

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 553.495

Е.С. Никитина¹, Д.А. Прохоров²

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОРУДЕНЕНИЯ, МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД И РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОРЕТКОНДИНСКОЕ (ВИТИМСКИЙ УРАНОВОРУДНЫЙ РАЙОН)

Рассмотрено геологическое строение неогеновой рудовмещающей осадочной толщи, заполняющей палеораспадки месторождения. Проведено стратиграфическое расчленение продуктивных отложений. Изучены закономерности локализации уранового оруденения, а также установлены рудоуправляющие литологические и минералогические факторы. В результате электронно-микроскопических и микрозондовых исследований выявлены основные минеральные фазы урана. В дальнейшем предполагается более детальное изучение исследуемого месторождения для повышения эффективности его эксплуатации, а также поиск объектов подобного типа в пределах Витимского урановорудного района для расширения минерально-сырьевой базы России.

Ключевые слова: урановое месторождение, экзогенно-эпигенетический тип, базальный тип, Витимский урановорудный район, нингиоит.

The article considers the geological structure of the ore-bearing sedimentary rocks of the deposit. Stratigraphic division of productive deposits have been studied. We studied the regularity localization of uranium mineralization, as well as established lithological and mineralogical ore-controlling factors. As a result, research on the electron microscope and microprobe revealed the main mineral phases of uranium. In the future, not only assumed a more detailed study of the field to improve the efficiency of its operation, but searching for objects of this type within the Vitim uranium ore district to expand the mineral resource base of Russia.

Key words: uranium deposit, exogenous-epigenetic type, basal type, Vitim uranium ore district, ningyoite.

Введение. Урановое месторождение Кореткондинское экзогенно-эпигенетического «палеодолинного» типа, открытое в 1981 г. геологоразведочной партией № 130 «Сосновгеология», расположено в Витимском урановорудном районе в пределах Хиагдинского рудного поля (рис. 1). Урановое оруденение локализовано в проницаемых отложениях, выполняющих субмеридионально ориентированные палеораспадки (Кореткондинский-1, -2, -3, -4), расчленяющие северный склон Байсыханского грядово-холмистого поднятия. Устьевые части палеораспадок открываются в широкую Аталангинскую межгрядовую аллювиальную равнину, расположенную между Байсыханской и Центральной палеогрядами. Ранее специалисты Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья имени Н.М. Федоровского (ВИМС) установили, что палеораспадки выполнены неогеновыми отложениями, разделяющимися на осадочную (нижнюю, N_1dz_1), вулканогенно-осадочную (среднюю, N_1dz_2) и вулканогенную (верхнюю, плато-базальты) литогенетические ассоциации (пачки или

подсвиты) джиллиндинской свиты (N_1dz). Месторождение представлено четырьмя рудными залежами лентообразной формы с протяженностью от 3 до 4,5 км при ширине от 0,2 до 1,0 км и мощности до 12–15 м. Оруденение локализовано в базальных частях разреза, преимущественно в тальвегах палеораспадок.

Литолого-фациальные особенности строения рудовмещающих отложений в палеораспадках Кореткондинский-3, -3а. Продуктивные отложения представлены делювиально-овражными отложениями палеораспадок общей мощностью 5–33 м, залегающими на коре выветривания по породам фундамента (рис. 2).

В профиле коры выветривания, развитой по гранитоидам, гранитизированным гнейсам и гранодиоритам, специализированным на уран, выделяются (снизу вверх): зона дезинтеграции мощностью более 10–20 м и зона глинистых пород мощностью 4–15 м, окрашенные в зеленый и желто-охристый цвет.

Рудовмещающие отложения в изученных палеораспадках представлены лишь вулканогенно-осадочной

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии полезных ископаемых, аспирантка; *e-mail:* nikitina@vims-geo.ru

