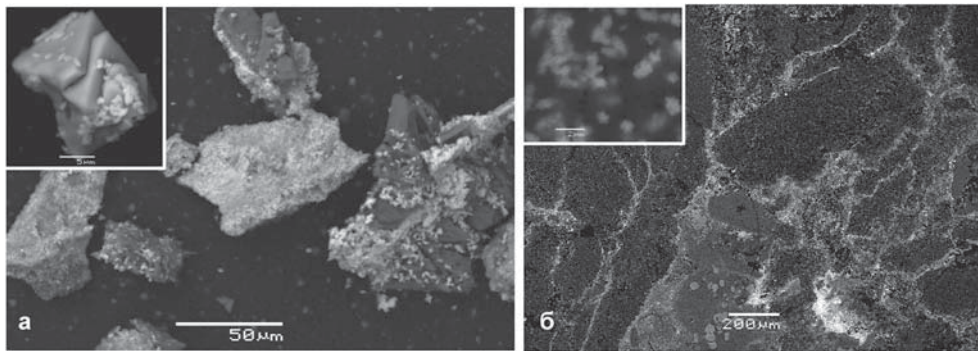
В составе руд ХРП существенно преобладает фосфатная форма урановой минерализации. Во всех разновидностях рудовмещающих



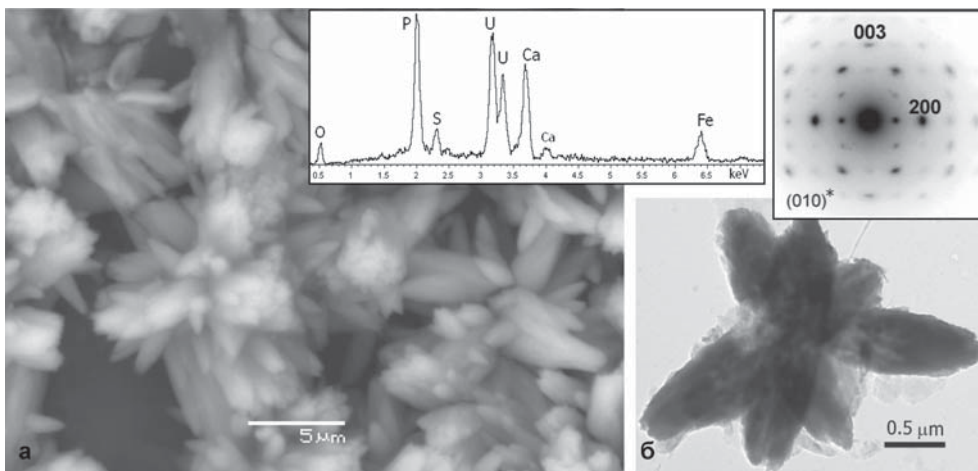
**Рис. 1. Хиагдинское рудное поле (по данным Сосновского ПГО [13] с дополнениями):** 1–2 — N-Q отложения: 1 — терригенные и вулканогенно-осадочные, 2 — платобазальты; 3 — породы фундамента (граниты витимканского комплекса); 4 — проекции урановорудных залежей на поверхность; 5 — разрывные нарушения; 6 — оси палеодолин; 7 — ось Байсыханского поднятия; 8 — контуры палеоврагов



**Рис. 2. Зерна из рудного песка (на врезках) (200 и 300 мкм соответственно) и их увеличенные участки:** а — корки и агрегаты веретеновидных кристаллов нингиоита (светлое, белое), б — игольчатый субмикронный нингиоит в Al-Si-массе. Здесь и далее изображения в отраженных электронах



**Рис. 3. Характер выделения урановой минерализации (яркое, светлое):** а — в богатой руде гранитов кристаллы нингиоита на поверхности минеральных агрегатов и зерен, на пирите (врезка); б — в базальте нингиоит-сульфидные (светлое) выделения декорируют пути поступления растворов, на врезке — сростки субмикронных кристаллов нингиоита в стекловидном материале широкого светлого «потока» в центре (шлиф)



