

Возраст и стадийность уранового оруденения Туюканского рудного узла (Тонодский район, Северное Забайкалье)

Обсуждаются результаты определения U-Pb изотопного возраста уранового оруденения Туюканского рудного узла в Тонодском районе методом изотопного разбавления и термояонной масс-спектрометрии (ТИМС) по настурану. Установлено, что ураноносные жилы с наиболее богатым оруденением имеют возраст 1234 ± 12 млн лет. Делается вывод о стадийном характере гидротермального урановорудного процесса с формированием телескопированных полихронных руд на Туюканском месторождении и более поздних (рифейских) настурановых жил на его флангах. Последняя обстановка в качестве самостоятельной впервые охарактеризована и датирована на рудопроявлении Натали.

Ключевые слова: *жильное урановое оруденение, настуран, U-Pb возраст, рудопроявление Натали, Туюканский рудный узел, Тонодское поднятие, Северное Забайкалье.*

L. B. MAKAREV, U. S. EFREMOVA,
R. SH. KRYMSKY, S. A. SERGEEV (VSEGEI)

Age and stages of uranium mineralization in the Tuyukan ore cluster (Tonod district, Northern Transbaikalia)

The paper presents new geochronological results on pitchblende from Tuyukan ore cluster in the Tonod district by U-Pb ID-TIMS technique. It has been established that the age of uranium-bearing veins with the richest mineralization is 1234 ± 12 Ma. The conclusion is made about the stage-by-stage hydrothermal uranium ore process with the formation of telescoped polychronous ores in the Tuyukan deposit and later (Riphean) pitchblende veins in its flanks. The latter environment as independent one was first characterized and dated in the Natalie ore occurrence.

Keywords: *vein-type uranium ore, pitchblende, U-Pb age, Natalie ore occurrence, Tuyukan ore cluster, Tonod Uplift, Northern Transbaikalia.*

Как цитировать эту статью: Макарьев Л. Б. Возраст и стадийность уранового оруденения Туюканского рудного узла (Тонодский район, Северное Забайкалье) / Л. Б. Макарьев, У. С. Ефремова, Р. Ш. Крымский, С. А. Сергеев // Регион. геология и металлогения. — 2019. — № 77. — С. 67–74.

Урановый потенциал территории Северного Забайкалья составляют месторождения и многочисленные рудопроявления урана, сформированные в древних, карельского этапа, гранитоидно-метаморфических образованиях Тонодского и Нечерского поднятий. Несмотря на существенные отличия от известных месторождений типа несогласия, до настоящего времени наиболее распространенной являлась точка зрения о связи гидротермального уранового оруденения Северного Забайкалья с поверхностью регионального предрифейского структурно-стратиграфического несогласия. Туюканский рудный узел Тонодского района (одноименного поднятия) включает Туюканское месторождение — наиболее крупное среди известных урановых объектов этой территории. В процессе проводимого ВСЕГЕИ в 2017–2018 гг. геологического доизучения листа О-49-ХП представилась возможность уточнить геологические особенности образования и возраст урановых руд Туюканского узла, а в итоге

определить формационно-генетическую принадлежность гидротермального уранового оруденения в данном регионе.

Общие сведения. Тонодское и подобные поднятия (Чуйское, Нечерское) входят в состав Прибайкальско-Патомской краевой системы Саяно-Байкальской складчатой области (рис. 1) и представляют собой выступы карельского гранитоидно-метаморфического основания (фундамента) среди рифейских параплитных комплексов Прибайкальско-Патомского перикратонного прогиба [3, 9]. Тонодское поднятие образовано слабометаморфизованными раннекарельскими отложениями и позднекарельскими гранитоидами, прорванными дайками габбро-долеритов и перекрытыми рифейским чехлом с выраженным в его основании (нижнерифейская пурпольская свита) предрифейским структурно-стратиграфическим несогласием. Раннекарельские отложения расчленяются на

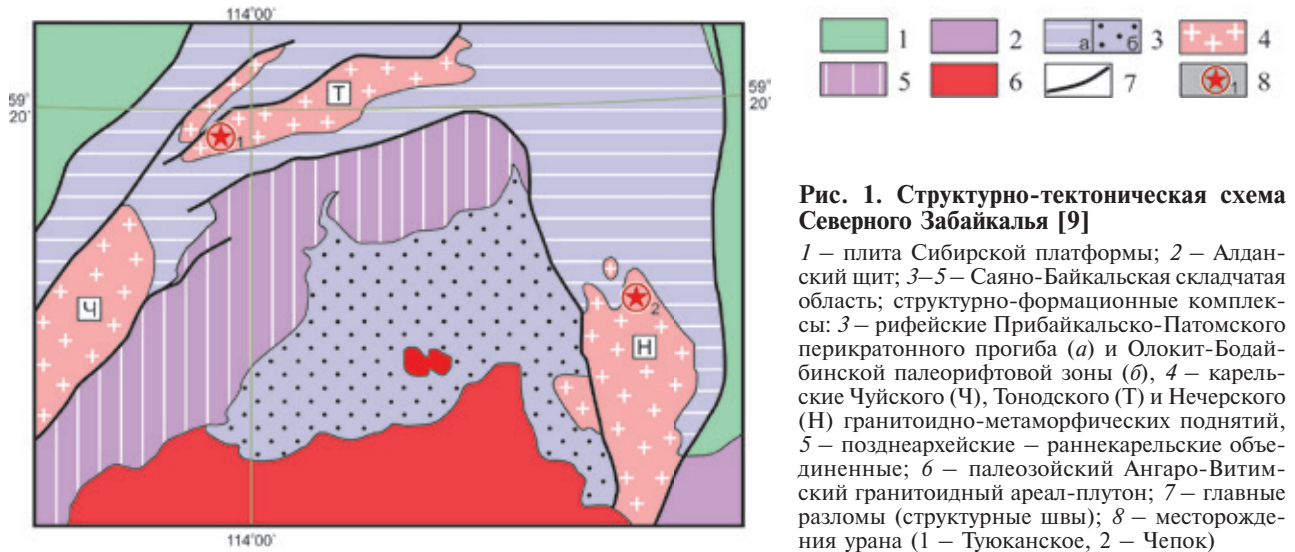


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема Северного Забайкалья [9]