² ВИМС имени Н.М. Федоровского, аспирант; *e-mail:* prokhorov@vims-geo.ru

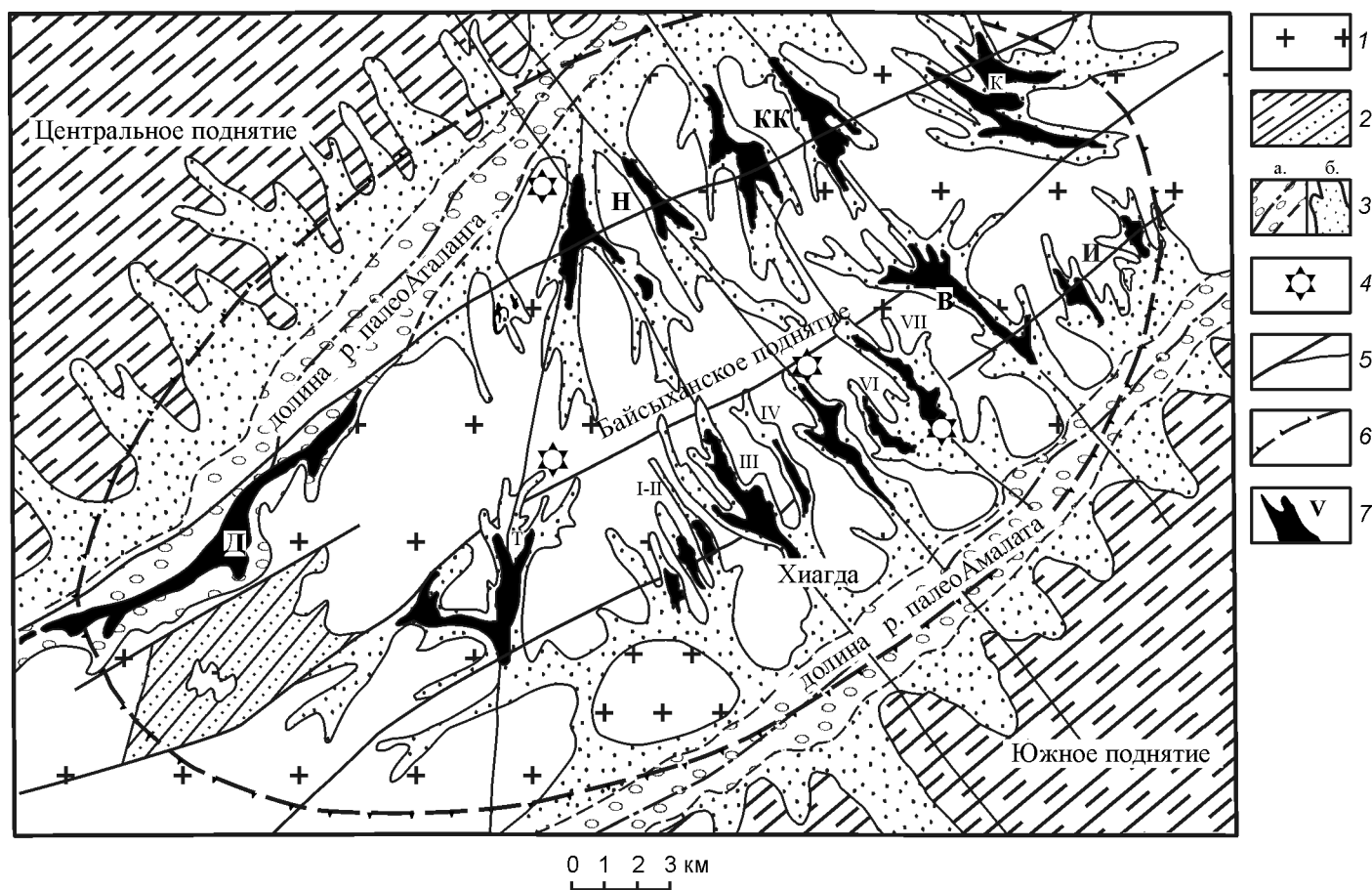


Рис. 1. Структурная схема Хиагдаинского рудного поля со снятым покровом кайнозойских базальтов: 1 — гранитоиды фундамента (PZ₂₋₃); 2 — кристаллические сланцы, метапесчаники (PR₃—PZ₁); 3 — погребенные неогеновые палеодолины (а — стволы, б — боковые притоки); 4 — неогеновые вулканические аппараты; 5 — разрывные нарушения; 6 — контур Байсыханского сводового поднятия; 7 — рудные залежи месторождений: I—VII — Хиагда, Д — Дыбырн, КК — Коретконде, Н — Намару, И — Источное, К — Количикан (Схема составлена сотрудниками ВИМС имени Н.М. Федоровского и геологоразведочной партии № 130 «Сосновгеология»)

пачкой, залегают на желтоцветной и зеленоцветной глинистой коре выветривания и частично сформированы за счет ее размыва. На склонах распадков залегают несортированные делювиальные древесно-песчаные и алевроито-глинистые (хлидолиты) и щебнисто-дресвяные отложения мощностью 3–13,5 м охристого и зеленовато-охристого цвета с примесью пеплового материала и мелких обломков базальтов. Щебень и дресва представлены обломками гранитов, гранитизированных гнейсов и гранодиоритов, песчаный материал — главным образом полевым шпатом и кварцем, глинистый цемент — монтмориллонитом, гидрослюдой и каолинитом. В верхних частях первичножелтоцветных делювиальных (возможно, частично эпигенетически окисленных) хлидолитов и щебнисто-дресвяных отложений развиты белесые породы, окраска которых обусловлена процессами вторичного восстановления гидроксидов железа глеевыми водами. Выше по разрезу залегают отложения склоновых и тальвеговых палеораспадков, представленные разнозернистыми сероцветными полевошпат-кварцевыми песками, алевроито-глинистыми породами с углефицированными растительными остатками, с большим количеством пепла и мелких обломков базальтов, а

в верхних частях разреза преимущественно туфами и туфопесчаниками мощностью 10–20 м. Наиболее широко в разрезе распространены сероцветные породы, обогащенные углефицированными растительными остатками и характеризующиеся высокой восстанавливающей способностью. Базальты, залегающие на проницаемых отложениях, часто изменены до глинистого состояния, а пески содержат значительное количество монтмориллонита за счет разложения пеплового материала.