**Рис. 4. Сростки кристаллов нингиоита:** а — СЭМ-изображение и спектр состава, б — ПЭМ-изображение и характерная картина микродифракции, плоскость (010)\*

поруд установлен минерал группы рабдофана нингиоит  $\text{CaU}(\text{PO}_4)_2 \cdot 1-2\text{H}_2\text{O}$  и его разновидности, содержащие Fe и S. Нингиоит диагностирован комплексом методов сканирующей и просвечивающей АЭМ (микродифракция, элементный состав, морфология) [5]. Его характерная особенность — микронная (н·мкм) размерность кристаллов (рис. 4). Преобладает разновидность нингиоита с идеализированной формулой  $(\text{Ca}, \text{U}, \text{Fe})[(\text{P}, \text{S})\text{O}_4] \cdot 1-2\text{H}_2\text{O}$ . В ее составе часто отме-

чаются примеси Ce, La, Nd, реже присутствуют Sr, Y, Zr и Ti. В крупных кристаллах нингиоита зафиксированы содержания до 2 масс. % Ce, 1 масс. % La, 1 масс. % Sr.

Урановая минерализация представлена кристаллической и минералоидной формой нингиоита. Размеры его сплошных скоплений редко достигают н·100 мкм. В микрополостях крупного углистого обломка из глинистого прослоя встречены крупные (7–8 мкм) кристаллы нингиоита с каймой пирита по граням (рис. 5а). Определена ранее неизвестная отражательная способность нингиоита, близкая значениям кварца (3–4 %). Субмикронные кристаллы нингиоита установлены в каолинит-гидролюдистом цементе (среди скрепляющего алюмосиликатного материала) рудных песков (рис. 2б), в углистых обломках на участках их сульфидизации часто сопровождают фрамбоиды в виде тонкой вкрапленности во вмещающей породе.

Часто в изученных рудах присутствует минералоидная форма нингиоита — твердый ураново-фосфатный минеральный гель. Морфология таких выделений указывает на первично гелеобразное состояние рудной фазы (рис. 5б). Колломорфные, слабо дифференцированные минеральные массы неоднородны по составу и образуют самостоятельные выделения или выполняют фитосевдоморфозы. Размер их выделений редко превышает н·10 мкм. Их состав U-P-Ca-Fe-S (нередко с Al и Si) обычно

неоднороден: в колломорфной рудной массе представлены участки с различными пропорциями нингиоитового и пиритового компонентов без видимых фазовых границ. Минералоидная форма «чистого» беспримесного нингиоита встречена как редкое исключение. Анализ достаточно крупных рудных выделений, где исключен вклад ассоциирующих сульфидных минералов, говорит об относительном постоянстве «сульфидного вклада» в состав минералоида, что позволило предполагать изоморфное вхождение Fe и S в состав нингиоита, подтвержденное затем данными просвечивающей АЭМ [5]. Вклад алюмосиликатного компонента в состав рудного минералоида переменчив.

Во всех типах рудных толщ (пески, граниты, базальты) встречен РЗЭ-содержащий нингиоит. Он представлен агрегатами игольчатых микрокристаллов (0.1n÷n мкм) или колломорфной рудной массой. Сумма РЗЭ достигает 10 масс. %; иногда отмечается до 1 масс. % Sr. В кристаллах нингиоита  $\Sigma TR \approx 2 \div 13$  масс. % (Ce до 6 масс. %); соотношение РЗЭ: Ce>Y>La>Nd>Pr. В образцах месторождения Дыбрынь, где агрегаты микрокристаллов TR-нингиоита наиболее крупные (n·10 мкм), его состав —  $(Ca_{0,67}U_{0,25}TR_{0,08})PO_4 \cdot nH_2O$ ; идеализированная формула  $(Ca, TR, U)[PO_4] \cdot nH_2O$ , где TR = Ce, La, Nd. В рудных песках среди продуктов изменения темноцветных минералов гранита (хлоритизированный биотит) встречен рудный метаколлоид, в составе которого присутствует Th (брокитовая составляющая). Подобные фазы более сложного состава в

виде натечных почковатых скоплений n·10 мкм присутствуют в гранитах.