1 – плита Сибирской платформы; 2 – Алданский щит; 3–5 – Саяно-Байкальская складчатая область; структурно-формационные комплексы: 3 – рифейские Прибайкальско-Патомского перикратонного прогиба (а) и Олоkit-Бодайбинской палеорифтовой зоны (б), 4 – карельские Чуйского (Ч), Тонодского (Т) и Нечерского (Н) гранитоидно-метаморфических поднятий, 5 – позднеархейские – раннекарельские объединенные; 6 – палеозойский Ангаро-Витимский гранитоидный ареал-плутон; 7 – главные разломы (структурные швы); 8 – месторождения урана (1 – Туяканское, 2 – Чепок)

песчаниковую албазинскую и вышележающую углеродисто-песчано-сланцевую михайловскую свиты, наиболее полно представленные в Михайловской брахисинклинали. Основную площадь Тонодского поднятия занимают массивы порфиоровидных рапакивиподобных и лейкократовых гранитов чуйско-нечерского комплекса, наиболее крупным и представительным из которых является Кевактинский массив (рис. 2). Полученные авторами конкордантные U-Pb

(SHRIMP II) датировки по циркону различных фациальных разновидностей этого массива [4] в совокупности с имеющимся U-Pb определением [6] позволяют заключить, что время формирования чуйско-нечерского комплекса калиевых гранитов S-типа находится в интервале 1850–1840 млн лет. Дайки габбро-долеритов, имеющие региональное распространение, образуют рои вдоль продольных разломов северо-восточной ориентировки в центральной и краевых частях

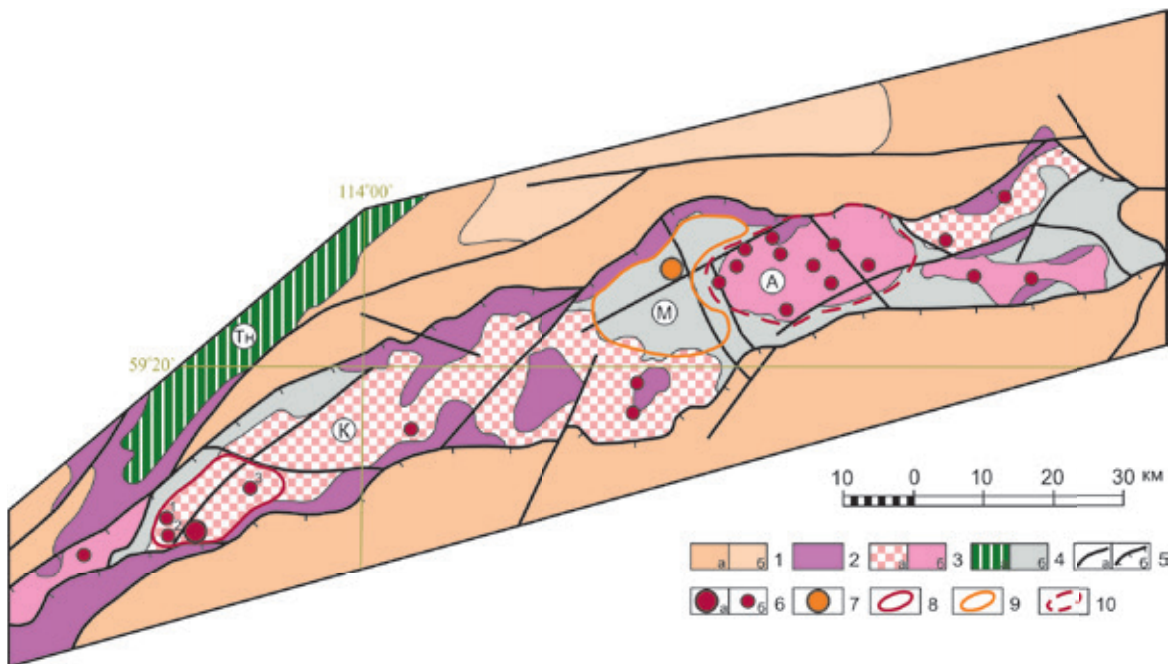


Рис. 2. Схема геологического строения и металлогенического районирования Тонодского района (по [10] с доп.)