Вулканогенно-осадочная пачка перекрыта многочисленными покровами массивных пористых базальтов и их шлаков верхней вулканогенной пачки, образующих Витимское (Амалатское) плато базальтов.

Эпигенетические изменения и закономерности локализации уранового оруденения. В изученном профиле оруденение вскрыто в вулканогенно-осадочной пачке. В плане в изученных палеораспадках закартирована смена литологических разновидностей пород с разной окраской, образующей подковообразную форму. Благодаря геохимическим особенностям подобная зональность способствует локализации уранового оруденения. В верховьях и около бортов распадков развиты первичножелтоцветные хлидолиты в виде подковообраз-

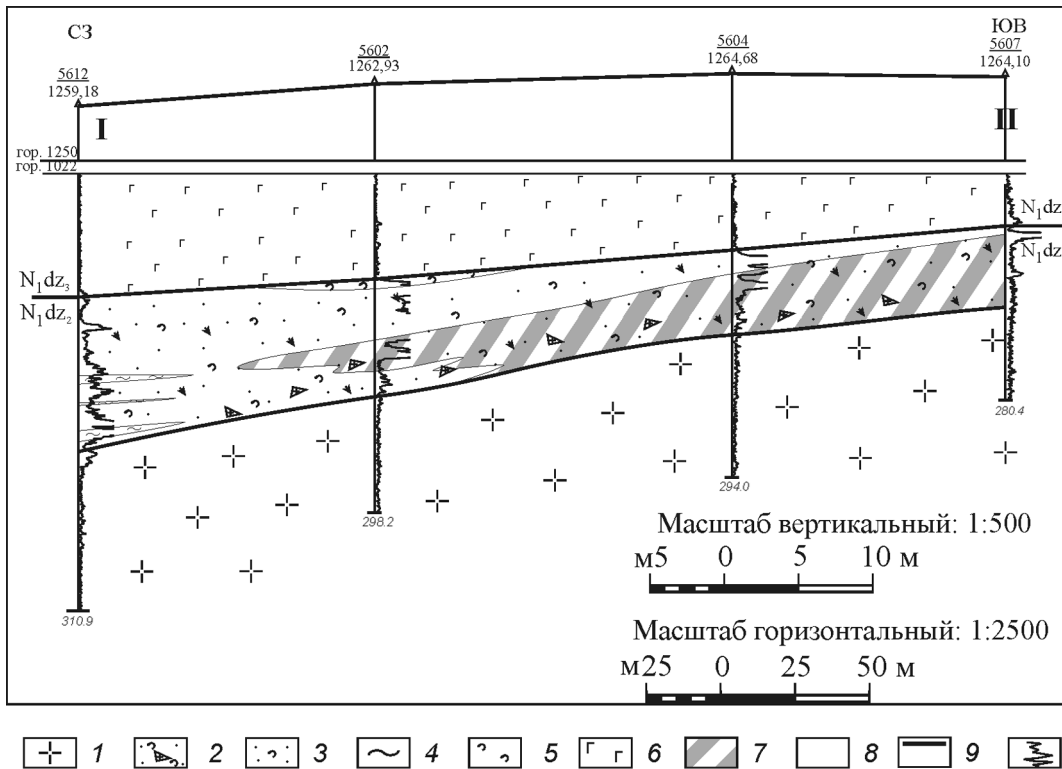


Рис. 2. Продольный геологический разрез через палеораспадок Кореткондинский-3 по линии I–II: 1 – витимканский гранитоидный комплекс (γPZ_{1v}); терригенные отложения вулканогенно-осадочной пачки джилдиндинской свиты ($N_1 dz_2$), выполняющие палеораспадки: 2 – хлидолиты с прослоями песков и примесью пепла, 3 – пески с линзами глин, с пепловым материалом, прослоями туфов и туфитов, 4 – алеврито-глинистые отложения с линзами песков; 5 – туфы, туфиты, примесь вулканического материала; 6 – покровы базальтов; цветовые типы разрезов: 7 – сочетание сероцветного, белого и желтоцветного, 8 – сероцветный; 9 – стратиграфические границы; 10 – гамма-картаж