Следует отметить преимущественное развитие нингиоита в участках обильной пиритизации (рис. 6) и весьма характерную частую приуроченность рудных выделений к сульфидным фрамбоидам (пирита, пирит-грейгита, пирит-марказита, марказита) и к новообразованным микрокристаллам пирита и сфалерита (поисковый признак субмикронной рудной фазы под ЭМ).

Помимо минеральной и минералоидной формы урана была установлена его сорбированная форма в рудных образцах с обильным гетитовым цементом. Присутствие урана было выявлено в гетите по данным цифровой автордиографии (рис. 7), поскольку детальные поиски урановых фаз методами ЭМ были безуспешными. В такой же форме уран присутствует на вторичном гидроанатазовом лейкоксене, развивающемся по зернам ильменита, а также, вероятно, на глинистом и углистом материале. Наличие легкоподвижной сорбированной формы урана во вмещающих породах проявляется в образовании желтых налетов (урановые купоросы) на поверхности рудного зерна после высушивания.

Нашими исследованиями установлено присутствие редкоземельной минерализации в рудах семи из восьми месторождений ХРП, что представляет интерес для попутного извлечения РЗЭ из промышленных растворов, снижающего себестоимость добычи урана.

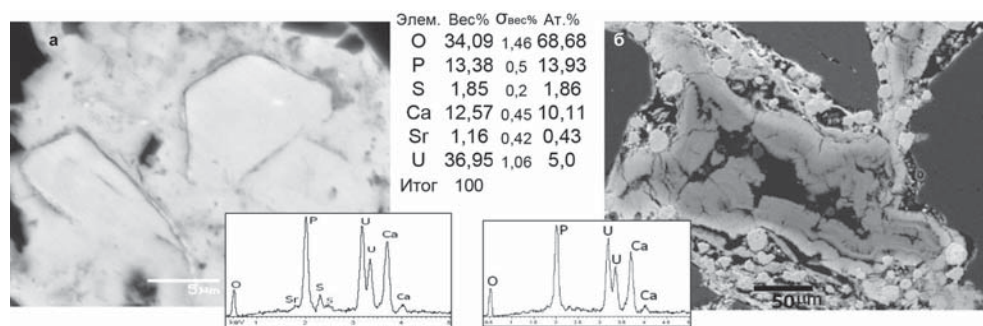


Рис. 5. а — кристаллы нингиоита (светлое) в рудной массе с сульфидным компонентом (серое), спектр состава и результат анализа кристалла; б — минералоидный нингиоит и спектр состава его светлого внешнего слоя; вместе с фрамбоидами пирита (округлые) в цементе богатых песков

TR-минерализация четко проявлена во всех типах рудовмещающих пород. Выявлено 3 типа концентрирования РЗЭ: собственные минералы РЗЭ — монацит  $CePO_4$  и ксенотим  $YPO_4$  (обломочные зерна акцессорных минералов гранита); новообразования гипергенного Се-радофана (?); значительные примеси РЗЭ в составе рудных фаз. Кроме того, в зернах первичного акцессорного монацита

