

намечать скрытые рудные объекты, являющиеся источниками восходящей миграции подвижных элементов. Эти методы безусловно требуют активного развития на территории России и создания методических рекомендаций по их применению в разнотипных геологических и ландшафтных обстановках.

Наиважнейшей задачей НИИ и ВИМСа в частности является выделение и обоснование перспективных на уран структур различного ранга. В настоящее время институтом ведутся прогнозно-аналитические работы мелкого масштаба на обширных территориях южной части Сибири с целью выделения потенциальных урановорудных районов и узлов, которые являются базами для развития поисковых работ. В анализ вовлекается весь объем региональных и детальных материалов, включая и данные поисковой изученности.

Однако для эффективного решения этой задачи необходимо также развитие научных основ прогнозирования, включающее глубинно-геологические, историко-геологические, геодинамические и другие факторы рудогенеза.

За 75 лет ВИМС провел огромную работу по созданию мощной минерально-сырьевой базы урана Советского Союза и России. При его непосредственном участии были открыты и изучены крупнейшие урановорудные районы, по характеру и масштабам оруденения не имеющие аналогов в мировой практике. Его сотрудники — геологи, минералоги, литологи, геохимики, геофизики, гидрогеологи, аналитики, технологи работали практически на всех урановых объектах страны. Среди вимсовцев, работавших по урановой тематике, 7 Заслуженных деятелей науки и техники России, 11 Заслуженных геологов России, 19 лауреатов Ленинской и Государственной премий, 32 Почетных разведчика недр.

Сейчас для урановой геологии не лучшие времена, но история на этом не заканчивается. В 2018 г. планируются работы по Госконтрактам на пяти перспективных площадях. В 2018–2020 гг. отдел урана, редких металлов и горючих ТПИ должен участвовать в выполнении многочисленных мероприятий по урановой тематике в утвержденном Роснедрами Госзадании, формулируемом как «Проведение экспертных исследований и подготовка сводных информационно-аналитических материалов по результатам мониторинга мировых достижений и тенденций развития методов, техники и технологий прогноза, поисков, оценки, разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых, добычи и переработки минерального сырья; оценка перспектив их применения в отечественной практике».

Таким образом, оставаясь головным НИИ по урану, как и прежде, ВИМС продолжает разноплановые исследования, направленные на эффективное развитие ГРП и на совершенствование МСБ урана России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алтунин, О.В. Итоги геологоразведочных работ на уран за 2016 г. и перспективы их развития на среднесрочную перспективу / О.В. Алтунин, Н.А. Гребенкин // Матер. по геологии м-ний урана, редких и редкоземельных металлов, Вып. 160. — М.: ВИМС, 2017. — С. 6–15.

2. Машковцев, Г.А. Первоочередные задачи и современные технологии геологоразведочных работ на уран / Г.А. Машковцев, О.В. Алтунин, Н.А. Гребенкин и др. // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 11. — С. 8–22.

3. Мигута, А.К. Прогнозные ресурсы урана России / А.К. Мигута, В.Н. Щеточкин // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 7. — С. 7–14.

4. Святецкий, В.С. Уранодобывающая отрасль России: состояние и перспективы развития / В.С. Святецкий, С.В. Полонянкина, А.Г. Ермаков // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 11. — С. 22–26.

5. Урановой геологии ВИМСа — 70 лет. — М.: РИС. ВИМС, 2013. — 160 с.

6. Урановорудный потенциал России. 2015–2035. // Минеральное сырье. — 2017. — № 33. — С. 118.

© Машковцев Г.А., Мигута А.К., Щеточкин В.Н., 2018

Машковцев Григорий Анатольевич // vims@df.ru

Мигута Анатолий Константинович // vims@df.ru

Щеточкин Валерий Николаевич // vims@df.ru

УДК 553.495:553.078+551.72(571.1/5)

Гребенкин Н.А., Мельников С.И. (ФГБУ «ВИМС»)

УРАНОНОСНОСТЬ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ ПОЗДНЕГО ДОКЕМБРИЯ ЮЖНО-СИБИРСКОЙ МЕГАЗОНЫ

*Анализ металлогении позднего докембрия перспективной на уран Южно-Сибирской мегазоны показал, что образование рифейских гидротермальных месторождений U, Pb, Zn, Cu, Mn, Co, Ni и Fe происходило близко по времени с неоднократным проявлением магматизма основного состава. Урановые объекты формировались в пределах гранито-гнейсовых поднятий и их обрамлений, сложенных геохимически специализированными на уран породами. В свою очередь, в рифейских депрессионных структурах, заложенных на метаморфическом основании, возникли месторождения Pb, Zn, Cu, Mn, Co, Ni и Fe. **Ключевые слова:** уран, металлогения, Южно-Сибирская мегазона, поздний докембрий.*

Grebenkin N.A., Melnikov S.I. (VIMS)

URANIUM-BEARING CAPACITY AND METALLOGENY OF THE LATE PRECAMBRIAN SOUTH-SIBERIAN MEGAZONE

*Analysis of the metallogeny of the uranium-prospective Late Precambrian South-Siberian mega-zone showed that the Riphean hydrothermal U, Pb, Zn, Cu, Mn, Co, Ni and Fe deposits were formed almost simultaneously with repeated basic magmatism. Uranium objects were formed within the granite-gneiss uplifts and their frames composed of the rocks geochemically specialized on uranium. In turn, deposits of Pb, Zn, Cu, Mn, Co, Ni, and Fe were formed in the Riphean depressive structures laid on a metamorphic base. **Keywords:** uranium, metallogeny, South Siberian megason, late Precambrian.*

Перспективная на уран Южно-Сибирская мегазона охватывает границу Сибирской платформы с Саяно-Байкальской складчатой областью (рис. 1). Потенциально ураноносная территория имеет двухъярусное строение, обусловленное архей-нижнепротерозой-

ским фундаментом, на котором со структурно-стратиграфическим несогласием залегают отложения рифейского чехла, неоднократно испытавшие складчатость. Малые рифейские месторождения и проявления урана локализуются преимущественно в пределах фундамента крупных архей-раннепротерозойских гранито-гнейсовых поднятий. Обрамления поднятий перекрывают осадочные формации рифейского чехла, образующие прогибы и впадины. Наряду с урановыми объектами в пределах гранито-гнейсовых поднятий локализуются многочисленные более древние раннепротерозойские месторождения и проявления Ta, Nb, Li, Be, TR, Sn, W, практически всегда сопровождающиеся повышенными, но не промышленными концентрациями урана. К центральным частям рифейских прогибов тяготеют месторождения Pb, Zn, Cu, Ni, Mn и Fe. Также в пределах Южно-Сибирской мегазоны в породах фундамента известны многочисленные позднедокембрийские проявления и месторождения золота, которые в рамках настоящей публикации не рассматриваются, так как этот вопрос требует проведения отдельного детального анализа.

