

Еще одним районом, привлекающим внимание в качестве потенциального бассейна месторождений несогласия, является восточная окраина Алданского щита (Учуро-Майский район) [3]. В этом районе, помимо ряда рудопроявлений в образованиях фундамента, на площади развития покрова рифейских красноцветных песчаников, зафиксирована крупная (100 км²) площадная аномалия аэроспектротометической съемки (Адоргайская). В 1990-х годах была предпринята попытка изучения этой аномалии бурением, но в пройденном единичном профиле лишь одна скважина добурена до поверхности несогласия (глубина 500 м). Скважиной установлен ореол изменения песчаников (обеление) с отдельными повышениями радиоактивности, что можно было бы рассматривать как положительный результат [3]. Однако работы на этом закончились из-за недостатка финансирования.

Дальнейшие исследования здесь должны начинаться с ревизии материалов аэрогеофизической съемки и, скорее всего, с ее повторения, но уже на современном аппаратном и методическом уровне (высокоточная аэромагнитка, аэроэлектроразведка) и составления структурной карты погребенного фундамента с последующим изучением локальных участков наземными методами по принятой за рубежом методике (см. выше).

На наш взгляд, Учуро-Майский район по имеющимся геологическим данным, выглядит весьма перспективным и остается еще практически не изученным на наличие месторождений типа несогласия. Он также более благоприятен по сравнению с Пашско-Ладожским, в экологическом отношении. К тому же — это район Дальнего Востока, приоритетное развитие которого определено Правительством.

Рассчитывать на возможность открытия новых урановородных районов, а лишь такое открытие способно коренным образом изменить качественное состояние сырьевой базы урана в России, можно только путем изучения новых территорий. Найти такие объекты вблизи от действующих предприятий или в районах, в течение десятилетий и при немалых объемах бурения, изученных еще в советский период, на наш взгляд, нереально.

Решение этой задачи возможно только в условиях устойчивого финансирования. Поэтому приступая к таким работам, следовало бы располагать разработанной многолетней Программой, утвержденной совместным решением Роснедр и Росатома.

ЛИТЕРАТУРА

1. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов в России. Госдоклад Минприроды РФ, раздел «Уран», 2018.
2. Коноплев, А.Д. Проблемы минерально-сырьевой базы урана в России и пути их решения / А.Д. Коноплев, С.В. Полонянкина, И.И. Царук, Е.А. Митрофанов // Минеральные ресурсы России. — № 5. — 2017.
3. Машковцев, Г.А. Ресурсная база урана: проблемы развития и освоения / Г.А. Машковцев, А.К. Мигута, В.Н. Щеточкин, А.К. Константинов. Научно-технический обзор. — № 3. — АРМЗ, 2013.
4. Uranium 2020: Resources, Production and Demand. IAEA-NEA №7551, 2020.

5. Уран России / Под ред. Машковцева Г.А. — ВИМС, 2010.
6. Шумилин, М.В. Урановые месторождения типа несогласия: геология, генетическая модель, поисковые методы и перспективы выявления в России. Обзор зарубежных и отечественных публикаций / М.В. Шумилин // Минеральные ресурсы. — Вып. 41. — ВИМС, 2021.
7. Шумилин, М.В. Урановые месторождения типа несогласия: новая генетическая модель и проблема поиска в России / М.В. Шумилин // Разведка и охрана недр. — № 11. — 2017.

© Шумилин М.В., 2021

Шумилин Михаил Владимирович // shumilin.zbk@gmail.com

УДК 553.411:553.495(571.55)

Гребенкин Н.А.¹, Бабкин Н.Я.¹, Карманов Е.Н.¹,
Корявко А.И.¹, Кряжев С.Г.², Кузьменко П.С.¹,
Леденева Н.В.¹, Мельников С.И.¹, Ржевская А.К.¹
(1 — ФГБУ «ВИМС», 2 — ФГБУ «ЦНИГРИ»)

МОДЕЛЬ ДОКЕМБРИЙСКИХ УРАНОНОСНЫХ И ЗОЛОТОНОСНЫХ СИСТЕМ ТОНОДСКОГО ГРАНИТ-МЕТАМОРФИЧЕСКОГО ПОДНЯТИЯ (СЕВЕРНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

*Представлена геолого-генетическая модель докембрийских урановых и золоторудных объектов Тонодского гранит-метаморфического поднятия южного обрамления Сибирской платформы. В ее основу положено предположение о связи полихронного золотого и уранового рудообразования, процессов континентального рифтогенеза и пульсационного основного магматизма с мантийным очагом, фиксируемым в настоящее время гравиплотностным выступом на глубине 16–18 км. **Ключевые слова:** Тонодское поднятие, уран, золото, глубинное строение, глубинный гравиплотностной выступ.*

Grebenkin N.A.¹, Babkin N.Ya.¹, Carmanov E.N.¹,
Koryavko A.I.¹, Kryazhev S.G.², Kuzmenko P.S.¹, Ledeneva N.V.¹,
Melnikov S.I.¹, Rzhetskaya A.K.¹ (1 — VIMS, 2 — TSNIGRI)

URANIUM AND GOLD-BEARING PRECAMBRIAN SYSTEMS MODEL OF THE TONOD GRANITE-METAMORPHIC UPLIFT (NORTHERN TRANSBAIKALIA)

*A geological and genetic model of Precambrian uranium and gold ore objects of the Tonod granite-metamorphic uplift of the southern frame of the Siberian Platform is presented. It is based on the assumption that polychronous gold and uranium ore formation, continental rifting and pulsational mafic magmatism processes are related to the mantle chamber, which is currently fixed by a gravity-density nose at a depth of 16–18 km. **Keywords:** Tonod uplift, uranium, gold, deep structure, deep gravity-density nose.*

Геологическое строение и металлогения Тонодского поднятия. Докембрийские краевые поднятия, располагающиеся в пределах южной границы Сибирской платформы, контролируют многочисленные урановые и зо-

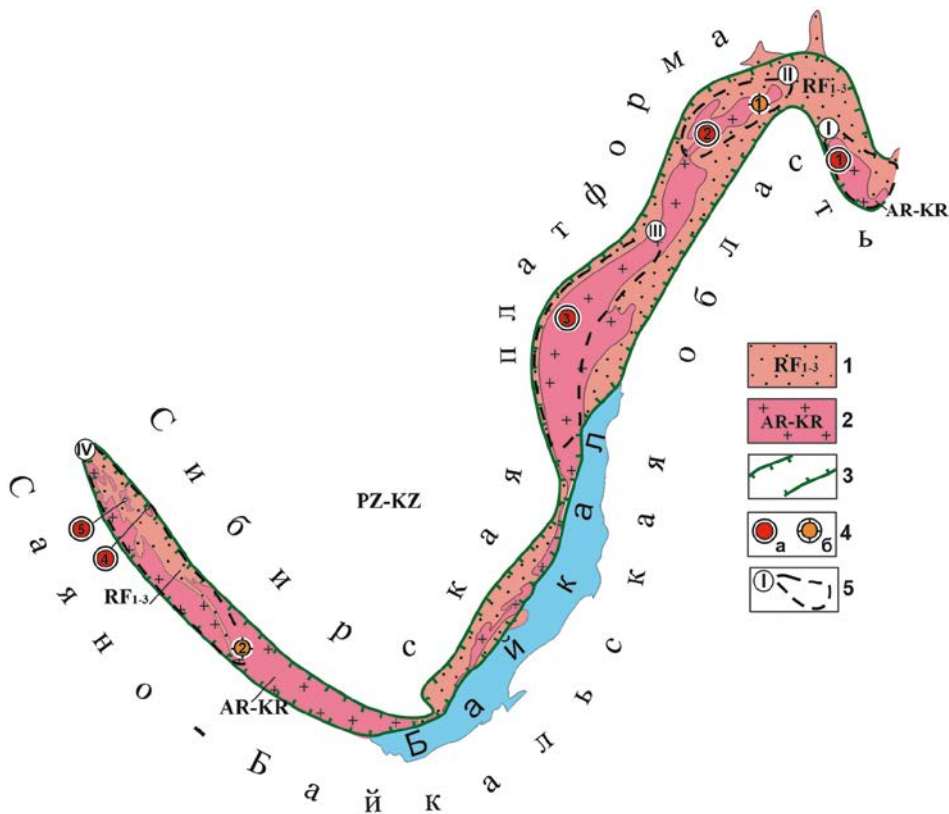


Рис. 1. Схема размещения урановых и золоторудных месторождений в пределах южной границы Сибирской платформы: 1 — осадочные породы проточехла (RF₁₋₃); 2 — гранит-метаморфические и вулканогенно-метаморфические породы фундамента (AR-KR); 3 — области проявления докембрийского базитового магматизма; 4 — докембрийские месторождения: а) урана (1 — Чепок, 2 — Туюкан, 3 — Безымянное, 4 — Ансах, 5 — Столбовое); б) золота (1 — Чертово Корыто, 2 — Зэгэн-Гольское); 5 — потенциально урановорудные районы: I — Чарский, II — Тонодский, III — Ачитканский, IV — Присаянский

лоторудные объекты, которые характеризуются близкими возрастами рудообразования (рис. 1). Не является исключением и Тонодское гранит-метаморфическое поднятие, отвечающее одноименному потенциально урановорудному району (ПУРР) в Северном Забайкалье с рудопроявлениями и месторождениями урана и золота — Туюкан и Чертово Корыто соответственно.

