



УДК 553.495:549(571.54)

Геологические особенности и минеральный состав неогеновых урановых месторождений Джилиндинского участка Амалатского плато базальтов

Е. А. Митрофанов, В. П. Рогова, В. В. Аввакумов,
А. А. Кучеренко, Н. В. Пестерева¹

Аннотация. Неогеновые палеодолинные месторождения урана имеют ряд особенностей минерального состава, что отличает их от месторождений урана мезозойского возраста. Иногда состав руд и характер изменений пород различаются даже в соседних палеодолинах, стоящих на расстоянии 1–1,5 км друг от друга.

Ключевые слова: урановые месторождения, плато базальтов, неогеновый возраст пород, дисперсные руды, минералы, настуран, коффинит, нингиоит.

Введение

Джилиндинское месторождение было первым гидрогенным месторождением урана палеодолинного типа, выявленным в пределах Амалатского плато базальтов в Бурятии. С момента обнаружения аэроаномалии № 1 (АТСМ – 25, 1974 г.) ее изучением с применением горных выработок и бурения занимались специалисты Бурятского геологического управления, а затем экспедиция № 130 ПГО «Сосновгеология» (1977–80, 1992 гг.) [7]. В результате специализированных работ в палеодолине Джилиндинская–1 были выделены две рудные залежи гидрогенного типа [1, 3–5].

Гидрогеологические условия и технологические свойства руд остались не изучены, они характеризовались по аналогии с объектами Хиагдинского рудного поля.

На Джилиндинском месторождении в 2008 г. проведены гидрогеологические и минералого-геохимические исследования.

Изучение Леводжилиндинского и Олон-Джилиндинского рудопроявлений показало, что по минеральному составу руд они аналогичны месторождениям Хиагдинского рудного поля.

¹ Авторы благодарят научных сотрудников ВИМСа, кандидатов геолого-минералогических наук Г. А. Гарханову, В. В. Ружицкого, Г. Н. Нечелюстова, В. М. Складнева, за выполненные анализы урановых руд на электронных микроскопах (ПЭМ, РЭМ), микроанализаторе, а также за определение абсолютного возраста минеральных ассоциаций; сотрудника БФ «Сосновгеология», старшего инженера рентгеноструктурного анализа Е. В. Механикова.

Особенностью минерального состава неогеновых руд палеодолинного типа является тонковкрапленный, дисперсный характер минеральных ассоциаций.

Методы исследования

Для изучения минерального состава руд и эпигенетических изменений вмещающих пород отобрано более 300 проб. Для них в ЦАЛ БФ «Соснов-геологии» изготовлены прозрачные шлифы, аншлифы, а также выполнены: атомно-эмиссионный спектральный анализ на 42 элемента, экспрессный рентгеновский количественный фазовый анализ, рентгеноспектральный анализ на U, Th. Для изучения дисперсной урановой минерализации в лабораториях ВИМСа выполнен комплекс исследований.

Изучение морфологических особенностей выделений рудного вещества микронзондовым анализом проводилось во вторичных электронах, а особенностей элементного состава – с помощью регистрации характеристического рентгеновского излучения. С целью выявления форм нахождения урана и циркония использовался просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ) Tesla BS-540, а фазовая диагностика минеральных образований осуществлялась с применением микродифракции. Исследование сопутствующей рудной минерализации выполнено на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Tesla BS-301, оснащенный энергодисперсионным спектрометром, позволяющим фиксировать элементы с порядковыми номерами выше 11 (Na). Кроме того, выполнен рентгеноспектральный анализ на 26 элементов, включая уран и торий, а также спектральный анализ с индуктивно-связанной плазмой с масс-спектрометром. Для определения возраста руд применялся изотопно-свинцовый метод.

Вмещающие породы и характер их изменений

Вмещающая урановое оруденение толща обломочных пород перекрыта базальтами. В базальтах установлены: сидерит, монтмориллонит, арагонит, кальцит, хлорит. Скопления мелкоагрегатного сидерита в кайнозойских базальтах выполняют пустоты, миндалины, образуют прожилки, замещают основную массу пород. В агрегатах сидерита установлены отдельные включения цеолита, скопления хлорита. Цеолиты образуют пластинчатые кристаллы, иногда группирующиеся в радиальнолучистые агрегаты. По данным рентгеноструктурного анализа цеолит соответствует десмину. Часто по основной массе базальтов развивается монтмориллонит, иногда он выполняет также миндалины в породе. В агрегатах монтмориллонита установлены триоктаэдрические разности, обогащенные железом, которые соответствуют сапониту.