1, 2 – отложения рифейского чехла: 1 – среднерифейские балаганакской серии (а) и верхнерифейские дальнотайгинской серии (б), 2 – нижнерифейские пурпольской и медвежьей свит; 3, 4 – образования кристаллического фундамента: 3 – позднекарельские гранитоиды чуйско-нечерского комплекса, в том числе порфиоровидные граниты (а) и лейкограниты (б), 4 – нижнекарельские зеленокаменные (а) и песчано-сланцевые албазинской и михайловской свит (б); 5 – разрывные нарушения (а), в том числе надвиги (б); 6 – Туяканское месторождение (а) и рудопроявления (б) урана (1 – Натали, 2 – Западное, 3 – Восточное); 7 – месторождение золота Чёртово корыто; 8–10 – главные рудные узлы: 8 – Туяканский урановорудный, 9 – Кевактинский золоторудно-россыпной, 10 – Амандракский потенциальный урановорудный. Буквы в кружках: главные морфоструктурные элементы Тонодского поднятия (М – Михайловская брахисинклинали, К – Кевактинский и А – Амандракский гранитоидные массивы, Тн – Туяканский выступ)

Тонодского поднятия. Позднекарельский возраст ранних даек (чайский комплекс) составляет около 1750 млн лет [1, 3]. Более поздние протяженные дайки долеритов (медвежевский комплекс) интрузируют нижнерифейские и перекрываются среднерифейскими отложениями, тяготея к краевым частям поднятия. Геохронологически они не изучены, а геологический возраст определяется как ранне-среднерифейский (1400–1300 млн лет). В границах поднятия традиционно выделяется Тонодский рудный район с наиболее значимыми Туюканским, Амандракским урановорудными и Кевактинским золоторудными узлами [9, 10]. В урановорудных узлах оруденение формируется в гранитоидах краевых и апикальных частей массивов (Кевактинского, Амандракского и др.), а золото-сульфидно-кварцевое оруденение Кевактинского узла (Михайловской брахисинклинали) – во вмещающих раннекарельских

породах с преимущественным развитием в черных углеродистых сланцах михайловской свиты (рис. 2).

Ураноносность Туюканского узла. Туюканский рудный узел включает Туюканское месторождение и рудопроявления урана (Натали, Западное, Восточное), открытые в юго-западной части Кевактинского гранитоидного массива при поисково-оценочных работах Иркутского и Сосновского ПГО под руководством А. Ю. Шманкевича (1984 г.) и А. М. Ковешникова (1989 г.). Проведенные ревизионные работы, включающие изучение сохранившихся канав и керн скважин, были сосредоточены в пределах Туюканского месторождения и рудопроявления Натали.

Рудное поле Туюканского месторождения (рис. 3) сформировано в узле сочленения

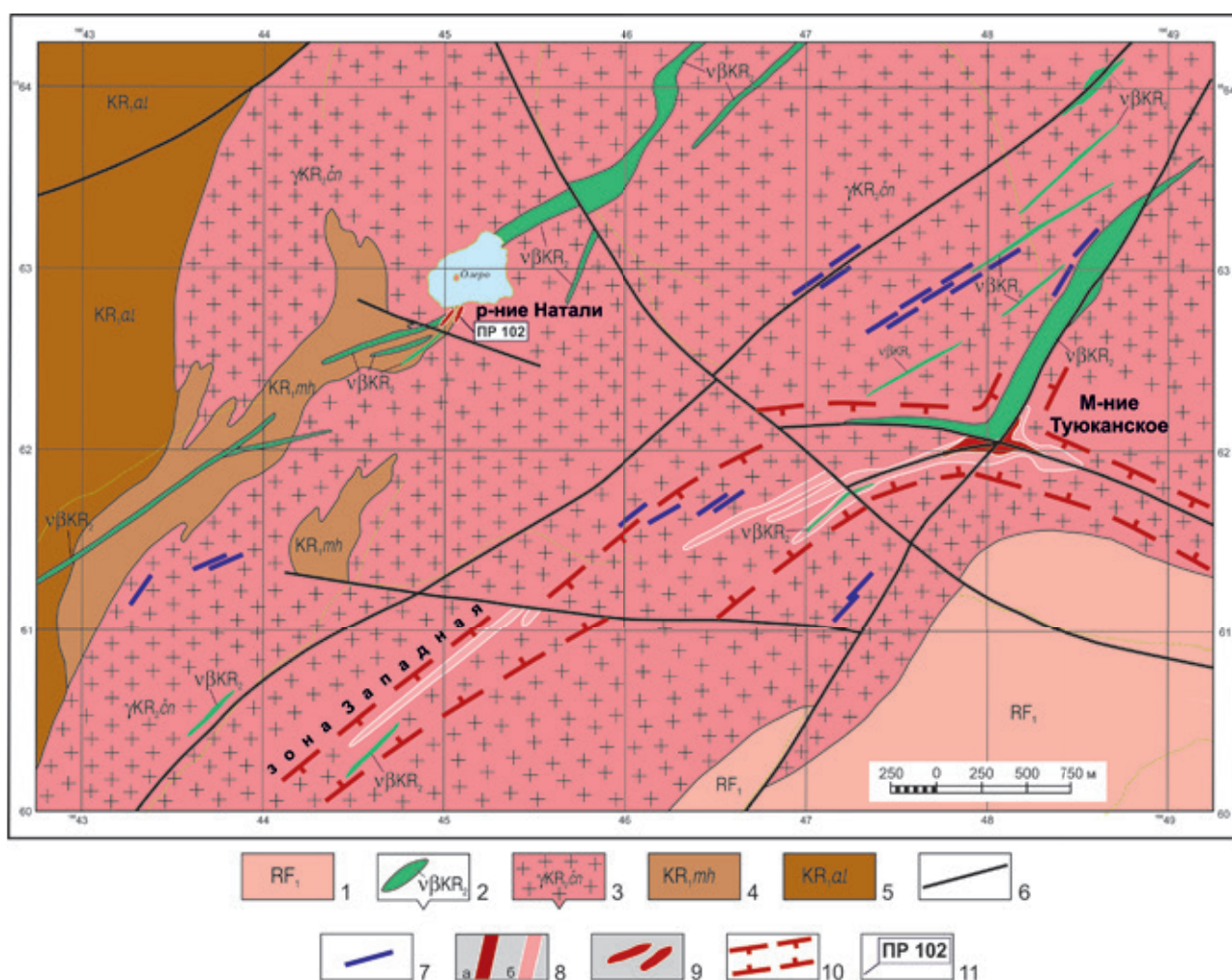


Рис. 3. Геологическая карта западной части Туюканского рудного узла (с использованием материалов А. М. Ковешникова, 1989 г.)