Многоэтапные позднепротерозойские тектоно-магматические процессы, проявившиеся как в пределах поднятий, так и в депрессионных структурах, были связаны с разломной тектоникой и внедрением интрузий основного состава — даек, силлов и штоков. В публикации Р.Е. Эрнста в соавторстве [11] приведены результаты изотопно-геохронологических исследований пород основного состава южной части Сибирского кратона с указанием их датировок, полученных U-Pb и Ar-Ar методами (Ma): 1900; $1,868 \pm 2$ — $1,863 \pm 1$; $1,758$ – $1,752$; $1,641 \pm 8$; $1,350 \pm 6$; $1,258 \pm 5$; 725. При чем, позднедокембрийские этапы проявления базитового магматизма, проявившиеся на границе раннего и среднего рифея ($1,350 \pm 6$ Ma), в среднем рифее ($1,258 \pm 5$ Ma) и в позднем рифее (725Ma), совпадают со временем формирования месторождений U, Pb, Zn, Cu, Ni, Mn и Fe.

Перспективная на уран Южно-Сибирская мегаструктура объединяет ряд потенциально урановорудных районов (ПУРР): Чарский, Тонодский, Ачитканский и Присяянский, а также Учуро-Майский и Северо-Енисейский. На примере Чарского и Присяянского районов показаны пространственно-временные закономерности размещения и формирования

позднедокембрийских рудных объектов Южно-Сибирской мегазоны.

Чарский ПУРР охватывает область сочленения Алданского щита (АЩ) и рифейского Березовского прогиба (БП) Сибирской платформы, а также Нечерского гранит-метаморфического поднятия (НП) позднекарельского возраста и рифейского Прибайкало-Патомского прогиба (ППП) Саяно-Байкальской складчатой области. Граница Сибирской платформы и складчатой области трассируется субмеридиональным Жуинским разломом. В геолого-структурном плане территория характеризуется наличием гранит-метаморфического фундамента карельского возраста и перекрывающего его со структурно-стратиграфическим несогласием (СШ) осадочного чехла рифея (рис. 2).

В геологическом строении фундамента принимают участие метаморфиты кодарской серии и прорывающие их гранитоиды трех

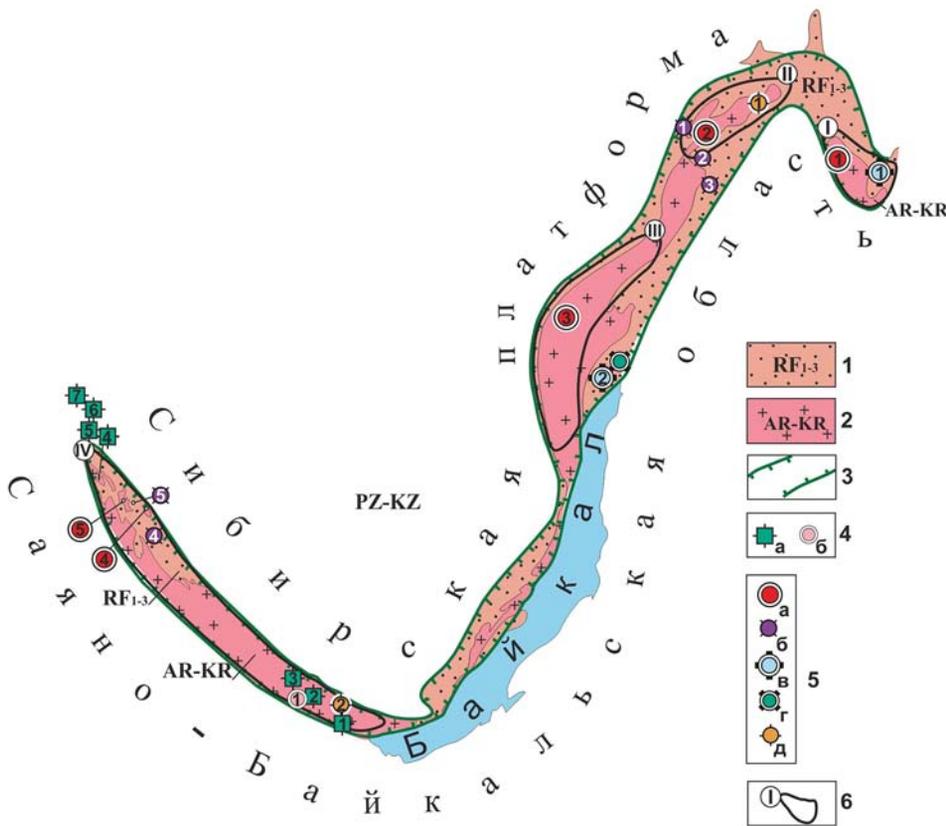


Рис. 1. Схема размещения позднедокембрийских эндогенных и гидротермальных месторождений ТПИ в пределах Южно-Сибирской мегазоны: 1 — осадочные породы чехла (RF₁₋₃); 2 — гранит-метаморфические и вулканические образования фундамента (AR-KR); 3 — области проявления рифейского базитового магматизма; 4 — позднекарельские редкометалльно-редкоземельные (а) и оловянные (б) месторождения: Урикское (1), Белореченское (2), Гольцовое (3), Отбойное (4), Вишняковское (5), Копна (6), Александровское (7), Бельское (1); 5 — рифейские месторождения: а — уран (Чепок (1), Туюкан (2), Безымянное (3), Ансах (4), Столбовое (5)); б — железо и марганец (Малотуюканское, Быстринское, Чистое (1), Язовское, Гремучее, Сухое (2), Барчиха и Максимихинское (3), Николаевское (4), Шунгулеж (5)), в — свинец и цинк (Бестях (1), Холоднинское (2), г — медь и никель (Чайское), д — золото (Чертово Корыто (1), Зэгэн-Гольское (2)); 6 — потенциально урановорудные районы (ПУРР): I—Чарский, II—Тонодский, III—Ачитканский, IV—Присяянский

комплексов (куандинского, кодарского и ничатского), которые некоторыми исследователями относятся к 3 фазам единого кодаро-удоканского комплекса. Они слагают крупные гранито-гнейсовые купола, центральные части которых занимают лейкократовые, розовые биотитовые и амфибол-биотитовые граниты, кларки концентраций (Кк) в которых достигают 2. По периферии куполов развиты более ранние светло-серые гранито-гнейсы (Кк — 1,5–2), постепенно переходящие в биотитовые, углеродистые кристаллосланцы и кварциты (Кк-1) с прослоями фосфоритов. Последние нередко содержат уран до первых сотен г/т.

Основание чехла слагают площадные коры выветривания хлорит-гидрослюдистого состава, развитые по породам фундамента. Выше в разрезе залегают ри-

фейские конгломераты и гравелиты пурпольской свиты с палеороссыпной редкометалльно-редкоземельной минерализацией. Терригенные породы раннего и среднего рифея сменяются средне-позднерифейскими карбонатными отложениями.

Раннерифейские осадки интродуцированы дайками и силлами долеритов, кварцевых долеритов, а также штоками оливинсодержащих габброидов и лерцолинов доросского комплекса, которые, в свою очередь, перекрываются осадочными отложениями среднего и верхнего рифея. В пределах Березовского прогиба протяженные дайки долеритов, габбро-долеритов и микро-долеритов патомского (торского) комплекса прорывают позднерифейские карбонатные отложения сеньской (валюхтинской) и торгинской свит, но перекрываются осадочными образованиями венда.