В геологическом строении района принимают участие преимущественно раннепротерозойские гранит-метаморфические породы фундамента и перекрывающие их со структурно-стратиграфическим несогласием (СН) осадочные отложения рифейского протоплатформенного чехла, которые прорываются многочисленными рифейскими интрузиями основного состава (рис. 2). Структуру поднятия осложняют разнонаправленные системы разрывных нарушений как крутопадающих, так и покровно-надвигового типов. Наряду с крупными продольными разломами, ограничивающими выступы фундамента, градиентными зонами магнитного и гравитационного полей фиксируются субмеридиональные глубинные разломы, к числу которых относятся Амандракский и Хайвергинский. Усложняют геологическое строение Тонодского поднятия разноориентированные грабенообразные структуры.

Фундамент поднятия сложен палеопротерозойскими метапесчаниками и углеродсодержащими сланцами кевактинской серии (албазинская и вышезалегающая михайловская свиты), метаморфизованными до фации зеленых сланцев. Метапесчаники албазинской свиты и углеродистые алевросланцы михайловской свиты тяготеют к краевым частям Тонодского поднятия. Отложения михайловской свиты сохраняются также в ядрах брахисинклиналей, находящихся в центре и на восточном фланге поднятия. Эти отложения, по данным А.В. Будяка (устное сообщение), геохимически специализированы на Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Pt, V и отчасти на U. С углеродистыми толщами, образующими брахисинклинальную структуру, пространственно связаны золото-сульфидно-кварцевое оруденение месторождения Чертово Корыто и многочисленные проявления золота.

Центральную часть Тонодского поднятия занимают палеопротерозойские гранитоиды чуйско-нечерского комплекса, представленные несколькими массивами, образующими гранито-гнейсовые структуры. Наиболее крупный массив — Кевактинский — находится в западной части поднятия. Он сложен равномернозернистыми биотитовыми, биотит-амфиболовыми гранитами и гранодиоритами, сменяющимися к периферии порфировидными крупнозернистыми разностями, имеющими возраст около 1,85 млрд лет. В восточной части поднятия выделяется Амандракский массив, который сложен геохимически специализированными на U и Mo лейкократовыми микроклин-плагиоклазовыми гранитами с возрастом порядка 1,73 млрд лет [13]. В западной части массива выделяется одноименная купольная структура с аэрогамма-спектрометрическими аномалиями калий-урановой природы. Радиоактивные аномалии урановой природы широко проявлены также в апикальных частях массива. С гранитоидами чуйско-нечерского комплекса пространственно и во времени связаны рудопроявления TR, Ta, Nb.

Отложения рифейского осадочного чехла в центральной части Тонодского поднятия сохранились в виде останцов, а в обрамлении распространены повсеместно. В основании чехла со структурно-стратиграфическим несогласием залегают красноцветные отложения переотложенных кор выветривания пур-

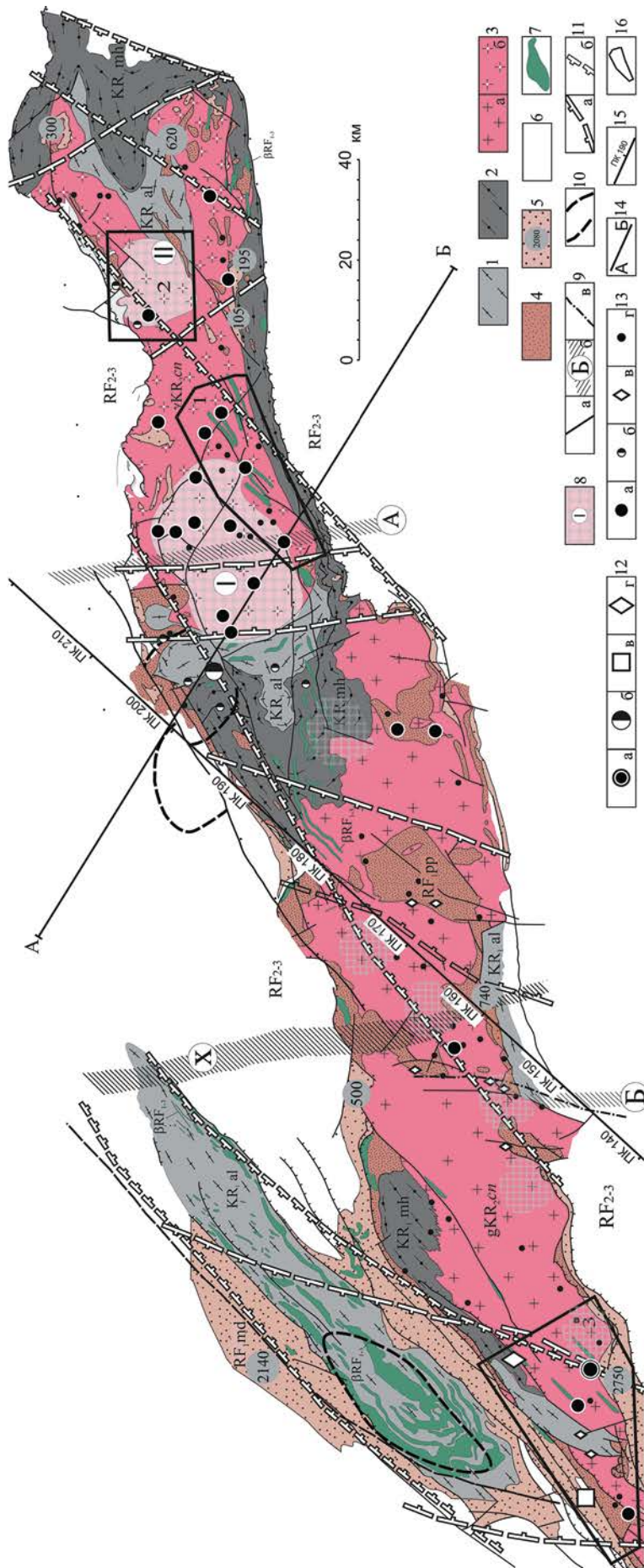


Рис. 2. Геолого-структурная схема Тондского поднятия с элементами прогноза на уран и золото: 1 — метапесчаники, алевролиты, сланцы (KR_{1al}); 2 — сланцы, метапесчаники, в т.ч. углеродистые (KR_{1mh}); 3 — гранитоиды: а) биотит-роговообманковые граниты и гранодиориты (gKR_{2sl}), б) лейкократовые граниты и плагиограниты (γKR_{2sl}); 4 — песчаники и конгломераты (RF_{1pp}); 5 — конгломераты, метапесчаники, железистые кварциты (RF_{2md}) и их мощности; 6 — терригенно-карбонатные формации (RF₂₋₃); 7 — тела габбро-долеритов и метагаббро (βKR_{2-RF₁₋₃}); 8 — купольные структуры, в т.ч. выделенные на основе анализа гравиплотностных полей; 9 — разломы (а), в т.ч. глубинные, выделенные по градиентам магнитного поля (в) и гравитационного поля (б); 10 — ранне-средние (а), поздние (б) медвежеские грабены; 11 — ранне-средние (а), поздние (б) медвежеские грабены; 12 — месторождения: а) урана (Туокан), б) золота (Чертово Кoryто), в) железа (Чистое), г) олова (Находка); 13 — рудопроявления: а) урана; б) золота; в) олова; г) аномалии радиоактивности; 14 — линия разреза А-Б; 15 — региональный сейсмический профиль; 16 — перспективные поисковые площади: 1 — Южно-Амандракская, 2 — Верхне-Аяннахская; 3 — Туоканская

польской свиты нижнего рифея, низы которой сложены конгломератами с палеороссыпной редкометалльной, урансодержащей и золотой минерализацией. Отложения пурпольской свиты стратиграфически несогласно перекрываются осадочно-вулканогенными образованиями медвежьей свиты с горизонтами железистых кварцитов. С последними связаны месторождения железа. Отложения медвежьей свиты выполняют грабенообразные структуры и характеризуются резкой фациальной изменчивостью и колебаниями мощностей. По результатам палеореконокструкций Тонодского поднятия, проведенного А.И. Ивановым с соавторами [6] установлено, что субмеридиональная ориентировка грабенов, преобладающая над субширотной, унаследована в результате подновления в рифейское время глубинных разломов, проявленных в породах фундамента в раннепротерозойский тектономагматический этап активизации.