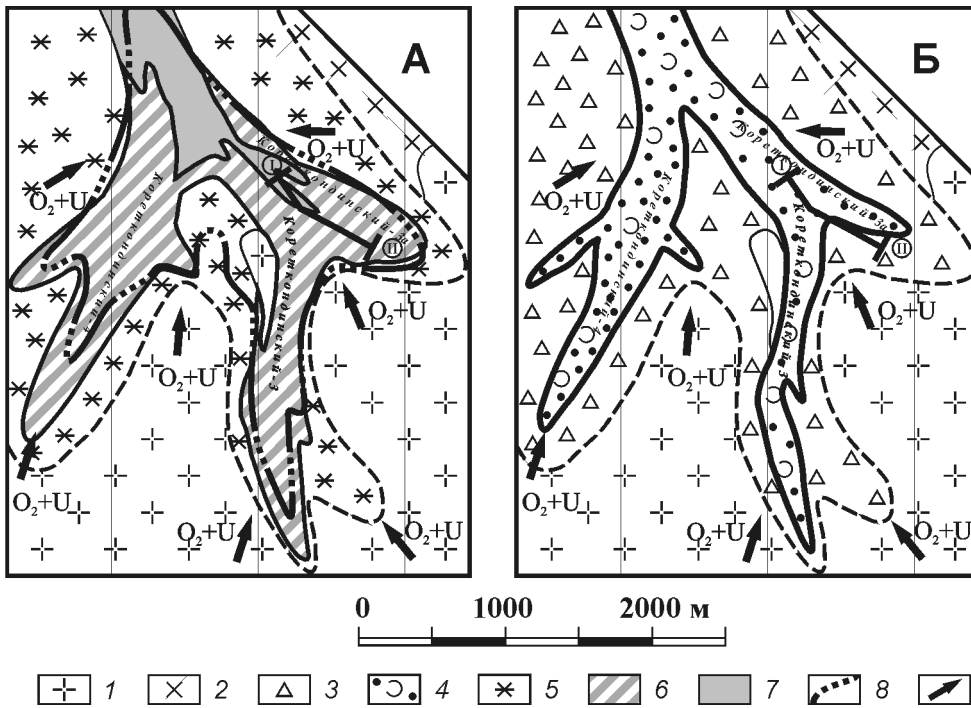


Рис. 3. Карты закономерностей локализации оруденения в геохимических (А) и литолого-фациальных (Б) зонах в палеораспадках Кореткондинский-3, -3а, -4: 1 – витимканский гранитоидный комплекс (γPZ_{1v}); 2 – гранитоиды баргузинского гранитоидного комплекса (γPR_{2b}); терригенные отложения джилдиндинской свиты ($N_1 dz$), выполняющие палеораспадки: 3 – хлидолиты с прослоями песков, 4 – пески с примесью вулканогенного материала с линзовидными прослоями глин; геохимические типы разрезов: 5 – желтоцветный, охристый, 6 – сочетание сероцветного и белоцветного, 7 – сероцветный; 8 – контур локализации оруденения; 9 – направление движения ураноносных кислородных вод

ной в плане зоны (рис. 3). В направлении к центральным частям распадков они сменяются зоной белых вторично восстановленных пород с реликтами желтоцветов, затем зоной белых пород и далее первичносероцветными отложениями. Аналогичная зональность отмечается и в разрезе. Предполагается, что желтоцветная зона окисления наращивает зону первично-желтоцветных делювиальных осадков в направлении движения кислородных вод, но в настоящее время она вторично восстановлена и представлена белесыми породами. Нередко эти зоны характеризуются аномальной концентрацией урана за счет его сорбции на гидроксидов железа. Оруденение локализовано в сероцветных отложениях, обогащенных углефицированными растительными остатками, что

определяет высокую восстанавливающую способность осадков на границе выклинивания белесых, вторично восстановленных пород.

В ряде случаев оруденение незначительно смещено в белесые породы, но, как правило, оно характеризуется непромышленным содержанием и мощностью, эти запасы относятся к забалансовым. Промышленное оруденение сконцентрировано в верхней и средней частях разреза осадочной толщи в центральных частях распадков и выклинивается в направлении от их верховьев к устьям, что обусловлено направлением движения рудоформирующих урансодержащих кислородных грунтово-пластовых вод от верховьев и бортов распадков к их устьям.

Маломощные интервалы с повышенным содержанием урана иногда встречаются в отложениях вулканогенно-осадочной пачки непосредственно под базальтами и в базальтах, преобразованных гипергенными процессами. Эти концентрации урана относятся к непромышленным и связаны, по-видимому, с формированием зоны поверхностно-грунтового окисления, развивавшейся по нижнему покрову базальтов и в верхней части осадочного разреза.

К локальным рудоконтролирующим факторам на месторождении относятся литологический и минералогический. Литологический фактор проявился в концентрации наиболее богатого оруденения в более тонкозернистых, преимущественно глинистых породах, что обусловлено максимальной концентрацией в них сингенетических восстановителей (углефицированных растительных остатков), а также более длительным контактом урансодержащих вод с породой при их более медленном просачивании в хужепроницаемые породы (по сравнению с песками).