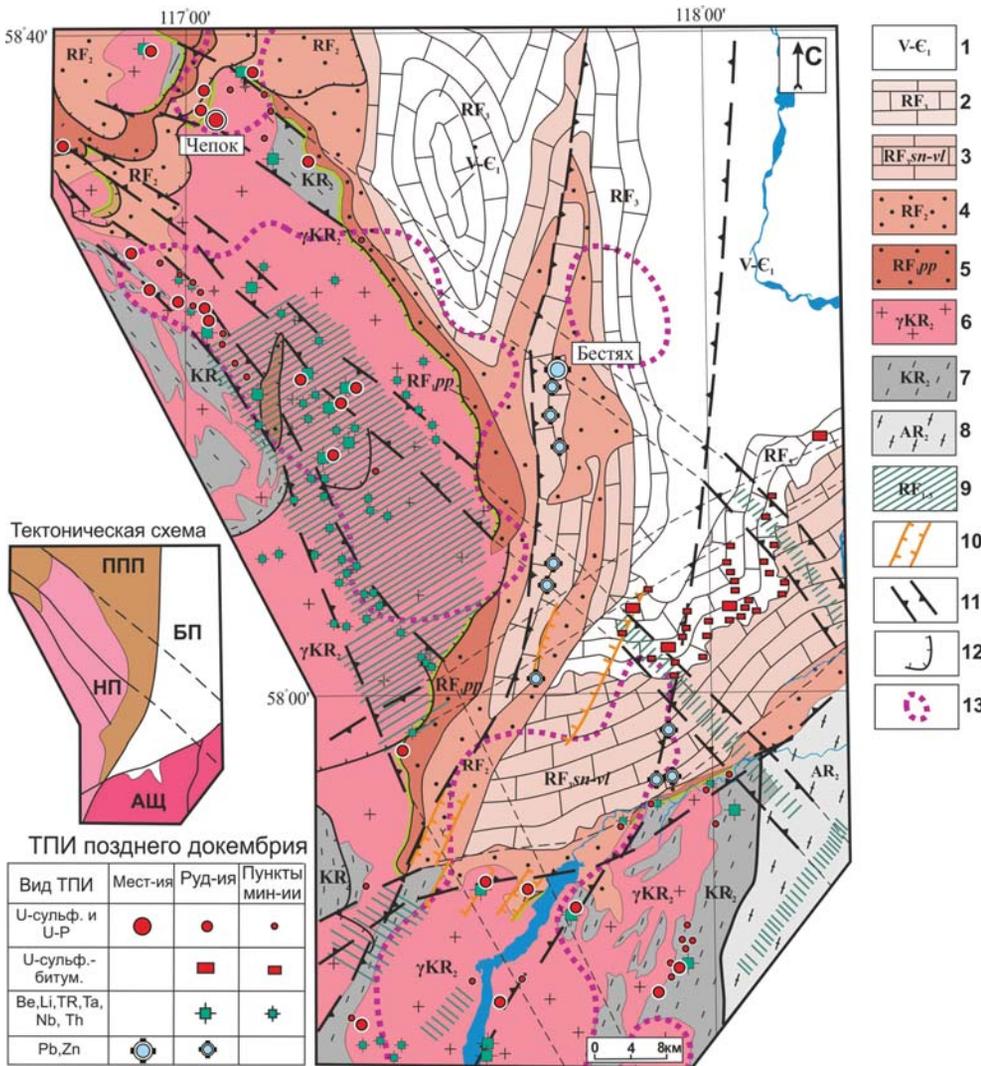


Рис. 2. Положение позднедокембрийских гидротермальных месторождений и проявлений на геологической схеме Чарского района: 1 — нерасчлененные терригено-карбонатные отложения (V-E₁); 2 — известняки и мергели торгинской свиты (RF₃); 3 — доломиты сеньской свиты и углеродистые сланцы валюхтинской свиты (RF₃sn-vl); 4 — нерасчлененные терригено-карбонатные отложения (RF₂); 5 — песчаники, гравелиты и пиррофиллитовые сланцы пурпольской свиты (RF,pp); 6 — граниты и гранито-гнейсы кодаро-удоканского комплекса (γKR₂); 7 — метаморфиты кодарской серии (KR₂); 8 — нерасчлененные гранит-метаморфические образования (AR₂); 9 — области проявления рифейского основного магматизма; 10 — области проявления мезозойского щелочного магматизма; 11 — региональные зоны разломов; 12 — надвиги, 13 — гранито-гнейсовые поднятия, выделенные по геолого-геофизическим данным

В зоне влияния Жуинского разлома известны многочисленные дайки и массивы, сложенные мезозойскими породами щелочного состава.

Гидротермальная металлогения позднего докембрия рассматриваемой территории связана с многочисленными уран-торий-редкометалльно-редкоземельными, уран-сульфидными, уран-фосфорными, а также уран-сульфидно-битумными и свинцово-цинковыми месторождениями и проявлениями.

Уран-торий-редкометалльно-редкоземельные проявления (Джелинда, Длинный и др.) располагаются исключительно в верхнекарельских гранит-метаморфических породах фундамента. Большинство проявлений тяготеют к краевым частям гранито-гнейсовых куполов и протяженным тектоно-метасоматическим зонам. Рудная и аксессуарная минерализация с вкрапленным характером распределения локализуется в крупнозернистых кварц-полевошпат-биотитовых и кварц-биотитовых метасоматитах, слагающих маломощные линзы (первые метры). Она представлена отдельными зернами и кристаллами циркона, монацита, ксенотима, фер-

гюссонита, пироклора, танталита-колумбита, с которыми практически всегда ассоциируют уранинит и молибденит. Наряду с TR, Nb и Ta в рассматриваемых метасоматитах установлены U, P, Mo, S, Zr, Hf. По данным Pb-Pb датирования (аналитик Л.В. Сумин) абсолютный возраст уран-торий-редкометалльно-редкоземельной минерализации составляет 1800–1600 Ма, что отвечает времени проявления многофазной позднекарельской гранитизации.

Уран-сульфидные объекты (Чепок, Бухаровское, Мигматитовое и др.) также, как и более древние уран-торий-редкометалльно-редкоземельные проявления, откартированы в пределах гранито-гнейсовых поднятий и их краевых частей. Они контролируются крупными разрывными нарушениями и локализуются, как правило, в их оперяющих структурах. Уран-сульфидная минерализация установлена преимущественно в углеродсодержащих сланцах верхнего карелия. Мощность оруденелых зон достигает первых десятков метров. Их ядерные части выполнены кондиционными рудами, иногда с маломощными зонками (десятки сантиметров), содержания урана в которых достигают первых процентов. Урановая минерализация представлена вкрапленностью браннерита и уранинита, прожилками настурана и коффинита. С ними ассоциируют предрудные кварц-серицит-гидрослюдистые образования, а также околорудная минерализация, представленная высокожелезистым хлоритом, прожилками пирита, халькопирита, клейофана и селенсодержащего галенита. Наряду с ураном в рудах определены Pb, Mo, S, Se, Cd, As, Zn, Yb, Nb и Y. Абсолютный возраст бедного вкрапленного оруденения, диагностированный Pb-Pb методом (аналитик Л.В. Сумин), составил 1100–1300 Ма. Датировки, полученные по настуран-коффинитовым прожилкам, слагающим богатое урановое оруденение, варьируют от 600 до 800 Ма.