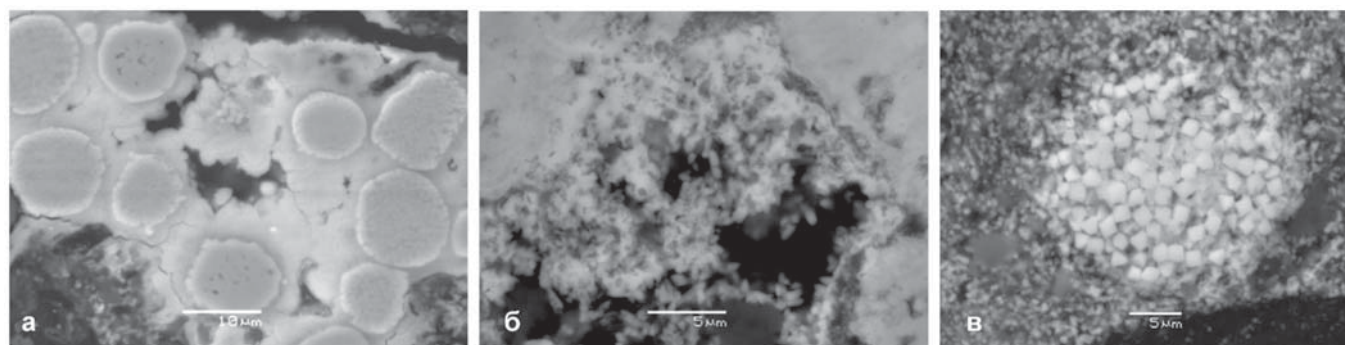


Рис. 6. Участки пиритизации: а — кристаллический нингиоит вокруг фрамбоидов пирита (серое); б — скопления и корки микрокристаллов нингиоита в промежутках среди пирита; в — фрамбоид из кристаллов пирита (яркое) с цементом нингиоита (светло-серое) и вкрапленность субмикронного нингиоита в окружающей массе

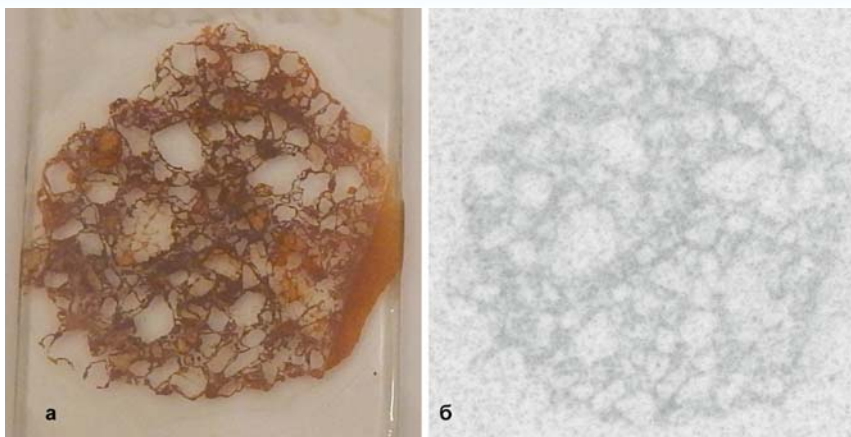


Рис. 7. Шлиф рудного образца с гетитовым цементом (а) и цифровая авторадиграфия (б), показывающая присутствие сорбированного урана

наблюдаются признаки позднего изменения с привнесением Ca, Th и U (до 10 %). Зерна ксенотима более мелкие (н·мкм), встречаются реже, степень их сохранности выше. Согласно А.И. Перельману (1968), такая различная устойчивость РЗЭ минералов указывает на сильно кислую среду процессов, преобразующих первичные TR-фосфаты, в которой подвижны LREE+Y и не мигрируют HREE. В песках встречены редкие вкрапления новообразованных РЗЭ-минералов (рис. 8). Их присутствие в рудах ХРП указывает на вынос РЗЭ из гранитоидных пород фундамента (вскрытых денудацией в области питания палеоручьев), их перенос рудоносными растворами и фиксацию в условиях близких к образованию нингионита.

В резко подчиненном количестве встречена уранильная минерализация с явно выраженной слоистой или волокнистой морфологией частиц (рис. 9). В спектрах их состава соотношение пиков  $U > P \gg Ca$ . По волокнистой морфологии минерал предположительно диагностирован как скупит; допускается наличие в смеси отенита.

U-содержащая минерализация часто встречается на лейкоксенизированных зернах титанатов. Такая урансодержащая титан-оксидная фаза (гидроанатаз?) образует колломорфные образования, в составе которых фиксируются переменные количества урана (до 2 %), до 4 % Fe, 1–2 % P, 0,1–0,3 % Ca, реже 1,5–2 % Zr (при наличии обломочного циркона в песках). Фиксацию U в аморфной фазе мы рассматриваем как начальную стадию образования рудного (фосфатного?) минералообразования, т.к. в составе корочек, помимо U, всегда есть Ca и P. Микрокристаллы нингионита встречены на измененном зерне титаната в типичной сагенитовой решетке (рис. 10).