Наряду с вышеописанными формациями, в пределах Тонодского поднятия и его обрамления повсеместно распространены интрузии основного состава, относящиеся к различным комплексам (медвежьему, патомскому и др.). Время образования этих комплексов преимущественно рифейское, что обосновывается геологическими взаимоотношениями с вышеописанными формациями. Интрузии габбро-долеритов являются маркерами неоднократной рифтогенной континентальной активизации рассматриваемой территории.

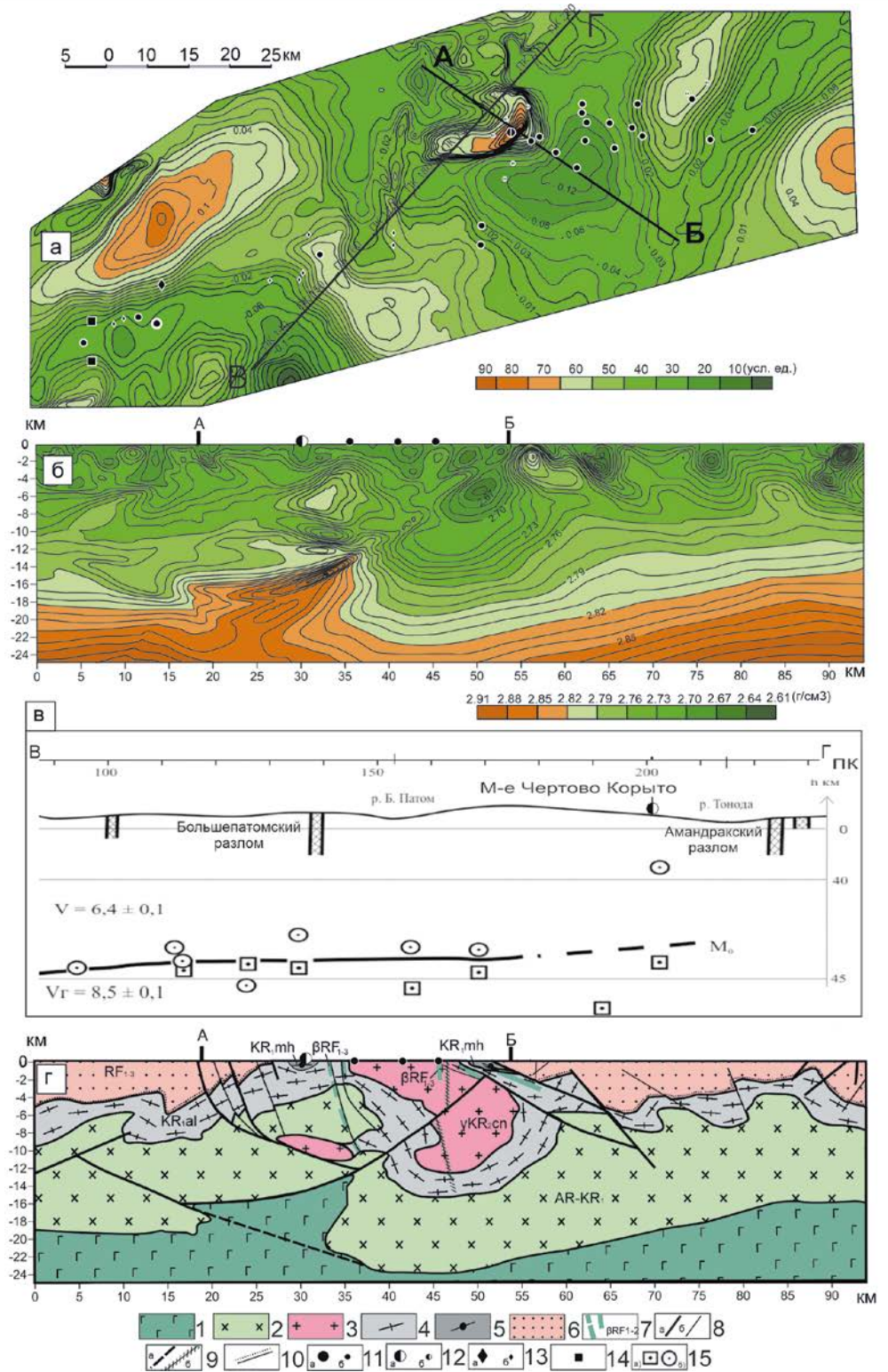


Рис. 3. Карта относительного распределения плотностных масс на глубине 15 км (а). Гравиплотностной (б) и сейсмической (в) разрезы с геологической интерпретацией (г): 1 — базальт-диоритовый слой (2,83 г/см³); 2 — диорит-метаморфический слой (2,75–2,83 г/см³); 3 — гранитоиды (2,6–2,7 г/см³); 4–5 — осадочно-метаморфические породы фундамента (2,72–2,75 г/см³); 4 — метапесчаники и алевролиты албазинской свиты; 5 — углеродистые сланцы михайловской свиты; 6 — осадочные породы чехла (2,6–2,72 г/см³); 7 — дайки габбро-долеритов (2,82 г/см³); 8 — разломы: крупные (а), малые (б); 9 — предполагаемые пологие надвиги (а) и глубокий Амандракий разлом (б); 10 — поверхность предрифейского ССН; 11–14 — месторождения и рудопроявления: 11 — месторождение Туюкан (а) и рудопроявления урана (б); 12 — м-ние Чертово Корыто (а) и рудопроявления золота (б); 13 — м-ние Находка (а) и рудопроявления олова (б), 14 — м-ния железа (Язовское и Чистое); 15 — глубины по данным преломленных (а) и отраженных (б) волн

Результаты обработки геофизических данных.

В процессе обработки и анализа данных гравиразведки с применением вероятностно-статистического подхода и модифицированного метода Б.А. Андреева в программе КОСКАД-3Д было уточнено тектоническое строение Тонодского поднятия и оценена связь глубинных неоднородностей с локальными объектами, расположенными в верхней части земной коры; определено, что большинство рудопроявлений и аномалий урана, так же как и месторождение Туюкан тяготеют к внешним градиентным зонам отрицательных гравитационных аномалий, отвечающих радиогеохимически специализированным на уран гранито-гнейсовым поднятиям (рис. 3). Сходное положение характерно для урановорудных объектов типа «несогласия», тяготеющих к отрицательным гравитационным аномалиям в пределах крупнейшего урановорудного района Пайн-Крик (Северная Австралия).

Исследованиями выявлено также, что положение золоторудного месторождения Чертово Корыто, показанное на разрезе распределения плотностных масс (рис. 3), характеризуется наличием под ним на глубине 16–18 км выступа плотных пород, вытягивающегося в широтном направлении на 16 км и имеющего явно глубинное происхождение. В свою очередь, урановые объекты располагаются в периферической зоне влияния этого выступа. В западной части Тонодского поднятия, севернее месторождения Туюкан, на глубине в первые десятки километров также картируется крупная гравиплотностная неоднородность.

По данным сейсморазведки предшественниками по профилю С-D (пос. Мама — река Тонода) было установлено, что район рудного поля месторождения Чертово Корыто выделяется 20-километровым отрезком (ПК 190-210) скачкообразной раскорреляции отраженных и преломленных волн в интервале глубин 46–39 км с потерей сплошности границы Мохо, трассирующей южнее ПК 180 близгоризонтальную поверхность в основании земной коры Тонодского поднятия (рис. 3) [14].

Подобный плотностной выступ, располагающийся на глубине около 18 км под золотым месторождением Купол, был зафиксирован по результатам ранее проведенных исследований с применением программы КОСКАД-3Д для условий Чукотского региона. Не исключено, что образование таких плотностных выступов обусловлено формированием корового (периферического) очага, инициированного глубинным базальтовым маглообразованием, с которым, в свою очередь, возможно связано формирование золоторудных и урановых объектов.

Месторождение золота Чертово Корыто находится в центральной части Тонодского поднятия и приурочено к замку пологой брахисинклинальной складки широтного простирания. Оно локализовано в углеродистых сланцах михайловской свиты раннепротерозойского возраста и контролируется взбросо-сдвиговой зоной север-северо-западного простирания (350 °С) с падением сместителя (60 °) в западном на-

правлении [9]. Характерной геологической особенностью рудного поля месторождения является наличие роя даек диоритов и габбро-долеритов.

