

ниты. Они имеют тот же цвет и состав, что и граниты, но отличаются гнейсовидной текстурой и несколько большим содержанием биотита (6–8 %).

Основная площадь обработанных облицовочных плит обычно представлена мелкозернистым однородным агрегатом микроклина, олигоклаза, кварца, который чередуется с расплывчатыми в краях полосами того же состава, но несколько более крупнозернистого строения, и с тонкими полосами, обогащенными черными чешуйками биотита. Полосчатость породы извилистая. Все узоры полосчатости пересекаются прожилками среднезернистого микроклина. По одному только рисунку ясно, что это не просто гранит, а гранито-гнейс.

Отрицательных признаков, снижающих уровень декоративности по параметрам (цвет, текстура, фактура), в граните не выявлено. Он является уникальным облицовочным камнем, полируется до зеркального блеска, и в этом виде имеет яркий цвет. При этом в гнейсо-гранитах проявляется тонкий рисунок за счет линейного расположения чешуек биотита. В соответствии с классификацией гранит Сюскюянсаари по декоративности отнесен к I классу, т.е. признан высокодекоративным [7].

Гранит Сюскюянсаари один из самых красивых среди тех, что добываются в России. По интенсивности окраски он, в лучших своих разновидностях, не уступает импортным красным гранитам, даже подкрашенным усилителями цвета. Он применяется для наружной и внутренней облицовки зданий и сооружений, возведения монументов и мемориальных комплексов, использовался для облицовки при восстановлении Храма Христа Спасителя в Москве (1999).

В настоящее время после многолетней интенсивной эксплуатации месторождения в естественном залегании остались только сильно трещиноватые граниты. Извлечь блоки объемом 1 м<sup>3</sup> без трещин с бо-

лее-менее однородной окраской очень сложно. Это обуславливает их высокую цену. Добыча сейчас осуществляется в небольших объемах и блоками совсем небольших размеров. Эти сложности объясняют их высокую стоимость.

Несмотря на это, гранит Сюскюянсаари — один из самых популярных декоративно-облицовочных материалов.

*Автор благодарит сотрудников института Л.А. Антоненко, Л.В. Лоцеву, А.А. Полищука, Г.В. Робустову, Н.А. Серпер за помощь в подборе и обработке архивных материалов и ветеранов — Л.Л. Воллерштейна, В.И. Кузьмина, Н.В. Скоробогатова и А.Д. Сучкова, поделившихся своими воспоминаниями.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антоненко, Л.А. Трудовой фронт ВИМСа в 1941–1945 гг. / Л.А. Антоненко, И.Г. Печенкин, Н.А. Серпер // Умом, молотком и сердцем. Вестник Росгео. Вып. 3. — М.: Росгео, 2015. — С. 222–242.
2. Булах, А.Г. Каменное убранство Петербурга: шедевры архитектурного и монументального искусства Северной столицы / А.Г. Булах. — М.: Центрполиграф, 2009. — 250 с.
3. ВИМС LXXV / Гл. ред. А.Н. Еремеев. — М.: Недра, 1993. — 334 с.
4. ВИМС в годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. (фронтные страницы) / Гл. ред. Г.А. Машковцев. — М.: ВИМС, 2000. — 140 с.
5. Еремеев, А.Н. Ученые ВИМСа в период Великой Отечественной войны / А.Н. Еремеев, В.М. Кузьмин // Советская геология. — 1985. — № 5. — С. 18–24.
6. Краткое описание мраморных и других каменных ломов, гор и каменных пород, находящихся в Российской Карелии / сочиненное Самуилом Алопеусом, пастором в Сордавале. В Санкт-Петербурге: Печатано у Шнора, 1787. — 86 с.
7. Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200 000. Серия Карельская. Лист Р-36-XX // Сост. Л.Н. Потрубович, О.Н. Анищенко, Н.А. Волотовская, М.М. Врачинская, А.М. Носикова, Н.А. Егорова. — М.: Госгеолтехиздат, 1962. — 50 с.

© Печенкин И.Г., 2020

Печенкин Игорь Гертрудович // pechenkin@vims-geo.ru

## ГЕОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.495.065(571.53)

Макарьев Л.Б., Миронов Ю.Б., Ефремова У.С.  
(ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

### ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ И ВОЗРАСТНЫЕ РУБЕЖИ ФОРМИРОВАНИЯ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПАТОМСКОГО НАГОРЬЯ (СЕВЕРНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

*Анализируются геологические и возрастные особенности формирования уранового оруденения Патомского нагорья, развитого на Тонодском и Нечерском поднятиях. Обосновывается вывод о принадлежности уранового оруденения Патомского нагорья к геолого-промышлен-*

*ному типу жильных гидротермальных месторождений. Даны рекомендации по направлениям дальнейших ГРП в Северо-Байкальском регионе. **Ключевые слова:** уран, гидротермальное оруденение, Бульбухтинский и Туоканский урановорудные узлы, Тонодское и Нечерское поднятия, Патомское нагорье.*

Makaryev L.B., Mironov Yu.B., Efremova U.S. (VSEGEI)  
GEOLOGICAL SETTINGS AND AGE LIMITS OF URANIUM MINERALIZATION FORMING OF THE PATOM HIGHLANDS (NORTHERN TRANSBAIKALIA)

*Geological and age features of uranium mineralization forming of the Patom Highlands, developed in the Tonoda and the Nechera uplifts are being analyzed. The conclusion of belonging of uranium mineralization of the Patom Highlands to*

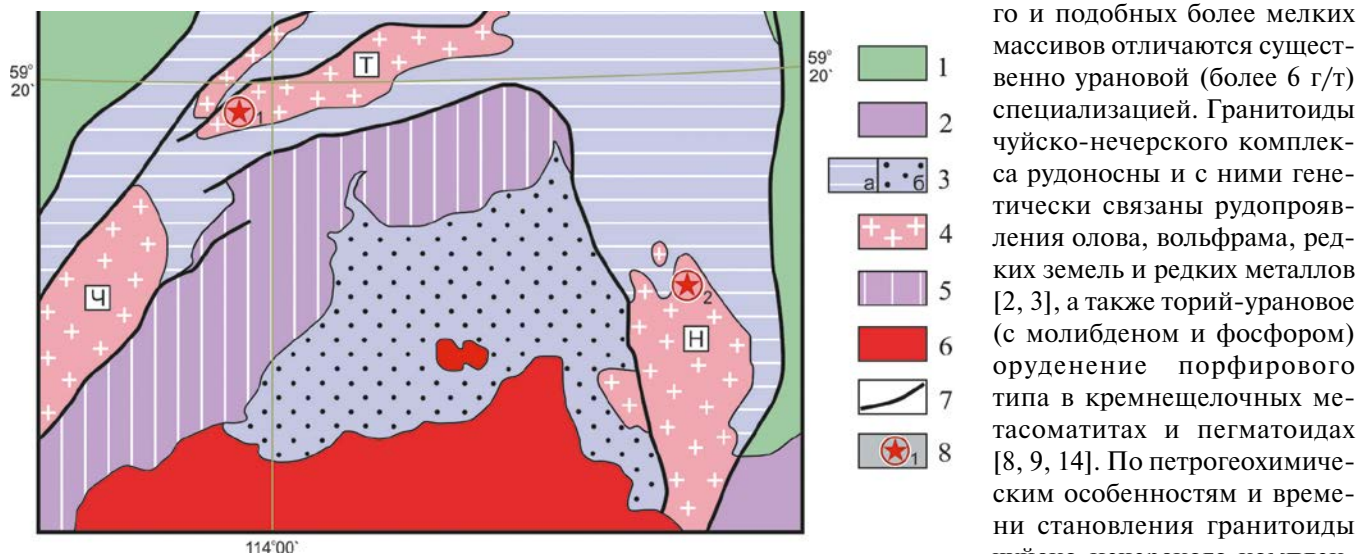
*the geological industrial type of vein hydrothermal deposits is being substantiated. Recommendations on direction of further geological research works in the Northern Transbaikalia region are being suggested. Keywords: uranium, hydrothermal mineralization, Bulbukhta and Tuyukan uranium ore clusters, Tonoda and Nechera uplifts, Patom Highlands.*

Территория Патомского нагорья традиционно рассматривается в числе перспективных ураноносных в Северо-Байкальском регионе и в настоящее время является объектом планирования дальнейших поисковых на уран работ. Ураноносность этой территории определена в 1980-е годы по результатам аэрогаммаспектротрических и поисково-оценочных работ предприятий «Сосновгеология» и «Иркутскгеология». Основной урановый потенциал Патомского нагорья сосредоточен в пределах Тонодского и Нечерского поднятий, где открыты месторождения и многочисленные рудопроявления урана [13]. В предлагаемой статье освещены основные вопросы формирования и типизации уранового оруденения Патомского нагорья на основе имеющихся фактических материалов и полученных новых данных в рамках ГДП-200/2 на Тонодской площади (листы О-49-ХП; О-50-1, II [4, 5]).