Минералогический фактор выражен в концентрации урана в интервалах, обогащенных пепловым материалом, и в участках разреза, обогащенных органосмектитом. Интервалы, обогащенные пепловым материалом, по данным петрографического исследования (Г.А. Тарханова, ВИМС), представлены глинистыми, существенно монтмориллонитовыми титансодержащими породами, образовавшимися за счет разложения пепла на стадии сингенеза и раннего диагенеза. Лейкоксенизированные титанаты и монтмориллонит отличаются высокой сорбционной способностью, поэтому концентрация урана в подобных «глинизированных» породах объясняется их высокой сорбционной способностью и литологическим фактором.

Органосмектиты сформировались, по нашему мнению, во время вулканической деятельности одновременно с образованием вулканогенно-осадочной и вулканогенной пачек за счет воздействия на осадки восходящих поствулканических фумарол. Смектит, основой которого, по данным РКФА (Г.К. Кривоконев, Ю.Н. Шувалова, ВИМС), является монтмориллонит, псевдоморфно замещал, иногда целиком, углефицированные растительные остатки, в резуль-

тате чего образовался минеральный агрегат бурого цвета, характеризующийся резко повышенными сорбционными и восстанавливающими свойствами. По данным петрографических исследований установлено, что он нередко полностью слагает цемент проницаемых пород и часто содержит мельчайшие включения пирита.

Геохимическая характеристика руд и рудовмещающих пород. Рудовмещающие отложения сформировались за счет коры выветривания по породам фундамента и в вулканогенно-осадочной пачке содержат значительное количество вулканогенного материала, что определяет специфику их геохимического спектра. В зеленоцветной (нижней) зоне коры выветривания по гранитоидам примерно в 2 раза выше содержание MnO (0,09%), CaO (2,63%), TiO_2 (1%), Fe_2O_3 (8%), чем в желтоцветной (верхней), что, по-видимому, можно объяснить их выщелачиванием из верхней зоны коры. Повышенное в 2 раза содержание MgO (2,2%) в зеленоцветной зоне объясняется наличием хлорита, а слегка повышенное содержание K_2O (3,08%) в верхней зоне — преобладанием гидрослюд и каолинита с монтмориллонитом. Таким образом, на месторождении в вертикальном разрезе коры выветривания фиксируется ее классический профиль, в котором в нижней части преобладают хлорит-гидрослюдистые изменения, в средней — гидрослюдисто-монтмориллонитовые, в верхней — монтмориллонит-каолинитовые. Несмотря на то что в верхней части разреза содержание Fe_2O_3 ниже (5,8%), она имеет желтую окраску за счет меньшего количества хлорита, а в нижней зоне он определяет цвет породы, несмотря на присутствие большого количества гидроксидов железа.

Ранее установлено, что граниты фундамента специализированы на уран и содержат его в среднем около $(6,5-7,5) \cdot 10^{-4}\%$. Содержание U в верхней (желтоцветной) зоне на порядок выше, чем в нижней, и достигает 0,03% (при среднем 0,002%). Это может быть связано либо с его сорбцией на гидроксидах железа и концентрацией в процессе формирования коры выветривания в условиях отсутствия направленного латерального движения водного потока, либо с сорбцией на гидроксидах железа при инфильтрации кислород- и урансодержащих грунтово-пластовых вод через осадки и верхнюю часть коры выветривания. Таким образом, эпоха корообразования является важным рудоподготовительным этапом, во время которого значительная масса урана была переведена из аксессуариев в легкоподвижную форму и сконцентрировалась в породах коры выветривания.

Базальты вулканогенно-осадочной пачки по петрохимическому составу относятся к щелочным оливиновым базальтам, характеризующимся по данным рентгеноспектрального анализа повышенным содержанием (%) Al_2O_3 (17,18), SiO_2 (52,2), S (0,12), Fe_2O_3 (10,7), TiO_2 (2,74), низким содержанием MgO (1,93), в близкларковых количествах содержатся

Na_2O (3,8%), CaO (7,53%), K_2O (1,34%). Щелочные базальты обогащены редкоземельными элементами: La 0,005%, Ce 0,007% и особенно ураном, содержание которого составляет в среднем 0,001% при вариациях от 0,0004 до 0,0028%. В близкларковых количествах содержатся некоторые халькофильные элементы (%): Ni (0,012), Cu (0,008), Zn (0,011), As (0,0003), а также Th (0,0004), Mo (0,0002), V (0,019), Cr (0,03), Co (0,004).

Анализируя геохимический спектр осадочных пород, можно отметить, что в неизмененных безрудных сероцветных песках содержатся (%) TiO_2 (0,19–0,41), Fe_2O_3 (0,73–1,41), в алеврито-глинистых породах — TiO_2 (0,32–0,38), Fe_2O_3 (1,10–1,55). Установлено, что одновременно высокое содержание TiO_2 (>1%) и Fe_2O_3 (>2%) характерно для пород, обогащенных обломками базальтов или содержащих в значительном количестве пепловый материал, что служит одним из типоморфных признаков при картировании разложенных до глин туфов, туффигов, туфопесчаников, туфоалевролитов и других разновидностей вулканических пород (например, в алеврито-глинистых породах с большим количеством пепла содержатся TiO_2 0,82–1,05%, Fe_2O_3 1,34–2,13%). Кроме того, прослойки, обогащенные глинизированным пеплом, как правило, характеризуются повышенным содержанием Co (0,002%), Ni (0,004%), Cu (0,0024%).