Руды локализуются в базальном горизонте разнозернистых песков, хлидолитов, обогащенных растительным детритом, перекрываются линзовидными горизонтами алевролитов, глин. Осадочная рудовмещающая пачка перекрыта мощным покровом базальтов.

Фундамент представлен гранитоидами палеозойского возраста, с ксенолитами метаморфических пород протерозоя, пересекающихся дайками основного состава.

Характерной особенностью рудовмещающей слоистой толщи является ее неоднородность по составу и размерам обломочного материала. Различаются прослой серых глинистых алевролитов, обогащенных углефицированными растительными остатками, слабо глинистых, сложенных мелкозернистым слюдисто-полевошпат-кварцевым песчаником с каолинизированными зернами полевых шпатов, иногда с редким гравием.

Чаще всего отмечаются слои плохо сортированной породы, мелкообломочный, среднеобломочный и крупнообломочный хлидолит с прослоями и линзами песка, иногда с туфогенным материалом.

По данным рентгеновского количественного фазового анализа в хлидолитах Джилиндинского месторождения и Леводжилиндинского рудопроявления угловатые обломки представлены преимущественно гранитами и минералами гранитов (в %): кварц (11–26), ортоклаз (13–28), микроклин (6–17), альбит № 4–6 (19–31), олигоклаз № 12–14 (34–37), изредка отмечается сидерит (1–4), пирит (1–2). Обычно хлидолиты слабо сцементированы, цемент представляет собой материал глинисто-гидрослюдистого состава. Количество цемента изменяется в широких пределах от 10 до 20 %, а в отдельных интервалах повышается до 60–80 %.

Наиболее характерным минералом является каолинит, гидрослюда присутствует в меньших количествах, а монтмориллонит появляется в определенных условиях (при наличии в обломках и цементе пород основного состава).

В рудных интервалах присутствуют дисульфиды железа, которые выделяются как вблизи включений растительного углистого детрита, так и в отрыве от них, в виде системы ветвящихся субпослойных прожилков (0,1 мм), гнезд 1–2 мм, реже субвертикальных микропрожилков.

Обломки пород представлены главным образом гранитами, реже – базальтами и минералами из этих пород.

Плагиоклаз в обломках представлен альбитом № 0–6, иногда мелкие пластинки новообразованного альбита нарастают на обломки пород, что указывает на альбитизацию в рудовмещающей толще. За пределами рудных тел номер плагиоклаза 15–20, что соответствует олигоклазу.

В рудном интервале в обломках установлены максимально упорядоченные ортоклаз и микроклин. Степень моноклинной упорядоченности ортоклаза Δz изменяется от 0,65 в гранитах до 0,82 в рудных хлидолитах, при адуляризации калиевого полевого шпата. Подобные преобразования происходят и с микроклином, степень триклинности Δp и моноклинной упорядоченности Δz которого составляют 0,7–1,0 соответственно.

Таким образом, на основе многочисленных исследований установлено, что на неогеновых месторождениях урана Витимского района в рудовмещающих обломочных породах отмечается альбитизация плагиоклаза, адуляризация калиевого полевого шпата.

В зависимости от состава вмещающих пород и рудоносных растворов в рудных зонах с обломками основных пород преобладает монтмориллонит, в случае обломков гранитного состава развивается каолинит либо гидрослюда.

Необходимо отметить также, что по данным рентгеноструктурных исследований минералов на кайнозойских месторождениях урана гидрослюда и каолинит имеют несовершенную кристаллическую структуру, последний разупорядочен по осям *b* и *c*.

Каолинит в рудных телах составляет от 30 до 72 % от глинистой фракции, монтмориллонит – от 18 до 36 %, а гидрослюда от – 8 до 53 %.

В околорудно-измененных породах на небольших интервалах отмечаются зоны мономинеральных аргиллизитов, состоящие из каолинита, монтмориллонита, либо гидрослюды.

Минеральный состав руд

Урановая минерализация представлена дисперсными выделениями оксида U^{4+} (рис. 1), нингиюита (рис. 2, 3), коффинита, с редкими обломками браннерита.