Такой же набор «рудных» примесных элементов U, Ca, P фиксируется в составе измененных зерен циркона, где их содержание достаточно выдержано ( $\approx$  по 1 масс. %).

### Сопутствующая минерализация урановых руд ХРП

Установлено, что урановые минералы тесно ассоциируют с сульфидами Fe и Zn. Наблюдается характерная приуроченность рудного минерала к участкам сульфидных новообразований с идиоморфными микрокристаллами пирита, марказита, грейгита, сфалерита, галенита, пирротина. В составе руд отмечены также ильменит, рутил, фторапатит, циркон, титанит, самородная медь и медно-оловянные интерметаллиды.

### О формировании фосфатной черневой минерализации

Изучение минералогии урановых руд месторождений ХРП показало, что руды отлагались из кислородсодержащих ураноносных пластовых вод за счет восстановления урана и осаждения его на восстановительном биогеохимическом барьере, который в значительной степени обусловлен присутствием растительных остатков в аллювиальных отложениях палеодолин. Окисление органического вещества, так же, как и на многих других известных инфильтрационных месторождениях урана в песчанниках создает благоприятную среду для размножения анаэробных микроорганизмов, которые и обеспечивают восстановительную обстановку. Преобладающие ролловые формы рудных тел подчеркивают общий характер рудоотложения.

Биогенный аспект формирования  $U^{4+}$  минералов в месторождениях песчаникового типа был выявлен при анализе современных данных геомикробиологии и экологической минералогии [4]. Обзор публикаций, связанных с проблемами иммобилизации радионуклидов в приповерхностной среде, показал решающую роль бактерий в создании глеевой среды и осаждении радионуклидов. На примере урана микробиологические эксперименты показали, что разложение органических клеток всегда сопровождается бактериальным

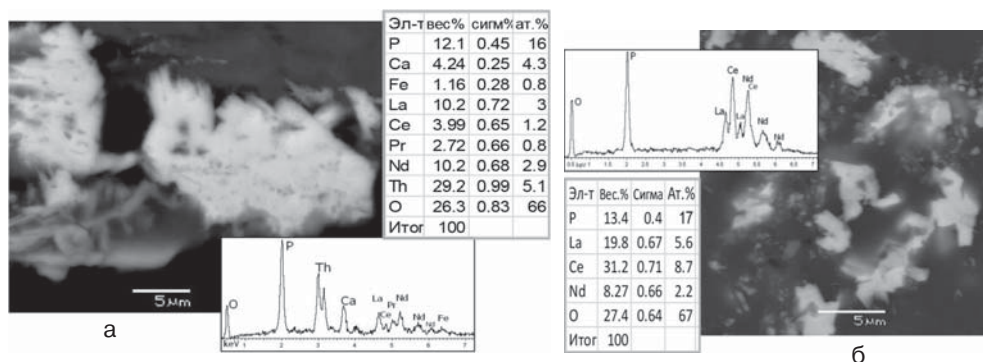


Рис. 8. Новообразования РЗЭ-минералов: а — кристаллы РЗЭ-брокита (яркое) в межзерновой полости гранитной гальки из песков, результат анализа и спектр состава; б — рабдофан (белое) в кварц-карбонатной массе, результат анализа и спектр состава (образец околорудного сидерита)