**Общие сведения.** Тонодское и Нечерское поднятия (рис. 1) входят в состав Байкало-Патомской краевой системы Саяно-Байкальской складчатой области и представляют собой выступы карельского гранитоидно-метаморфического основания (фундамента) среди рифейских параплитных комплексов Прибайкальско-Патомского перикратонного прогиба [2, 3]. Рассматриваемые поднятия сложены метаморфизованными нижнекарельскими образованиями и верхнека-

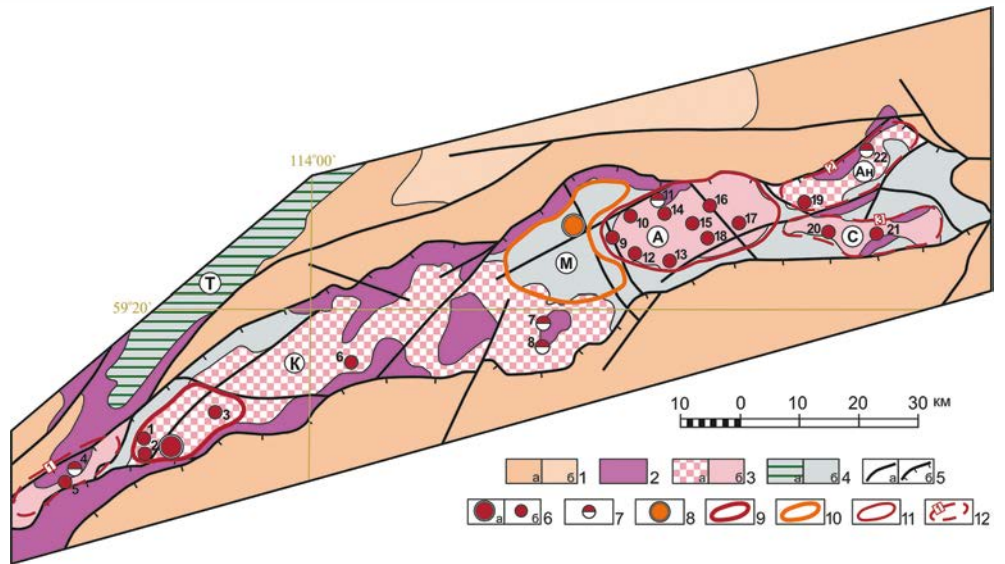
рельскими гранитоидами, перекрытыми рифейским чехлом и прорванными дайками основного состава. Тектонические ограничения и структурный каркас формируют региональные продольные разломы глубинного заложения — сбросы и взбросо-надвиги северо-восточного и близширотного простирания на Тонодском поднятии, северо-западного и близмеридионального простирания на Нечерском поднятии.

Нижнекарельские образования относятся к кевактинской серии углеродистой песчано-сланцевой формации, которая на Тонодском поднятии (рис. 2) расчленяется на албазинскую и вышезалегающую михайловскую свиты. Углеродистые отложения этих свит наиболее полно представлены в Михайловской брахисинклинали, где вмещают золотосульфидно-кварцевое оруденение Кевактинского золоторудно-россыпного узла, в частности, на крупном месторождении Чертово Корято [4]. На севере Нечерского поднятия (рис. 3) стратиграфическим аналогом албазинской и михайловской свит традиционно рассматривается ходоканская свита. Породы кевактинской серии регионально метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации (как и перекрывающие рифейские отложения пурпольской и медвежьей свит). Основные площади Тонодского и Нечерского поднятий занимают верхнекарельские интрузии порфиридных рапакиви-подобных и лейкократовых гранитов чуйско-нечерского комплекса, представленные наиболее крупными Кевактинским и Амандракским массивами на Тонодском поднятии, Ченчинским массивом на Нечерском поднятии. Порфиридные граниты, на примере Кевактинского и Ченчинского массивов, выделяются ярко выраженной торий-урановой специализацией, а лейкограниты Амандракского и подобных более мелких массивов отличаются существенно урановой (более 6 г/т) специализацией. Гранитоиды чуйско-нечерского комплекса рудоносны и с ними генетически связаны рудопроявления олова, вольфрама, редких земель и редких металлов [2, 3], а также торий-урановое (с молибденом и фосфором) оруденение порфирирового типа в кремнщелочных метасоматитах и пегматоидах [8, 9, 14]. По петрогеохимическим особенностям и времени становления гранитоиды чуйско-нечерского комплекса относятся к постколлизийным калиевым гранитам S-типа. Имеющиеся определения абсолютного возраста гранитов Ченчинского массива около  $1840 \pm 30$  млн лет [2] и полученные авторами

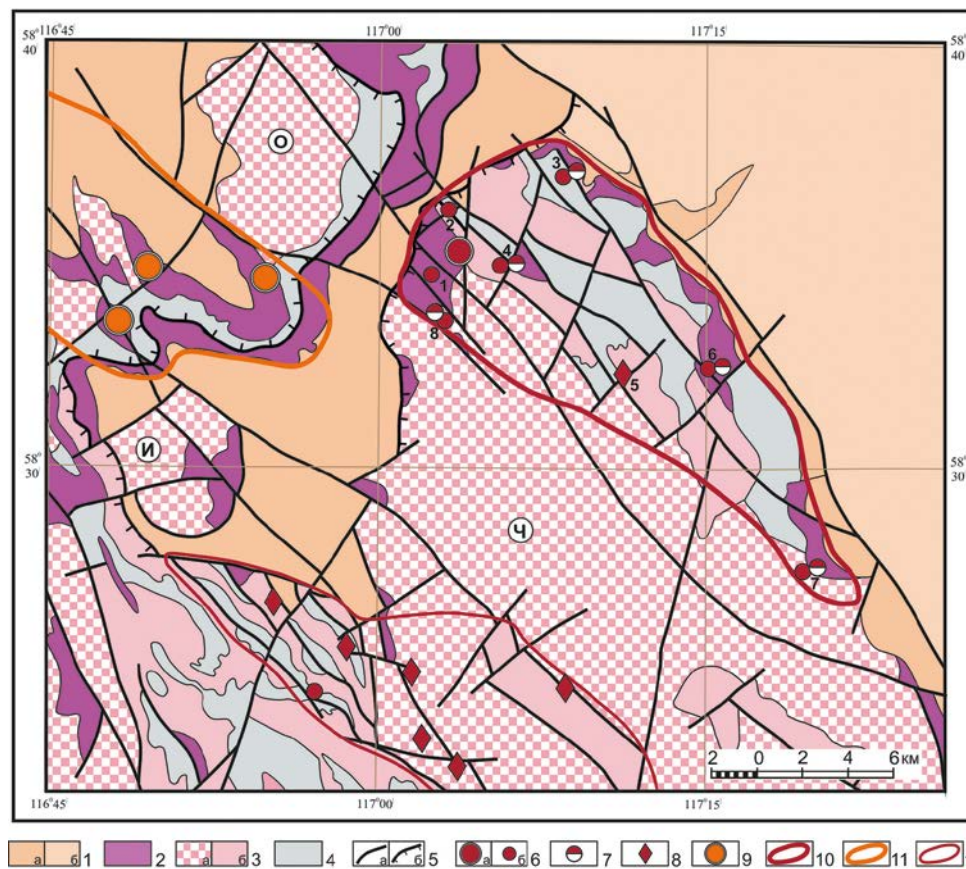


**Рис. 1. Структурно-тектоническая схема Северного Забайкалья** (по материалам [2, 3]): 1 — плита Сибирской платформы; 2 — Алданский щит; 3–5 — Саяно-Байкальская складчатая область. Структурно-формационные комплексы: 3 — рифейские Прибайкальско-Патомского перикратонного прогиба (а) и Олокит-Бодайбинской палеорифтовой зоны (б); 4 — карельские Чуйского (Ч), Тонодского (Т) и Нечерского (Н) гранитоидно-метаморфических поднятий; 5 — позднеархейские-раннекарельские объединенные; 6 — палеозойский Ангаро-Витимский гранитоидный арал-плутон; 7 — главные разломы (структурные швы); 8 — месторождения урана (1 — Туюканское, 2 — Чепок)