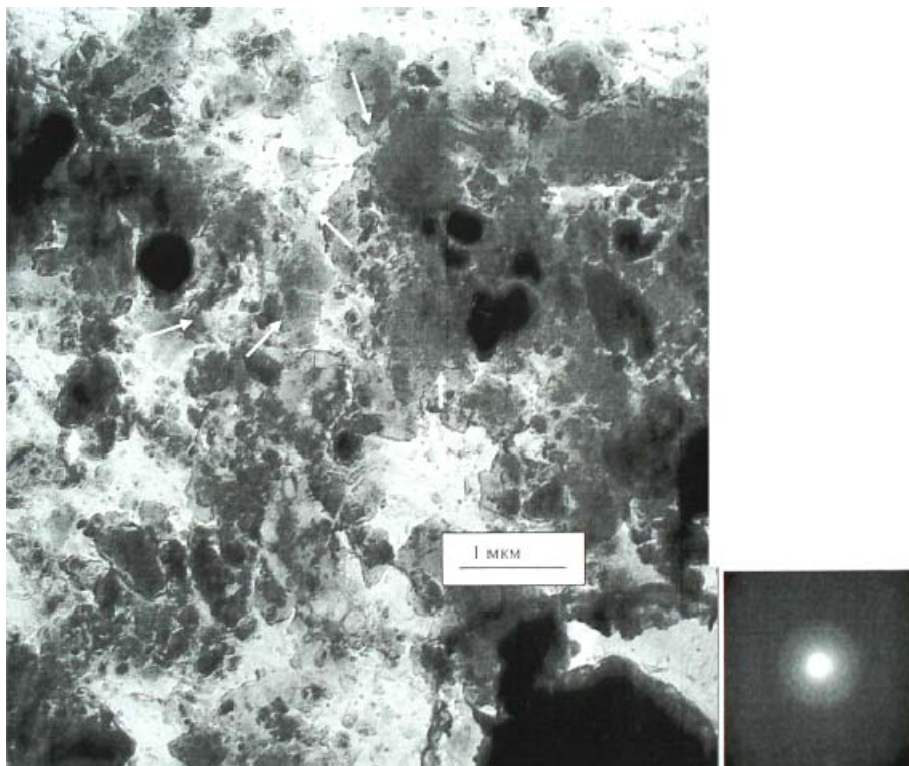


Рис. 1. Дисперсные, контрастные выделения оксида урана (показано стрелками) в слоистом алюмосиликате (полупрозрачное, серое).
Микроскоп ПЭМ. Джилдинское месторождение

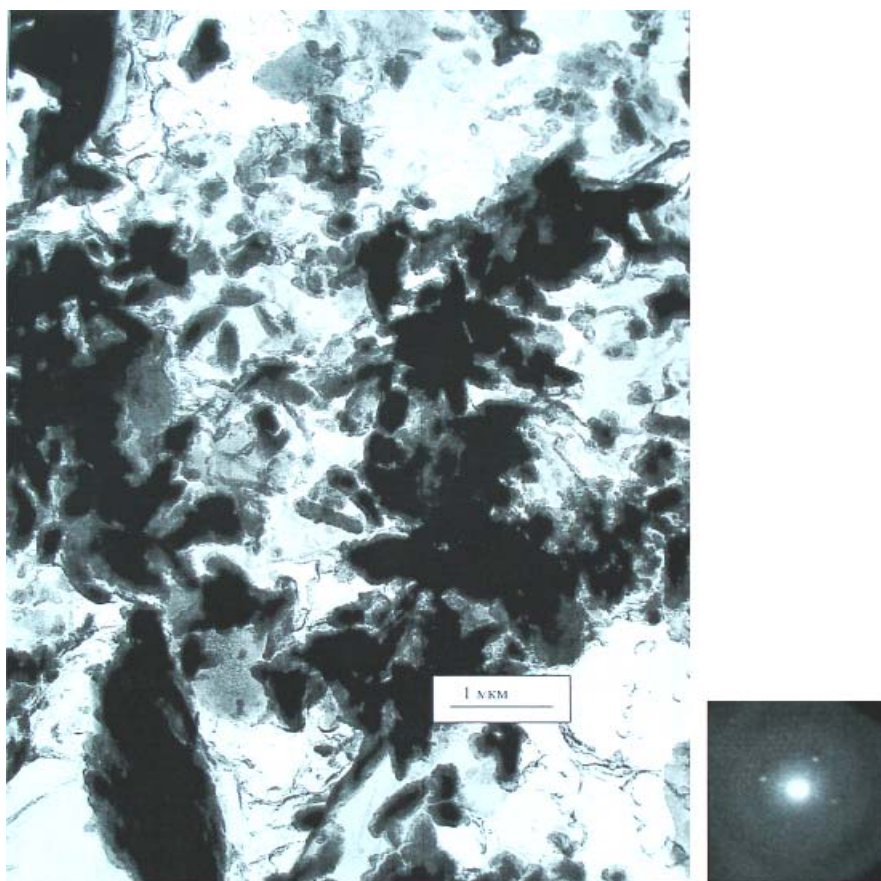


Рис. 2. Веретеновидные выделения нингиоита в слоистом алюмосиликате. Справа приведена микродифракционная картина (МКД), полученная с этих кристаллов. Электронный просвечивающий микроскоп (ПЭМ).
Джиллиндинское месторождение