Месторождение состоит из многочисленных пологопадающих (10–15°) рудных залежей, мощностью до 4,5 м и протяженностью десятки метров. Тела имеют гнездовую, линзовидно-гнездовую и линзовидную формы с раздувами. До формирования золотого промышленного оруденения породы рамы испытали метаморфизм на уровне амфибол-турмалин-мусковит-биотитового парагенезиса. Крупнообъемный зональный метасоматический ореол месторождения Чертово Корыто включает 5 минералого-петрохимических зон: фронтальную, углеродистую, хлоритовую, альбитовую, тыловую (березитовую) [10]. В состав фронтальной зоны входят: кварц, серицит, лейкоксен, рутил, сульфиды (пирит, пирротин, арсенипирит, галенит), кальцит, анкерит, альбит, актинолит, хлорит, кероген и биотит. Фронтальная зона сменяется смежной углеродистой на границе полного растворения метаморфического биотита, углеродистая зона — хлоритовой на границе полного окисления (и отгонки) керогена. Переход хлоритовой зоны в альбитовую сопровождается полным растворением хлорита. На границе альбитовой и березитовой зон исчезает альбит.

В пределах рудно-метасоматических зон для надрудной части характерно повышенное содержание Mn, Ti, V, Ni, Cu, Zn. Среднерудный уровень характеризуется ассоциацией элементов Co, Zn, As, P. Подрудный уровень отличается повышенными содержаниями более широкого комплекса элементов: Co, Zn, As, P, Mn, Ti, V, Ni, Cu, Zn, Sn, B [4]. В тыловой березитовой и смежной альбитовой зонах метасоматического ореола установлены контрастные аномалии P, Ti, Mg, Fe, Mn и Ca [11].

Образование руд происходило при температурах 450–350 °С и давлении 440–240 бар, что отвечает палеоглубинам 1–2 км [17].

Золотое оруденение имеет рифейский возраст, отвечающий датировкам в диапазоне ~800÷1000 млн лет [15], соответствующим наиболее масштабному проявлению базитового магматизма в Тонодском районе. Полученные единичные значения более древнего и более молодого возрастов отвечают эпохе раннепротерозойского гранитообразования и развитию палеозойского гранитоидного магматизма на сопредельных территориях [1] (рис. 4).

Рудопроявления Хоной и Волка-Умакит так же, как и месторождение Чертово Корыто, находятся в центральной части Тонодского поднятия, но тяготеют к южной апикальной части Амандракского гранито-гнейсового купола, к границе перехода гранитов к сланцам михайловской свиты. Объекты располагаются на продолжении зоны рифейского грабена, выполненного отложениями медвежевской свиты, в узле сопряжения крупных крутопадающих сбросо-сдвигов северо-восточного и северо-западного простираний. Вблизи рудопроявлений отмечаются многочисленные дайки габбро-долеритов.

Проявления представляют собой серию рудных тел мощностью первые метры и протяженностью сотни метров, тяготеющих к контактам нижнепротерозойских гранитоидов с ксенолитами сланцев фундамента, нередко осложненным зонами бластомилонитов.

Изучение урановой минерализации проводилось в образцах, отобранных с проявления Волка-Умакит, характеризующихся радиоактивностью от 100 до 400 мкР/ч и в одном случае — 780 мкР/ч. Содержания урана в них по данным рентгеноспектрального анализа (РСА) варьируют от 0,01 до 1,57 %. Оруденение локализовано в тектонически нарушенных прикон-

тактовых зонах ксенолитов биотитовых парагнейсов, находящихся среди альбитизированных и грейзенизированных апогранитов. Последние образуют мощный ореол в краевых частях Амандракского гранитоидного массива.

В отличие от неизмененных гнейсов, ураноносные породы интенсивно рассланцованы и бластомилонитизированы, имеют темную зеленовато-серую окраску, содержат вкрапленность кристаллов турмалина и пирита размером до 0,8 см. Микрзернистая оксидно-урановая минерализация характеризуется тонкополосчатым распределением, согласным с плоско-

стями рассланцевания породы (рис. 5). На микроуровне в породах отчетливо наблюдаются структуры пластических деформаций: ламинарного течения, бластомилонитовые, порфиробластовые. Минеральные изменения, произошедшие в рудовмещающих тектоносланцах, соответствуют РТ-условиям зеленосланцевой фации метаморфизма.

Во всех образцах проведена диагностика слюд, хлоритов, глинистых минералов, карбонатов, турмалина и некоторых других минеральных фаз. Идентификация минералов осуществлялась по UV-VIS-NIR-спектрам диффузного отражения с использованием спектрометра TerraSpec4 Hi-Res (ASD Inc. PANalytical NIR Center, США) (аналитик Рассулов В.А.).

Структурная диагностика минералов проводилась методом рентгенофазового анализа (РФА) на автоматическом дифрактометре X'PertPROMPD (Panalytical, Нидерланды) (аналитик Иоспа А.В.). Составы рудной и рудосопровождающей минерализации изучались на рентгеновском микроанализаторе (РСМА) JEOL JXA 8100, укомплектованном энергодисперсионной приставкой INCA (аналитики Галин К.Р., Киселев А.А.).

Минералами, слагающими основную матрицу оруденелой породы, являются гранулированный кварц, хлорит и тонкочешуйчатый серицит/фенгит, имеющие тонкополосчатое линейно ориентированное распределение. Хлорит

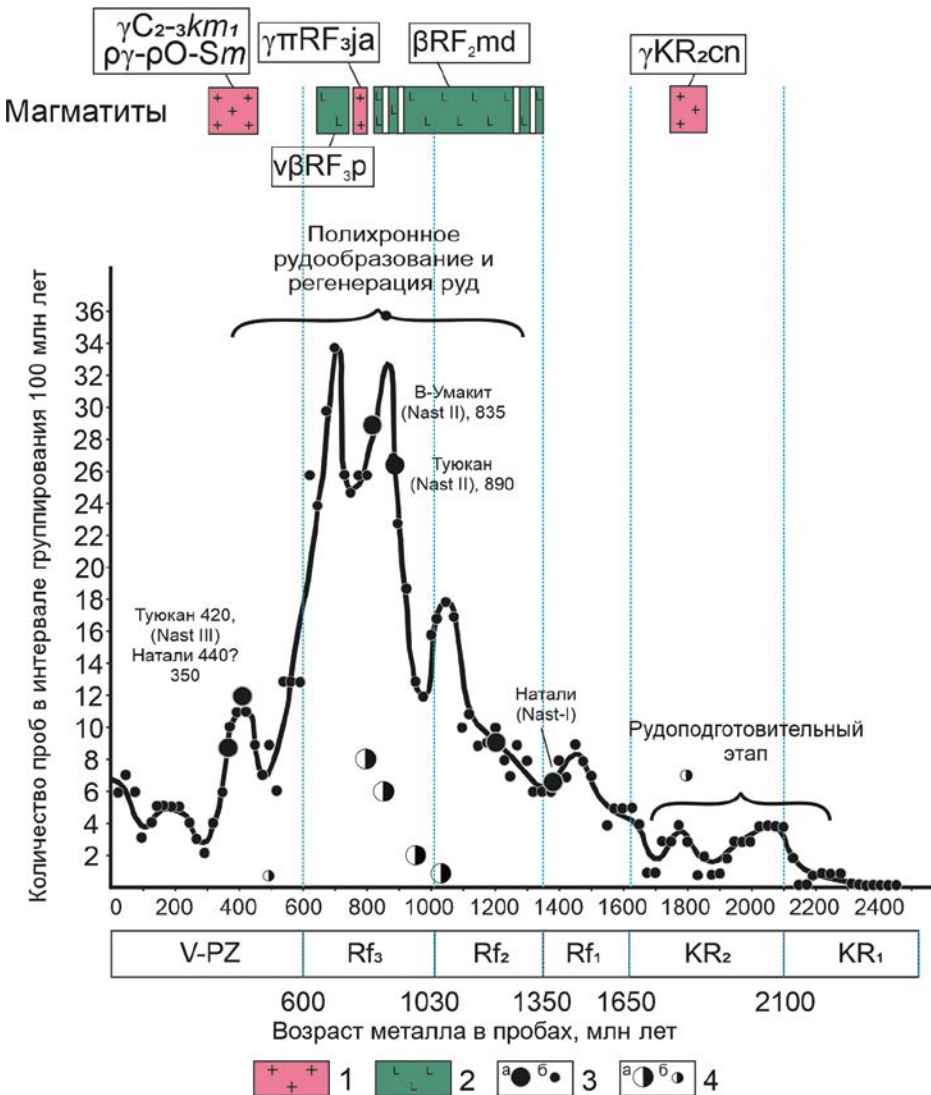


Рис. 4. Гистограмма распределения возраста урановой и золотой минерализации Тондского поднятия: 1 — гранитоиды и гранито-гнейсы чуйско-нечерского комплекса (γKR_2cn), гранит-порфиры и гранодиорит-порфиры язвовского комплекса (γRF_3ja), граносиенит-граниты конкудеро-мамаканского комплекса (γC_2-3km_1), пегматоидные граниты мамского комплекса ($\rho\gamma-\rho O-Sm$); 2 — силлы и дайки габбро-долеритов патомского комплекса ($\nu\beta RF_3p$) и субвулканические тела долеритов, габбро-долеритов, метабазальтов медвежьей свиты (βRF_2md); 3 — изотопный возраст уранового оруденения по рудопроявлениям и месторождению Туякан по результатам: U-Pb- метода по настурану (а) [8], U-Pb и Pb-Pb метода по валовым рудным пробам [16], Pb-Pb термоизохронного метода по циркону (б) [8]; 4 — изотопный возраст золотого оруденения месторождения Чертово Корыто по результатам MC-ISP-MS-Pb метода по сульфидам (а) [15] и Pb-Pb метода по галениту (б) [1]