**Рис. 2. Схема геологического строения и металлогенического районирования Тонодского поднятия** (по материалам [13] с дополнениями авторов): 1–2 — отложения рифейского чехла: 1 — среднерифейские балаганхской серии (а) и верхнерифейские дальнетайгинской серии (б), 2 — нижнерифейские пурпольской и медвежьей свит; 3–4 — образования кристаллического фундамента: 3 — позднекаральские гранитоиды чуйско-нечерского комплекса, в том числе порфириновые граниты (а) и лейкограниты (б), 4 — нижнекаральские образования: вулканогенно-осадочные Туюканского выступа (а) и углеродистые песчано-сланцевые кевактинской серии (б); 5 — разрывные нарушения (а), в том числе надвиги (б); 6–8 — урановые объекты: 6 — Туюканское месторождение (а) и рудопроявления (б) урана в породах фундамента (1 — Натали, 2 — Западное, 3 — Восточное, 5 — Центральное, 6 — Давледжит, 9 — Малоамандракское, 10 — Амандракское, 12 — Коллективное, 13 — Хоной, 14 — Осеннее, 15 — Палаткалах, 16 — Удачное, 17 — Верное, 18 — Волка-Умакит, 19 — Участка Комплексный, 20 — Крутое, 21 — Поперечное), 7 — рудопроявления урана в рифейских отложениях (4 — Когал, 7 — Фестивальное, 8 — Тепторго, 11 — Рифейское, 22 — Перевальное), 8 — месторождение золота Чертово Корыто; 9–11 — рудные узлы: 9 — Туюканский урановый, 10 — Кевактинский золоторудно-россыпной, 11 — Амандракский потенциальный урановый; 12 — прогнозируемые золото-урановые узлы (1 — Когальский, 2 — Аянахский, 3 — Семикачинский). Буквы в кружках: главные морфоструктурные элементы Тонодского поднятия (М — Михайловская брахисинклиналь, К — Кевактинский, А — Амандракский, Ан — Аянахский, С — Семикачинский гранитоидные массивы, Т — Туюканский выступ)



6 — Туюканское месторождение (а) и рудопроявления (б) урана в породах фундамента (1 — Натали, 2 — Западное, 3 — Восточное, 5 — Центральное, 6 — Давледжит, 9 — Малоамандракское, 10 — Амандракское, 12 — Коллективное, 13 — Хоной, 14 — Осеннее, 15 — Палаткалах, 16 — Удачное, 17 — Верное, 18 — Волка-Умакит, 19 — Участка Комплексный, 20 — Крутое, 21 — Поперечное), 7 — рудопроявления урана в рифейских отложениях (4 — Когал, 7 — Фестивальное, 8 — Тепторго, 11 — Рифейское, 22 — Перевальное), 8 — месторождение золота Чертово Корыто; 9–11 — рудные узлы: 9 — Туюканский урановый, 10 — Кевактинский золоторудно-россыпной, 11 — Амандракский потенциальный урановый; 12 — прогнозируемые золото-урановые узлы (1 — Когальский, 2 — Аянахский, 3 — Семикачинский). Буквы в кружках: главные морфоструктурные элементы Тонодского поднятия (М — Михайловская брахисинклиналь, К — Кевактинский, А — Амандракский, Ан — Аянахский, С — Семикачинский гранитоидные массивы, Т — Туюканский выступ)



**Рис. 3. Схема геологического строения и металлогенического районирования северо-западной части Нечерского поднятия** (по материалам [8] с дополнениями авторов): 1–2 — отложения рифейского чехла: 1 — среднерифейские балаганхской серии (а) и верхнерифейские дальнетайгинской серии (б), 2 — нижнерифейские пурпольской и медвежьей свит; 3–4 — образования кристаллического фундамента: 3 — позднекаральские гранитоиды чуйско-нечерского комплекса, в том числе порфириновые граниты (а) и лейкограниты (б), 4 — нижнекаральские отложения ходоканской свиты; 5 — разрывные нарушения (а), в том числе надвиги (б); 6–8 — урановые объекты: 6 — месторождение Чепок (а) и рудопроявления (б) урана в породах фундамента (1 — Пурпольское, 2 — Куликач, 3 — Кульбаракун, 4 — участка Кольцевой, 5 — Авдеевское, 6 — участка Водораздельный, 7 — участка Ченчинский, 8 — участка Урановый-2), 7 — проявления урана в рифейских отложениях, 8 — торий-урановые проявления

порфиривого типа; 9 — месторождения золота; 10–12 — рудные узлы: 10 — Бульбухтинский урановый, 11 — Ходоканский золоторудный, 12 — Ствотах-Юсюряхский потенциальный урановый. Буквы в кружках: Ч — Ченчинский, О — Окаевский, И — Истанахский гранитоидные массивы

конкордантные U-Pb датировки (циркон, SHRIMP II) различных фациальных разновидностей Кевактинского массива в  $1847 \pm 5$ ,  $1846 \pm 9$  и  $1846 \pm 6$  млн лет позволяют заключить, что время формирования чуйско-нечерского комплекса строго ограничивается интервалом в 1850–1840 млн лет [10].