Оксид U^{4+} образует дисперсные выделения, которые фиксируются на радиографиях в виде серой равномерной вуали, на фоне которой выделяются более темные гнездообразные и вкрапленные скопления нингиоита, коффинита, тяготеющие к скоплениям пирита или углеродистому веществу. Оксид U^{4+} подтвержден данными электронной микроскопии. На основании этих исследований установлено, что оксид U^{4+} слабо раскристаллизован (практически аморфный), иногда он как бы в рудах «пропитывает» углеродистое вещество.

В ассоциации с оксидом U^{4+} в рудах присутствует коффинит, образующий мелкие (1–2 мкм) призматические кристаллы.



а

Гнездообразные выделения нингиита

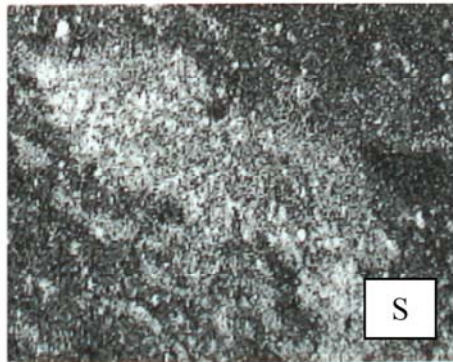
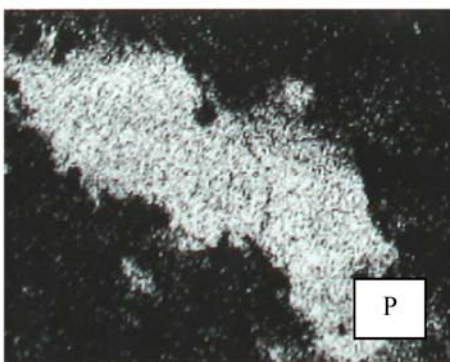
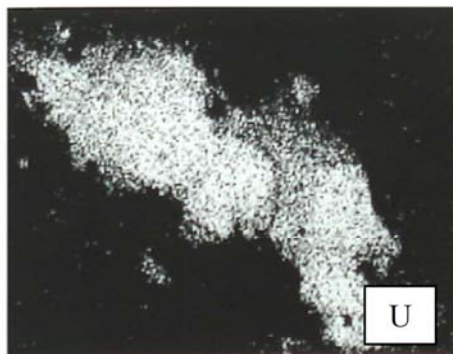
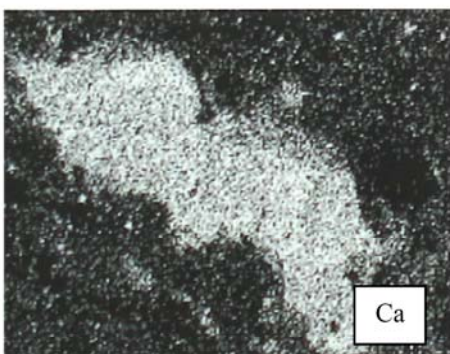


Рис. 3. Распределение гнездообразных выделений нингиита в цементе хлидолита.

Снимок (а) в поглощенных электронах, увеличение 800, в рентгеновском характеристическом излучении элементов: Ca, P, U, S. Микронзондовый анализ. Джилиндинское месторождение

Нингиоит диагностирован также с применением электронной микроскопии (см. рис. 3). Он наблюдается в виде отдельных призматических веретеновидных кристаллов и агрегатов дисперсных выделений, приуроченных главным образом к углеродистому веществу и реже – к глинистым минералам. Размеры кристаллов нингиоита 0,7–2 мкм. Их фазовая диагностика проведена по точечным микродифракционным картинам (МДК). Для нингиоита характерна неравномерная раскristаллизация, в агрегатах слабой раскristаллизации вещества наблюдаются участки, для которых характерна более упорядоченная, текстурированная микродифракционная картина, свидетельствующая о более сильной раскristаллизации вещества данного агрегата с образованием призматических кристаллов.

Циркон, также как и нингиоит, по данным электронной микроскопии, встречается в двух разновидностях. Первая – имеет ограниченное распространение; наблюдается в виде призматических выделений размером 1–3 мкм, ассоциирующих со слоистыми алюмосиликатами. Для этих образований характерны точечные микродифракционные картины, свидетельствующие о их монокристальности.