Уран-фосфорные проявления (Новое 1, 2, Контактное и др.) также локализуются в пределах гранито-гнейсовых поднятий, преимущественно в гранитоидах, в меньшей степени в кристаллических сланцах. Мощность рудно-метасоматических зон, как правило, не превышает первых десятков метров, а рудных тел — первых метров. Содержания урана достигают первых десятых процента. Урановая минерализация имеет дисперсный характер выделений и представлена оксидом урана, коффинитом и нингиоитом, приуроченными к гидротермально-метасоматическим новообразованиям в виде апатит-гематитового агрегата. Наряду с ними в пределах ураносных тел устанавливаются хлорит, халькопирит, а также предрудные кварц-серицитовые метасоматиты. Наряду с повышенными содержаниями урана в рудах устанавливаются P, F, Ca, S, Cu и Se. Вблизи участков развития уран-фосфорной минерализации развиты дайки основного состава. Абсолютный возраст урановой минерализации не определен в связи с дисперсностью ее выделений. Однако установлено, что U-P оруденение наложено на нижнепротерозойскую кору выветривания и связано с кварц-серицитовыми метасоматитами, сопровождающими

U-сульфидную минерализацию, имеющую по результатам Pb-Pb датирования полихронный рифейский генезис [3].

Уран-сульфидно-битумные проявления (Александровское, Ан. 28 и др.) локализованы в пределах Березовского и Прибайкало-Патомского прогибов среди верхнерифейских биогенных известняков торгинской свиты, вблизи прорывающих их даек основного состава. Образование биогенных известняков связывают с жизнедеятельностью сине-зеленых водорослей, ареалом обитания для которых являлся мелководный морской бассейн. Оруденение локализуется в виде стратиформных пологих тел мощностью от 0,1 до 2,9 м с содержаниями урана от 0,01 до 0,038 % [7]. Один из рудных пластов вытянут на 2 км при ширине 200–400 м с падением на северо-запад под углом 5–10°. В оруденелых породах отмечаются новообразованные доломит, вкрапления флюорита, хорошо оформленные кристаллы пирита, реже выделения сфалерита, галенита и халькопирита. Урановая минерализация имеет извилистый характер выделений за счет развития в сутуро-стилолитовых швах, реже вуалевидный полойный и контрастно-точечный. Сутуро-стилолитовые швы выполнены антраксолитом и онколитом. Пространственно ассоциирующая с ними урановая минерализация представлена выделениями и кристаллами уранинита размером от долей до первых микрон, а также короткостолбчатыми призматическими кристаллами коффинита размером первые микроны. В оруденелых известняках отмечаются повышенные концентрации U, Pb, Zn, Ag, V, Cu, As, Ba, Sr, Cd и Ge. Абсолютный возраст урановой минерализации варьирует в пределах 600–750 Ма (Pb-Pb метод, аналитик Л.В. Сумин), что близко времени осадконакопления известняков торгинской свиты и внедрения даек габбро-долеритов патомского (торского) комплекса. По возрасту и минералого-геохимическим особенностям рассматриваемые объекты схожи с уран-сульфидными проявлениями, выявленными в породах фундамента, а также свинцово-цинковыми, залегающими несколько ниже в разрезе.

Свинцово-цинковые объекты (Бестях, Сосновое, Оттах и др.) располагаются в пределах Патомского синклинория, в узле сочленения жуинского глубинного линеамента и региональных разломов северо-западного простирания. Последние в южной части Березовского прогиба трассируются многокилометровыми дайками габбро-долеритов позднего рифея. Полиметаллическое оруденение локализовано на крыльях синклинальных складок, в верхней части доломитов сеньской свиты. Оруденение перекрыто маломощным горизонтом мергелей, представляющих собой основание торгинской свиты. Рудные тела представлены стратиформными залежами, мощность и длина которых составляет 5–10 м и 250–750 м соответственно. Полиметаллическая минерализация представлена галенитом и маложелезистым сфалеритом (клейофаном), образующими вкрапленность и отдельные кристаллы в виде цемента в оолитовых доломитах, а также прожилки в

стилолитовых швах и конкрециях [6]. Наряду с ними устанавливаются пирит, реже тентонит, халькопирит, пирротин, метациннабарит, германит, прустит, пираргирит и барит, а также вторичные минералы — це­руссит, англезит, смитсонит, халькозин, малахит, азу­рит и ковелин. Нередко в дробленных брекчиевидных доломитах отмечаются жилы и прожилки, выполненные кристаллами горного хрусталя, сфалерита и доло­мита. Околорудные изменения выражены окварцева­нием и доломитизацией. Наряду с Pb и Zn, содержа­ние которых составляет от 0,004–1 % до 6 % и от 0,4 до 3 % соответственно, в рудах присутствуют Ag, Cd, Cu, As, Ba и Hg. Стратиформная морфология рудных зале­жей, прожилково-вкрапленный характер развития рудной минерализации, околорудное окварцевание и доломитизация указывают на гидротермально-осадоч­ный генезис этих объектов. В этой связи возраст поли­металлического оруденения отвечает позднерифейско­му осадконакоплению доломитов верхней части сень­ской свиты. Немного выше по разрезу залегают известняки торгинской свиты, которые, как отмеча­лось ранее, вмещают стратиформные залежи с уран­сульфидно-битумной минерализацией.

Таким образом, формирование редкометалльно-редкоземельных проявлений с повышенными кон­центрациями урана и тория происходило в позднека­рельское время в связи с масштабными процессами гранитизации. Бедное уран-сульфидное и уран-фос­форное оруденение было образовано на рубеже ран­него и среднего рифея в пределах геохимически спе­циализированных на уран блоках фундамента. В тех же структурно-метасоматических зонах в позднем рифее происходило формирование рядовых и бога­тых урановых руд. В пределах Прибайкало-Патом­ского и Березовского прогибов возникли близкие по времени образования — свинцово-цинковые и уран­сульфидно-битумные объекты. Установленные для Чарского района две главные эпохи рудогенеза, на границе раннего и среднего рифея и в конце поздне­го рифея, отвечают времени проявления базитового магматизма.

Присаянский ПУРР

Территория расположена на юго-западной окраине Сибирской платформы, в пределах краевого выступа кристаллического основания с архей-нижнепротерозойскими гранито-гнейсовыми купольными структу­рами (рис. 3). В восточной и северной ее частях вы­ступ перекрыт породами плитного комплекса Сибир­ской платформы (СП). В юго-восточной, свободной от средне-, верхнерифейских отложений половине он осложнен узким линейным Урикско-Ийским грабе­ном (УИГ), осевая часть которого выполнена образо­ваниями протоплатформенного чехла нижнего рифея. На северо-западе значительная часть кристалличе­ского основания с несогласием перекрыта терригенно-осадочными отложениями среднего и верхнего рифея, выполняющими Присаянский прогиб (ПП). На западе выступ граничит с формациями Алтае-Са­янской складчатой области. Тектонический план

определяют зоны крупных разломов северо-западного направления, являющиеся оперяющими к главному Саянскому краевому шву и создающие блоковое стро­ение данной территории. Наиболее поднятые блоки сложены переслаиванием интенсивно дислоцирован­ных гранитизированных гнейсов и сланцев различно­го состава, пластовых тел амфиболитов, кварцитов, мраморов, сформированных в условиях гранулитовой и эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма. Ар­хейский возраст пород базируется на фактах их про­рывания радиологически охарактеризованными маг­матическими комплексами.