Сравнивая геохимический спектр разных геохимических типов пород с сероцветными, можно отметить, что в желтоцветных породах резко повышено содержание Fe_2O_3 (5,3–9,4%), на порядок меньше S (0,01–0,02%), в белых песках содержание Fe_2O_3 уменьшается с 1 до 0,67%, что свидетельствует о его выносе в процессе вторичного восстановления окисленных песков.

Анализ геохимического спектра элементов в безрудных песках, алевритах, а также сопоставление с корой выветривания и вулканическими породами позволили определить фоновое содержание элементов в разных литологических и геохимических типах пород.

По сравнению с кларком в безрудных сероцветных песках на два порядка выше содержание U (0,002%), Se (0,0001%), Nb (0,002%), на порядок выше Ba (0,017%), Cu (0,0038%), Co (0,001%), Ni (0,002%), Cr (0,024%), Mo (0,0002%), Pb (0,003%) и в несколько раз выше Th, As, Zn, но эти значения концентрации сопоставимы или несколько ниже таковых в коре выветривания гранитов и в вулканических породах. В безрудных алевритах почти все элементы содержатся в близкларковом количестве, только концентрация U, Th, Pb, Se, Nb превышает кларк.

В безрудных хлидолитах желтого цвета — по сравнению с остальными породами этого типа — отмечено повышенное содержание железа (в 2 раза и более).

Таким образом, фоновое содержание элементов на месторождении определяется главным образом их концентрацией в коре выветривания гранитов. Лишь

в некоторых типах пород фоновое содержание корректируется наличием вулканического материала.

При анализе геохимического спектра руд с содержанием урана >0,01% установлено, что в рудных серых песках по средним и максимальным значениям на порядок выше содержание Zn (в среднем 0,02%), в 2 раза Ni (0,004%) и в 2 раза снижается содержание Cu (0,002%). Не превышает фоновых значений содержание TiO_2 , P_2O_5 , MnO, Fe_2O_3 , S.

В рудных серых алеврито-глинистых породах в несколько раз (а по максимальным значениям на порядок) возрастает содержание Zn (0,038%), Cu (0,005%), Ni (0,019%), Co (0,007%), S (0,89%). Кроме того, в 2–4 раза увеличивается содержание Y (0,008%), Zr (0,05%), а Mo (0,005%) — до двух порядков. При этом содержание TiO_2 и Fe_2O_3 достаточно низкое, нехарактерное для вулканических пород. Количество TiO_2 варьирует от 0,44 до 0,8%, составляя в среднем 0,63%, при вариациях Fe_2O_3 0,89–4,27% (в среднем 2,15%), что не позволяет связать увеличение концентрации этих элементов только с примесью вулканического материала. Причина появления высокой концентрации в рудах специфического комплекса элементов, таких как Zn, Ni в песках и Zn, Ni, Cu, Co, Zr, Mo, P, Y, S в алевритах, пока не установлена, так как этот спектр элементов характерен для руд с примесью вулканического материала и без него.

Минеральный состав руд. Руды образованы тонкодисперсными выделениями урансодержащих фаз. Их изучение проводилось в ВИМСе на электронном микроскопе «Теспаи-12», оснащенном энергодисперсионным спектрометром, по энергетическим спектрограммам и по микродифракционным картинам (исследователи В.Т. Дубинчук, В.В. Ружицкий), а также на микроанализаторе JXA-8100, оснащенном энергодисперсионной приставкой INCA (исследователи Н.И. Чистякова, Г.Н. Нечелюстов).

По данным электронно-микроскопических исследований, уран сконцентрирован в нингиоите, присутствует в аморфных полиэлементных стяжениях с Ti–Si-основой (в «гелях») и крайне редко встречается в виде оксида (настуран). Основной минерал, образующий руды, — нингиоит. Он представлен веретеновидными кристаллами, удлинеными выделениями неправильной формы и изометрическими образованиями, нередко с хорошей кристаллической структурой размером от нескольких сотых до нескольких десятых долей микрона (рис. 4). В нингиоитах с типичной для них микродифракционной картиной нередко отмечено присутствие редкоземельных элементов. По данным микронзондовых исследований установлено, что фазы, содержащие P, Ca, U и отвечающие по составу нингиоиту, находятся в тесной пространственной связи с дисульфидами железа, углистым детритом, ильменитом и органосмектитом, судя по характеру распределения U и S (рис. 5).