Вторая разновидность имеет широкое распространение, приурочена к углеродистому веществу и слоистым алюмосиликатам; представлена агрегатом дисперсных округлых, слабо удлинённых выделений размером 0,1–0,5 мкм. Редко отмечается слабая «окristаллизация», когда наблюдается подобие граней. Для данной разновидности циркона характерны диффузные текстурированные микродифракционные картины, свидетельствующие о слабой раскristаллизации вещества. Эта разновидность представляет собой гельциркон (аршиновит).

В рудных пробах иногда отмечаются повышенные содержания молибдена. Кристаллические выделения молибденита в глинистых агрегатах подтверждены спектрограммами (РЭМ) (рис. 4). Он образует отдельные мелкие выделения гексоганально-таблитчатого облика, а также мелкие гнезда, выполненные слабо удлинёнными кристаллами, которые корродируются рудным веществом и характеризуются слабо повышенными содержаниями железа.

В колломорфных образованиях пирита установлены гнездообразные агрегаты, а также мельчайшие октаэдрические кристаллы магнетита размером 2–3 мкм.

В рудных пробах отмечаются кристаллы анатаза, которые корродируются мельчайшими агрегатами оксида U^{4+} и слоистыми алюмосиликатами.

В единичных случаях встречается ксенотим, образующий короткопризматические выделения размером первые микроны, иногда он пространственно ассоциирует с цирконом.

В гранитоидах фундамента в составе аксессуарных минералов, кроме циркона, апатита, магнетита, ксенотима часто отмечается сфен, образующий идиоморфные выделения размером до 0,2–0,3 мм.

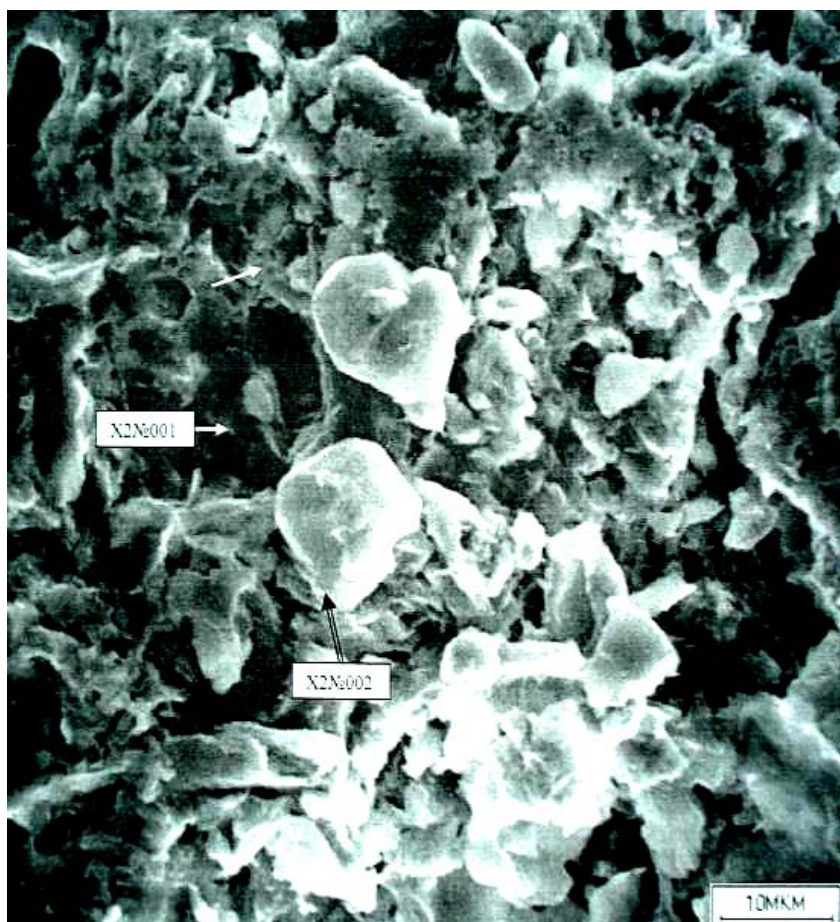


Рис. 4. Кристаллические выделения молибдена (показано стрелками) в пиритизированном глинистом материале (показано двойной стрелкой). Микроскоп электронный растровый (РЭМ). Джилиндинское месторождение

Повышенные содержания титана в пробах могут быть обусловлены также присутствием браннерита, который иногда встречается в виде обломков хорошо оформленных кристаллов в цементе осадочных пород (рис. 5).

Пирит является распространенным минералом, образует мелкие округлые образования, иногда группирующиеся в гнездообразные агрегаты, размером 0,02–0,03 мм.