Наиболее крупной отрицательной структурой в пре­делах Присаянского краевого выступа является Урик­ско-Туманшетский грабенообразный прогиб. По су­ществу представляем он заложен на архей­ской коре в качестве внутрикратонного палеорифта с выполнением геологическими формациями верхнего карелия, представленными геосинклинальными угле­родсодержащими карбонатно-терригенно-вулканогенными отложениями сублукской серии в Урикско-Ийском грабене и ее стратиграфических аналогов в северо-западной части Урикско-Туманшетской струк­туры, где они фиксируются на дневной поверхности в ядрах конседиментационных выступов среди средне­верхнерифейских отложений.

Инициальный магматизм нижнепротерозойского времени выражен прорывающимися породы сублукской серии базитами зимовнинского комплекса с радиоло­гическим возрастом 1913 ± 24 млн лет и гранодиорита­ми игнокского комплекса с возрастом $1887 \pm 60 - 1778 \pm 9$ млн лет (циркон, U-Pb SHRIMP) [8]. Поздне­карельское время рассматриваемой территории характеризуется локализацией вдоль Бирюсинского разлома полифазных гранитоидов саянского комплек­са с радиологическим возрастом: 1870 ± 30 млн лет (U-Pb метод) [2]; 1940 ± 30 млн лет (мусковит, Pb-Pb метод) и 1730 ± 30 (мусковит, Rb-Sr метод) [4].

Вещественным отражением импульсов тектоно­магматической активизации рифейского времени яв­ляется образование в осевой части Урикско-Туман­шетского прогиба узких приразломных грабенов, вы­полненных нижнерифейскими молассоидами, и затем заложением Присаянского краевого прогиба с терри­генно-карбонатными отложениями карагасской и оселковой серий средне-верхнерифейского возраста. Вдоль юго-западного края Сибирской платформы был сформирован пояс даек, силлов, редких штоков бази­тов различных комплексов (метод определения, абсо­лютный возраст в Ma): ангаульского (1604 ± 10 [5], ин­гашинского (Rb-Sr, 1268 ± 12 , [9]) и нерсинского (Sm-Nd, 750, [10], Ar-Ar, 741 ± 2 , [12]). Данные абсо­лютного возраста подтверждаются прямыми геологи­ческими исследованиями. Силлы нерсинского ком­плекса прорывают позднерифейские отложения кара­гасской серии и перекрываются осадками оселковой серии позднерифейского возраста. Верхняя возраст­ная граница более ранних базитов, предположительно ангаульского комплекса, устанавливается по перекры-

тию их отложениями среднего-верхнего рифея шангулежской свиты.

Ряд регионально распространенных позднекарельских геологических образований, слагающих территорию Присаянского ПУРР, характеризуется повышенными по сравнению с кларковыми содержаниями урана. Таковыми являются углеродсодержащие толщи далдарминской и урикской свит (до 1.5–1.65 Кк), гранитоиды саянского комплекса (до 2 Кк) и отнесенные к одному из конечных дериватов этого комплекса микроклиновые лейкограниты с содержаниями урана свыше 5 кларков концентрации.

Металлогения позднего докембрия Присаянского ПУРР определяется многочисленными месторождениями и проявлениями редких металлов и редких земель, уран-сульфидных, уран-битумных, железо-марганцевых объектов. Кроме того, в районе выявлены докембрийские объекты Au, Cu, Pb, Zn, Fe неясного генезиса.

Редкометалльные и редкоземельные объекты (месторождения — Вишняковское, Гольцовое, Урикское, Отбойное и др.) локализуются в краевых частях гранито-

гнейсовых поднятий, преимущественно в ортоамфиболитах, сланцах, реже в гранитоидах верхнего карелия. Объекты сложены многочисленными субпараллельными пегматитовыми жилами сподумен-микроклин-альбитового состава. Параметры жил — от десятков сантиметров до десятков метров по мощности и до первых километров по простиранию. Рудная минерализация представлена танталитом, колумбит-танталитом, иксиолитом, микролитом, воджинитом, сподуменом, касситеритом, петалитом, бериллом, мусковитом и лепидолитом. В рудах в промышленных содержаниях выявлены Ta, Nb, Li, Be, Sn, Rb, Cs. В повышенных концентрациях практически всегда присутствует уран.

Наряду с перечисленными объектами в Присаянском районе известны многочисленные проявления редких металлов и редких земель в кварц-полевошпатовых метасоматитах. Последние слагают жилы и гнезда с вкрапленной уран-торий-редкоземельно-редкометалльной минерализацией: цирконом, торитом, монацитом, фергюссонитом. Абсолютный возраст зонального циртолита из кварц-биотитового метасоматита, измеренный

Pb-Pb термоизохронным методом (аналитик Л.В. Сумин), варьирует от 1700 до 200 Ма. Наиболее древний возраст (1700 Ма), отвечающий максимальным значениям по свинцам, отражает время образования минерализации, а остальные модалные значения отражают последующие проявления тектонико-магматических процессов в районе. В оруденелых породах установлены повышенные концентрации U, F, P, Ce, La, Pb, Th, Nd, Pr, Sm, Y, Zr, Hf, Nb, Ta, Fe, Zn, As, Se, Sn, W, Pb и Bi.

Уран-сульфидные объекты (месторождения Столбовое и Ансах, проявления Ильмигинское и др.) также локализуются в пределах гранито-гнейсовых поднятий и их обрамлений и контролируются крупными разломами, которые являются оперяющими Саянскому линиamentу. К примеру, месторождение Столбовое контролируется Бирюсинским разломом. Рудовмещающими структурами являются его оперяющие разрывные нарушения субмеридионального и предположительно запад-

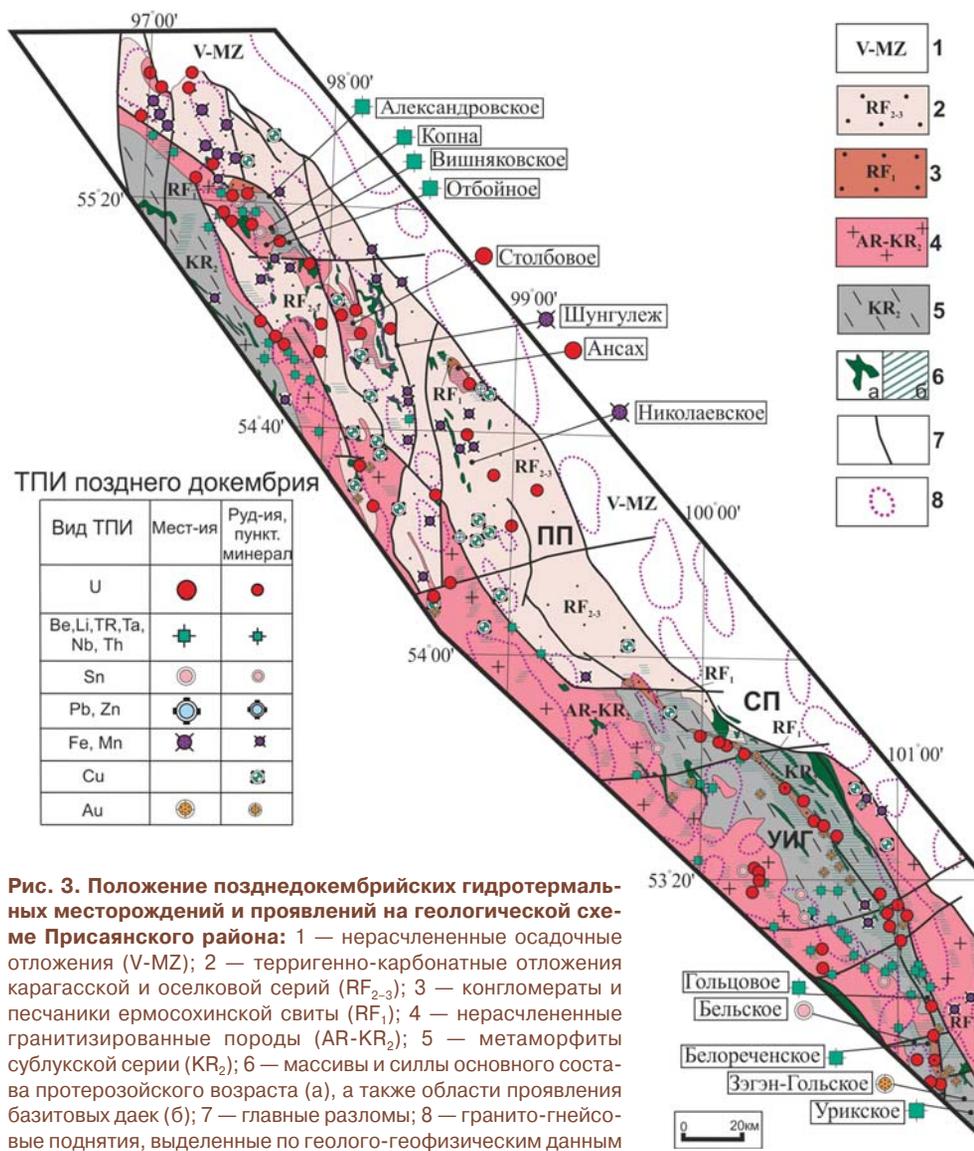


Рис. 3. Положение позднедокембрийских гидротермальных месторождений и проявлений на геологической схеме Присаянского района: 1 — нерасчлененные осадочные отложения (V-MZ); 2 — терригенно-карбонатные отложения карагасской и оселковой серий (RF₂₋₃); 3 — конгломераты и песчаники ермосохинской свиты (RF₁); 4 — нерасчлененные гранитизированные породы (AR-KR₂); 5 — метаморфиты сублукской серии (KR₂); 6 — массивы и силлы основного состава протерозойского возраста (а), а также области проявления базитовых даек (б); 7 — главные разломы; 8 — гранито-гнейсовые поднятия, выделенные по геолого-геофизическим данным

северо-западного простирания. Урановое оруденение установлено как в верхнекарельских породах фундамента, гранитах саянского комплекса и метаморфитах сублукской серии, так и в раннерифейских конгломератах проточехла. Протяженность рудных зон с кварцнастурановой жильно-прожилковой минерализацией по простиранию и падению составляет от первых десятков метров до сотен метров. Мощность варьирует от десятков сантиметров до первых метров. Содержание урана от 0,05 до 1,48 %. Околорудные изменения представлены иллитом, железистым хлоритом, кварцем в ассоциации с сульфидами (пиритом, халькопиритом и др.) и гематитом. В рудах присутствуют U, V, Co, Ni, Cu, Cr, Mo, Pb, Zn, Bi, Se, As, W, Y. Абсолютный возраст настурана по данным Pb-Pb метода (аналитик Л.В. Сумин) составил 1250–1350 Ма; U-Pb (аналитик В.Н. Голубев) — 1313 ± 23 Ма. Наряду с настураном в полистадийных брекчиях выявлены новообразования коффинита, развитые по настурану. Абсолютный возраст коффинита, определенный Pb-Pb методом (аналитик Л.В. Сумин) составил около 750 Ма.

На месторождении Столбовое широко распространена также вторичная урановая минерализация в виде отенита, уранофана и казолита. Абсолютный возраст последних двух по данным Pb-Pb метода (аналитик Л.В. Сумин) составил 1250 и 1050 Ма. В вышележащих средне-позднерифейских песчаниках шангулежской свиты урановая минерализация не выявлена, но зафиксированы обломки, сложенные околорудным гематит-криптокварцевым агрегатом. Эти наблюдения могут свидетельствовать о том, что месторождение урана Столбовое в среднем рифее было выведено на дневную поверхность, что способствовало развитию окислительных и эрозионно-денудационных процессов [2].

Уран-сульфидно-битумные проявления (Крепское, Долинное и др.) располагаются на севере Присаянского прогиба на границе с Туманшетским поднятием. Оруденение представлено пологими залежами в трещиноватых песчаниках и углисто-глинистых алевролитах нижней части ипситской свиты позднего рифея. Оно прослежено на первые сотни метров. Содержания урана колеблются от тысячных долей процента до сотых и на мощность около метра. Урановая минерализация в виде браннерита, коффинита и настурана ассоциирует с твердыми битумами. Гидротермальные изменения представлены хлоритом, пиритом, кварцем и серицитом. В геохимическом отношении практически всегда в оруденелых зонах присутствует мышьяк.

Марганцевые и железо-марганцевые проявления и месторождения (Шангулежское, Николаевское и др.) выявлены в центральной части Присаянского прогиба. Объекты локализуются в вулканогенно-карбонатно-терригенных толщах тагульской (частично шангулежской) свит. Мощности рудных тел колеблются от 0,5 до 7,5 м, при протяженности по простиранию 100–500 м и по падению 25–460 м. Содержания Mn колеблются от 10,6 до 36 %, Fe — 2,4–19,9 %. Марганцевые руды по минеральному составу преимущественно пирролюзит-псиломелановые. Вблизи рудных залежей

вмещающие их породы зачастую интродуцированы дайками и силлами нерсинского комплекса, в которых также отмечаются повышенные содержания марганца. По одной из гипотез первичный генезис рассматриваемых объектов гидротермально-осадочный.

Таким образом, по аналогии с Чарским ПУРР в Присаянском регионе формирование редкометалльно-редкоземельных объектов с повышенными концентрациями урана и тория происходило в позднекарельское время и тоже в связи с масштабными процес-

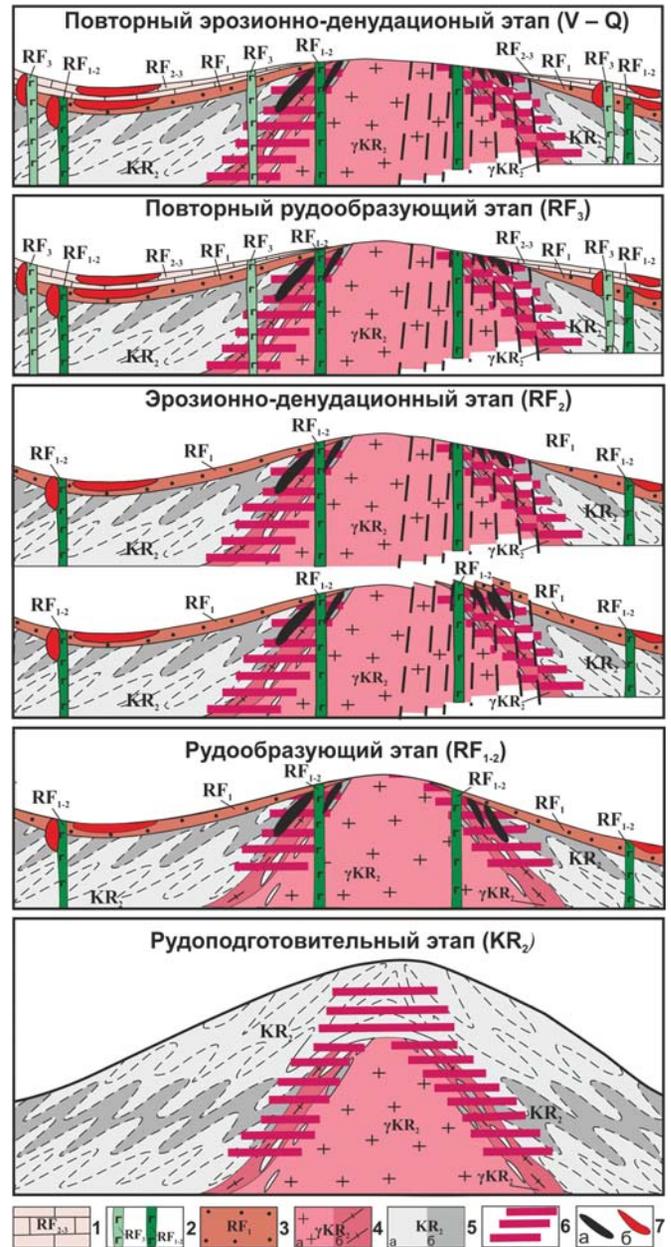


Рис. 4. Макет эволюционно-геологической модели гидротермальных позднедокембрийских месторождений: 1 — карбонатно-терригенные отложения (RF₂₋₃); 2 — интрузии основного состава (RF₃) и (RF₁₋₂); 3 — терригенные отложения (RF₁); 4 — геохимически специализированные на уран гранитоиды (а) и гранитоиднейсы (б) (KR₂); 5 — метаморфические образования (а), в том числе углеродсодержащие (б) (KR₂); 6 — высокоспециализированные на уран кремне-щелочные метасоматиты с промышленными содержаниями W, Sn, TR, Be, Li, Nb и Ta; 7 — месторождения U (а), Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Co и Ni (б)

сами гранитизации. В отличие от Чарского ПУРР основная масса уран-сульфидного оруденения была сформирована на рубеже раннего и среднего рифея, но также, как и в Чарском ПУРР, в пределах геохимически специализированных на уран блоках фундамента. Наличие древних уранофана и казолита в урановых рифейских рудах, а также гальки околорудных метасоматитов в отложениях шангулежской свиты говорит о том, что некоторые месторождения урана в среднем рифее были выведены на дневную поверхность, что способствовало окислению первичной урановой минерализации и постепенному ее разрушению и сносу. В пределах Присяянского прогиба в позднерифейское время были сформированы многочисленные проявления и месторождения Mn и Fe, а также уран-сульфидно-битумные объекты. Установленные для этих районов две эпохи рудогенеза, на границе раннего и среднего рифея и в конце позднего рифея, отвечают времени проявления базитового магматизма.

Эволюционно-геологическая модель (макет)

Анализом металлогении позднего докембрия Южно-Сибирской мегазоны на примере Чарского и Присяянского районов возможно выделить несколько крупных этапов формирования и преобразования рудного вещества: рудоподготовительный (KR_2), рудообразующий (RF_{1-2}), эрозионно-денудационный (RF_2), повторный рудообразующий (RF_3), повторный эрозионно-денудационный этап ($V-Q$).

Рудоподготовительный этап (KR_2) связан с позднекарельскими многофазными процессами гранитизации и формированием гранито-гнейсовых поднятий, обусловивших воздымание территорий. На завершающей стадии гранитизации по обрамлению гранито-гнейсовых куполов масштабно проявились процессы кремне-щелочного метасоматоза в виде кварц-полевошпат-биотитовых, кварц-альбит-микроклиновых и сподумен-микроклин-альбитовых метасоматитов и пегматитов с вкрапленной уран-торий-редкометалльно-редкоземельной минерализацией. В Присяянском районе эти процессы привели к образованию многочисленных месторождений TR, Nb, Ta, Be, Li, Sn (Вишняковское, Отбойное, Гольцовое и др.). Промышленные месторождения урана на этом этапе не возникли, но несмотря на это были образованы высокоспециализированные на уран гранитоиды, метасоматиты и пегматиты, являвшиеся в дальнейшем источником урана для рудообразования. Масштабная гранитизация обусловила воздымание территории с поднятиями и прогибами, что в дальнейшем способствовало разрушению горных сооружений, пенепленезации с формированием площадных кор выветривания.

Рудообразующий этап (RF_{1-2}). В раннем рифее процессы эрозии и денудации горных поднятий приводили к сносу материала и формированию осадочных бассейнов. Рубеж раннего и среднего рифея ознаменовался проявлением базитового магматизма (доросский, ангаульский и ингашинский комплексы). Близкие с ним во времени процессы кислотного выщелачивания в пределах гранито-гнейсовых поднятий, картируемые

в настоящее время в виде широких ореолов серицит-гидрослюдистых изменений, способствовали извлечению урана из специализированных гранитоидов и пегматитов, его переносу и отложению выше по разрезу в гранит-метаморфических породах фундамента и нижнерифейских песчаниках и конгломератах чехла. В результате были образованы месторождения и проявления Столбовое, Ансах, Чепок, Бухаровское, Ильмигинское и многие др. В это же время в унаследованных прогибах и впадинах синхронно с процессами осадконакопления и базитового вулканизма формировались месторождения Fe, Mn (Язовское и другие в пределах Тонодского ПУРР), возможно полиметаллов.

Эрозионно-денудационный этап (RF_2). В среднерифейское время в пределах отдельных участков Южно-Сибирской мегазоны активно проявилась высокоамплитудная тектоника, способствовавшая очередному воздыманию гранито-гнейсовых поднятий, их эрозии и денудации. В результате осадочные отложения раннего рифея, и нижекарельские гранит-метаморфические породы фундамента, а вместе с ними месторождения урана подверглись частичному, а в некоторых случаях полному уничтожению (Столбовое, Туюкан). В пределах участков со спокойным режимом развития урановые объекты сохранились под чехлом нижнерифейских осадков (Бухаровское).

Повторный рудообразующий этап (RF_3). Продолжавшиеся процессы эрозии и денудации способствовали наращиванию разреза рифейских прогибов и впадин. Очередная ТМА в позднем рифее ознаменовалась внедрением даек, силлов и крупных массивов габбро-долеритов патомского (торского) и нерсинского комплексов. В одном случае в это время в пределах урановых месторождений и проявлений формировались богатые руды (Чарский ПУРР), в другом происходило лишь частичное перераспределение урана с формированием новообразованного коффинита (Присяянский ПУРР). В пределах прогибов, в тесной пространственно-временной связи с габбро-долеритами, образовались месторождения Pb и Zn (Бестях, Холоднинское), Cu и Ni (Чайское), Mn и Fe (Шунгулежское, Николаевское), а также многочисленные уран-сульфидно-битумные проявления.

Повторный эрозионно-денудационный этап ($V-Q$). С конца верхнего рифея-венда по настоящее время территория неоднократно испытывала тектоническую активность, которая способствовала ее воздыманию и усилению эрозионно-денудационных процессов. В результате отдельные рифейские месторождения урана были уничтожены. Несмотря на это, в условиях спокойного тектонического режима некоторые месторождения урана могли сохраниться до настоящего времени под чехлом нижнерифейских терригенных осадков.

