



РОЛЬ ДРЕВНЕГО КАРСТА В ФОРМИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА (ГОРНАЯ ШОРИЯ)

Г. И. Дьяченко, Г. Е. Асеев

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

В качестве вмещающих пород месторождения Лабыш принято рассматривать мраморизованные известняки верхнего протерозоя. Формирование урановых руд в карбонатных породах не соответствует существующим представлениям о геохимии урановорудного процесса. Детальное изучение рудных жил месторождения показало, что карстовые полости первоначально были заполнены обломками известняков разного размера и тонкодисперсным каолинитом. В дальнейшем поступление термальных щелочных растворов привело к выщелачиванию кремнезема метаморфогенных силикатов известняков и образованию «кремнисто-смолковых» жил. Фактически породами, вмещающими оруденение, являются морфологически жильные осадочные хорошо проницаемые породы, по геохимическим свойствам приближающиеся к гидротермально измененным породам среднего состава.

Ключевые слова: Горная Шория, структуры и текстуры рудных жил, рудный карст.

THE ROLE OF ANCIENT KARST IN THE FORMATION OF URANIUM DEPOSIT (GORNAYA SHORIYA)

G. I. Dyachenko, G. E. Aseev

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Marmorized limestones of the Upper Proterozoic are widely viewed as host rocks of the Labysh deposit. The formation of uranium ores in carbonate rocks does not correspond to existing concepts of the uranium ore process geochemistry. A detailed study of lode ores of the deposit showed that karst cavities were originally filled with limestone fragments of different sizes and finely-dispersed kaolinite. Further, an input of thermal alkaline solutions led to the leaching of earth silicon of metamorphogenic limestone silicates and formation of "silicinate-tar" veins. In fact, the rocks hosting mineralization are morphologically veined sedimentary well-permeable rocks with geochemical properties approximating to hydrothermally altered rocks of intermediate composition.

Keywords: Gornaya Shoriya, structures and texture of ore veins, ore karst.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-3-85-91

Лабышское месторождение расположено в Кемеровской области в 40 км к юго-востоку от административного центра района г. Таштагол (рис. 1), в Верхнекондомском рудном районе в центральной части Алтае-Саянской складчатой области (юг Кузнецкого Алатау, Горная Шория).

Месторождение открыто в 1960 г. при проверке бурением гидрохимической аномалии в верховья руч. Лабышонок, правого притока р. Кондома, в западном экзоконтакте Верхнекондомского гранодиоритового массива, в толще карбонатных пород верхнепротерозойского возраста.

Лабышское – одно из очень немногих урановых месторождений, руды которого локализованы в карбонатных породах. Это тем более странно, что в пределах рудного района урановая минерализация установлена в традиционных вмещающих породах. Здесь обнаружены рудопроявления Базас в амфиболитах, Березка в гранитах и Карагол в кремнисто-углистых сланцах и кварцитах (рис. 2). При этом продуктивность карбонатных пород Верхнекондомского рудного района в десятки раз выше, чем силикатных. Именно необычная локализация уранового оруденения в карбонатных породах привлекла внимание научных организаций к небольшому месторождению. Всесторонние его исследова-

ния проводились группами Московского института цветных металлов, ВИМС, ВИРГ, ИГЕМ и ВСЕГЕИ.

С целью изучения закономерностей локализации оруденения, морфологии рудных тел, вещественного состава и технологических свойств руд на Центральном участке месторождения была пройдена шахта с двумя горизонтами (80 и 130 м от поверхности) подземных горных выработок в комбинации со скважинами наземного и камерно-алмазного бурения.

Урановое оруденение слагает линзо-, жило- и столбообразные рудные тела протяженностью до 400 м при мощности от десятков см до 15 м. Руды высококонтрастные, содержание в них урана от 0,03 до 4,0 %, в отдельных штуфах – 10–15 %. Основной рудный минерал – урановая смолка, в зоне окисления описаны урановые черни [1].

Простирание рудных жил в целом широтное с отклонением к северу на 15–20°, субпараллельное осевой части Казаныхской депрессии, расположенной в 15 км севернее.