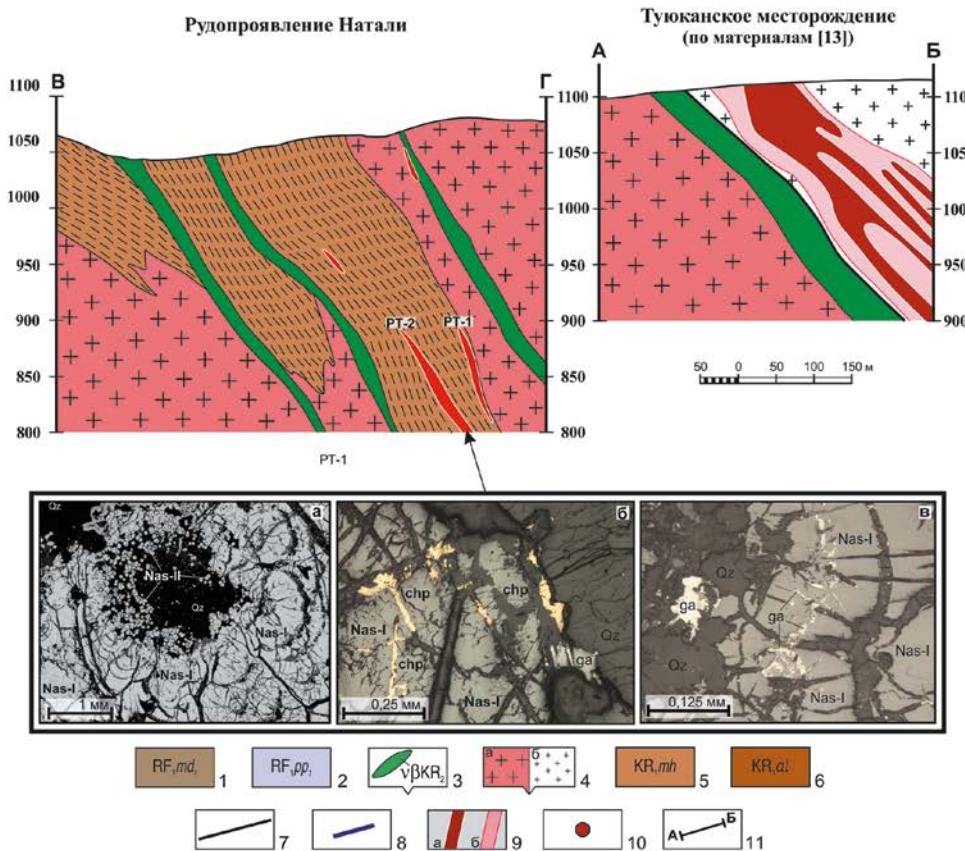
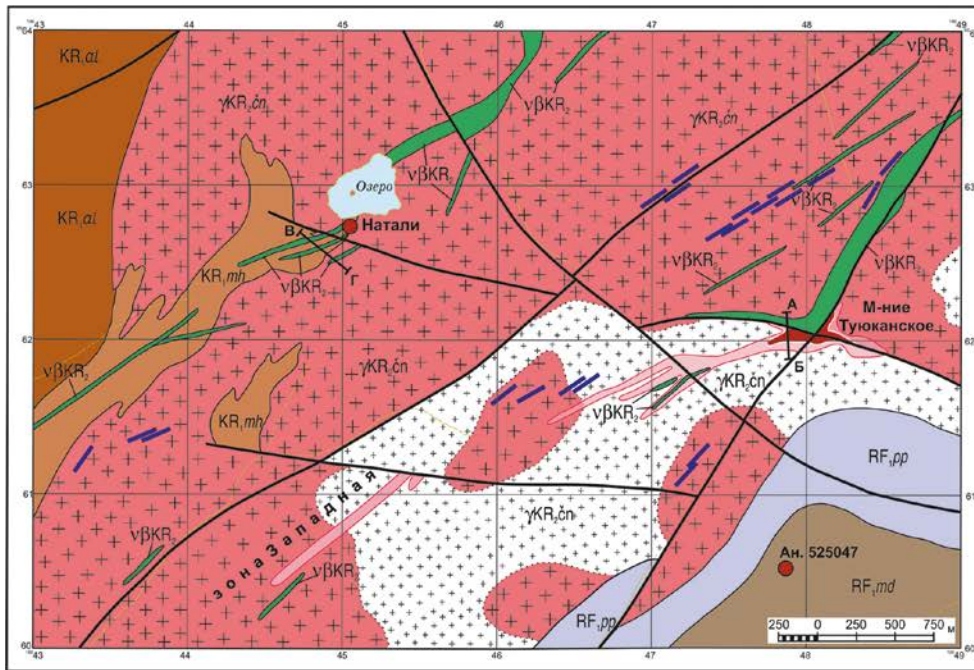
Рифейский осадочный чехол образует отложения пурпольской, медвежевской свит нижнего рифея и вышележающие карбонатно-терригенные отложения в составе среднерифейского балаганахского и верхнерифейского дальнетайгинского горизонтов. Структурно-стратиграфические несогласия выражены на предрифейском (предпурпольском) и предсреднерифейском (предбалаганахском) уровнях. Нижнерифейские отложения пурпольской и медвежевской свит обрамляют Тонодское и Нечерское поднятия и сохранились в их внутренних частях в отдельных грабенах и останцах. Пурпольская свита кварцевых песчаников и глиноземистых сланцев традиционно относится к формации переотложенных кор выветривания [2, 3]. В основании пурпольской свиты практически повсеместно картируются горизонты металлоносных конгломератов и гравелитов с палеороссыпными концентрациями монацита, торита, радиоактивного циркона, ильменита, золота, а также танталоколумбита на Нечерском поднятии [13]. Вышележащая медвежевская свита (в составе одноименного рифтогенного вулканического комплекса) железоносна, а в обрамлении Тонодского поднятия включает пласты железистых (гематит-магнетитовых) песчаников и кварцитов с установленными промышленными масштабами оруденения [3]. Нижнерифейские образования и фиксируемые в их основании продукты предрифейской остаточной коры выветривания испытали региональный метаморфизм зеленосланцевой фации, достигающий условий биотит-гранат-мусковитовой (кианитовой) субфации, и интенсивные складчато-надвиговые дислокации [2]. В зонах складчато-надвиговых дислокаций на Нечерском поднятии в отложениях пурпольской свиты локализовано золотосульфидно-кварцевое оруденение Ходоканского золоторудно-россыпного узла [7, 8].

Региональным распространением характеризуются разновозрастные дайки основного состава, образующие рои вдоль продольных разломов в центральных и краевых частях Тонодского и Нечерского поднятий. Ранние дайки метаморфизованных габбродолеритов, относящиеся к чайскому комплексу, интродуцируют карельские образования (включая граниты чуйско-нечерского комплекса) и перекрываются нижнерифейскими отложениями. Верхнекарельский возраст габбродолеритов чайского комплекса (1800–1750 млн лет) подтверждается U-Pb определениями по бадделеиту в петротипической местности —  $1751,8 \pm 3,2$  млн лет (Гладкочуб и др., 2010) и по цирконам на Тонодском поднятии —  $1787 \pm 29$  млн лет (данные авторов, 2019). Более поздние протяженные дайки долеритов медвежевского (доросского) комплекса тяготеют к тектоническим ограничениям поднятий, где интродуцируют карельские и нижнерифейские образования, но не

известны в вышележащих отложениях. Геохронологически эти дайки не изучены, в соответствии с геологическими данными их возраст датируется началом среднего рифея (около 1300 млн лет).

**Ураноносность.** В принятых схемах металлогенического районирования в границах Тонодского поднятия традиционно выделяется Тонодский рудный район, а территория Нечерского поднятия рассматривается в составе Чарского (Нечеро-Ничатского) рудного района [13]. Тонодский район включает определившиеся Туюканский урановорудный, Амандракский потенциальный урановорудный и Кевактинский золоторудно-россыпной узлы. В числе потенциально перспективных выделяются Аянахский, Семикачинский и Когальский узлы с прогнозируемым золотоурановым оруденением (рис. 2). На Нечерском поднятии основные урановорудные и золоторудные объекты сгруппированы в его северной части в Бульбухтинском урановорудном, Ствотах-Юсюряхском потенциально урановорудном и Ходоканском золоторудно-россыпном узлах (рис. 3). Наиболее значимое гидротермальное (гидротермально-метасоматическое) оруденение развито в Туюканском и Бульбухтинском урановорудных узлах, где формируется в краевых и апикальных частях гранитоидных массивов, насыщенных ксенолитами вмещающих нижнекарельских отложений. Оруденение, как правило, бесвторичное, развивающееся в ореолах кремнещелочного метасоматоза, грейзенизации, альбитизации (эйситизации) и березитизации гранитов и вмещающих пород.

*Туюканский урановорудный узел* включает Туюканское месторождение, рудопроявления урана Натали, Западное и Восточное в юго-западной части Кевактинского массива (Шманкевич и др., 1984; Ковешников и др., 1989). Рудное поле Туюканского месторождения (рис. 4) сформировано в узле сочленения продольных северо-восточных и секущих северо-западных и субширотных разломов, трассирующихся дайками габбродолеритов чайского комплекса. Ураноносной является полоса развития сближенных субширотных зон катаклаза, дробления и грейзен-березитовых изменений гранитов общей протяженностью до 3 км и шириной до 200 м, в пределах которой выявлены 5 крутопадающих урановорудных залежей с жильно-штокверковым прожилково-вкрапленным оруденением. Наиболее крупная залежь № 1 (собственно Туюканское месторождение) локализована в мелкозернистых гранитах апикальной фации Кевактинского массива, содержащих ксенолиты углеродистых сланцев михайловской свиты. Эта залежь мощностью от 35 до 86 м прослежена на протяжении 800 м и вскрыта до глубины 400 м. Она объединяет серию жилообразных ветвящихся рудных тел с раздувами и пережимами. На поверхности мощность рудных тел варьирует от 1 до 36 м при содержаниях урана от 0,05–0,1 до 0,4 %. В 50 м от поверхности мощность рудной залежи со средним содержанием урана около 0,1 % составляет 46 м, а на глубине 100 м сокращается до 29,6 м. Ниже (до глубины 440 м) единичными скважинами вскрыты отдельные рудные тела, мощностью от первых метров



**Рис. 4. Геологическая карта западной части Туюканского рудного узла с геологическими разрезами Туюканского месторождения и рудопроявления Натали:** 1–2 — нижнерифейские отложения: 1 — валунно-галечные конгломераты медвежьей свиты, 2 — кварцито-песчаники пурпальной свиты; 3 — дайки габбро-долеритов чайского комплекса; 4 — чуйско-нечерский комплекс: граниты и гнейсо-граниты порфировидные средне-крупнозернистые (а) и мелкозернистые (б); 5 — михайловская свита: сланцы и металавролиты серые, черные углеродистые и слюдисто-кварцевые; 6 — албазинская свита: метапесчаники светло-серые кварц-полевошпатовые; 7 — разрывные нарушения (без разделения по морфологии); 8 — жильное окварцевание; 9 — урановорудные залежи с кондиционным (а) и бедным (б) оруденением; 10 — рудопроявления и проявления урана; 11 — линии геологических разрезов. На фото а-в: а — настуран-I (Nas-I) с мелкими почковидными новообразованиями настурана-II (Nas-II) в кварце (Qz) (BSE-фото), б-в — настуран-I с прожилками халькопирита (chp) и галенита (ga) (отраженный свет)