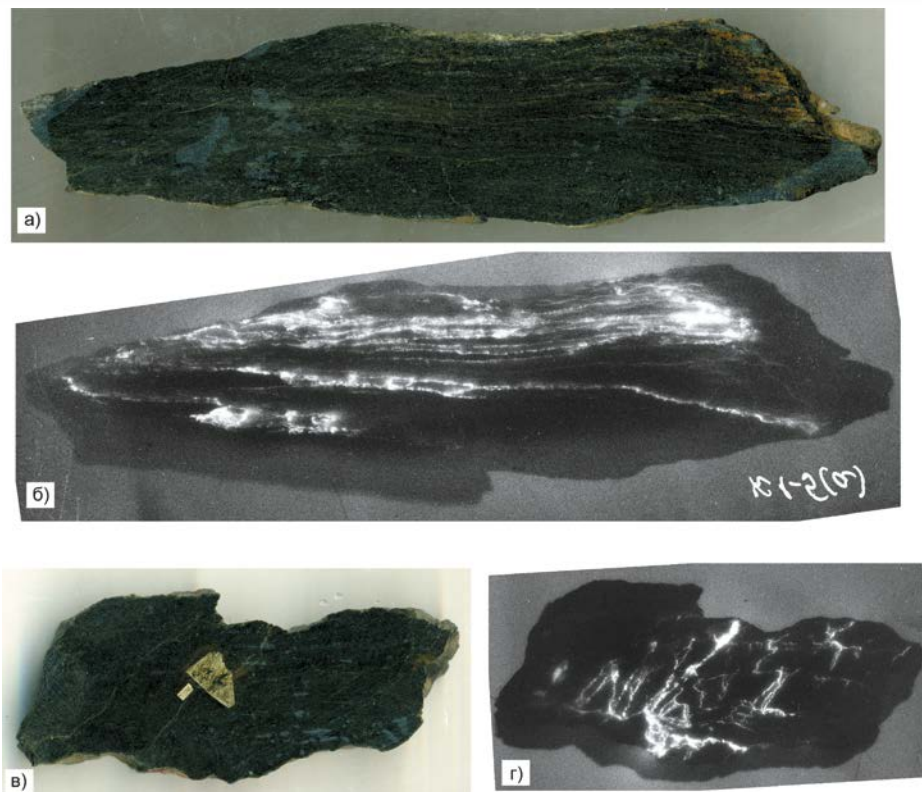


Рис. 5. Микропрожилковые выделения оксидно-урановой минерализации в бластомилоните, ориентированные по направлениям швов расщепления (α -треки — белого цвета на радиографиях). На фото в) — два кристалла пирита в центре образца. Фото обр., радиографии с экспозицией 6 суток (б, г) в натуральную величину. Радиоактивность в обр. 400 мкр/час.

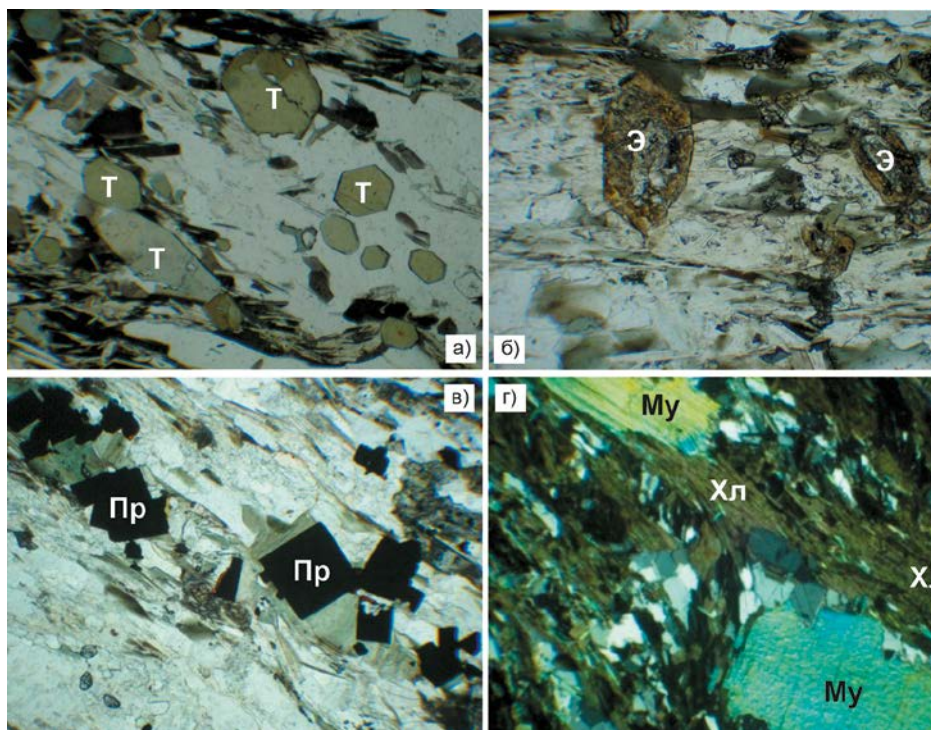


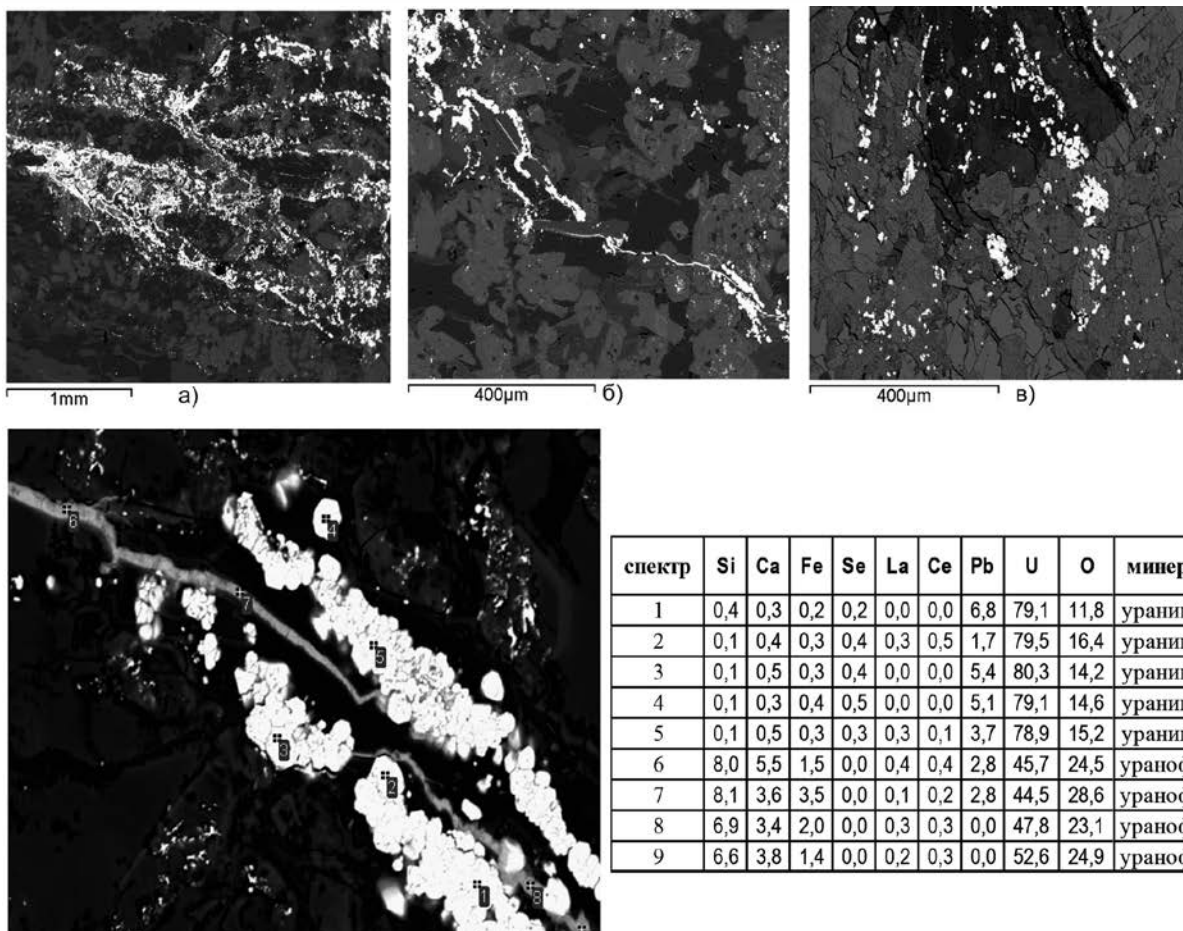
Рис. 6. Тектонически расщепленные, бластомилонитизированные породы кварц-эпидот-хлорит-тонкослюдистого состава с метакристаллами (порфиробластами): а) турмалина (Т), б) эпидота (Э), в) пирита (Пр), г) мусковита (Му). Фото шлифов, проход. свет, а, б, в — николи ||, г — николи скрещены. Увелич. 37х