Рудный материал жил однородный черного цвета с раковистым изломом, царапает стекло. При документации керн первых скважин высококордиоактивные жилы получили название «кремнисто-смолковые». При выветривании материал жил



Рис. 1. Положение месторождения Лабьш
1 – месторождение Лабьш; 2 – административные границы; 3 – речная сеть

приобретает бурый цвет различной плотности. При этом в осветленном материале хорошо просматриваются структурно-текстурные особенности строения жильного выполнения.

Мощность рудных жил резко изменяется по падению и простираюнию (рис. 3). Наиболее мощные рудные раздувы образованы несортированным обломочным материалом размером от 1,0 до 10–15 см в матрице разнозернистого песчаника и алеврита (рис. 4). В составе обломков преобладают разнообразные известняки, отмечены кварциты, черные сланцы, жильный крупнокристаллический кальцит. Их размер увеличивается при увеличении мощности жил. В жилах мощностью более 2 см обычно присутствуют обломки двух классов крупности: 0,1–1,0 мм и 1,0–2,0 см, в раздувах – более 10 см. Обломки остроугольные, реже изометричные. По составу преобладают обломки известняков (80–90%), наблюдаются обломки кальцита, кварцитов и черных сланцев. Большинство обломков известняков аналогичны вмещающим, но присутствуют и «чужеродные», отличающиеся по цвету или степени раскристаллизации. Аналогичные структуры и текстуры описаны у материала, заполняющего полости карбонатного карста [1, 3, 4].

Практически во всех жилах мелкообломочный материал замещается халцедоновидным кварцем, реже опалом. Только рудные просечки мощностью доли миллиметра и стилолиты сложены мономинеральной урановой смолкой.

Вертикальная зональность жил обусловлена симметричным нарастанием кристаллического

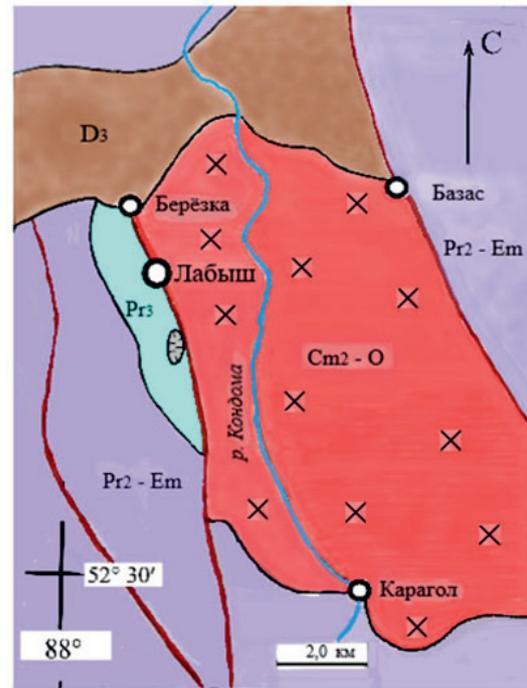


Рис. 2. Карта-схема Верхнекондомского рудного района
1 – живетский ярус среднего девона: красноцветные песчаники, алевриты, гравелиты; 2 – верхний протерозой – нижний кембрий: эффузивы и туфы разного состава, сланцы; 3 – верхний протерозой: известняки, доломиты, черные сланцы; 4 – гранодиориты; 5 – месторождение (а), рудопоявления (б); 6 – проявление карста; 7 – региональные разломы; 8 – речная сеть

кальцита на стенки трещин; горизонтальная – по слоистому расположению обломочного материала разной размерности; мощность слоев от долей миллиметра до 1,0 см.

В большинстве случаев слои прогибаются. Изгиб плавный от контактов к центру.

Распределение обломочного материала в жилах позволяет выделить три текстурных разновидности: массивные, вертикально- и горизонтально-слоистые (рис. 4–7)

В жилах мощностью менее 2–3 см все обломки полностью замещены халцедоновидным кварцем. При этом первичные структурно-текстурные особенности строения жильного материала сохраняются и хорошо просматриваются при косом освещении в полированных аншлифах и образцах, подвергшихся выветриванию.

Таким образом, структурно-текстурные особенности и состав рудных жил показывают, что их формирование происходило в два этапа. Сначала шло заполнение открытых полостей разноразмерными обломками вмещающих пород, главным образом известняков, и продуктами химического выветривания (минералы глины). В дальнейшем материал, заполнивший открытые трещины, замещался халцедоновидным кварцем и рудными минералами.