до 12,7–13,5 м с кондиционным и забалансовым оруденением [13]. В такой же последовательности наблюдается уменьшение ксенолитов вмещающих сланцев михайловской свиты при максимальной насыщенности ими гранитов верхней, наиболее рудоносной части разреза. Другой характерной особенностью является развитие оруденения на участках телескопированного проявления ранней микроклинизации, альбитизации, грейзенизации и более поздних березитовых (пропилит-березитовых) изменений. Руды Туюканского месторождения сульфидсодержащие, часто обогащенные Pb, Zn, Ni, As, Cu, реже Co, Ag и Au. На месторождении развита зона окисления до глубины 200 м, в пределах которой установлен отчетливый вынос урана. Здесь преобладают гипергенные урановые минералы (отенит, скупит, уранофан и др.). Первичная минерализация представлена уранинитом, настураном, реже коффинитом. Уранинит чаще образует гнезда в биотите, а настуран и коффинит развиваются в скоплениях уранинита или ассоциируют с поздней трещинно-прожилковой минерализацией (серицит, хлорит, кварц, карбонат). Наличие богатых первичных уранинит-настурановых руд предполагается на глубине более 200 м [13]. Аналогичные рудопроявления Западное и Восточное представляют собой обособленные крутопадающие рудные залежи с интенсивно окисленным, преимущественно бедным на поверхности урановым оруденением.

Результаты бурения нижнерифейских отложений (Ковешников и др., 1989), развитых южнее Туюканского

месторождения (в 500 м и более), показывают отсутствие в контактовой зоне и в подстилающих гранитах признаков проявленности корообразования, рудоформирующих эпигенетических процессов, концентрирования урана и, таким образом, связи оруденения Туюканского месторождения с предрифейским несогласием. Геологические данные и реконструкция месторождения прогнозируют развитие наиболее масштабных руд в провесе кровли нижекарельских углеродистых отложений михайловской свиты, частично эродированной в настоящее время. В подобной обстановке находится рудопроявление урана Натали [10]. На этом рудопроявлении (рис. 4) довольно крупный выход слюдистых и графитистых сланцев михайловской свиты обнажен на поверхности, а его нижняя часть вскрыта в стенках и днище кара. В верхней части кара известно проявление урановой минерализации в экзоконтакте дайки габбродолеритов, секущих граниты. Основное урановое оруденение локализовано в сланцах, причем на поверхности (в т.ч. в канавах и скважинах) не зафиксировано, а проявлено только на глубине. В средней части кара (в 100 м от поверхности) установлены единичные прожилки мономинерального настурана в небольших обнажениях (1×1 м), а в днище кара (на глубине 240–250 м) выявлены 2 рудных тела, представляющие собой участки густого развития кварц-настурановых прожилков, а также вкрапленности и почковидные выделения настурана ( $\pm$ уранинит). Мощность рудных прожилков обычно от нескольких миллиметров до 1–5 см. Отмечающиеся рядом более мощные (до 2 м) кварцевые жилы практически безрудны. Первое рудное тело (РТ-1, рис. 4), ранее вскрытое расчисткой (Ковешников и др., 1989), имеет размеры 4,5×8 м и не ограничено по простиранию. Предполагаемые размеры второго тела (РТ-2), выявленного ФГБУ «ВСЕГЕИ» (2018) при ревизии рудопроявления, не менее 10×30 м. Содержание урана в этих рудных телах достигает 3,5–8,6 % и более. Руды относятся к классу богатых, сопровождаются небольшим количеством сульфидов при аномальных концентрациях Pb, Zn, Cu, Bi, Pt, Ag [2], а также Au до 1–8 г/т (по данным авторов, 2018). Для жильного оруденения Натали характерна хорошая сохранность и неокисленный облик первичной урановой минерализации, представленной настуранами двух генераций. С преобладающим в составе оруденения настураном-I, образующим натечно-скорлуповатые почковидные выделения (иногда в окружении мелких агрегатов хлорита-шамозита и биотита), тесно ассоциируют галенит и халькопирит. Более поздний настуран-II развивается унаследовано в ранних сульфидно-настурановых образованиях или образует обособленные скопления в кварце (рис. 4). Не исключается развитие богатых кварц-настурановых жил и на более глубоких горизонтах.

*Булбухтинский урановорудный узел* охватывает месторождение Чепок, рудопроявления урана Пурпольское, Куликач, Кульбарокун, Авдеевское, участков Кольцевой, Водораздельный, Ченчинский и Урановый-2 [15]. Рудное поле месторождения Чепок (рис. 5)

ограничивается узлом пересечения крутопадающих разломов северо-западного, северо-восточного и близмеридионального простирания среди лейкогранитов чуйско-нечерского комплекса с ксенолитами сланцев ходоканской свиты. На месторождении отчетливо проявлены ранний кремнещелочной метасоматоз, наложенные карбонат-хлорит-альбитовые, кварц-биотит (флогопит)-хлорит-серицитовые и кварц-хлорит-серицит-гидрослюдистые изменения [8, 9, 14, 15]. В пределах рудного поля канавами и скважинами вскрыты более 10 ураноносных зон катаклаза и дробления преимущественно северо-западного и северо-восточного простирания, включающих более 30 жильных и линзообразных рудных тел с кондиционными содержаниями урана и залежи типа линейных штокверков. Рудные тела локализируются в швах милонитов, брекчий и катаклазитов. Встречены брекчии с кварц-биотит-хлоритовым цементом, обогащенным апатитом и молибденитом. Протяженность урановорудных тел от 100–150 до 300 м, мощность рудных интервалов от 0,6 до 3,4 м, содержание урана 0,068–0,735 %. В 12 рудных телах выявлены богатые руды с содержанием урана 0,3–0,735 % на мощность до 2 м. Среднее содержание урана на месторождении составляет 0,198 % при средней мощности рудных тел 1,3 м. Бурением кондиционное урановое оруденение прослежено на глубину 225 м от поверхности. В рудах установлены повышенные и аномальные концентрации Mo, P, Cu, Pb, Zn, Ag, TR [12, 13]. Урановая минерализация представлена гнездово-вкрапленными скоплениями уранинита и браннерита (преимущественно в биотите и хлорите), вкрапленностью и прожилками более поздних настурана, реже коффинита. Наиболее богатыми являются приразломные жильные и линзообразные рудные тела с настуран-уранинитовой ( $\pm$ браннерит) минерализацией [8, 14, 15]. Западнее месторождения Чепок скважинами вскрыта пологозалегающая штокверковая залежь под нижнерифейским чехлом на рудопроявлении Пурпольское (рис. 5). Эта залежь обособлена от нижнерифейских отложений и контролируется пологой зоной катаклаза и биотитизации гранитов и мигматитов. Ее прослеженная протяженность около 500 м, мощность от 10 до 45 м, содержание урана 0,01–0,05 %, редко до 0,1% [15]. Подобное жильное и жильно-штокверковое оруденение получило предварительную оценку бурением на рудопроявлениях Куликач, Кульбарокун и участка Кольцевой [12].

Изложенные данные свидетельствуют о преимущественной проявленности урановорудного процесса в карельских гранитоидно-метаморфических образованиях и, отчасти, в отложениях пурпольской свиты. В известных в этих отложениях единичных проявлениях урановая минерализация, как правило, не образует скоплений и наблюдается в виде редких прожилков, вкрапленности оксидов и вторичных минералов.

Верхняя геологическая граница развития уранового оруденения обосновывается находками обломков оруденелых пород в перекрывающих валунно-галечных конгломератах нижнерифейской медвежьей свиты.