Пирит встречается в различных по морфологии образованиях: сплошные сетчатые агрегаты, практически полностью замещающие ячеистую структуру растительных остатков до отдельных оолитов и фрамбоидальных выделений, расположенных как внутри, так и по периферии углистых остатков. В крупных углефицированных обломках, в пустотах клеточной структуры, часто устанавливаются мелкие кристаллики или оолиты слабо раскристаллизованного апатита, редкие зерна циркона.

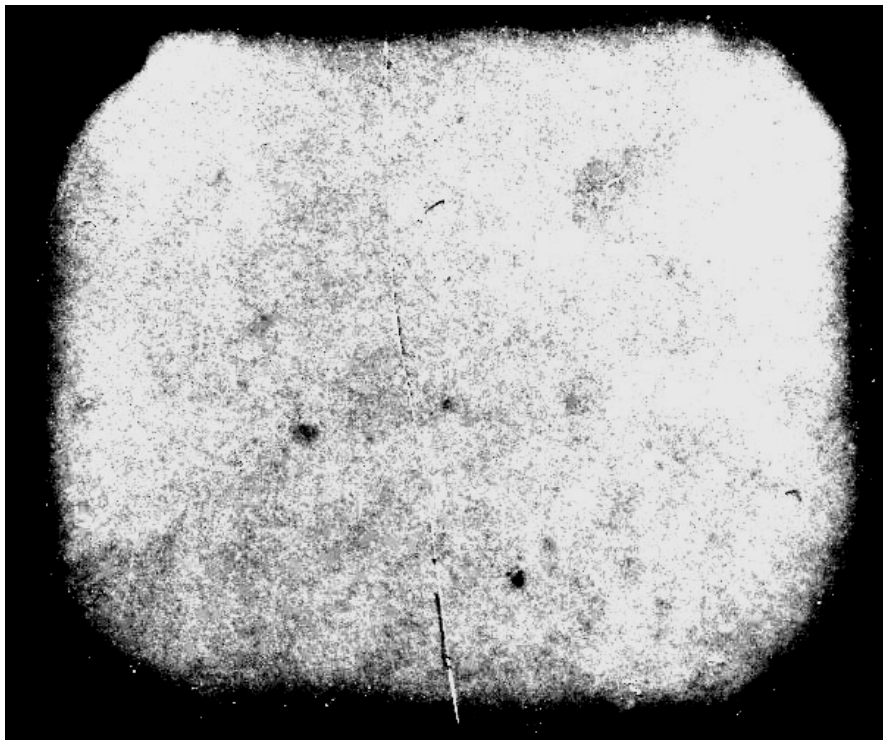


Рис. 5. Дисперсные выделения оксида урана и вкрапленные выделения браннерита. Радиография, экспозиция 7 суток. Леводжилдинское рудопроявление С-7550-1

По данным электронной микроскопии мельчайшие рудные коллоидные обособления, сложенные агрегатом дисперсных выделений нингионита, пирита, гельциркона и слоистого алюмосиликата ассоциируют с тончайшими округлыми выделениями новообразованного кварца.

Карбонаты, особенно сидерит, в небольшом количестве присутствуют в верхних надрудных горизонтах осадочной толщи, чаще всего в тонкозернистых алевролитовых разностях пород, развитых непосредственно под покровом базальтов. Минеральный состав осадков рудовмещающего горизонта во многом определяется составом подстилающих пород фундамента.

Минеральные ассоциации пород фундамента

Фундамент месторождения имеет блоковое строение и представлен палеозойскими гранитами, диоритами, диоритовыми порфиритами с ксенолитами, протерозойских метаморфических пород.

В зонах влияния тектонических нарушений породы интенсивно изменены. В гранитоидах кислого состава проявлены докайнозойские минеральные ассоциации фельдшпатитовой (кварц-микроклиновая, кварц-

альбитовая фации), грейзен-березитовой и аргиллизитовой формаций. Изредка в гранитах фундамента, в ореолах аргиллизации, отмечается смешанослойный минерал гидрослюда-монтмориллонит, содержание пакетов слюды в котором составляет 60 %. Подобные минералы были установлены в аргиллизитах мезозойских месторождений урана Стрельцовского рудного поля и золота «балецкого типа» в Забайкалье.

В породах среднего состава, в фундаменте, проявлены минеральные ассоциации кварц-альбитовой фации кремнещелочной формации, кварц-эпидот-хлоритовой фации пропилитовой формации, кварц – монтмориллонитовой фации аргиллизитов.