Заключение. Приведенные в статье особенности формирования оруденения и закономерности его ло-

а

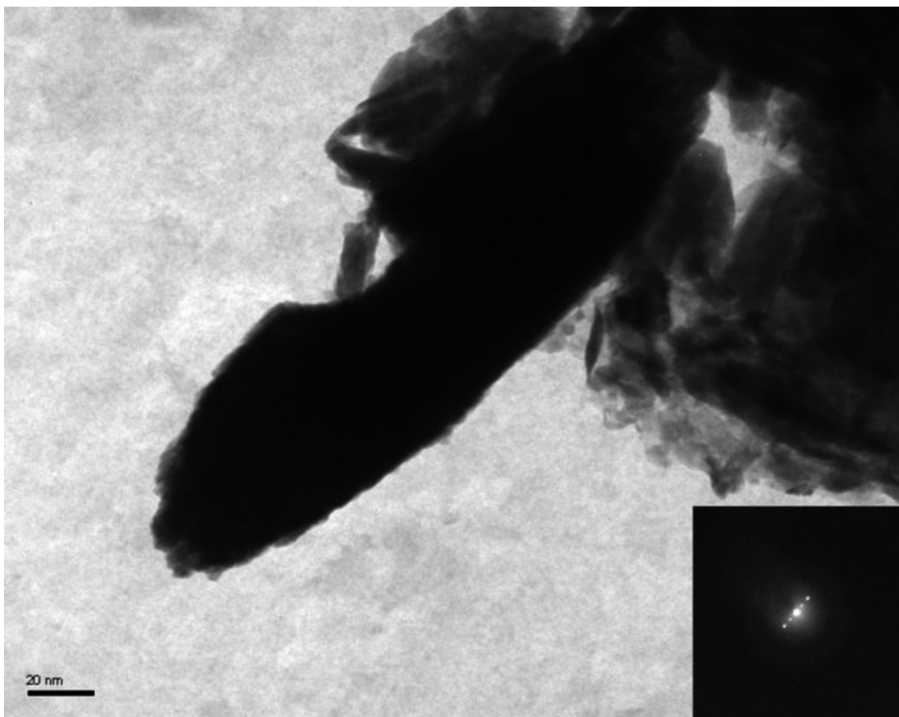
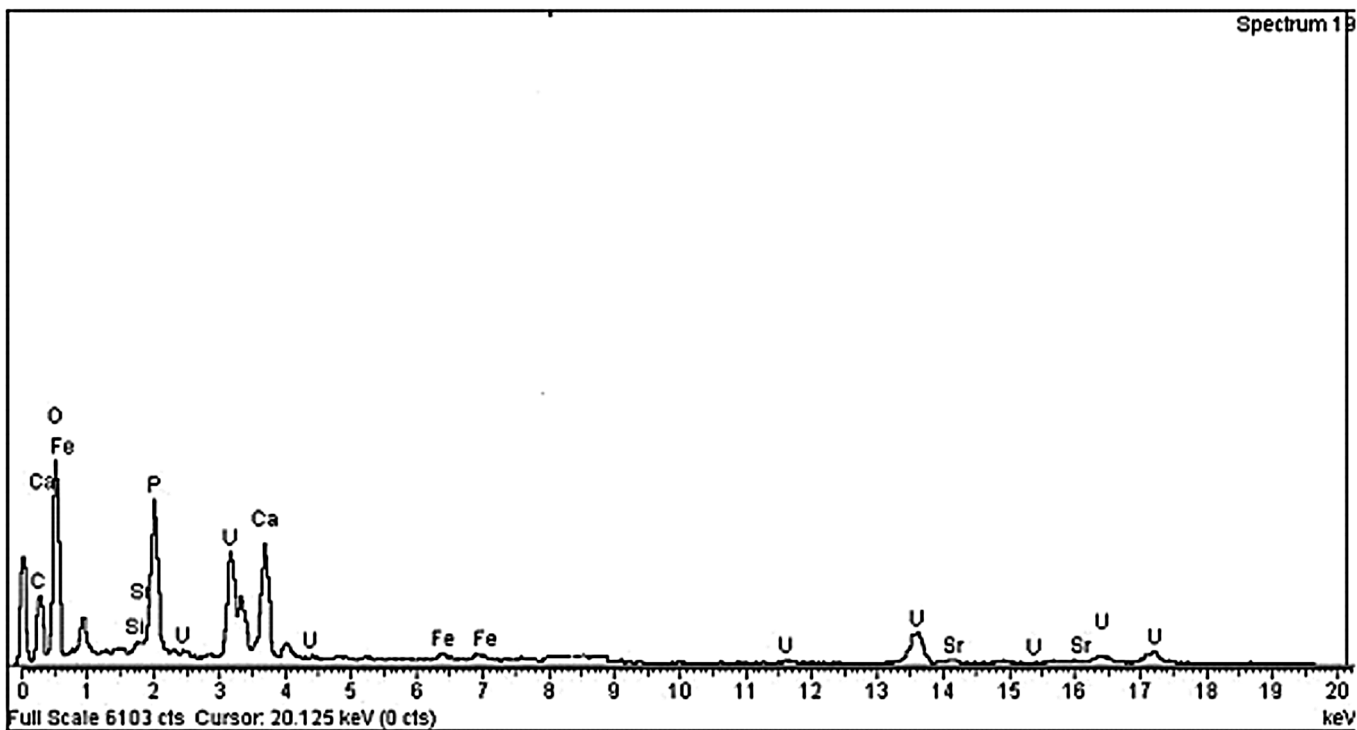