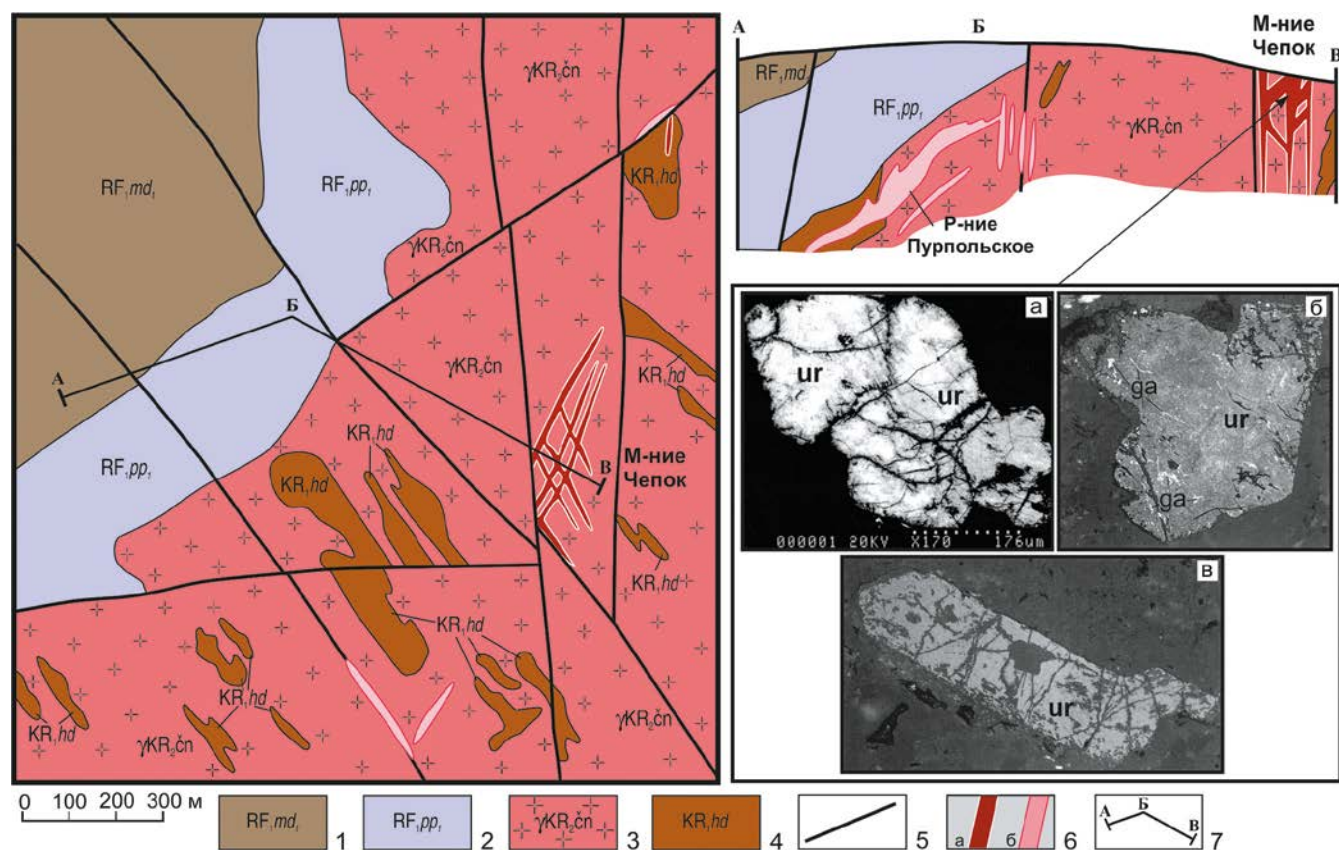
Так, в пределах Бульбухтинского узла галька углеродистых алевросланцев с тонкой вкрапленностью настурана и содержаниями урана до 1,4 % ранее установлена в конгломератах участка Водораздельный (Аномалия 248), развитых вблизи рудопроявления урана в породах фундамента [12, 13]. В Туюканском узле гравийно-галечные обломки минерализованных гранитов с содержаниями урана 0,325–0,5 % найдены авторами (2018) в медвежьих конгломератах на Аномалии 525047, южнее Туюканского месторождения (рис. 4). Подчеркнем, что медвежьих свита подстилает харлуктахскую свиту фаунистически охарактеризованного среднерифейского балаганахского горизонта [3], а в среднерифейских и вышезалегающих отложениях Патомского нагорья признаки уранового минералообразования и рудоформирующих гидротермально-метасоматических процессов не зафиксированы.

**Радиологические данные.** Радиологически наиболее охарактеризовано урановое оруденение Бульбухтинского урановорудного узла, включая месторождение Чепок.

Для месторождения Чепок, рудопроявлений Кольцевого, Кульбаракун изотопные U-Pb и Pb-Pb определения возраста урановой минерализации ранее

получены в ВИМСе и ВСЕГЕИ [10, 14]. На основании этих определений по частоте встречаемости полученных датировок в качестве основных эпох рудоформирования и рудогенерации рассматривались раннепротерозойская (позднекарельская) с возрастом оруденения 2000–1700 млн лет, позднепротерозойская (грэнвилльская) — 1200–800 млн лет (в основном около 1200 млн лет), раннекаледонская — 600–450 млн лет, а также раннегерцинская — 400–300 млн лет. Считалось, что на месторождении Чепок и большинстве рудопроявлений Бульбухтинского узла (Пурпольское, Кольцевое и др.) сохранилось раннее браннерит-уранинитовое и было сформировано более позднее настурановое (с коффинитом) оруденение [8, 12, 14, 15].

Специальные радиологические исследования, проведенные в ИГЕМ РАН, показали, что наиболее богатые (с процентным содержанием урана) гнездово-вкрапленные настуран-уранинитовые руды центральной части месторождения Чепок (рис. 5) имеют возраст 1845–1832 млн лет. Результаты U-Pb и Pb-Pb изотопного изучения этих руд свидетельствуют, что время образования уранинита отвечает значению  $1832 \pm 13$  млн лет (пересечение дискордии с конкордией) при табличном возрасте 1866–1820 млн лет



**Рис. 5. Геологическая карта и разрез рудного поля месторождения Чепок** (по материалам [13, 15] с дополнениями авторов): 1–2 — нижнерифейские отложения: 1 — валунно-галечные конгломераты медвежьих свиты, 2 — кварцито-песчаники пурпольской свиты; 3 — чуйско-нечерский комплекс: лейкократовые и пегматоидные граниты; 4 — ходоканская свита: метаалевролиты, метапесчаники, алевросланцы углеродистые; 5 — разрывные нарушения (без разделения по морфологии); 6 — урановорудные залежи с кондиционным (а) и бедным (б) оруденением; 7 — линия геологического разреза. На фото а-в: а — уранинит (ur) (BSE-фото), б — уранинит с прожилками галенита (ga), в — уранинит с новообразованиями оксида урана по трещинам и периферии кристалла (отраженный свет)

(среднее 1845 Ma), а процессы преобразования первичных руд, протекавшие  $377 \pm 5$  млн лет назад, вызвали переотложение урана в виде настурана и радиогенного свинца в виде галенита [1].

Рудные залежи Туюканского месторождения и известных рудопроявлений Тонодского поднятия в значительной степени преобразованы раннепалеозойским складчато-надвиговым тектогенезом и гипергенными процессами, а имеющиеся датировки возраста уранового оруденения не могут рассматриваться как достоверные: U-Pb определения получены в основном по валовым пробам в лаборатории Сосновского ПГО с широким разбросом значений в диапазоне от  $1600 \pm 100$  до 440 млн лет (Ковешников и др., 1989; Горбунов, Киселев, 1989), в то время как единичные измерения на элементном микрозонде «САМЕСА» во ВСЕГЕИ (Дитмар и др., 1988) показали возраст настуранов на всех анализировавшихся объектах Тонодского поднятия в пределах 510–370 млн лет. В совокупности, по наиболее часто встречаемым определениям, в формировании уранового оруденения Туюканского узла (месторождение Туюкан, рудопроявления Восточное, Натали) были выделены временные интервалы в  $1600 \pm 100$ , 1450–1250, 1050–850 и 550–370 млн лет (Ковешников и др., 1989), а Амандракского узла (рудопроявления Волка-Умакит, Ханой, Амандракское, Коллективное) — в основном 600–450 млн лет (Киселев, 1989; Горбунов, 1989).