На месторождении не задокументировано ни одного случая пересечения рудными жилами даек диоритовых порфиритов. Рудные жилы прослежи-

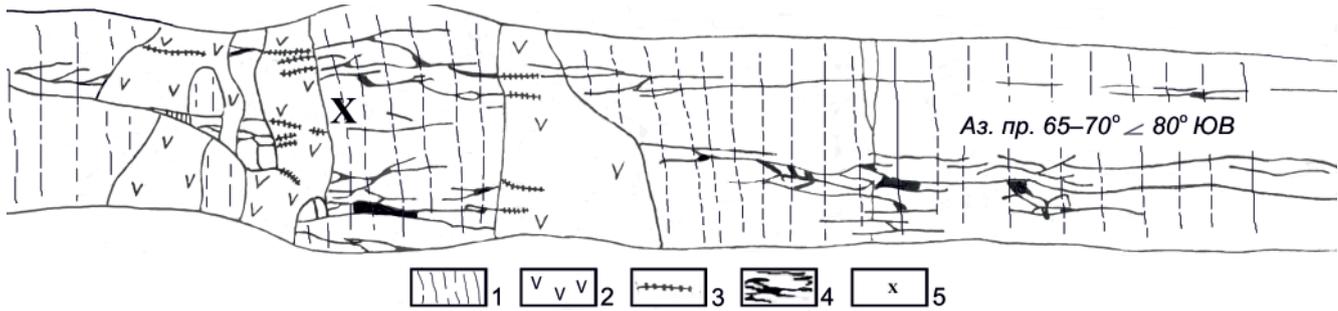


Рис. 3. Литологический контроль оруденения: рудные жилы развиваются только в мраморизованных известняках. Документация кровли выработки 1-2, 543–560 м

1 – мраморизованные известняки; 2 – дайки диоритовых порфиров; 3 – карбонатные прожилки; 4 – кремнисто-смольковые жилы; 5 – место отбора пробы



Рис. 4. Рудная жила массивной текстуры обломочной разнозернистой структуры. Фото обр. Л-21 (вверху) и радиография в течение 10 ч (внизу). Место отбора образца см. на рис. 3

ваются с двух сторон даек без смещения (см. рис. 3). Не выявлено оруденения на западе месторождения в белых мелкозернистых доломитизированных известняках.

В рудах месторождения установлено свыше 30 минералов. Большая часть из них встречается редко и образует выделения размером не более 0,1–0,5 мм. Жильные минералы представлены халцедоном (халцедоновидным кварцем), карбонатом (кальцитом, железистым и магниезальным карбонатом), каолинитом (редко галлуазитом). Содержание $C_{орг}$ в рудах обычно не превышает сотых долей процента. Установлено самородное золото (1 зерно). В 11 из 50 проанализированных проб жильного ма-

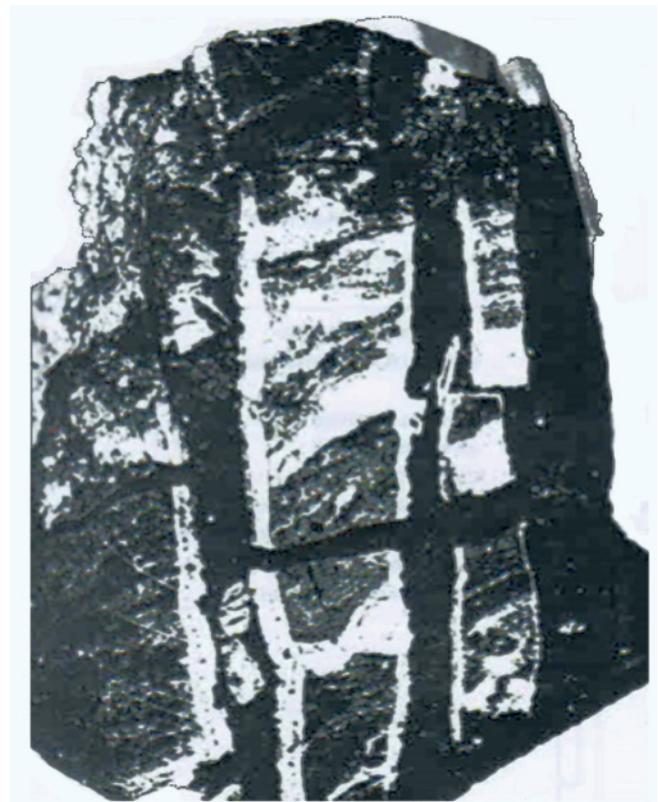


Рис. 5. Вертикально-зональная рудная жила. Обломочный материал массивной текстуры, выполняющий центральную часть жилы и секущий кальцит оторочек. Фото обр. Л-62. Выработка 2-1-2

териала содержание золота составляет тысячные – сотые доли грамма на тонну.