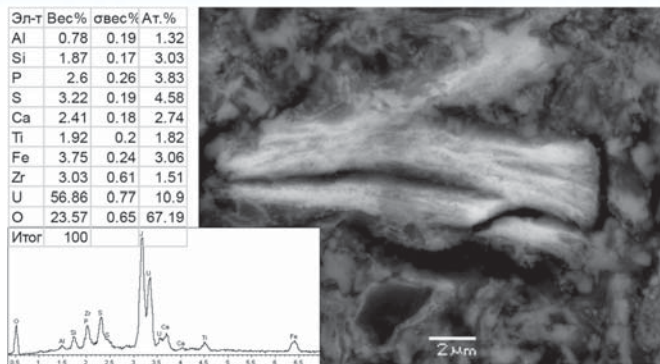


Рис. 9. Уранильная минерализация (светлое) с явно выраженной слоисто-волокнистой морфологией, результат анализа и спектр состава

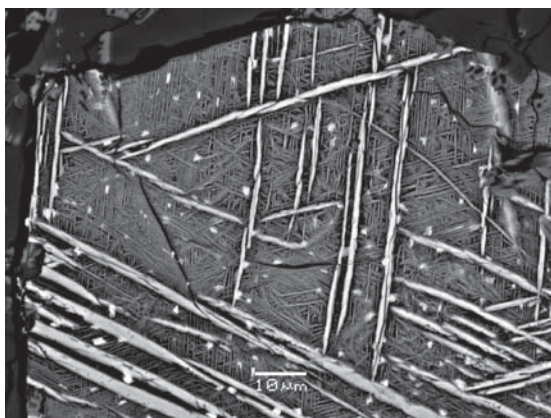


Рис. 10. Микрорешетки нигоита (яркие точки) в сагенитовой решетке измененного зерна титаната, крупные ламели — титаномангнетит(?)

восстановлением  $U^{6+}$  и обеспечивает поступление в раствор фосфат-ионов, являясь источником фосфора.

Фактором рудообразования рассматривается жизнедеятельность бактериального аэробно-анаэробного сообщества в рудных толщах. Микроорганизмы, разлагающие захороненные органические остатки в водной среде, обеспечивают подвижность урана в виде органических комплексов и коллоидов, а также поступление фосфора в раствор.

Анаэробная восстановительная среда обусловлена суммарным действием микробиологических процессов (сообществом микроорганизмов), поэтому в структуру рудолокализирующего барьера, помимо восстановительной зоны входит и окислительная [4]. Продвижение единого *биогеохимического* redox барьера предполагается по мере расходования питательной базы. Микронная размерность  $U^{4+}$ -минералов рассматривается как следствие подвижности среды минералообразования.

Биогенная природа фосфора, главного минералообразующего элемента, свидетельствует о преобладающем вкладе биогенных процессов, строго говоря — о контроле биогенного фактора в формировании  $U^{4+}$ -фосфатных руд.

#### Обсуждение

Опыт нашего изучения урановых руд различных песчаных месторождений доказал полиминераль-

ный состав рудного компонента, где в разных пропорциях могут встречаться нигоит, уранинит (настуран) и коффинит [3]. Мы не исключаем принципиальную возможность наличия в рудах ХРП оксидной и силикатной форм  $U^{4+}$ , не встреченных нами. Минералы урановых черней образованы в сходной среде, что позволяет обобщать условия их образования.

Эксперименты микробиологов по бактериальному восстановлению урана демонстрируют, что образование  $U^{4+}$ -минерализации (уранинит, нигоит) в природных водах, насыщенных органическим веществом, вызвано деятельностью микроорганизмов. Сообщения зарубежных геологов о рудообразующей роли микроорганизмов при формировании коффинита и уранинита в рудах песчаных месторождений [14, 15] в совокупности с данными микробиологов позволяют говорить о безусловно преобладающем участии биогенного фактора в формировании черневых урановых руд в целом [4]. При формировании черневых руд подвижность  $U^{4+}$  и восстановительная среда непременно задаются жизнедеятельностью бактериального сообщества рудной толщи.