образует как псевдоморфозы по биотиту исходных гнейсов, так и самостоятельные выделения. Состав его варьирует от магнезиально-железистого до железисто-магнезиального. В самостоятельную группу отчетливо выделяются минералы, образовавшиеся в тектонизированной породе после снятия стрессовых напряжений. Для них характерны идиоморфные и субидиоморфные кристаллы, выросшие в твердой среде — метакристаллы (идиобласты). К ним относятся пирит, эпидот/ортит, мусковит, турмалин (рис. 6). В малых количествах присутствуют сфен, рутил, апатит, Fe-карбонат и альбит.

По отношению к породообразующим и новообразованным минералам урановорудная минерализация является самой поздней по времени отложения (взаимоотношения с турмалином пока остаются неясными) (рис. 7 б, в). Гипогенным минералом руд является оксид урана, гипергенными — уранофан, казолит и метаторбернит (рентгенофазовый анализ, ВИМС).

Оксид урана представлен уранинитом, изометричные индивиды которого размером 5–10 мкм имеют кубооктаэдрический облик. Микровыделения уранинита сконцентрированы в швах расщепления, размещаясь согласно с направлением сдвиговых деформаций и образуя прожилковидные, реже псевдоцементные структурные элементы (рис. 7).

Содержание урана в уранините варьирует от 70,37 до 81 %, составляя в среднем 75,56 % (21 определение, РСМА), свинца от 1,2 до 8,4 %, в среднем 4,0 %. Кремний фиксируется от 0,1 до 5,36 %, но среднее значение низкое — 1,4 %, что свидетельствует о незначительной степени гидратации уранинита и его хорошей сохранности. Постоянными примесями являются: Са около 1 % и Fe менее 1 %. Встречаются примеси Se, La, Ce в количествах менее 0,5 % (рис. 7 г).



спектр	Si	Ca	Fe	Se	La	Ce	Pb	U	O	минерал
1	0,4	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	6,8	79,1	11,8	уранинит
2	0,1	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	1,7	79,5	16,4	уранинит
3	0,1	0,5	0,3	0,4	0,0	0,0	5,4	80,3	14,2	уранинит
4	0,1	0,3	0,4	0,5	0,0	0,0	5,1	79,1	14,6	уранинит
5	0,1	0,5	0,3	0,3	0,3	0,1	3,7	78,9	15,2	уранинит
6	8,0	5,5	1,5	0,0	0,4	0,4	2,8	45,7	24,5	уранофан
7	8,1	3,6	3,5	0,0	0,1	0,2	2,8	44,5	28,6	уранофан
8	6,9	3,4	2,0	0,0	0,3	0,3	0,0	47,8	23,1	уранофан
9	6,6	3,8	1,4	0,0	0,2	0,3	0,0	52,6	24,9	уранофан

Рис. 7. Основные формы выделения оксида урана (белый на всех изображениях): а) — тектонические blastоцементные формы в раздувах линейно-прожилковых зон; б) — микровкрапленные и прожилковидные выделения в хлорит-кварц-эпидотовом агрегате; в) — катакластический шов с вкрапленностью оксида урана, секущий кристалл пирита; г) — разнообразная по форме гипогенная урановая минерализация образована скоплениями субдиоморфных индивидов уранинита микронной размерности. Фото в отраженных электронах, РСМА

Уранинит иногда сопровождается микровыделениями галенита, сфалерита и халькопирита (до 1 %).

Для определения источника рудоносных растворов изучен изотопный состав серы в пирите, сопровождающем оксидно-урановое оруденение рудопоявления Волка-Умакит, а также в золотоносном арсенопирите месторождения Чертово Корыто.

Анализы выполнены в ЦНИГРИ С.Г. Кряжевм. Серу сульфидов переводили в SO_2 посредством реакции с CuO при $760\text{ }^\circ C$ в вакууме с последующей криогенной очисткой газа и анализом изотопного состава серы на масс-спектрометре МИ-1201. Результаты пересчитаны по отношению к метеоритному стандарту CDT. В качестве эталонов использовали лабораторный стандартный образец ЦНИГРИ «Пирит Гайского месторождения» с $\delta^{34}S = +0,7\text{ ‰}$ и стандартный образец сфалерита NBS 123 с $\delta^{34}S = +17,3\text{ ‰}$. Точность измерений составляет $\pm 0,2\text{ ‰}$.

В арсенопирите из руд месторождения Чертово Корыто значение $\delta^{34}S$ составило $+0,7\text{ ‰}$. Полученный результат находится в соответствии с данными предшествующих исследований [9]. Пирит с уранового рудопоявления Волка-Умакит имеет практически

идентичный изотопный состав серы, $\delta^{34}S = +0,9\text{ ‰}$. Таким образом, сера в золотоносных и ураноносных рудообразующих системах Тонодского поднятия по изотопному составу близка к «метеоритному» уровню и имеет глубинное (вероятно, мантийное) происхождение. Геохимический состав вмещающих пород и руд проанализирован в 184 пробах панорамным рентгеноспектральным анализом (РСА) в аналитической лаборатории ФГБУ «ВИМС» (аналитик Вахонин Н.С.).

Рудные пробы в количестве 12 штук характеризуются следующими средними содержаниями (РСА, в %): Na_2O — 1,0; K_2O — 3,74; Al_2O_3 — 15,8; SiO_2 — 59,22; S — 0,16; CaO — 0,84; Fe_2O_3 — 7,1; MgO — 3,21. Содержания Th составляют 0,002 %, U — 0,45 %.

По сравнению с фоновыми неизменными безрудными гнейсами (метапесчаниками) в оруденелых тектонитах, состоящих из кварца и значительных количеств хлорита, фенгита, эпидота, турмалина, наиболее значимыми накоплениями (более, чем в 3 раза) характеризуются: S, Cu, As, Ce, Se, Pb, U, в 1,5–3,0 раза увеличиваются содержания Mg, Al, K, Sc, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Y, Mo, Cs, La.

Анализ изотопных датировок по рудам месторождения Туюкан и известных рудопроявлений Тонодского поднятия, выполненных предшествующими исследователями U-Pb и Pb-Pb методами, показал, что эндогенное урановое оруденение, так же как золотое, формировалось полихронно на протяжении всего рифея в период 1,5–0,6 млрд лет с последним перераспределением в палеозое (около 0,4 млрд лет) (рис. 4).

Результаты обработки геофизических материалов по Тонодскому поднятию, а также сравнительный анализ геологических, минералогических, геохимических и изотопных данных по месторождению золота Чертово Корыто и урановому проявлению Волка-Умакит, позволили определить некоторые важные черты сходства между этими типами объектов, указывающие на образование их руд в результате единых геологических процессов:

1. Месторождение золота Чертово Корыто и проявление урана Волка-Умакит, как и многие другие на Тонодском поднятии, находятся в пределах области влияния крупного гравиплотностного выступа. Он располагается на глубине 16–18 км и, скорее всего, обусловлен формированием корового (периферического) очага, инициированного глубинным базальтовым магмообразованием, что подтверждается материалами гравиразведки, а также сейсморазведки по профилю пос. Мама — р. Тонода. Схожая глубинная гравиплот-

ностная неоднородность картируется в западной части Тонодского поднятия, севернее месторождения урана Туюкан.

2. Для месторождения золота Чертово Корыто и урановых объектов характерна полихронность рудообразования, которая параллелизуется с многоэтапным проявлением в позднем докембрии магматизма основного состава, проявленного в виде многочисленных даек и силлов, как минимум двух комплексов — медвежьего и патомского.

3. Как на золотом, так и на урановых объектах наиболее широко проявлены кварц-серицит-хлоритовые изменения с сульфидной минерализацией, рутилом, турмалином, апатитом и другими минералами; местами отмечается альбитизация.