Рис. 4. Классическое веретенец нингиюита с монокристалльной картиной (а) и его спектр (б)

б



кализации позволяют отнести Кореткондинское месторождение к объектам «базального» типа, впервые охарактеризованным Д.Р. Бойлом на месторождениях Нинге-Тогэ и Тоно (Япония) в 1985 г. [Бойл, 1985].

В результате исследований установлено, что рудовмещающими являются сероцветные неогеновые отложения в палеораспадах, которые по первичным признакам разделяются на осадочную, вулканогенно-

осадочную и вулканогенную литогенетические ассоциации, формировавшиеся в разных ландшафтных обстановках и при разном тектоно-магматическом режиме, что позволяет рассматривать выделенные ассоциации в качестве формации или подбиты джилдинской свиты. В изученных палеораспадах рудовмещающие отложения представлены лишь вулканогенно-осадочной пачкой.

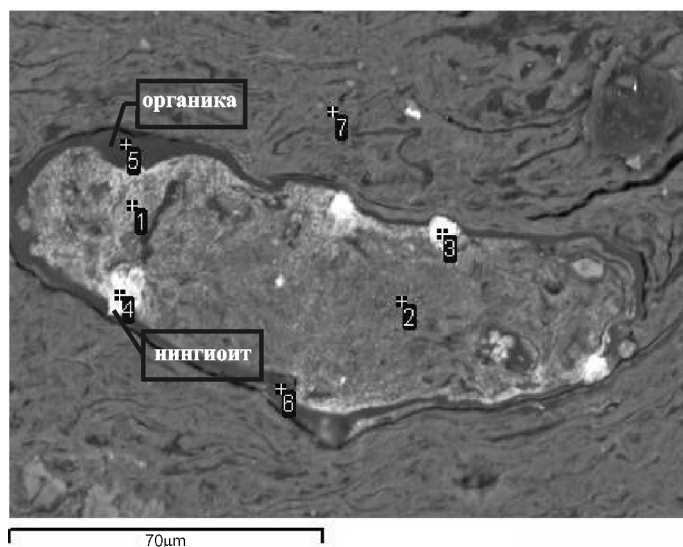


Рис. 5. Замещение растительного остатка алюмосиликатом, в котором находятся обособления нингиоита

Рудоподготовительным этапом была эпоха ко-рообразования, во время которой уран переходил из акцессориев в межзерновое пространство (в легкоподвижную форму) в радиогеохимически специализиро-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бетехтин А.Г.* Курс минералогии. М.: КДУ, 2010. 736 с.
- Бойл Д.Р.* Геология и фациальные условия образования урановых месторождений базального типа в осадочных породах // Мат-лы по геологии урановых месторождений зарубежных стран. Вып. 34. М., 1985.
- Кисляков Я.М., Щеточкин В.Н.* Гидрогенное рудообразование. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 608 с.

ванных породах фундамента и концентрировался в коре выветривания, что способствовало его активному выщелачиванию поверхностными и грунтовыми водами.

Урановое оруденение локализовано в породах, обогащенных сингенетическими восстановителями (углефицированными растительными остатками), контролируется областью выклинивания вторично восстановленных пород и сформировано в результате инфильтрации кислородных урансодержащих вод от верховьев и бортов палеораспадов к их тальвегам и устьям. Наиболее богатое оруденение концентрируется в более тонкозернистых глинистых породах, а также в интервалах, обогащенных органосмектитом, монтмориллонитом и лейкоксенизированными титанатами. Урановые руды образованы нингиоитом. Незначительная часть урана сконцентрирована в аморфных полиэлементных стяжениях на Si–Ti-основе (в «гелях») и представлена сорбционными формами. Оксид урана (настуран) встречается крайне редко.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ВИМС: А.Д. Коноплеву, Г.А. Тархановой, В.Т. Дубинчук, В.В. Ружицкому, Н.И. Чистяковой, Г.Н. Нечелюстову, Г.К. Кривоконевой, Ю.Н. Шуваловой.

- Логвиненко Н.В.* Петрография осадочных пород. М.: Высшая школа, 1967. 415 с.
- Максимова М.Ф., Шмариович Е.М.* Пластово-инфильтрационное рудообразование. М.: Недра, 1993. 160 с.
- Шрок Р.* Последовательность в свитах слоистых горных пород. М.: Изд-во иностранной литературы, 1950. 564 с.

Поступила в редакцию
13.03.2012