В фундаменте Джилиндинского месторождения и Леводжилиндинского рудопроявления преобладают альбитизированные, микроклинизированные граниты с редкими дайками диоритовых порфиритов. Граниты интенсивно катаклазированы, по полевым шпатам развиваются гидрослюда, участками серицит, новообразованный биотит, последний фиксируется иногда по периферии ореола светлых слюд.

К дайкам диоритовых порфиритов приурочены минеральные ассоциации кварц-эпидот-хлоритовых пропилитов. В отличие от Джилиндинского месторождения и Леводжилиндинского рудопроявления, в фундаменте Олон-Джилиндинского рудопроявления значительную роль играют дайки и малые интрузии диоритовых порфиритов.

В соответствии с составом пород интенсивно развиваются минеральные ассоциации пропилитовой формации. В составе пропилитов установлены кварц-эпидотовая, кварц-хлоритовая фации, в меньшей степени отмечаются более ранние парагенезисы кварц-актинолитовой фации.

В распределении минеральных ассоциаций пропилитов намечается латеральная зональность. Кварц-актинолитовые, кварц-эпидотовые метасоматиты фиксируются в центральных частях зон дробления, кварц-хлоритовые установлены на выклинивании зон по латерали.

В участках интенсивного дробления в фундаменте отмечается наложение на кварц-эпидотовые пропилиты минеральных ассоциаций кварц-монтмориллонитовой фации аргиллизитов с аллофаном – минералом, характерным для кайнозойских аргиллизитов. Кайнозойские метасоматиты развиты также и в перекрывающих базальтах. В базальтах, над рудными залежами, проявлены минеральные ассоциации пропилитовой формации, главным образом кварц-хлоритовой, кварц-карбонат-цеолитовой фации, а также кварц-монтмориллонитовые аргиллизиты. Карбонаты представлены сидеритом, реже анкеритом и кальцитом.

В отличие от Джилиндинского месторождения, на Олон-Джилиндинском рудопроявлении в породах фундамента присутствуют дайки диоритовых порфиритов, в зонах дробления они пропилитизированы, а в верхней осадочной толще по обломкам этих пород развивается главным образом монтмориллонит, каолинит и гидрослюда встречаются в меньших количествах.

Геохимические особенности и возраст уранового оруденения

В рудах Джилиндинского месторождения отмечаются повышенные концентрации Cu, Zn, Mo, Ti. Наличие Cu обусловлено присутствием тонких скоплений халькопирита в ассоциации с пиритом, повышенные содержания циркония, молибдена и титана связаны с тонковкрапленными, дисперсными выделениями гель-циркона (аршиновита), молибденита, браннерита, сфена, анатаза.

По данным рентгеноспектрального анализа установлено, что при содержании элементов в количестве более 100 Кларков установлена устойчивая связь между Se, Mo и U, а по данным спектрального анализа с индуктивно связанной плазмой (ISP-MS) с масс-спектрометром к этим трем элементам добавились еще Zr, Cd, Te, Bi (табл.).

Возраст урановых руд, определенный по изотопам свинца, по данным сотрудников ВИМСа (Аввакумов и др. 2008), по девяти образцам определяется, как 9,9; 11,7; 12,3; 16,8; 15,2; 2,5; 68,3; 15,8; и 16,3 млн лет. Для руды, возраст которой определен 68,3 млн лет, авторы предполагают, что был вынос урана, а в руде с возрастом 2,5 млн лет – привнос урана. Авторы рекомендуют принять для руд средний возраст по девяти пробам 14 млн лет, что отвечает границе плиоцена и миоцена.

Учитывая приведенные данные, можно сделать вывод, что возраст 68,3 млн лет установлен для урановой минерализации, сохранившейся в обломках гранитоидов в осадочной толще, возрастной интервал от 9,9 до 16,8 млн лет соответствует хорошо «окристаллизованному» оксиду U^{4+} , нингиоиту, коффиниту, а возраст 2,5 млн лет относится к метакolloидным формам этих же минералов.

Текстурные, структурные особенности, минеральный состав урановых руд, размер, форма, агрегатное состояние урановых минералов Джилиндинского месторождения, Леводжилиндинского и Олон-Джилиндинского рудопроявлений благоприятны для проведения подземного выщелачивания.

Таблица

Геохимический спектр руд (кларк-концентрации элементов)

Кларк концентрации	Рентгеноспектральный анализ	ISP-MS
3<kk<10	Co, Br, Y, Zr, Nb, Cs, La, Ce, Yb, Hf, Ta, Pb	Li, Be, Sc, Co, Ni, Zn, As, Y, Nb Cd, Cs, La, Ce, Dy, Ho, Er, Yb, Lu, Hf, W, Pb, Bi
10<kk<100	Zn, Ge, Zr, Mo, Yb, Hf, W, Tl	Zn, As, Y, Zr, Mo, Yb, Hf, Bi
100<kk<1000	Se, Mo, U	Se, Zr, Mo, Cd, Te, Bi, U
1000<kk<10000	U	U

Выводы

1. Урановое оруденение сформировалось в палеодолинах под покровом неогеновых базальтов в вулканогенно-осадочной толще, залегающей на гранитоидах палеозойского возраста.