Выделены три ассоциации урановой смолки.

1. Наиболее распространенная ассоциация *халцедон-молибденит-настурановая*. Халцедоновидный кварц образует волокнистые и сферолитовые агрегаты, содержащие мельчайшие выделения молибденита и урановой смолки. Более крупные (до десятых долей миллиметра) выделения смолки неравномерно распределены в халцедон-каолиновом агрегате или приурочены к контактам жильного материала с вмещающими известняками и их обломками.

2. *Карбонат-мышьяк-настурановая* ассоциация наиболее широко представлена в карбонат-смольковых жилах и наиболее крупных раздувах

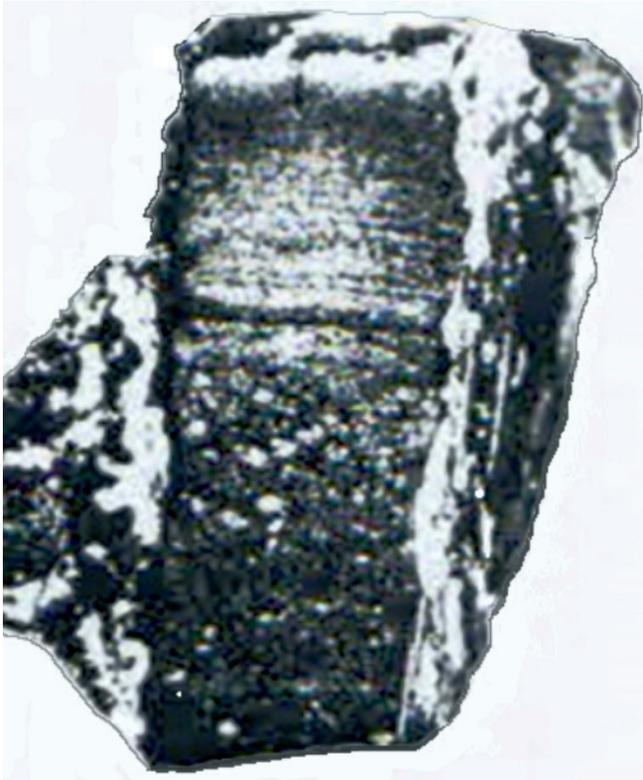


Рис. 6. Горизонтально-слоистая рудная жила. Размер обломков и слоев уменьшается снизу вверх. Фото обр. Л-63. Выработка 2-1-2-1

рудных жил. Тонко- и мелкозернистый карбонат интенсивно корродирует кальцит обломков и вмещающих пород. Его состав изменяется от слабо магнезиального кальцита до железистого доломита и анкерита. В карбонате относительно равномерно распределены неправильные, реже почковидные выделения самородного мышьяка. Иногда присутствуют идиоморфные кристаллики пирита, на которых отлагается настуран в виде корочек мощностью до 0,1 мм. Основная часть настурана образует обособления неправильной формы. Ветвящиеся выделения смолки прослеживаются по контакту рудных жил с вмещающими известняками или рассеяны в массе жильного материала.

3. Керит-хлоантит-настурановая ассоциация развита крайне ограниченно и выявлена только на западном фланге месторождения. В одиночных штуфах обнаружены скопления керита размером до 3,0×5,0 см, содержащие корродированные почки и удлиненные обломки урановой смолки, диарсениды никеля и кобальта размером десятые доли миллиметра.

Околорудные изменения мраморизованных известняков визуально практически не устанавливаются. Полный химический анализ показывает снижение содержания кремнезема в известняках с фоновых 1,5–2,0 % до 0,5 % на расстоянии до 1,0 м от наиболее мощных рудных жил. Борздовое опробование штокеркового рудного тела мощностью 3,5 м при содержании урана 0,5–1,7 % и плотности кремнисто-смолоквых жил 10–20 на 1 м не пока-



Рис. 7. Кремнисто-смолоквая жила поперечно-ритмичной текстуры. Фото аншлифа Л-183. Выработка 4-1-1

зало повышения содержаний кремнезема в рудном пересечении. Средневзвешенные содержания кремнезема в материале штокерка при плотности 10–15 жил на 1 м составило 1,4 % по шести борздовым пробам относительно вмещающих известняков: южный борт 2,1 % по четырем пробам и северный 1,8 % по трем (выработка 1-2-11-1-2).

Перераспределение кремнезема устанавливается и при изучении шлифов: в прижильных известняках почки и прожилки халцедоновидного кварца корродируют кальцит. При удалении на 10–50 см от рудных жил метаморфогенные силикаты отчетливо корродируются карбонатом.

В дайках отмечается слабое (до 12–20 мкР/ч) повышение радиоактивности; при этом полевые шпаты каолинизируются, темноцветные минералы замещаются хлоритом. Аналогичные изменения сопровождают бедное (до 0,03–0,05 % урана) оруденение в гранитоидах на востоке рудного поля.

Уже отмечалось, что руды месторождения формировались в результате замещения обломочного материала, заполнившего трещины и полости. Дайки, образованные обломочным материалом, называют по-разному в зависимости от их происхождения: нептунические, кластические, инъекционные и т. п. В дальнейшем будем использовать термин «экзожилы» как соответствующий размерам изучаемых образований и приповерхностным условиям их формирования. На рис. 8 приведена фотография керна скважины вскрывшей экзожилу карстового проявления р. Малая Кондома.

Положение рудных тел, субпараллельных осевой линии депрессии, позволяет предполагать, что приоткрывание трещин, их заполнение обло-

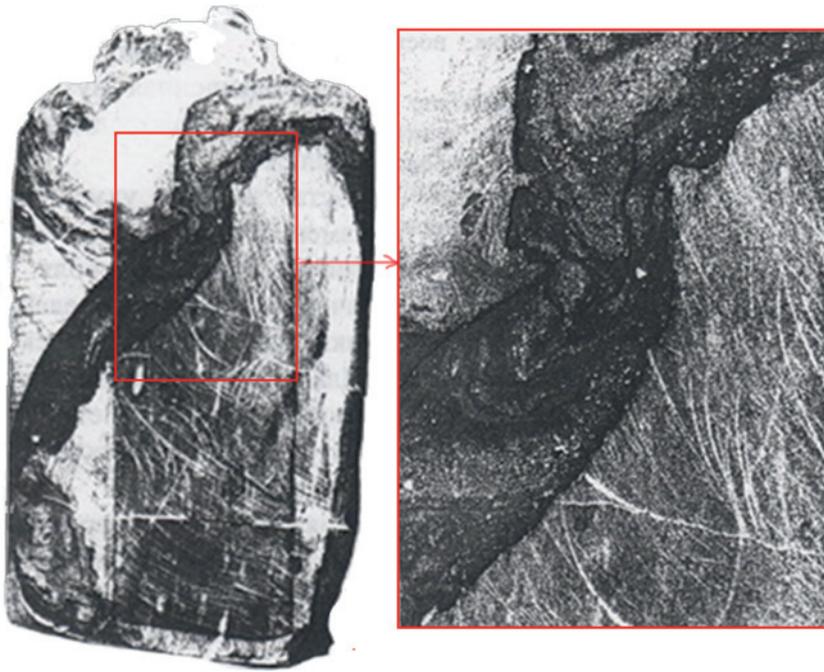


Рис. 8. Ритмично-полосчатая алеврит-песчаная экзожила каолинит-карбонатного состава в мелкозернистых мраморизованных известняках серого цвета. Проявление карста р. Малая Кондома, скв. 1352, 238 м. Фото обр. М.К.–42

мочным материалом происходило одновременно с формированием депрессии. Неравномерное поступление пластичного материала в приоткрывающиеся трещины «отпора» привело к образованию слоистых текстур, сформированных слойками разной мощности. Под действием накопившегося осадка слойки прогибались (см. рис. 7). Реже в трещинах, перекрытых обломками пород, в условиях спокойного гидродинамического режима формировались специфические структуры, в которых слоистость перпендикулярна стенкам, а размер обломков уменьшается сверху вниз (см. рис. 6). Абсолютная пористость экзожил (8,0–24,0 %) существенно выше, чем вмещающих мраморизованных известняков (2,1–6,8 %); выше и открытая пористость (9,6–23 и 0,72–1,82 % соответственно). В дальнейшем при диагенезе объем кольтатирующего материала уменьшался и отслаивался от стенок трещин; так формировались вертикально-зональные жилы, что существенно повышало проницаемость структуры.