1 – нижнерифейские отложения нерасчлененные: конгломераты, кварцито-песчаники; 2 – дайки габбро-долеритов; 3 – чайско-нечерский комплекс: граниты и гнейсограниты порфировые средне-крупнозернистые и мелкозернистые; 4 – михайловская свита: сланцы и металавролиты серые, черные углеродистые и слюдисто-кварцевые; 5 – албазинская свита: метапесчаники светло-серые кварц-полевощпатовые; 6 – разрывные нарушения (без разделения по морфологии); 7 – жильное окварцевание; 8 – выходы рудных залежей на поверхность с кондиционным (а) и забалансовым (б) оруденением; 9 – урановорудные тела проявления Натали; 10 – ураноносные зоны катаклаза, дробления и гидротермально-метасоматической проработки; 11 – место отбора пробы на определение абсолютного возраста

северо-восточных и секущих северо-западных и субширотных разломов, трассирующихся разновозрастными (преимущественно позднекарельскими) дайками габбро-долеритов. Ураноносной является полоса развития сближенных субширотных зон катаклаза, дробления и флюидно-метасоматической переработки гранитов общей протяженностью до 3 км и шириной до 200 м, в пределах которой выявлены пять урановородных залежей с жильным и штокверковым прожилково-вкрапленным оруденением. Наиболее крупная залежь 1 с кондиционным оруденением (собственно Туюканское месторождение на рис. 3) вмещается мелкозернистыми гранитами, содержащими ксенолиты углеродистых сланцев михайловской свиты. Эта залежь мощностью 35–86 м прослежена на протяжении 800 м и до глубины 400 м. Она объединяет серию ветвящихся жилообразных рудных тел с раздувами и пережимами. Мощность рудных тел варьирует от 1 до 36 м при содержании урана от 0,05–0,1 до 0,4 % [9]. В наиболее богатой рудоносной части разреза наблюдается максимальная насыщенность гранитов ксенолитами сланцев. Другая характерная особенность – развитие оруденения на участках телескопированного проявления ранних (гранитогенных) фельдшпатолит-грейзеновых и более поздних березитовых изменений. Руды Туюканского месторождения сульфидосодержащие, часто обогащенные Pb, Zn, Ni, As, Cu, реже Co, Ag и Au. На месторождении развита зона интенсивного окисления до глубины не менее 200 м, в пределах которой установлен вынос урана. Здесь преобладают гипергенные урановые минералы (отенит, скупит, уранофан и др.), а первичная минерализация (уранинит, настуран, редко коффинит) находится в виде реликтов в скоплениях биотита ранней стадии кремнещелочного метасоматоза или ассоциирует с поздней трещинно-прожилковой минерализацией (серицит, хлорит, кварц, карбонат). Наличие богатых первичных руд предполагается на глубине более 200 м [10].

Ревизия Туюканского месторождения и фактические материалы поисковых работ не подтверждают ранее предполагаемую связь уранового оруденения с предрифейским несогласием и его принадлежность к типу несогласия. Выходы рифейских отложений отдалены от Туюканского месторождения (более чем на 500 м), а результаты бурения этих отложений показывают полное отсутствие в контакте с подстилающими гранитами каких-либо признаков древнего гипергенеза (корообразования) и рудоформирующих эпигенетических процессов. Рудовмещающие мелкозернистые граниты, относимые ранее к продуктам коры выветривания (зоны дезинтеграции), представляют собой интрузивную фацию гранитоидов Кевактинского массива, широко развитую в его апикальных и краевых (эндоконтактных) частях. Геологические данные свидетельствуют об образовании наиболее масштабных руд Туюканского месторождения в провесе кровли раннекарель-

ских отложений михайловской свиты, частично эродированном в настоящее время. В такой же позиции на северо-западном фланге месторождения выявлено скрытое жильное оруденение с богатыми урановыми рудами (рудопроявление Натали).

На рудопроявлении Натали (рис. 3) крупный провес (ксенолит) слюдистых и графитистых сланцев михайловской свиты хорошо обнажен на поверхности, а его нижняя часть вскрыта в каре. Оруденение локализовано в сланцах, на поверхности (в т. ч. в канавах и скважинах) не зафиксировано, а проявлено только на глубине. В средней части кара (примерно в 100 м от поверхности) появляются единичные кварц-настурановые прожилки, а в основании кара (на глубине 240–250 м) выявлены два рудных тела, представляющие собой участки сгущения кварц-настурановых прожилков, а также вкрапленности и почковидных выделений (до 1×2 см) настурана. Мощность рудных прожилков обычно от нескольких миллиметров до 1–5 см. Отмечающиеся рядом более мощные (до 2–3 м) кварцевые жилы безрудны. Первое рудное тело ($4,5 \times 8$ м) частично вскрыто расчисткой и до конца не прослежено по простиранию. Размеры второго тела около 10×30 м. Содержание урана в этих рудных телах достигает 1,8–3,5 %, а в отдельных жилах с массивным настураном – 17 % и более ($n \times 10$ %). Околожильные изменения (оторочки мощностью до первых сантиметров) выражены в развитии кварца, хлорита и сульфидов. Руды относятся к классу богатых и сопровождаются аномальными концентрациями Pb, Zn, Cu, Bi, As, Ag, Pt [3], а также Au (по полнотным данным).