2. Вмещающие оруденение породы в разной степени аргиллизированы, содержание каолинита, монтмориллонита и гидрослюда колеблется от 1–5 до 70–80 %.

3. Урановая минерализация тонковкрапленная, дисперсная, иногда образует мелкие гнездообразные скопления, микропрожилки и представлена оксидом U^{4+} , силикатом урана – коффинитом и в меньшей мере фосфатом урана – нингиоитом, мелкоагрегатным урансодержащим титанатом урана.

4. На обломках калишпата иногда отмечаются тонкие (доли мм) оторочки новообразованных кварца, альбита, адуляра. Сульфиды проявлены в небольшом количестве и представлены: мелкочашуйчатым молибденитом, пиритом, марказитом, сфалеритом.

5. Кроме урана в рудах иногда присутствуют Zr, Fe, Cd, Zn, S, Se, Mo.

6. Возраст ранней урановой минерализации, находящейся в обломках, – 68,3 млн лет, урановой руды – 16,8–9,9 млн лет, возраст метаколлоидных форм урановых и урансодержащих минералов – 2,5 млн лет.

Список литературы

1. Ильичев А. В. Некоторые особенности уранового оруденения Витимского плоскогорья (Забайкалье) // *Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов.* – Вып. 73. – М., 1982. – С. 130–137.

2. Кисляков Я. М. Гидрогенное рудообразование / Я. М. Кисляков, В. Н. Щёточкин. – М. : ЗАО «Геоинформарк», 2000.

3. Оценка перспектив ураноносности южного фланга Витимского плоскогорья : отчет по геологическому заданию / И. Р. Коробенко [и др.]. – Иркутск : ГФУП «Сосновгеология», 1980.

4. Результаты поисков гидрогенных месторождений в неогеновых вулканогенно-осадочных формациях южного фланга Амалатского плато базальтов : Отчет по геологическому заданию / И. Р. Коробенко [и др.]. – Иркутск, 1981.

5. О результатах поисковых и поисково-оценочных работ на уран, молибден и золото на Чинаканской и Аталангинской рудоносных площадях : отчет по геологическому заданию за 1988–1992 гг. / П. А. Пешков [и др.]. – Иркутск, 1993.

6. Прогнозирование, поиски и оценка урановых месторождений в палеорусле : метод. рекомендации / А. Б. Халезов. – М. : ВИМС, 1999.

7. Отчет о результатах АГСМ-съёмки масштаба 1 : 50 000 на Витимском плоскогорье / А. Л. Шпильков [и др.]. – Улан-Удэ, 1976.

8. Разведка месторождений урана для отработки методом подземного выщелачивания / М. В. Шумилин [и др.]. – М. : Недра, 1985.

Geological Particulars and Mineral Composition of the Dgilinda Plot of the Amalate Plateau of the Basaltic

E. A. Mitrophanov, V. P. Rogova, V. V. Avvakumov, A. A. Kucherenko,
N. B. Pestereva

Annotation. Uranium deposits were found under cover of the basalts. It have neogen age and localized in the sedimentare rocks over granits of the foundation. There are an ore dispersed. The minerals uraninite, coffinite, ninguoite determinated in the ore of the deposits.

Key words: uranium deposits, cover of the basalts, neogen age of rocks, ore dispersed, minerals, uraninite, coffinite, ninguoite.

*Митрофанов Евгений Александрович
ЦГП БФ «Сосновгеология»
Иркутск, ул. Гоголя, 53
главный геолог
тел.: 38-90-65*

*Рогова Вера Парфентьевна
доктор геолого-минералогических наук
профессор
Иркутский государственный университет
Иркутск, ул. К. Маркса, 1
географический факультет
тел.: 52-10-90*

*Аввакумов Владимир Васильевич
ВИМС
119017, Москва, Старомонетный пер., 31
старший научный сотрудник*

*Кучеренко Алексей Анатольевич
ЦГП БФ «Сосновгеология»
Иркутск, ул. Гоголя, 53
ведущий геолог
тел.: 38-91-15*

*Пестерева Наталия Витальевна
ЦГП БФ «Сосновгеология»
ул. Гоголя, 53
геолог
тел.: 38-72-91*