Таким образом, текстуры рудных жил не связаны с процессом рудообразования и являются реликтовыми.

Не установлено оруденение и в доломитизированных известняках на западном фланге месторождения. В доломитах и доломитизированных известняках региона не развиваются и безрудные экзожилы. По-видимому, это обусловлено более низкой растворимостью магнийсодержащих карбонатов по сравнению с кальцитом и образованием доломитовой муки, кольтатирующей трещины и затрудняющей развитие карста.

Материал экзожил по содержанию породообразующих элементов приближается к карбонатизированным породам среднего состава и резко отличается от вмещающих известняков. Так, по результатам химического анализа матери-

ала экзожил, очищенного от видимых обломков карбонатов, содержание в них окислов основных породообразующих элементов изменялось в следующих пределах (%): SiO_2 34–50, Al_2O_3 12,5–22,8, K_2O 0,4–2,6, Na_2O 0,3–5,7, Fe_2O_3 0,7–7,9. Всего проанализированы 24 пробы карстового проявления из трех скважин.

Выщелачивание натрия и калия при формировании окolorудных изменений в гранитах и дайках показывает, что рудоносные растворы имели кислую реакцию. О низком режиме серы свидетельствует широкое развитие в рудах самородного мышьяка, а также пирротина, никелина и хлоантита. Присутствие в рудах молибдена, свинца и цинка, а также золота может быть связано с наличием в пределах рудного поля молибденитсодержащих кварцитов, карбонатных жил с галенитом и сфалеритом, а также отработанной золотой россыпи.

В литературе, посвященной проблемам рудогенеза, часто указывается, что урановая минерализация завершает рудообразование.

Об истинном характере растворов свидетельствует их продвижение на сотни метров по трещинам, заполненным мелкообломочным материалом.

Фильтрация гелевых растворов в таких условиях невозможна. Температура при рудоотложении составляла, по-видимому, 100–150 °С.

По данным Т. М. Кайковой, температура образования кварца, ассоциирующего с урановой смолкой, равна 150–170 °С. Г. М. Комарницкий приводит температуру образования настурана 218–223 °С. Определение проводилось методом декрипитации и, возможно, полученные значения несколько завышены. По опубликованным данным [6], образование самородного мышьяка характерно для гидротермальных низкотемпературных близповерхностных месторождений.



На восходящее движение рудных растворов указывает наличие бедного оруденения на глубинах свыше 500–600 м от современной поверхности, т. е. ниже уровня развития экзожил и ниже базиса древней зоны карстообразования – основания Кананской депрессии.

По мере продвижения к поверхности и снижения давления потеря углекислоты сопровождалась повышением pH растворов и выщелачиванием кремнезема метаморфогенных акцессориев известняков. Таким образом, в результате двух взаимосвязанных процессов (дегазация растворов и выщелачивание кремнезема) снизился режим щелочей и углекислоты и стало возможным отложение настурана в кремнисто-смолковых жилах. Параллельно происходило замещение минералов экзожил: галлуазит и бемит замещались дикситом, магний-кальциевые силикаты карбонизировались, полевые шпаты каолинизировались. Широкое развитие тонкодисперсного настурана в кварц-халцедоновом агрегате свидетельствует об их одновременном образовании и может служить подтверждением нейтрализации растворов при рудоотложении.

В результате изучения вещественного состава руд и структурно-текстурного анализа рудных жил установлено следующее.

1. Структуры и текстуры ураново-рудных жил и карстовых экзожил аналогичны.

2. Открытая и общая пористость экзожил существенно выше, чем вмещающих мраморизованных известняков.

3. Рудные жилы выклиниваются симметрично с двух сторон даек, не пересекая их; оруденение весьма ограничено развито в силикатных породах и доломитизированных известняках.

4. В составе руд (жильного материала) могут быть выделены две группы минералов:

– устойчивые и образующиеся при выветривании алюмосиликатных пород, а также характерные для нерастворимого остатка мраморизованных известняков (минералы глин, рутил, браннерит, циркон и др.);

– типичные для низкотемпературных приповерхностных урановых месторождений (самородный мышьяк, иордезит, марказит, халцедон и др.).

5. Снижение содержания кремнезема в известняках соответствует его накоплению в рудных жилах.

Выводы

1. Урановое оруденение Лабышского месторождения формировалось в осадочных жильных породах (экзожилах), по геохимическим свойствам приближающихся к гидротермально измененным диоритовым порфиритам.

2. Положение месторождения в поле известняков определено высокой проницаемостью экзожил, не подвергшихся метаморфизму.

3. Основным процессом рудоотложения была дегазация термальных углекислых растворов при их буферном взаимодействии с вмещающими известняками.

4. Наличие в карстовых образованиях золота, даже редких находок и при низких содержаниях, указывает на возможность наличия в Горной Шории месторождений типа Куранахского (Якутия).

В заключение необходимо отметить, что карстовые образования вообще и экзожилы в частности развиты гораздо шире, чем обычно принято думать, и что карстовые формации способны значительно повысить прогнозируемые запасы месторождений [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов В. С., Воробьев В. А., Журавлев Е. А. Выявление карстовых и суффозионно-карстовых объектов по материалам космических съемок центральной части Восточно-Европейской платформы // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геология. География. – 2016. – Вып. 4. – С. 4–16.

2. Домаренко В. А., Воробьев Е. А., Мазуров А. Х. Основные результаты и перспективы развития геологоразведочных работ на радиоактивное сырье в Центрально-Сибирском регионе // Изв. ТПУ. – 2009. – Т. 31, № 1. – С. 92–96.

3. Казаков П. В. Погребенный заполненный карст и особенности формирования (или разубоживания) в нем месторождений полезных ископаемых (на примере Северного, Южного Урала и Приуралья) // Геология. Известия. Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. – 2017. – № 24. – С. 65–69

4. Карст в земной коре: распространение и основные типы / под ред. И. Т. Бакуменко. – Новосибирск: ОИГГИМ СО АН СССР, 1992. – 76 с.

5. Кутырев Э. И., Ляхницкий Ю. С., Михайлов Б. М. Недр: Карстовые месторождения. – Л.: Недра, 1989. – 311 с.

6. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания / пер. с нем. под ред. А. Г. Бетехтина. – М.: ИЛ, 1962. – 1132 с.

REFERENCES

1. Antipov V.S., Vorobyev V.A., Zhuravlev E.A. [Identification of karst and karst-suffosion features on satellite imagery in the central part of East European platform]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya – Vestnik of Saint Petersburg University, series 7. Geology. Geography.* 2016, issue 4, pp. 4–16. (In Russ.).

2. Domarenko V.A., Vorobyev V.A., Mazurov A. Kh. [Basic results and prospects of development of prospecting works on radioactive raw-material in Central-Siberian region]. *Izvestiya Tomskogo pplitekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk State University*, 2009, vol. 314, no. 1, pp. 92–96. (In Russ.).

3. Kazakov P.V. [Buried filled karst and features of formation (or impoverishments) of mineral depos-



its in it (at the example of the Northern, Southern Urals and Cis-Urals]. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnym resursom AN RB – Geology. The Bulletin of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, 2017, no. 24, pp. 65–69. (In Russ.).

4. Andreychuk V.N., Dublyansky Y.V., Ezhov Yu.A., Lysenin G.P. *Karst v zemnoy kore: rasprostraneniye i os-*

novnyye tipy [Karst in the Earth's crust: distribution and the main types]. Novosibirsk, UIGGM SB AS USSR Publ., 1992. 76 p. (In Russ.).

5. Kutyrev E.I., Lyakhnitsky, Mikhaylov B.M. *Karstovyye mestorozhdeniya* [Karst deposits]. Leningrad, Nedra Publ., 1989. 311 p. (In Russ.).

6. Ramdor P. *Rudnyye mineraly i ikh srastaniya* [Ore minerals and their intergrowths]. Moscow, IL Publ., 1962. 1132 p. (In Russ.).

© Г. И. Дьяченко, Г. Е. Асеев, 2022