Урановое оруденение Туюканского рудного узла и Тонодского района в целом геохронологически не охарактеризовано, а имеющиеся U-Pb определения возраста не могут рассматриваться как достоверные. Эти определения (по материалам поисково-оценочных работ 1984–1989 гг.) получены по валовым пробам в лаборатории Сосновского ПГО с разбросом значений в диапазоне от 1600 ± 100 до 440 млн лет, в то время как единичные измерения на элементном микрозонде САМЕСА (ВСЕГЕИ) приблизительно оценивали возраст настуранов на всех анализировавшихся объектах Тонодского района, включая Туюканское месторождение, в пределах 510–370 млн лет.

В результате по аналогии с месторождением Чепок (на севере Нечерского поднятия, рис. 1) для основной массы уранового оруденения Туюканского месторождения принимался позднекарельский возраст. Месторождение Чепок залегает в подобной геолого-структурной обстановке (в узле сочленения крутопадающих разломов среди гранитов чуйско-нечерского комплекса с ксенолитами раннекарельских углеродсодержащих пород), также характеризуется отчетливой проявленностью раннего кремнещелочного метасоматоза и наложенных кварц-хлорит-серицитовых изменений, а наиболее богатыми являются жильные и линзообразные приразломные тела

с настуран-уранинитовой минерализацией [7, 10]. Геохронологические исследования, проведенные в ИГЕМ РАН, показали, что руды месторождения Чепок имеют возраст 1845–1832 млн лет и близки во времени формирования гранитоидам чуйско-нечерского комплекса [2, 8].

Для дополнительного геохронологического изучения уранового оруденения Туюканского узла в качестве объекта исследований было выбрано рудопроявление Натали с наиболее богатыми в регионе урановыми рудами жильного типа, отличающимися от руд Туюканского месторождения хорошей сохранностью (отсутствие вторичных минералов и неокисленный облик первичной урановой минерализации). Для определения U-Pb возраста из кварц-настуранового прожилка мощностью около 2 см с содержанием урана до 70,4 % была отобрана пр. 102 (рис. 3).

Методика и результаты исследований.

В пр. 102 были выделены зерна уранового минерала массой 0,1–0,3 мг, которые промывались с ультразвуковой обработкой в тefлоновом бюксе спиртом, а затем водой. Далее зерна взвешивались на алюминиевой фольге на микровесах и переносились в бюксы из тefлона PFA Savillex объемом 3 мл. В бюкс добавлялись три капли 9N HCl и три капли 14N HNO₃ и раствор выпаривался на плитке при температуре 160 °С. Далее добавлялись еще две капли 10N HCl, и пробы выпаривались до объема около 5 мкл, а затем еще шесть капель 2,5N HCl, и раствор охлаждался до комнатной температуры. С помощью дозатора переменного объема на 100 мкл жидкость делилась на две аликвоты: 40 мкл для определения концентрации Pb и U и 80–90 мкл – изотопного состава Pb. Аликвоты взвешивались на весах, в каждую для определения концентрации Pb и U добавлялся и взвешивался 500 мкл ²³⁵U-²⁰⁸Pb смешанный трассер (изотопное разбавление). Далее аликвоты в тefлоновых боксах на 3 мл выпаривались на плитке при температуре 160 °С и охлаждались до комнатной температуры. В бюксы с высушенными аликвотами добавлялось по 10 мкл деионизированной воды. На рениевую катодную ленту держателя термоионизационного масс-спектрометра наносилось по 2 мкл смеси силикагеля и 0,2N H₃PO₄ и по 1 мкл жидкости каждой аликвоты.

Измерения отношений изотопов свинца (²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb и ²⁰⁶Pb/²⁰⁸Pb) осуществлялось на термоионизационном мультиколлекторном масс-спектрометре ThermoFinniganMAT Triton TI в одноленточном варианте в статическом многоколлекторном режиме. Каждое измерение состояло из пяти блоков по 10 сканов при токе на испарителе 2,5–3,0 А и температуре 1350–1400 °С. Для контроля правильности перед каждой партией проб измерялся международный стандарт Pb NIST 983. Средняя точность анализов составила 0,05 % (2σ) для отношения ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb. Корректировка на приборное масс-фракционирование производилась по среднему значению измерений стандарта NIST 981

(²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb = 16,9374, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb = 15,4916, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb = 36,7219) при той же температуре. Измеренные отношения изотопов свинца корректировались на масс-фракционирование 0,12 ‰ а. е. м. Бланк (холостой опыт) во время проведения анализов не превышал 0,01 нг для Pb при составе ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb = 18,120, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb = 15,542, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb = 37,354.

Содержание урана также измерялось на масс-спектрометре Triton TI из концентрационных аликвот с тех же лент, что и свинец, но при более высокой температуре 1500–1550 °С. Измерялось отношение изотопов урана ²³⁸U¹⁶O₂/²³⁵U¹⁶O₂. Каждое измерение состояло из трех блоков по 10 сканов при токе на испарителе 3,0–3,5 А. Измеренные отношения изотопов урана корректировались на масс-фракционирование 0,12 ‰ а. е. м. Бланк во время проведения анализов не превышал 0,01 нг для U. Обработка результатов анализа для расчета возраста производилась в программах К. Людвига (Berkeley Geochronology Center) PBDAT ver. 1.24 и ISOPLOT ver. 4.15 [11].

Полученные аналитические результаты представлены в таблице и на рис. 4.

Примечательно (таблица), что самые мелкие (5195, 5196) и самая крупная (5186) навески настурана имеют повышенные концентрации обыкновенного свинца, что может отражать степень воздействия процессов метасоматической перекристаллизации. Кроме того, измеренный изотопный состав свинца подтверждает близкую степень геохимической подвижности Pb и U во вторичном процессе и позволяет оценить начало его миграции в интервале 360–420 млн лет из источника рифейского возраста.