Заключение

Анализ металлогении позднего докембрия Южно-Сибирской мегазоны, перспективной на выявление промышленных рудных месторождений, показал:

1. Редкометалльно-редкоземельные месторождения и проявления с повышенными концентрациями урана

возникли в позднекарельское время в результате проявления процессов гранитизации, кремне-щелочного метасоматоза и пегматитообразования.

2. Уран-сульфидные и уран-фосфорные объекты имеют полихронный генезис. Они сформировались в результате проявления ТМА, индикатором которых явились интрузии основного состава на рубеже раннего-среднего рифея и в позднем рифее в пределах геохимически специализированных гранито-гнейсовых поднятий и их обрамлений. Гранито-гнейсовые поднятия с момента своего образования и по настоящее время представляли собой тектонически активные блоки земной коры, претерпевшие неоднократное воздымание, что способствовало развитию эрозионно-денудационных процессов, уничтожению отложенных рифейского чехла, позднекарельских гранит-метаморфических образований и соответственно месторождений урана.

3. Месторождения и проявления Pb, Zn, Cu, Ni, Mn и Fe формировались близко по времени с рифейским базитовым магматизмом, локализуясь в пределах рифейских депрессионных структур, заложенных на метаморфическом основании. Рифейские прогибы на протяжении всей своей геологической истории являлись относительно тектонически спокойными участками и соответственно не были существенно затронуты процессами эрозии и денудации.

4. Уран-сульфидно-битумные проявления были образованы в позднем рифее в пределах рифейских прогибов в тесной пространственно-временной связи с процессами осадконакопления верхнерифейских отложений и проявлением базитового магматизма. По минералого-геохимическим особенностям эти проявления имеют общие черты как с полиметаллическими, так и с уран-сульфидными объектами.

В связи с тектонически напряженным характером развития Южно-Сибирской мегазоны объектами будущих поисков на уран должны являться месторождения скрытого типа, располагающиеся в пределах радиогеохимически специализированных гранито-гнейсовых поднятий или их обрамлений, перекрытых отложениями нижнего рифея и с проявлением здесь рифейского базитового магматизма. Не исключено выявление скрытых месторождений Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Co, Ni в пределах рифейских депрессионных структур, а именно на границе ранне и среднерифейских отложений или вблизи нее, а также в средней-верхней части верхнерифейских образований.

Поиски рудных месторождений скрытого и слабопроявленного типов в пределах Южно-Сибирской мегазоны представляют собой весьма сложную задачу, решение которой требует создания эволюционно-геологических и глубинных геолого-геофизических моделей, а также применения комплекса рациональных и высокоэффективных прогнозно-поисковых методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабкин, Н.Я. Эволюционно-геологическая модель формирования «слепых» и слабопроявленных месторождений урана типа «несогласия» в Восточном Присяянье / Н.Я. Бабкин, Н.А. Гребенкин, А.П. Дол-

гушин, С.У. Зайцев, А.И. Корякко, В.М. Куличенко, С.И. Мельников // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 3. — С. 3–8.

2. Бибикина, Е.В. Возраст зеленокаменных поясов Присяянья / Е.В. Бибикина, В.Я. Хильтова // ДАН СССР. — 1982. — Т. 267. — № 5. — С. 1171–1174.

3. Гребенкин, Н.А. Эволюция гидротермально-метасоматических ураноносных процессов в истории геологического развития Чарского района / Н.А. Гребенкин // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 1 (Электронный журнал) — URL: www.science-education.ru/107-8145.

4. Галимова, Г.Ф. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Изд. 3-е. Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-47 (Нижнеудинск) / Г.Ф. Галимова, А.Г. Пашкова, С.А. Поваринцева, В.В. Перфильев и др. — 2010.

5. Домышев, В.Г. О возрасте древних базитов Присяянья / В.Г. Домышев, В.С. Лепин / Геология, тектоника и рудоносность докембрия Сибирской платформы и ее обрамления. Геохронология. — Иркутск, 1987. — С. 227–228.

6. Иванов, А.И. Докембрий Патомского нагорья / А.И. Иванов, В.И. Лифшиц, О.В. Первалов и др. — М.: Недра, 1995. — 352 с.

7. Коноплев, А.Д. Геолого-генетический тип уранового оруденения в рифейских известняках Березовского прогиба (Чарский потенциально урановорудный район) / А.Д. Коноплев, О.В. Авилова, Г.А. Тарханова, В.А. Кусов, И.М. Ткаченко, С.Г. Стародубцев / Уран: геология, ресурсы, производство: Тезисы Третьего междунар. симпозиума. — М.: ВИМС, 2013. — С. 68.

8. Корнаков, В.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Восточно-Саянская. Лист N-47-XXIX (Алаг-Шугун) / В.В. Корнаков, А.А. Матвейчук, С.В. Кнутова. — 2010.

9. Розен, О.М. Сибирский кратон: тектоническое районирование, вопросы эволюции / О.М. Розен // Геотектоника. — 2003. — № 3. — С. 1–19.

10. Скляр, Е.В. Геологические комплексы южной краевой части Сибирского кратона — индикаторы эволюции неопротероэозского суперконтинента / Е.В. Скляр, Д.П. Гладкохуб, А.М. Мазукабзов, Т.В. Донская, А.М. Станевич. — С. 23. Интернет ресурс: elpub.wdcb.ru/journals/rjes/v05/tje03125/text-end.doc. (20.12.2014).

11. Ernst, R.E., Long lived connection between southern Siberia and northern Laurentian the Proterozoic / R.E. Ernst, M.A. Hamilton, U. Soderlund, J.A. Hanes, D.P. Gladkochub, A.V. Okrugin, T.B. Kolotilina, A.S. Mekhonoshin, W. Bleeker, A.N. LeCheminant, K.L. Buchan, K.R. Chamberlain, A.N. Didenko // Nature Geoscience. — 2016. — Vol. 9. — № 6. — P. 464–469.

12. Gladkochub, D.P. Mafic intrusions in south-western Siberia and implications for a Neoproterozoic connection with Laurentia / D.P. Gladkochub, M.T.D. Wingate, S.A. Pisarevsky, T.V. Donskaya, A.M. Mazukabzov, V.A. Ponomarhuk, A.M. Stanevich // Precam. Res. 2006. — Vol. 147. — P. 260–278.

© Гребенкин Н.А., Мельников С.И., 2018

Гребенкин Николай Анатольевич // grebenkin2@mail.ru
Мельников Сергей Иванович // melnikov@vims-geo.ru

УДК 553.493.45(571.54)

**Томашев А.В.¹, Леденева Н.В.¹, Рудаков Р.Е.¹,
Зайцев С.У.², Косенко В.В.² (1 — ФГБУ «ВИМС»,
2 — АО «Сосновгео»)**

РУДОПРОЯВЛЕНИЕ БЕРИЛЛИЯ СНЕЖНОЕ (ВОС-ТОЧНЫЙ САЯН). ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, ТИПЫ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ БЕРИЛЛИЕВЫХ РУД

Бериллиевые руды проявления образованы в процессе единой флюидно-гидротермальной стадии в условиях открытых полостей. Геохимическая характеристика рудных зон косвенно указывает на связь рудообразующих процессов с субщелочными гранитами или лейкогранитами