4. В целом в рудах и околорудном пространстве как на месторождениях золота, так и урановых объектах отмечаются повышенные содержания Mg, Fe, V, Cu, As, S, Co, Ni, Zn, Mn, Ti.

5. Главный этап формирования золоторудных и урановых объектов был связан с глубинным (мантийным) флюидом, о чем свидетельствует изотопный состав серы ($\delta^{34}\text{S} \approx 0 \text{ ‰}$) сульфидов, сопровождающих золотое и урановое оруденение.

Основная отличительная черта золотых и урановых объектов связана с их условиями локализации и геохимическими особенностями. Месторождение золота и

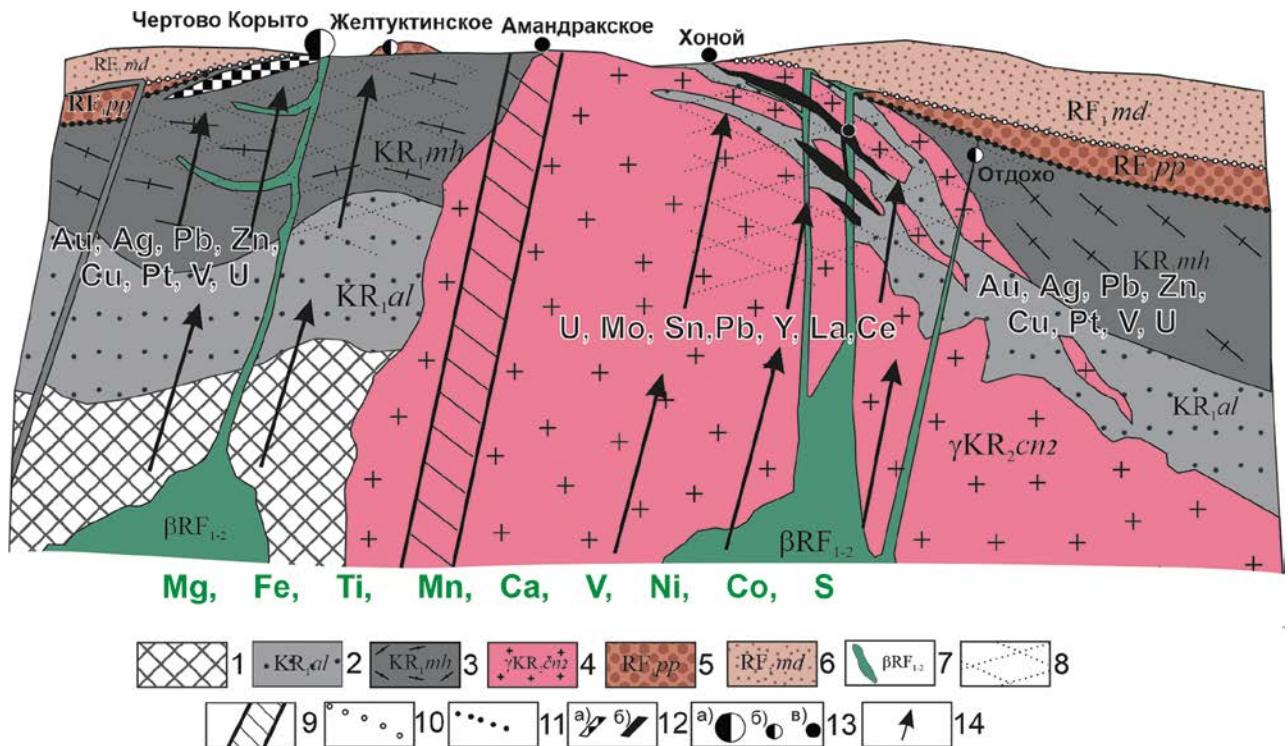


Рис. 8. Геолого-генетическая модель докембрийских месторождений и рудопроявлений золота и урана: 1 — метаморфические образования диоритового слоя; 2 — сланцы клинозоизит-хлорит-биотитовые и метапесчаники албазинской свиты; 3 — углеродистые кварцево-сланцевые сланцы, метапесчаники михайловской свиты; 4 — плагиограниты чуйско-нечерского комплекса; 5 — метапесчаники, конгломераты пурпольской свиты; 6 — конгломераты, метапесчаники, железистые кварциты медвежьего свиты; 7 — силлы и дайки габбро-долеритов, метабазальтов и метадолеритов; 8 — околорудные изменения; 9 — Амандракский глубинный разлом; 10–11 — границы предмедвежьего (10) и предрифейского (11) ССН; 12 — золотые (а) и урановые (б) рудные тела; 13 — месторождение (а) и рудопроявления (б) золота и урана (в); 14 — направление движения флюидов

его проявления локализованы в пределах метаморфического блока фундамента, сложенного песчаниками и сланцами с углеродистым веществом, практически не затронутого процессами гранитизации. Урановые же объекты тяготеют к гранито-гнейсовым поднятиям, располагаясь в их краевых частях, вблизи контакта гранитоидов и метаморфитов фундамента. С этим, по всей видимости, связаны и геохимические особенности золотого и уранового оруденений. Так, в рудном геохимическом спектре урановых объектов присутствуют некоторые TR-элементы (Ce, Y, La) и молибден. Причем их повышенные содержания характерны только для гранитоидов. В то же время, аномальные концентрации Р и Au фиксируются исключительно в осадочно-метаморфических толщах, накопление которых происходило, возможно, еще на стадии седиментации.

По результатам сопоставительного анализа региональной геолого-структурной позиции, вещественного состава околорудных изменений, геохимии и возраста рудных образований разработана геолого-генетическая модель золотых и урановых рудообразующих систем (рис. 8). В ее основу положено предположение о связи золотого и уранового рудообразования с мантийным очагом, фиксируемым в виде гравиплотностного выступа на глубине 16–18 км. Магматический очаг в докембрийское время способствовал неоднократному взламыванию земной коры с формированием глубоких разломов по типу Амандракского, пульсационному продуцированию основной магмы и агрессивному по отношению к вмещающей среде флюида. Продукты основного магматизма в настоящее время картируются в виде многочисленных рифейских интрузий габбро-долеритов и базальтов. Процессы активизации сопровождались гидротермальной деятельностью и формированием зон околорудных кварц-серицит-хлорит-сульфидных изменений. Доказательством мантийной природы флюида, кроме «метеоритного» изотопного состава сульфидной серы, служат повышенные содержания элементов, характерных для пород мантийного генезиса (Mg, Fe, Ti, Co, Ni и др.) [5], а также полихронность образования и близость радиологических возрастов базитовых интрузий, золотого и уранового оруденения в период 1,5–0,6 млрд лет.

Изложенные данные свидетельствуют о существовании в рассматриваемом районе в неопротерозойскую эпоху длительно функционирующего глубинного магматического очага. Процессы активизации сопровождались продолжительной флюидно-гидротермальной деятельностью, в результате которой были сформированы разобщенные друг с другом золотые и урановые объекты, чья рудная специализация в значительной мере связана с геохимической специализацией рудовмещающих комплексов, служивших, вероятно, основным источником рудообразующих металлов. Приразломные гидротермально-метасоматические изменения, сопровождающие рудоносные зоны на этих объектах, относятся к средне-низкотемпературному кислотному формационно-генетическому типу

и образуют единый пространственно-временной ряд грабено-пропилит-березитовых метасоматитов.

Наличие рифейских осадочных формаций в пределах Тонодского поднятия, в том числе в виде грабенов, является благоприятным фактором для сохранности золотого и уранового оруденения от пострифейских эрозионно-денудационных процессов.

По результатам поисковых работ предшественников и на основании признаков ураноносности, в восточной части Тонодского поднятия выделен Южно-Амандракский потенциально урановорудный узел, в пределах которого определены две площади для проведения поисковых работ — первоочередная Южно-Амандракская и второй очереди Верхне-Аянахская (рис. 2). Выделенные площади характеризуются максимальной проявленностью критериев и признаков ураноносности. Южно-Амандракская площадь наиболее приближена к зоне влияния глубинного выступа плотных пород и субмеридионального разлома, а также находится в области выхода апикальной части специализированных на уран гранитоидов. В юго-западной части Тонодского поднятия в схожей геологической обстановке находится месторождение урана Туюкан, на флангах которого, где существует серия аномалий и проявлений урана, выделена перспективная Туюканская площадь для последующего проведения поисковых работ.

Перспективы выявления месторождений рудного золота связаны с изучением восточного фланга Тонодского поднятия, где, как и в районе месторождения Чертово Корыто (р. Гаричи) развиты породы михайловской свиты, смятые в брахисинклинальную складку.