Дополнительное геохронологическое изучение проведено на рудопроявлении Натали (рис. 4) с наиболее богатыми в регионе урановыми рудами жильного типа, отличающимися от руд Туюканского месторождения полной сохранностью первичной урановой минерализации. Опробовалась кварц-настурановая жила с содержанием урана до 70,4 %. Определение U-Pb изотопного возраста осуществлялось методом ID-TIMS. Результаты датирования настурана аппроксимируются дискордией, с верхним пересечением с конкордией, определяющим достоверный возраст кристаллизации первичного настурана-I в  $1234 \pm 12$  млн лет. Нижнее пересечение соответствует времени проявления одноактного интенсивного наложенного процесса, проявившегося  $359 \pm 3$  млн лет назад и приведшего к существенной перекристаллизации первичного настурана с образованием настурана-II [10].

Таким образом, формирование основной массы раннего гидротермально-метасоматического собственно уранового (уранинитового и браннерит-уранинитового) оруденения Патомского нагорья, на примере геохронологически изученного месторождения Чепок, связано с позднекарельской эпохой. В течение этой эпохи постмагматическому урановорудному этапу предшествовало формирование торий-уранового, редкоземельно-редкометалльного в фельдшпатолитах и пегматитах, а также олововольфрамового грейзенового оруденения, генерирующегося постколлизийными гранитами чуйско-нечерского комплекса. Олововольфрамовое оруденение в настоящее время продатировано в ИГД РАН с помощью U-Pb метода по касситериту месторождения Находка на Тонодском поднятии

и имеет возраст в пределах 1860–1840 млн лет (данные А.М. Ларина и И.Г. Ризвановой, 2017). Предполагается, что в течение этой эпохи также были сформированы ранние концентрации золота с возрастом около 1800 млн лет на месторождении Чертово Коряго в Кевактинском золоторудном узле (Баженов, 1981).

Последующая рудоформирующая ранне-среднерифейская эпоха обосновывается возрастом новообразованного настурана в ранних уранинитовых рудах, выражена упоминавшимися проявлениями урана в нижнерифейских отложениях пурпольской свиты и образованием обособленных настурановых жил рудопроявления Натали с возрастом около 1234 млн лет, соответствующим началу среднерифейского времени. Эта возрастная граница в пределах краевых поднятий Патомского нагорья фиксируется региональным развитием даек габбродолеритов медвежевского комплекса (и его аналогов).

Раннекаледонская и раннегерцинская эпохи рудорегенерации связываются [2, 8, 14] со становлением и развитием палеозойского Ангаро-Витимского гранитоидного ареал-плутона (рис. 1), а геологические данные (находки урановорудных обломков в конгломератах нижнерифейской медвежевской свиты и полное отсутствие признаков оруденения в перекрывающих среднерифейских и более молодых отложениях) однозначно указывают на отсутствие заметного прироста урана в течение этих эпох.

Раннекаледонская эпоха, проявленная интенсивными складчато-надвиговыми дислокациями на Нечерском и Тонодском поднятиях, фиксируется омоложением U-Pb датировок, имеющим массовый характер на наиболее дислоцированных площадях (например, Амандракского узла на Тонодском поднятии), перераспределением и сугубо локальным переотложением урана в форме коффинита и, реже, настурана [10, 9, 14]. С раннекаледонской эпохой, по данным Pb-Pb изотопного изучения галенитов, связывается формирование промышленного золото-сульфидно-кварцевого оруденения с возрастом 490–440 млн лет в отложениях пурпольской свиты на месторождениях Ходоканского узла [7] и с возрастом около 500 млн лет в нижнекарельских черных сланцах на месторождении Чертово Коряго Кевактинского узла (Баженов, 1981).

В течение раннегерцинской эпохи, синхронной с главным этапом гранитообразования в Ангаро-Витимском ареал-плутоне, было регенерировано и окончательно сформировано гидротермальное урановое оруденение Патомского нагорья, о чем, в частности, свидетельствует установленная на месторождении Чепок, рудопроявлении Натали интенсивная перекристаллизация первичной урановой минерализации в конце девона ( $377–359$  млн лет назад) с образованием настуранов поздних генераций. Подчеркнем, что рудорегенерация этого времени носит региональный характер практически на всех урановых объектах Северного Забайкалья, включая Аkitканский район [1].

**Сравнительная характеристика оруденения.** Несмотря на существенные отличия от классических место-

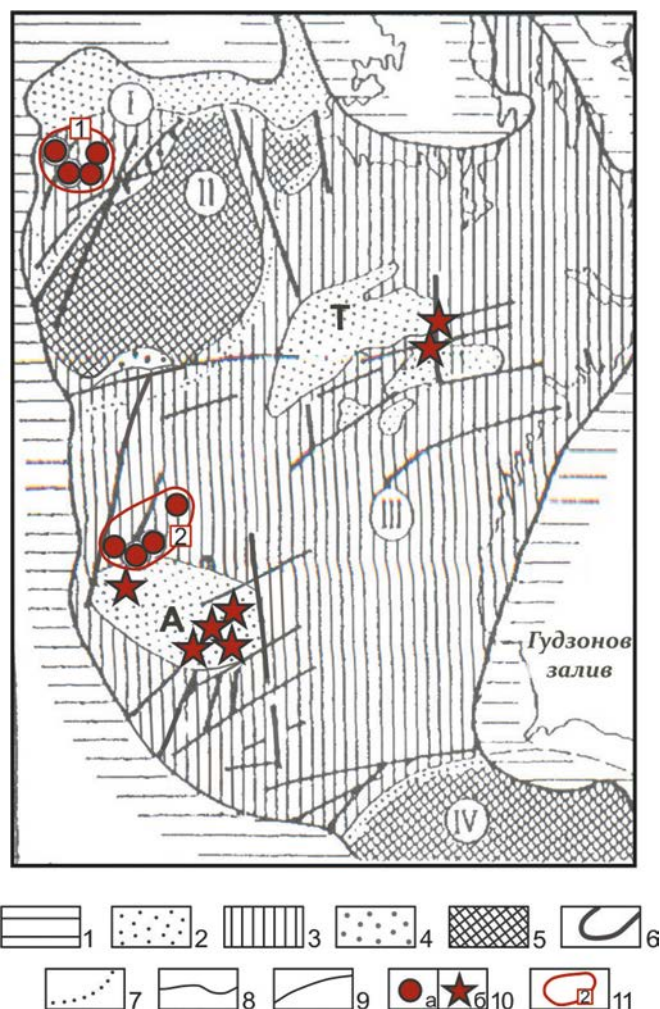


рождений «типа несогласия», до настоящего времени наиболее распространенной являлась точка зрения о принадлежности уранового оруденения, охарактеризованных месторождений и рудопроявлений-сателлитов, к этому геолого-промышленному типу, базирующаяся в основном на их пространственной близости к нижнерифейскому чехлу и возрастных датировках оруденения. Анализ имеющихся и полученных новых геологических и геохронологических данных позволяет рассматривать урановое оруденение Патомского нагорья как типичное жильное длительного развития, имеющее определенное сходство с типовыми докембрийскими жильными гидротермально-метасоматическими месторождениями, к которым традиционно относятся известные канадские месторождения урановорудных районов Большого Медвежьего озера и Биверлодж провинции Атабаска (рис. 6).

Район Большого Медвежьего озера на северо-западе Канадского щита образован метаморфизованными раннепротерозойскими осадочными и вулканогенными комплексами (группы Эхо-Бей и др.) и гудзонскими гранитоидами, пересекающимися дайковыми поясами долеритов с возрастом около 1400 млн лет и  $1000 \pm 50$  млн лет (последние являются пострудными). Жильно-штокверковые урановые месторождения Эль-дорадо, Контакт-Лейк, Эхо-Бей, Эль-Бонанца и другие приурочены к крутопадающим зонам трещиноватости и дробления, локализируются в основном в осадочных породах, нередко на контактах даек долеритов и имеют форму от прожилков и жил (мощностью до 1,2 м) с высокосортной рудой до более мощных штокверков и линз с бедным оруденением. Рудные жилы и прожилки сложены настураном нескольких генераций, кварцем, сульфидами и Co-Ni арсенидами, образующими характерную для этого района «пятиэлементную» рудно-геохимическую ассоциацию [6, 11].

В районе Биверлодж, находящемся рядом с классическими месторождениями «типа несогласия», урановые месторождения Гуннар, Эйс, Фей, Варна залегают среди глубокометаморфизованных пород (группы Тейзин) и представлены сериями сближенных жил, прожилков и штокверков в оперяющих главные разломы разрывных нарушениях. Для месторождений района Биверлодж специфичны околурудные изменения с ранней стадией альбитизации (эйситизации), поздними окварцеванием, гематитизацией, хлоритизацией и карбонатизацией, сопровождающимися рудную стадию минералообразования. В этом районе основную группу (90 %) составляют месторождения с простым (преимущественно настурановым) составом руд. Месторождения второй группы с рудами сложного состава («пятиэлементной» ассоциации с золотом и палладием) образуют самостоятельный узкий пояс и предполагается, что они моложе преобладающих месторождений первой группы [6]. Отмечено, что аналоги месторождений Гуннар-Эйс-Фей известны и в других регионах Канады, в том числе крупные по запасам урана (месторождение Мишлен в провинции Онтарио и др.).

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 привносом урана в позднем протерозое (рифее) с допускаемым более молодым происхождением отдельных настурановых жил. В урановорудном районе Биверлодж также установлены два основных этапа рудоформирования: раннепротерозойский, датированный в  $1760 \pm 20$  млн лет, и позднепротерозойский (среднерифейский) —  $1240 \pm 50$  млн лет. Образование основной массы гидротермального оруденения (с возрастом



**Рис. 6. Схема размещения урановорудной провинции Атабаска в структурах западной части Канадского щита (по материалам [6]):** 1 — фанерозойские платформенные отложения; 2 — средне-верхнепротерозойский (рифейский) чехол на гудзонском основании: впадины Атабаска (А), Телон (Т); 3 — области гудзонской складчатости и диастрофизма (1800–1700 млн лет); 4 — нижнепротерозойский чехол на кеноранском основании; 5 — области кеноранской складчатости и диастрофизма (2600–2500 млн лет); 6 — граница Канадского щита; 7 — границы структурных провинций (I — Бёр, II — Слейв, III — Черчилл, IV — Сьюперитор); 8 — границы комплексов; 9 — разломы; 10 — месторождения урана: жильные (а) и типа несогласия (б); 11 — урановорудные районы: 1 — Большого Медвежьего озера, 2 — Биверлодж

около 1760 млн лет) связывается с эпохой гудзонского орогенеза — массового внедрения коллизионных гудзонских гранитов, а рубеж 1240 млн лет фиксирует частичное переотложение руд с предполагаемым формированием в районе Биверлодж более молодых месторождений, так называемой второй группы с рудами сложного состава [6].

По мнению авторов, именно такая модель полихронного рудоформирования, предусматривающая образование основной массы рядового оруденения в конце раннего протерозоя и более богатых (телескопированных и локально-обособленных) концентраций на рубеже нижнего-среднего рифея, наиболее адекватна для гидротермального уранового оруденения Патомского нагорья. Исходя из этого, проявленный здесь многостадийный урановорудный процесс выразился в формировании телескопированного полихронного оруденения в благоприятных геолого-структурных обстановках известных месторождений (рудопроявлений) и обособлении более позднего (рифейского) жильно-прожилкового оруденения на флангах, в частности, Туюканского месторождения. Последняя обстановка в качестве самостоятельной впервые обоснована и датирована на рудопроявлении Натали [10].

При анализе уранового оруденения Патомского нагорья и его сопоставлении с известными месторождениями «типа несогласия» основным отличительным и негативным фактором рассматривался проявленный метаморфизм и дислоцированность отложений нижнерифейского чехла [8]. С позиций любых генетических концепций основным структурным фактором, отличающим месторождения «типа несогласия», является наличие выраженного метаморфического градиента между образованиями фундамента и перекрывающими нематаморфизованными отложениями. В противном случае, из-за сближенности петрофизических свойств, эти месторождения превратились бы в обычные жильные гидротермальные [11]. Этот вывод в полной мере относится и к изученным урановым объектам Патомского нагорья.

**Выводы.** Можно заключить, что гидротермальное урановое оруденение Патомского нагорья или «патомского» типа [9] формировалось в зонах дробления гранитов и вмещающих метаморфических пород в течение позднекарельской и ранне-среднерифейской урановорудных эпох. Определяющим условием образования наиболее богатых урановых руд (месторождений) является полихронный и телескопированный характер минералообразования в благоприятных геологических обстановках, а эрозионную сохранность оруденения в этих обстановках обеспечивают перекрывающие нижнерифейские отложения.

В этой связи, в аспекте планирования дальнейших ГРП на уран, наиболее привлекательными для поисков скрытого и слабопроявленного гидротермального уранового оруденения выглядят северный и южный участки Амандракского потенциального урановорудного узла, площади прогнозируемых Когальского и Аянахского узлов в Тонодском районе, а в пределах

Чарского (Нечеро-Ничатского) района — слабоэродированная северная часть определившегося Бульбухтинского урановорудного узла, включающая наименее изученные на уран участки Куликач, Кульбаракун и Водораздельный.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голубев, В.Н. Отложение и ремобилизация урана в Северо-Байкальском регионе, по данным анализа U-Pb систем урановых руд / В.Н. Голубев, Л.Б. Макарьев, Л.В. Былинская // Геология рудных месторождений. — 2008. — Т. 50. — № 6. — С. 548–557.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист О-50 (Бодайбо). Объяснительная записка / Ред. Л.Б. Макарьев. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. — 495 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист О-49 (Киренск). Объяснительная записка / Ред. Г.Л. Митрофанов. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. — 648 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 (второе поколение). Серия Бодайбинская. Лист О-50-I (Кевакта). Объяснительная записка / Ред. Л.Б. Макарьев. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2017. — 113 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 (второе поколение). Серия Бодайбинская. Лист О-50-II (Пуричи). Объяснительная записка / Ред. Л.Б. Макарьев, Ю.Б. Миронов — СПб.: ВСЕГЕИ, 2017. — 114 с.
6. Лаверов, Н.П. Зарубежные месторождения урана / Н.П. Лаверов, А.О. Смирлыктын, М.В. Шумилин. — М.: Недра, 1983. — 320 с.
7. Ланда, Э.А. Изотопно-геохимические и геохронологические особенности золоторудного месторождения Ходокан (Восточная Сибирь) / Э.А. Ланда, Л.Б. Макарьев, Л.В. Былинская и др. // Региональная геология и металлогения. — 2006. — № 28. — С. 144–152.
8. Макарьев, Л.Б. Урановое и благороднометалльное оруденение северной части Нечерского поднятия (Бульбухтинская площадь): вещественные особенности и стадийность формирования / Л.Б. Макарьев, Л.В. Былинская, М.В. Павлов // Матер. по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — Вып. 147. — М.: ВИМС, 2005. — С. 69–83.
9. Макарьев, Л.Б. Нечеро-Ничатский урановорудный район (ведущие типы оруденения, обстановки локализации и перспективы) / Л.Б. Макарьев, Л.В. Былинская, М.В. Павлов // Матер. по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — Вып. 150. — М.: ВИМС, 2006. — С. 5–17.
10. 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 // Региональная геология и металлогения. — 2019. — № 77. — С. 67–74.
11. Пакульнис, Г.В. Месторождения урана типа несогласия района Атабаска (Канада) / Г.В. Пакульнис, М.В. Шумилин // Минералогическое сырье. — М.: ВИМС, 2005. — № 17. — 102 с.
12. Пушкаренко, А.И. Геологическое строение и рудоносность Бульбухтинской площади / А.И. Пушкаренко, В.В. Корнаков, С.П. Вылков, И.И. Царук // Матер. по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. Вып. 145. — М.: ВИМС, 2004.
13. Самович, Д.А. Минерально-сырьевая база урана Восточной Сибири. / Д.А. Самович, И.И. Царук, А.А. Кокарев и др. — Иркутск: БИ «Сосновгеология», 2012. — 163 с.
14. Тюленева, В.М. Минеральные ассоциации, эпохи и эволюция уранового рудогенеза в Северном Прибайкалье / В.М. Тюленева, Н.И. Чистякова, В.Т. Дубинчук и др. // Разведка и охрана недр. — 2009. — № 3. — С. 25–32.
15. Царук, И.И. Месторождение урана Чепок / И.И. Царук, А.И. Пушкаренко, Л.Б. Макарьев / Матер. по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — Вып. 147. — М.: ВИМС, 2005. — С. 124–129.

© Макарьев Л.Б., Миронов Ю.Б., Ефремова У.С., 2020

Макарьев Леонид Борисович // ogumr@vsegei.ru  
Миронов Юрий Борисович // ogumr@vsegei.ru  
Ефремова Ульяна Сергеевна // ogumr@vsegei.ru