Результаты U-Pb изотопного датирования настурана (уранинита) аппроксимируются дискордией (СКВО = 0,02) с верхним пересечением с конкордией, определяющим возраст кристаллизации первичного диоксида урана в 1234 ± 12 млн лет (рис. 4, а). Нижнее пересечение соответствует времени проявления однократного интенсивного наложенного процесса, приведшего к существенной перекристаллизации, вероятно, первичного уранинита с образованием настурана – 359 ± 3 млн лет. Эти вычисления проведены по трем наиболее гомогенным кристаллам 5192–5194 (таблица). Из вычислений, проведенных по всем шести анализам (рис. 4, б), видно, что возрастающая негомогенность, особенно выраженная для очень крупной навески 5186 (таблица), приводит к ухудшению линейности аппроксимации и увеличению погрешности определения возраста (СКВО = 36) при сохранении принципиального результата, подтверждая его достоверность.

Таким образом, ураноносные жилы рудопроявления Натали имеют возраст 1234 ± 12 млн лет, соответствующий началу среднерифейского времени и близкий границе нижнего – среднего рифея. Эта возрастная граница в пределах анализируемой территории и в краевых поднятиях Северного Забайкалья фиксируется региональными

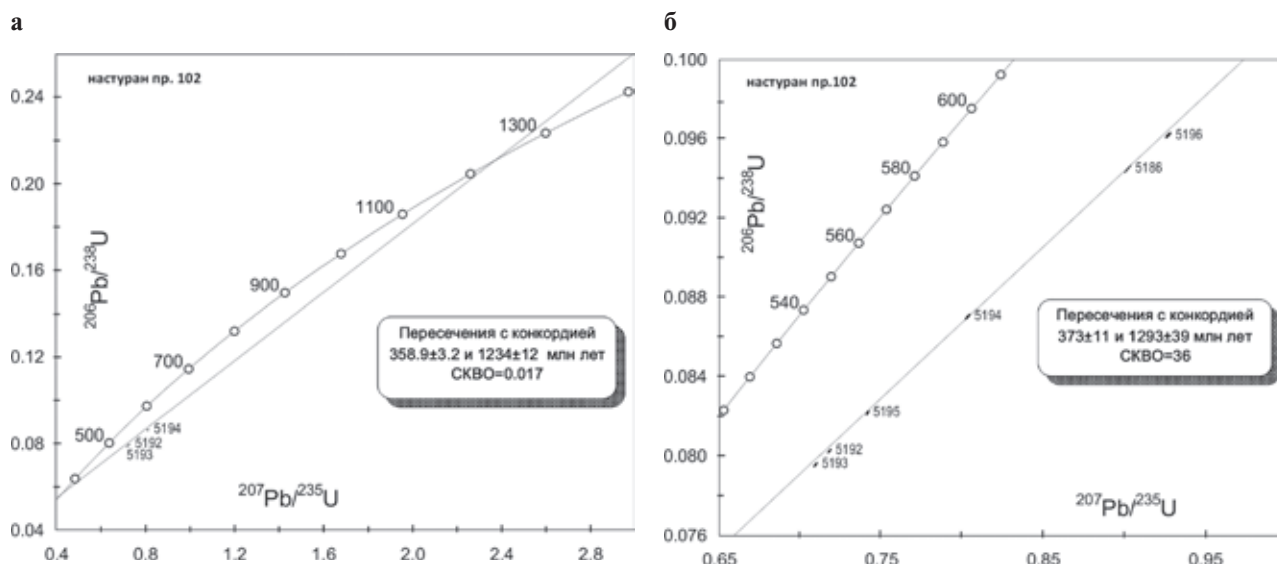


Рис. 4. Диаграммы Аренса – Везерилла с конкордиями для настуранов
Пояснения см. в тексте

Изотопы Рb и U в настуране
(пр. 102, рудопроявление Натали)

Номер навески	Масса, мг	U, %	Pb, %	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb		²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	
				корр.	% ош.	корр.	% ош.	рад.	% ош.	рад.	% ош.	рад.	% ош.
5192	0,1989	75,6	6,71	343,820	0,045	36,663	0,063	0,7164	0,1110	0,0803	0,1010	0,0647	0,0460
5193	0,2438	76,9	6,76	346,560	0,050	36,765	0,067	0,7077	0,1180	0,0796	0,1060	0,0644	0,0490
5194	0,2445	76,1	7,60	287,520	0,045	33,591	0,063	0,8021	0,1340	0,0870	0,1220	0,0668	0,0520
5195	0,1066	75,4	6,95	320,680	0,050	35,335	0,067	0,7397	0,1010	0,0822	0,0850	0,0652	0,0510
5196	0,1801	72,8	8,50	229,390	0,050	30,344	0,067	0,9260	0,1330	0,0962	0,1150	0,0698	0,0640
5186	0,8941	68,3	7,75	238,970	0,041	30,867	0,061	0,9012	0,1610	0,0945	0,1610	0,0691	0,0560

Обозначения: корр. – скорректировано на обыкновенный свинец; Pb* рад. – радиогенный свинец; % ош. – погрешность измерений.

развитием даек габбро-долеритов (медвежевский комплекс и его аналоги).

Другим важным моментом является установленная на рудопроявлении Натали интенсивная перекристаллизация первичного диоксида урана (уранинита) с образованием вторичного настурана в позднем палеозое (девоне) 359 ± 3 млн лет тому назад. Это событие, а именно активная регенерация первичного оруденения, отмечается практически на всех урановых месторождениях Северного Забайкалья [2, 8, 9] и во времени связывается с главной эпохой гранитообразования в палеозойском Анагаро-Витимском ареал-плутоне (рис. 1).