Различие климатических условий осадконакопления, как внешнего фактора гипергенных процессов [1], предполагается нами как причина различного состава урановых руд в разных месторождениях песчаного типа. Характерные для нигоитовых руд озерно-болотные отложения влажного климата во вмещающих толщах обеспечили накопление избыточных запасов растительной мортмассы (по А.И. Перельману, 1999). Это обеспечило повышенное поступление в раствор фосфат-ионов при разложении. Различия состава урановых руд разных палеодолинных месторождений — Далматовского (настуран-коффинитовые) и Хиагдинских (фосфатные) сложилось, вероятно, благодаря внешнему термическому воздействию в последних. Здесь имел место региональный прогрев рудовмещающей толщи мощными покровными базальтами. Такой прогрев, активизируя жизнедеятельность бактериального сообщества, привел к более глубокой терминальной переработке биомассы и повышенной активности фосфат-ионов.

#### Заключение

Исследования урановых руд палеодолинных месторождений Хиагдинского РП открыли в Витимском урановорудном районе новый для России тип промышленных урановых руд — фосфатные черневые. Методами АЭМ показано, что рудная минерализация представлена тонкодисперсным фосфатом  $U^{4+}$  и Ca — нигоитом, доминирующим во всех разностях рудовмещающих пород.

Работа выполнена по госбюджетной базовой теме ФАНО 0136-2018-0017.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования / Под ред. А.И. Перельмана. — М.: Атомиздат, 1980. — 270 с.
2. Дойникова, О.А. Месторождения урана с новым типом черневой минерализации: фосфатным / О.А. Дойникова // Геология рудных месторождений. — 2007. — Т. 49. — № 1. — С. 89–96.

3. Дойникова, О.А. Минералогия урана восстановительной зоны гипергенеза (по данным электронной микроскопии) / О.А. Дойникова. — М.: Физматлит, 2012. — 216 с.
4. Дойникова, О.А. Фосфатный состав урановых черней как показатель их биогенного генезиса / О.А. Дойникова // Изв. вузов. Геология и разведка. — 2016. — № 5. — С. 17–29.
5. Дойникова, О.А. Новый фосфатный тип урановых руд в России / О.А. Дойникова, Н.Н. Тарасов, А.В. Мохов // Доклады РАН. — 2014. — Т. 457. — № 4. — С. 1–5.
6. Кисляков, Я.М. Гидрогенное рудообразование / Я.М. Кисляков, В.Н. Щеточкин — М.: Геоинформмарк, 2000. — 608 с.
7. Кочкин, Б.Т. Морфологические особенности рудных тел и генезис месторождений урана Хиагдинского рудного поля / Б.Т. Кочкин, А.А. Новгородцев, Н.Н. Тарасов, В.Г. Мартыненко // Геология рудных месторождений. — 2014. — Т. 56. — № 6. — С. 539–555.
8. Кочкин, Б.Т. Геохимические особенности рудовмещающей среды на месторождениях урана Хиагдинского рудного поля / Б.Т. Кочкин, И.Н. Солодов, Н.И. Ганина, М.Л. Рекун, Н.Н. Тарасов, Г.А. Шугина, Л.С. Шулик // Геология рудных месторождений. — 2017. — Т. 59. — № 5. — С. 349–362.
9. Кочкин, Б.Т. Полигенность и полихронность урановой минерализации на месторождениях Хиагдинского рудного поля (Бурятия) / Б.Т. Кочкин, Н.Н. Тарасов, О.В. Андреева, Э.Э. Асадулин, В.Н. Голубев // Геология рудных месторождений. — 2017. — Т. 59. — № 2. — С. 124–140.
10. Машковцев, Г.А. Урановорудный потенциал России 2015–2035 / Г.А. Машковцев, А.К. Мигута, А.В. Тарханов, В.Н. Щеточкин // Минеральное сырье. — 2017. — № 33.
11. Рыжов, Б.И. Первая находка нингюита в Сибири / Б.И. Рыжов, И.Р. Коробенко, О.А. Дойникова // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — 1985. — Вып. 95. — С. 52–57.
12. Тарханова, Г.А. Особенности минерального состава и условий формирования руд Вершинного месторождения / Г.А. Тарханова, В.Т. Дубинчук, Н.И. Чистякова и др. // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 6. — С. 7–13.
13. Уран Российских недр / Под ред. Г.А. Машковцева. — М: ВИМС, 2010. — 850 с.
14. Min, M. Evidence of uranium biomineralization in sandstone-hosted roll-front uranium deposits, northwestern China / Min M, Xu H, Chen J, Fayek M. // Ore Geology Reviews. — 2005. — № 26. — С. 198–206.
15. Wülser, P-A. The sandstone-hosted Beverley uranium deposit, Lake Frome Basin, South Australia: Mineralogy, geochemistry, and a time-constrained model for its genesis / P-A. Wülser, J. Brugger, J. Foden, H-R. Pfeifer // Economic Geology. — 2011. — № 106. — С. 835–867.