Авторы публикации благодарят сотрудников ИГХ СО РАН имени А.П. Виноградова А.В. Будяка, В.Ю. Сычева, В.Д. Байкина, а также специалистов компании ООО «Геоинформационные технологии — Сибирь» А.В. Паршина, Е.Д. Валькову, А.С. Савина и А.М. Яхина за организацию и совместное проведение полевых геологических исследований. Выражают признательность сотрудникам лаборатории изотопных методов анализа, аналитического отдела и отдела минералогии (Вахонину Н.С., Киселеву А.А., Галину К.Р. и др.).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Баженов, М.М. Отчет по поисковым работам Хайвергинской партии в пределах Кевактинского рудного узла (рудное золото) за 1978–1980гг. / М.М. Баженов, В.Н. Скотников, Н.Ю. Давыденко и др. — Иркутск: Иркутскгеология, 1981.
2. Вагина, Е.А. Минеральные комплексы руд и генезис золоторудного месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье) / Е.А. Вагина // Изв. Томского политехнического университета. — 2012. — Т. 321. — № 1.
3. Вагина, Е.А. Изотопный состав серы сульфидов руд золотого месторождения Чертово корыто (Патомское нагорье) / Е.А. Вагина // Вестник Томского государственного университета. — 2011. — № 353.
4. Гаврилов, Р.Ю. Картирование вертикальной геохимической зональности на примере золоторудного месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье) / Р.Ю. Гаврилов // Изв. Томского политехнического университета. — 2014. — Т. 324. — № 1.

5. Гаврилов, Р.Ю. Объемная геолого-геохимическая модель мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье) / Р.Ю. Гаврилов, И.В. Кучеренко, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховзин, Т.Е. Мартынова // Изв. Томского политехнического университета. — 2009. — Т. 315. — № 1. — С. 30–43.
6. Докембрий Патомского нагорья / А.И. Иванов, В.И. Лифшиц, О.В. Перевалов и др.; Редкол.: В.Д. Мац (отв. ред.) и др. — М.: Недра, 1995. — 351 с.
7. Киселев, В.А. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейнов рек Тоноды и Челончен. Отчет Челонченской партии о результатах геологического доизучения м-ба 1:50 000 и общих поисков золота, проведенных в 1984–87 гг. Листы О-50-15-А,Б,В,Г; О-50-16-А,Б,В,Г. Гос. Рег. № 14-84-45/18. В 4-х томах. / В.А. Киселев, Д.И. Калинина, В.Д. Белогур. — М.: РФГ № 446262, 1989.
8. Ковешников, А.М. Перспективное районирование на уран территории Тонодского поднятия с выбором площадей и объектов под детальные поисковые и оценочные работы на основе структурно-геологических, редиогеохимических, минералого-петрографических исследований, дешифрирования космо- и аэрофотоматериалов и ревизии известных проявлений урана с составлением схемы перспективного районирования масштаба 1:200 000 на площади 7,5 тыс. км². По геологическому заданию 5-1 за 1985–1989 гг. / А.М. Ковешников, А.Н. Подшивалов, Ю.К. Пимнев и др. — Иркутск, 1989.
9. Кучеренко, И.В. Петролого-геохимические черты рудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье) / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховзин // Изв. Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 312. — № 1. — С. 11–20.
10. Кучеренко, И.В. Петролого-геохимические свидетельства геолого-генетической однородности гидротермальных месторождений золота, образованных в черносланцевом и несланцевом субстрате / И.В. Кучеренко // Изв. Томского политехнического университета. — 2007. — Т. 311. — № 1. — С. 25–35.
11. Кучеренко, И.В. Структурно-динамическая модель золоторудных месторождений, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате. Ч. 2. Месторождение Чертово Корыто (Патомское нагорье) / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховзин // Изв. Томского политехнического университета. — 2009. — Т. 314. — № 1. — С. 23–38.
12. Лаверов, Н.П., Чернышев И.В., Чугаев А.В. и др. // ДАН. — 2007. — Т. 415. — № 2. — С. 236–241.
13. Макарьев, Л.Б. Особенности металлогении и перспективы промышленной ураноносности Чуйско-Тонодской минералогической зоны северного Забайкалья (по материалам ГК-1000/3 и ГДП-200/2) / Л.Б. Макарьев, Ю.Б. Миронов // Региональная геология и металлогения. — 2014. — № 57. — С. 87–93.
14. Мишенькин, Б.П. Отчет о результатах исследований методом ГСЗ, выполненных Муйской партией № 15/73 на СВ фланге Байкальской рифтовой зоны / Б.П. Мишенькин, Г.В. Крупская. — Иркутск: ТФГИ, 1973.
15. Чугаев, А.В. Свинцово-изотопные характеристики сульфидов крупных месторождений золота Байкало-Патомского нагорья (Россия) по данным высокоточного изотопного MC-1CP-M8-анализа свинца / А.В. Чугаев // ДАН. — 2010. — Т. 434. — № 5. — С. 677–680.
16. Шманкевич, А.Ю. Отчет о результатах поисковых геолого-геофизических работ в западной части Тонодского антиклинория (Северная партия Меретской экспедиции, 1980–83 гг. / А.Ю. Шманкевич, И.Д. Мельников и др.
17. Yudovskaya, M.A. Gold mineralisation and orogenic metamorphism in the Lena province of Siberia as assessed from Chertovo Koryto and Sukhoi Log deposits / M.A. Yudovskaya, V.V. Distler, V.Y. Prokofiev, N.N. Akiniev // Geoscience Frontiers. — 2016. — Vol. 7. no. 3. — P. 453–481.

© Коллектив авторов, 2021

Гребенкин Николай Анатольевич // grebenkin@vims-geo.ru

Бабкин Николай Яковлевич

Карманов Егор Николаевич // karmanov.geo95@gmail.com

Корявко Анатолий Иванович

Кряжев Сергей Гаврилович // S34@mail.ru

Кузьменко Петр Сергеевич // kuzmenko@vims-geo.ru

Леденева Надежда Викторовна // ledeneva@vims-geo.ru

Мельников Сергей Иванович // melnikov@vims-geo.ru

Ржевская Анна Кирилловна // rzhevskaya@vims-geo.ru

Трушин С.И.¹, Кириллов В.Е.², Иванов В.В.³,
Полин В.Ф.³ (1 — АО «Полиметалл УК», 2 — Институт
тектоники и геофизики ДВО РАН, 3 — Дальневосточный
геологический институт ДВО РАН)

МАГМАТОГЕННЫЕ РУДОНОСНЫЕ СИСТЕМЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА УЛЬБАНСКОГО ТЕРРЕЙНА (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)

*В статье рассматриваются магматогенные рудоносные системы (МРС) месторождений золота Ульбанского террейна Монголо-Охотского орогенного пояса. Большая часть этих систем принадлежит Нижнеамурской металлогенической зоне, где они сосредоточены в трех рудных узлах — Кутынском, Албазинском и Ульбанском, с золотой, золото-редкометалльной и золотосеребряной специализацией. Типизация МРС, на примерах наиболее представительных, проводится по комплексу признаков, включающих их структурное положение и строение, характеристику рудоносных магматических комплексов, особенности проявления метасоматоза и вещественный состав руд. Выделены системы нескольких типов, связанные с вулcano-купольными, субвулканическими интрузивно-купольными и интрузивно-купольными структурами гипабиссального уровня. **Ключевые слова:** Ульбанский террейн, металлогеническая зона, рудный узел, магматогенная рудоносная система, магматический комплекс, золото, серебро, медь.*

Trushin S.I.¹, Kirillov V.E.², Ivanov V.V.³, Polin V.F.³
(1 — Polymetal UK, 2 — Institute of Tectonics and Geophysics
FEB RAS, 3 — Far Eastern Geological Institute FEB RAS)

MAGMATOGENIC ORE-BEARING SYSTEMS OF GOLD DEPOSITS OF THE ULBAN TERRANE (KHABAROVSK KRAI, RUSSIA)

*The article deals with the magmatogenic ore-bearing systems (MOBS) of the gold deposits of the Ulban terrane of the Mongol-Okhotsk orogenic belt. Most of these systems belong to the Lower Amur metallogenic zone, where they are concentrated in three ore areas — Kutyn, Albazinsky and Ulban with gold, gold-rare metal and gold-silver specialization. The typification of RS on the examples of the most representative ones is carried out according to a complex of features, including their structural position and structure, characteristics of ore-producing magmatic complexes, types of metal-bearing metasomatic processes, and the composition of ores. There are several types of systems associated with: volcano-dome structures; subvolcanic intrusive-dome structures; intrusive-dome structures of the hypabyssal level. **Keywords:** Ulban terrane, metallogenic zone, ore area, magmatogenic ore-bearing system, magmatic complex, gold, silver, copper.*

Введение

Рассматриваемая площадь охватывает северную часть района им. П. Осипенко и южную часть Тугуро-Чумиканского района Хабаровского края. Согласно