Обсуждение результатов и выводы. Имеющиеся и полученные новые данные показывают сходство урановых объектов Туюканского рудного узла и их аналогов в Северном Забайкалье с типовыми докембрийскими жильными гидротер-

мальными месторождениями, к которым, в соответствии с классификацией МАГАТЭ (2016 г.), относятся известные канадские месторождения урановорудных районов Большого Медвежьего озера и Биверлодж [5]. Урановорудный район Большого Медвежьего озера (провинция Эльдorado) образован раннепротерозойскими вулканогенно-осадочными комплексами (группы Эхо-Бей) и гудзонскими гранитоидами, пересекающимися дайковыми поясами долеритов с возрастом около 1400 и 1000 ± 50 млн лет (последние являются пострудными). Жильные и жильно-штоковковые урановые месторождения Эльдorado, Контакт-Лейк, Эхо-Бей, Эль-Бонанца и др. приурочены к крутопадающим зонам трещиноватости и дробления, локализируются исключительно в осадочных породах (в гранитах выклиниваются), нередко на контактах даек долеритов, и имеют форму от прожилков (мощностью 1–2 см) и жил (до 1,2 м) с высоко-

сортной рудой до более мощных штокверков и линз с бедным оруденением. Рудные жилы и прожилки сложены настураном нескольких генераций, кварцем, сульфидами и кобальт-никелевыми арсенидами, образующими характерную для этого района пятиэлементную рудно-геохимическую ассоциацию. В урановорудном районе Биверлодж (на северо-западе провинции Атабаска) жильные урановые месторождения Эйс, Фей, Верна, Гуннар залегают среди глубокометаморфизованных архейских пород (группа Тейзин) и представлены сериями сближенных жил, прожилков и штокверков в оперяющих главные разломы разрывах. В этом районе основную группу (90 %) составляют месторождения с простым (преимущественно настурановым) составом руд. Месторождения второй группы с рудами сложного состава (пятиэлементной ассоциации с палладием, золотом и др.) образуют самостоятельный узкий пояс, и предполагается, что они моложе, чем преобладающие месторождения первой группы.

Рассмотренные канадские месторождения традиционно относятся к жильным гидротермальным. Возраст различных генераций настурана месторождений Большого Медвежьего озера составляет 1650, 1450 и 1200 млн лет. Принято считать, что формирование этих месторождений происходило в конце раннего протерозоя с частичным переотложением и привнесом урана в позднем протерозое (рифее) с допуском более молодым происхождением отдельных настурановых жил. В урановорудном районе Биверлодж также установлены два основных этапа рудоформирования: раннепротерозойский, датированный в 1760 ± 20 млн лет, и позднепротерозойский — 1240 ± 50 млн лет. Образование основной массы гидротермального оруденения (с возрастом около 1760 млн лет) связывается с эпохой раннепротерозойской протоактивизации, а рубеж 1240 млн лет фиксирует частичное переотложение руд с предполагаемым формированием месторождений так называемой второй группы с рудами сложного состава [5].

Именно такая геолого-генетическая модель полихронного рудоформирования, предусматривающая образование основной массы рядового оруденения в конце позднего карелия и более богатых (телескопированных и локально-обогатенных) концентраций на рубеже раннего — среднего рифея, наиболее адекватна для жильного гидротермального оруденения Туюканского рудного узла.

Исходя из этого, проявленный здесь стадийный урановорудный процесс выразился в формировании телескопированного полихронного уранового оруденения в благоприятной геологической обстановке Туюканского месторождения и более поздних (рифейских) настурановых жил в зонах трещиноватости на его флангах. Последняя обстановка в качестве самостоятельной впервые выявлена и датирована на рудопроявлении Натали.

Работа выполнена в рамках «ГДП-200 листа О-49-ХП (Саталахская площадь)» в составе объекта ФГБУ «ВСЕГЕИ» «Проведение в 2017–2019 гг. региональных геологосъемочных работ м-ба 1 : 200 000 на группу листов в пределах Сибирского федерального округа».

1. Гладкочуб Д. П., Писаревский С. А., Эрнст Р. и др. Крупная магматическая провинция (КМП) с возрастом около 1750 млн лет на площади Сибирского кратона // Докл. РАН. — 2010. — Т. 430. — С. 654–657.

2. Голубев В. Н., Макарьев Л. Б., Былинская Л. В. Отложение и ремобилизация урана в Северо-Байкальском регионе, по данным анализа U-Pb систем урановых руд // Геология рудных месторождений. — 2008. — Т. 50, № 6. — С. 548–557.

3. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист О-49 — Киренск. Объясн. записка. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2012.

4. Ефремова У. С., Макарьев Л. Б. Связь уранового и олово-вольфрамового оруденения с позднекарельским гранитообразованием в западной части Тонодского поднятия (Северное Забайкалье) // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: материалы XXIX молодежной научной школы-конференции. — Петрозаводск, 2018. — С. 165–168.

5. Лаверов Н. П., Смилкстын А. О., Шумилин М. В. Зарубежные месторождения урана. — М.: Недра, 1986. — 320 с.

6. Ларин А. М. Раннепротерозойские коллизионные и постколлизионные граниты северной части Байкальской складчатой области / А. М. Ларин, Е. Б. Сальникова, А. Б. Котов, Л. Б. Макарьев // Стратиграфия. Геологическая корреляция. — 2006. — Т. 14, № 5. — С. 3–15.