© Дойникова О.А., Тарасов Н.Н., Карташов П.М., 2018

Дойникова Ольга Александровна // doa@igem.ru  
Тарасов Николай Николаевич // tnn@igem.ru  
Карташов Павел Михайлович // pmk@igem.ru

## ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 622.24

Третьяк А.А., Швец В.В. (ЮРГПУ, Новочеркасский политехнический институт)

### ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

*Дано описание процесса контрольного обследования эксплуатационных гидрогеологических скважин. Описана технология определения фильтрационных параметров горных пород, а также опробования водоносных горизонтов. Приведены варианты, при которых эксплуатационные гидрогеологические скважины подлежат ремонту. **Ключевые слова:** гидрогеологическая скважина, фильтрационные параметры, уровень, дебит скважины, расходомерия, ремонт скважины.*

Tretyak A.A., Shvets V.V. (Novocherkassk Polytechnic Institute)  
ASSESSMENT OF THE CONDITION OF OPERATIONAL HYDROGEOLOGICAL WELLS

*The description of the process of control inspection of operational hydrogeological wells is given. The technology of determining the filtration parameters of rocks, as well as testing of aquifers is described. Variants are given in which operational hydrogeological wells are subject to repair. **Keywords:** hydrogeological well, filtration parameters, level, well rate, flow measurement, well repair.*

Каждая работающая эксплуатационная скважина через некоторое время теряет свои эксплуатационные показатели по различным причинам и подлежит

контрольному обследованию. Контрольное обследование позволяет получить следующие сведения:  $Q_0$  — дебит скважины в начальный период эксплуатации, л/с;  $Q_1$  — дебит скважины в процессе эксплуатации, л/с;  $H_{ст}$  — статический уровень воды в скважине перед эксплуатацией, м;  $H_{ст1}$  — то же, в процессе эксплуатации, м;  $S_0$  — понижение уровня воды в скважине в начальный период эксплуатации, м;  $S_1$  — то же, в процессе эксплуатации, м;  $g_0$  — удельный дебит скважины в начальный период эксплуатации —  $\frac{Q_0}{S_0}, \frac{\text{л/с}}{\text{м}}$ ;  $g_1$  — то же, в процессе эксплуатации —  $\frac{Q_1}{S_1}, \frac{\text{л/с}}{\text{м}}$ ;  $C_0$  — содержание песка в откачиваемой скважине в начальный момент, кг;  $C_1$  — то же, в процессе эксплуатации, кг;  $H_d$  — динамический уровень воды в скважине в начальный период эксплуатации, м;  $H_{д1}$  — то же, в процессе эксплуатации, м.

Анализ состояния скважин различен в зависимости от того, производится ли оценка действия работающей скважины или скважина простаивает. Во всех случаях обязательным является производство следующих операций: диагностика работы водоподъемного оборудования, демонтаж насоса, его профилактика, промер глубины скважины, определение динамического и статического уровня, определение дебита (в работающей скважине) и удельного дебита. Промер глубины скважины производится хлопущкой или рулеткой с грузом на конце. Измеренная глубина скважины сопоставляется с паспортной, начальной глубиной скважины, т.е. определяется насколько заилён фильтр скважины и, следовательно, необходимость чистки с целью удаления из отстойника и из низа фильтра механических и химических осадков. Измерения динамического и статического уровня необходимы для