7. Макарьев Л. Б., Былинская Л. В., Павлов М. В. и др. Нечеро-Ничатский урановорудный район (ведущие типы оруденения, обстановки локализации и перспективы) // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — М.: ВИМС, 2006. — Вып. 150. — С. 5–17.

8. Макарьев Л. Б., Былинская Л. В., Голубев В. Н. и др. О возрасте урановых руд Северо-Байкальского региона (предварительные результаты U-Pb датирования) // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — М.: ВИМС, 2009. Вып. 153. — С. 88–96.

9. Макарьев Л. Б., Миронов Ю. Б. Особенности металлогении и перспективы промышленной ураноносности Чуйско-Тонодской минерагенетической зоны Северного Забайкалья (по материалам ГК-1000/3 и ГДП-200/2) // Регион. геология и металлогения. — 2014. — № 57. — С. 87–94.

10. Самович Д. А., Царук И. И., Кокарев А. А. и др. Минерально-сырьевая база урана Восточной Сибири. — Иркутск, 2012. — 163 с.

11. Ludwig K. R. User's manual for Isoplot/Ex, Version 2.10. A geochronological toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronology Center Special Publication. — Ridge Road, Berkeley, CA 94709, USA, 1999. — N 1a. — 2455 p.

1. Gladkochub D. P., Pisarevskij S. A., Ernst R. et al. Large Igneous province (LIP) of about 1750 Ma in the Siberian craton. *Doklady RAN*. 2010. Vol. 430, pp. 654–657. (In Russian).

2. Golubev V. N., Makarev L. B., Bylinskaya L. V. Deposition and remobilization of uranium in the North-Baikal re-

gion, according to the analysis of U-Pb systems of uranium ores. *Geologiya rudnyh mestorozhdenij*. 2008. Vol. 50. No 60, pp. 548–557. (In Russian).

3. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii m-ba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Aldan-Zabajkal'skaya. List O-49 – Kirensk. Ob'yasn. zapiska [State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1,000,000 (third generation). Aldan-Transbaikalian series. Sheet O-49 (Kirensk). Explan. note]. St. Petersburg: Izd-vo kartfabriki VSEGEI, 2012. 607 p.

4. Efremova U. S., Makarev L. B. Connection of uranium and tin-tungsten mineralization with Late Karelian granite formation in the western part of the Tonod Uplift (Northern Transbaikalia). *Actual problems of geology, geophysics and geoecology: Materials of the XXIX Youth Scientific School-Conference*. 2018. Pp. 165–168. (In Russian).

5. Laverov N. P., Smilkstyn A. O., Shumilin M. V. Zarubezhnye mestorozhdeniya urana [Foreign uranium deposits]. Moscow: Nedra. 1986. 320 p.

6. Larin A. M., Sal'nikova E. B., Kotov A. B., Makarev L. B. Early Proterozoic collisional and post-collisional granites of the northern part of the Baikal folded region. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyaciya*. 2006. Vol. 14. No 5, pp. 3–15. (In Russian).

7. Makarev L. B., Bylinskaya L. V., Pavlov M. V. et al. Nechero-Nichatsky uranium ore district (major types of mineralization, localization environment and prospects). *Materials on the geology of deposits of uranium, rare and rare earth metals*. Moscow: VIMS. 2006. Vol. 150, pp. 5–17. (In Russian).

8. Makarev L. B., Bylinskaya L. V., Golubev V. N. et al. About the age of uranium ores of the North Baikal region (preliminary results of U-Pb dating). *Materials on the geology of uranium, rare and rare earth metals*. Moscow: VIMS. 2009. Iss. 153, pp. 88–96. (In Russian).

9. Makarev L. B., Mironov Yu. B. Metallogenic features and commercial uranium potential of Chuya-Tonod metallogenic zone, Northern Transbaikalia (based on data of the Geological map-1000/3 and Additional Site Exploration-200/2). *Region. geologiya i metallogeniya*. 2014. No 57, pp. 87–94. (In Russian).

10. Samovich D. A., Caruk I. I., Kokarev A. A. i dr. Mineral'no-syr'evaya baza urana Vostochnoj Sibiri [Mineral resources base of uranium in Eastern Siberia]. Irkutsk. 2012. 163 p.

11. Ludwig, K. R., 1999: User's manual for Isoplot/Ex, Version 2.10. *A geochronological toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronology Center Special Publication 1a. 2455. Ridge Road, Berkeley CA 94709, USA.

Макарьев Леонид Борисович – канд. геол.-минерал. наук, вед. специалист, ВСЕГЕИ¹. <ogumr@vsegei.ru>

Ефремова Ульяна Сергеевна – геолог, ВСЕГЕИ¹. <Uliana_Efremova@vsegei.ru>

Крымский Роберт Шамильевич – канд. геол.-минерал. наук, зав. сектором, Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ (ЦИИ ВСЕГЕИ¹). <Robert_Krymsky@vsegei.ru>

Сергеев Сергей Андреевич – канд. геол.-минерал. наук, директор, ЦИИ ВСЕГЕИ¹. <Sergey_Sergeev@vsegei.ru>

Makarev Leonid Borisovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Expert, VSEGEI¹. <ogumr@vsegei.ru>

Efremova Uliana Sergeevna – Geologist, VSEGEI¹. <Uliana_Efremova@vsegei.ru>

Krymsky Robert Shamilevich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Sector, Centre for Isotopic Research of VSEGEI (CIR VSEGEI¹)<Robert_Krymsky@vsegei.ru>

Sergeev Sergey Andreevich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Director, CIR VSEGEI¹. <Sergey_Sergeev@vsegei.ru>

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia