

## Историко-геологическая модель уранового рудогенеза Алданского и Анабарского щитов Сибирской платформы

На фоне сравнительного историко-геологического анализа процессов уранового рудообразования в пределах Канадского щита Северо-Американской платформы, Алданского и Анабарского щитов Сибирской платформы показана возможность выявления в древних зонах структурно-стратиграфических несогласий, проявленных на щитах Сибирской платформы, месторождений «типа несогласия», аналогичных урановорудной провинции Атабаска. С целью усиления МСБ урана РФ за счет выявления крупных по запасам месторождений с высококачественными, контрастными рудами предлагается провести региональные прогнозно-металлогенические работы на уран в пределах зон древних структурно-стратиграфических несогласий Алданского и Анабарского щитов.

*Ключевые слова:* историко-геологическая модель, уран, рудообразования, Алданский и Анабарский щиты.

A. V. MOLCHANOV (VSEGEI)

## Historical and geological model of uranium ore genesis in the Aldan and Anabar shields, the Siberian platform

The paper shows the possibility of identifying in old structural and stratigraphic unconformity zones in the shields of the Siberian Platform of “unconformity-type” deposits, similar to the Athabasca uranium province, based on a comparative historical and geological analysis of uranium ore formation within the Canadian Shield of the North American Platform, the Aldan and Anabar shields of the Siberian Platform. In order to increase uranium reserves of the Russian Federation by identifying large deposits with high-grade, contrasting ores, it is proposed to carry out regional predictive and metallogenic surveys for uranium in old structural and stratigraphic unconformity zones of the Aldan and Anabar shields.

*Keywords:* historical and geological model, uranium, ore formations, Aldan and Anabar shields.

*Для цитирования:* Молчанов А. В. Историко-геологическая модель уранового рудогенеза Алданского и Анабарского щитов Сибирской платформы // Региональная геология и металлогения. – 2022. – № 90. – С. 78–90. DOI: 10.52349/0869–7892\_2022\_90\_78-90

В соответствии со Стратегией развития минерально-сырьевой базы (МСБ) России до 2035 г. уран относится к группе дефицитных полезных ископаемых и входит в Перечень стратегических видов [11], являясь одним из важнейших энергоносителей. Основные центры добычи урана в России располагаются в настоящее время в Забайкальском крае (Стрельцовский УРР), Республике Бурятия (Витимский УРР), Курганской области (Зауральский УРР) и в Республике Саха (Якутия) (Эльконский УРР, резервный).

Российская МСБ урана характеризуется значительными запасами, но большая часть руд обладает низким качеством, что в современных экономических условиях делает практически невозможным их отработку. Поэтому прогнозно-металлогенические и поисковые на уран работы следует проводить в России в пределах щитов древних платформ, вносящих существенный вклад в МСБ урана зарубежных стран, в частности, Канады и Австралии, на территории

которых разрабатываются т. н. месторождения «типа несогласия» – с уникальными, крупными запасами урана и высококачественными рудами. Наиболее перспективны в этом отношении для Российской Федерации Алданский и Анабарский щиты Сибирской платформы, прошедшие длительный, сложный, многоэтапный путь геологического развития с проявленностью во временных рамках каждого этапа как рудоподготавливающих (осадконакопление, метаморфизм, ультраметаморфизм, магматизм), так и рудоформирующих (гидротермально-метасоматическая деятельность, эпигенез, магматизм) процессов. Кроме того, в пределах щитов Сибирской платформы и их ближайшего окружения отчетливо картируются рудовмещающие структуры, в том числе зоны древних структурно-стратиграфических несогласий (ССН), чрезвычайно перспективных на локализацию в их пределах крупных и уникальных по запасам урана месторождений «типа несогласия» с высококонтрастными рудами [9]. Для того,

чтобы найти сходство и различие по проявленности рудоподготовительных и рудоформирующих в отношении урана процессов и определить принципиальную возможность выявления в пределах Алданского и Анабарского щитов высокорентбельных месторождений урана, целесообразно провести сравнительный историко-геологический анализ развития этих щитов с Канадским щитом Северо-Американской платформы, в пределах которого широко развиты урановорудные месторождения различных рудноформационных типов и, в частности, месторождения «типа несогласия» с высококонтрастными, высококачественными урановыми и комплексными (уран, никель, кобальт и др.) рудами, локализующимися вблизи зоны ССН предрифейского возраста в осадочных палеобассейнах Атабаска и, в меньшей степени, Телон.

Напомним, что под месторождениями «типа несогласия» понимаются рудные объекты, располагающиеся вблизи поверхности структурно-стратиграфического несогласия между архейско-раннепротерозойским кристаллическим основанием древних платформ и перекрывающими его рифейскими относительно слабодислоцированными и слабометаморфизованными континентальными толщами. Последние приурочены к разобренным прогибам или впадинам, заложение которых предшествовало формированию осадочного чехла древних платформ. Следует подчеркнуть, что формирование месторождений «типа несогласия» имеет длительную историю геологического развития с многоэтапным, многоступенчатым характером перераспределения рудного вещества в ходе различных петрогенетических процессов, проявившихся как на дорифейских, так и пострифейских этапах развития урановорудной провинции, с многократной его мобилизацией из окружающих пород и последующей концентрацией урана на более высоком (промышленно-значимом) уровне [8].

Уникальные и крупные по запасам (эталонные) урановые месторождения «типа несогласия» находятся на Канадском щите в пределах впадины Атабаска (Сигар-Лейк, Мак-Артур, Мидуэст-Лейк, Ки-Лейк, Кри-Лейк и др.) – **урановорудной провинции Атабаска**, металлогенический облик которой определяют разноранговые урановорудные объекты, формировавшиеся на различных этапах ее геологического развития. Наиболее древние урановорудные объекты известны здесь на северном фланге осадочного палеобассейна Атабаска, в районе Шарлебуа-Лейк, где широко развиты ураноносные высокотемпературные кварц-полевошпатовые метасоматиты с точечно-гнездовым характером распределения торий-урановых и урансодержащих минералов – уранинита, торита, циртолита, сфена и монацита. Месторождения района относятся к ураноносной торий-редкоземельной формации в кварц-плагиоклаз-ортоклазовых метасоматитах. Содержание урана в рудах составляет 0,17 %, а возраст варьируется от 1910 до 1780 млн лет.

Прогнозные ресурсы урана составляют в районе Шарлебуа-Лейк порядка 100 тыс. т.

На позднеорогенном этапе гудзонской орогении в урановорудном районе Биверлодж, расположенном на западном фланге провинции Атабаска, были сформированы жильные месторождения урана (Гуннар, Эйс-Фэй, Верна и др.), тяготеющие к ареалам развития пород групп Тейзин и Мартин (месторождение Мартин-Лейк). Рудный район изобилует разноранговыми разрывными нарушениями, в вещественном отношении представленными зонами милонитизации, катаклаза и брекчирования, к которым и тяготеют основные рудные тела месторождений.

В районе широко развиты низкотемпературные окolorудные гидротермально-метасоматические новообразования – эйситы, состоящие из альбита, хлорита, карбоната, гематита. Характер проявления урановой минерализации прожилково-сетчатый. Основным рудным минералом выступает настуран, реже браннерит и другие уранотитанаты, а также коффинит и тухолит. Отмечается урансодержащее углеродистое вещество. В формационном отношении месторождения района относятся к урановорудной формации в эйситах и эйситизированных породах.

Отдельные рудные тела месторождений рудного района Биверлодж располагаются вблизи зоны ССН предраннепротерозойского возраста, отделяющего глубокометаморфизованные толщи основания Северо-Американской платформы от терригенных красноватых слабо метаморфизованных отложений группы Мартин. Оруденение относится к настурановому и сульфидно-арсенидно-настурановому минеральным типам, а рудные тела представлены жилами, штокверками и рудными столбами. Мощность жил варьируется от 1–2 см до 4,5–7,5 м при протяженности десятки и сотни метров, редко до 1,8 км. На глубину рудные залежи прослеживаются до уровня 400–600 м, а на месторождении Эйс-Фэй урановое оруденение прослежено по вертикали на 1000 м, без признаков выклинивания.

Многочисленные рудные тела месторождений содержат от нескольких тонн до нескольких сотен тонн урана. Среднее содержание урана в рудах составляет 0,2–0,4 %. Многочисленные датировки урановых руд группируются в несколько возрастных интервалов: 1900–1780, 1450–1400, 1300–1200, 1100–880, 350–230 млн лет [14], что указывает на полихронный характер оруденения района, хотя основной этап оруденения соответствует этапу гудзонской орогении.

В постатабасское время, когда провинция уже приобрела черты отчетливо радиогеохимически специализированной и урановорудной, формировались крупные и уникальные по запасам урана (от 100 тыс. т и более) с ультрабогатыми рудами (до десятков %) комплексные (с Ni, Co, V и др.) месторождения вблизи зоны предатабасского несогласия – Ки-Лейк, Сигар-Лейк, Мидуэст-Лейк и др., получившие в литературе название

«типа несогласия». Подробная характеристика этих месторождений приведена в обширной зарубежной и отечественной литературе [9; 12–14]. Здесь мы выделим лишь их характерные черты:

- отчетливый структурный контроль зоной предатабасского (предрифейского) ССН в совокупности с субвертикальными долгоживущими разрывными нарушениями, развитыми в афебийских толщах. Участки дизъюнктивов, прослеженные в породах доатабасского фундамента, трассируются зонами порфиروبластеза и графитизации. Отмечается унаследованность разрывных структур фундамента в терригенных породах бассейна Атабаска. Чрезвычайно важно, что зона ССН отделяет, с одной стороны, глубокометаморфизованные (амфиболитовая фация), сложнодислоцированные блоки дорифейского фундамента, изобилующие разноранговыми разрывными нарушениями сколкового характера, а с другой – неметаморфизованные или слабометаморфизованные, пологозалегающие, относительно пластичные терригенные отложения, базальные горизонты которых характеризуются повышенной проницаемостью;

- вблизи рудных тел месторождений картируются гидротермально-метасоматические новообразования железо-магнезиально-кальциевого и кремне-щелочного петрохимического профиля, сопутствующие основным этапам рудообразования. Однако рудосопровождающие гидротермально-метасоматические образования и радиогеохимические ореолы характеризуются ограниченным латеральным распространением в терригенных породах группы Атабаска, но в то же время более широко проявлены в метаморфогенно-ультраметаморфогенных ингредиентах сложнодислоцированного «жесткого» фундамента, вблизи и непосредственно в зоне ССН. Последняя трассируется предатабасской метаморфизованной корой выветривания – реголитом;

- отмечается полихронный характер оруденения, обусловленный многостадийностью и длительностью процессов уранового рудогенеза. Радиологический возраст руд в единых рудных телах варьирует в широких пределах: от 1620, 1300–1350 до 80 млн лет и менее [14];

- по вопросу источников урана для месторождений «типа несогласия» существуют различные мнения. С наших позиций, наиболее убедительны аргументы исследователей, рассматривающих в этом качестве радиогеохимически специализированные геологические образования (метаморфиты, ультраметаморфиты, метасоматиты, рудные тела более ранних металлогенических эпох) доатабасского фундамента. Температура образования рудных тел месторождений составляет 130–150 °С и более;

- для богатых комплексных руд месторождений «типа несогласия» характерны высокая контрастность геохимических барьеров, проницаемость рудоподводящих каналов и зон ССН.

Оценить возможность формирования и выявления месторождений «типа несогласия»,

подобных урановорудной провинции Атабаска Канадского щита, на древних щитах Сибирской платформы целесообразно на фоне рассмотрения истории их геологического развития с определением в рамках каждого этапа наиболее значимых урановорудных процессов, рудо локализирующих структур и ведущих урановорудных формаций.

В истории геологического развития **Алданского и Анабарского щитов** выделяются периоды, во время каждого из которых проявлялись рудоподготовительные (осадконакопление, региональный метаморфизм, ультраметаморфизм, магматизм) и рудоформирующие (гидротермально-метасоматическая деятельность) процессы.

Наиболее древние – *архейские* геологические образования Алданского щита, представленные метаморфитами гранулитовой фации. Они выходят на современную дневную поверхность в пределах Алдано-Тимптонского и Тимптоно-Учурского блоков, а на Анабарском щите – в Далдынском блоке. Радиогеохимическая специализация метаморфитов раннего архея практически не проявлена. Однако отдельные горизонты кристаллосланцев федоровской и апатиноносные кристаллосланцы нимнырской свит Алдано-Тимптонского блока характеризуются вышекларковыми содержаниями урана (U–3,0–3,5 г/т) при значительной доле (до 60 %) легкоподвижной его составляющей. Ультраметаморфогенно-магматогенные формации раннеархейского структурно-формационного комплекса (СФК) – эндербитовая, мигматит-гранитовая и аляскитовая, – наиболее широко развиты также в пределах Алдано-Тимптонского блока, где принимают участие в строении мигматит-плутонов (Нимнырского, Хатыминского, Ыллымахского и др.). Формации характеризуются близкларковыми и вышекларковыми содержаниями урана и тория. Установлена тенденция накопления урана и тория в ряду: эндербиты → мигматит-граниты → аляскитовые граниты. В последних содержание урана достигает 5,2 г/т, а тория – до 61,7 г/т. В генетической связи с ультраметаморфогенно-магматогенными процессами раннего архея на Алданском щите формировались высокотемпературные кремне-щелочные (кварц-плагиоклаз-ортоклазовые) и комплементарные им магнезиально-железо-кальциевые метасоматиты, составляющие раннеархейский формационно-генетический ряд (ФГР). Метасоматиты ряда широко проявлены в пределах Алдано-Тимптонского блока и характеризуются вышекларковыми содержаниями радиоактивных элементов. Совокупным результатом ультраметаморфогенно-метасоматических процессов раннеархейского возраста явилось формирование многочисленных радиоактивных аномалий и проявлений комплексной уран-торий-редкоземельной минерализации, относимых к ураноносной торий-редкоземельной формации в кварц-плагиоклаз-ортоклазовых метасоматитах и ураноносной торий-редкоземельной формации в магнезиально-железо-кальциевых метасоматитах. При этом подавляющее большинство

радиоактивных проявлений структурно тяготеют к апикальным частям сложнопостроенных мигматит-плутонов Алдано-Тимптонского блока. Распределение радиоактивных минералов в рудоносных метасоматитах крайне неравномерное. Содержание урана и тория в рудах варьируется от тысячных долей до 1% и более. Перспективы промышленной рудоносности ураноносных формаций раннеархейского этапа развития Алданского щита оцениваются отрицательно. Однако с металлогенических позиций они имеют большое значение, поскольку фиксируют *первый этап* мобилизации и перераспределения рудогенных элементов в истории геологического развития щитов с формированием мелких рудоконцентраций, которые могут принимать участие в рудогенерирующих процессах последующих металлогенических эпох.

*Позднеархейские* метаморфиты амфиболитовой фации наиболее широко развиты на Алданском щите в пределах Чаро-Олёкминского и Батомгского блоков, а на Анабарском щите позднеархейские метаморфиты гранулитовой фации слагают Маганский и Хапчанский блоки. Радиогеохимическая специализация метаморфитов этапа на Алданском щите не проявлена. На Анабарском щите близкларковыми, в том числе и чуть вышекларковыми содержаниями радиоактивных элементов характеризуются высокоглиноземистые, графитсодержащие гнейсы и метакarbonатные породы Хапчанского блока. Причем в метакarbonатных породах с увеличением алюмосиликатной составляющей отмечено [7; 9] последовательное возрастание содержаний урана (от 1,2 до 2,8 г/т).

В позднеархейское время были заложены и получили последующее развитие региональные тектоно-флюидитные зоны (ТФЗ)<sup>1</sup> **Алданского щита** – Тыркандинская, Амгинская, Токкинская, Чаруодинская и др., а также шло становление гранитоидов мигматит-гранитовой и гранитовой формаций. Вещественные составляющие последних, как правило, усложняли строение мигматит-плутонов, сформированных на раннеархейском этапе, а также формировали новые (Чаруодинский, Верхне-Токкинский, Тырканский и др.). На фоне развития гранитоидов гранитовой фации шло становление генетически с ними связанных высокотемпературных кремне-щелочных (кварц-плагиоклаз-ортоклазовых) и магнезиально-железо-кальциевых метасоматических новообразований, слагающие позднеархейский ФГР. Структурно метасоматиты ряда тяготеют к апикальным частям мигматит-плутонов и к региональным ТФЗ – Токкинской, Олёкмо-Суннагинской, Тыркандинской и др. Радиогеохимическая специализация ультраметаморфогенных

формаций позднего архея щита, включая и высокотемпературные гидротермально-метасоматические новообразования, неоднозначна. Отмечается зависимость содержаний урана в них от уровня радиогеохимической специализации метаморфогенно-ультраметаморфогенного субстрата, по которому развиты метасоматиты. В пределах Алдано-Тимптонского блока содержание урана в гранитоидах позднего архея достигает 4 ÷ 5 г/т.

В генетической связи с позднеархейскими процессами ультраметаморфогенного гранитообразования были сформированы многочисленные рудопроявления и проявления комплексной минерализации, относящиеся к уран-торий-редкоземельной формации в кварц-плагиоклаз-ортоклазовых метасоматитах. Характер распределения рудного вещества здесь – точечный, точечно-гнездовый. Основными рудными минералами выступают уранинит, циркон, циртолит, монацит, торит. По типу и возрасту рудные объекты ураноносной торий-редкоземельной фации близки месторождениям урановорудного района Шарлебуа-Лейк Канадского щита.

Ультраметаморфогенные составляющие позднеархейского возраста **Анабарского щита** представлены гранитоидами мигматит-гранитовой (мигматит-плагиогранитовой) фации, широко развитые в пределах Маганского блока. На высокую степень гранитизации последнего указывает и наблюдаемые в его пределах низкие значения гравитационного поля. На фоне становления гранитоидов фации шло формирование высокотемпературных кремне-щелочных метасоматитов, с которыми генетически связаны многочисленные радиоактивные аномалии и проявления существенно ториевой, уран-ториевой минерализации ураноносной торий-редкоземельной фации в кварц-плагиоклаз-ортоклазовых метасоматитах. Основным носителем повышенных концентраций радиоактивных и редкоземельных элементов выступает монацит, распределенный в породе достаточно равномерно. Реже отмечаются циркон, ортит, торит, ксенотим, апатит, редкоэшинит. Содержание урана в рудных объектах достигает 0,01%, содержание тория варьируется от 0,07 до 3,5%. Содержание редкоземельных элементов, в том числе Се, Y, а также Zr и La, достигает 1%. В ряде случаев суммарное содержание Zr и La установлено в 10%.

Разноранговые высокотемпературные ураноносные объекты позднего архея вряд ли могут рассматриваться как объекты промышленной добычи урана, но в то же время они фиксируют *второй этап* мобилизации и перераспределения рудогенного вещества на древних щитах Сибирской платформы, и совместно с радиогеохимически специализированными геологическими формациями архея их следует рассматривать как емкий источник урана для последующих металлогенических эпох.

На рубеже позднего архея – раннего протерозоя на **Алданском щите** формировались троговые (зеленокаменные) структуры, тяготеющие

<sup>1</sup> Под тектоно-флюидитными зонами автор понимает проницаемые зоны земной коры, в строении которых широко проявлены разновозрастные тектониты (милониты, катаклазиты, брекчии и их blastовые разности), магматиты различного состава и возраста, а также разновозрастные и разноформационные типы гидротермально-метасоматических образований.

к тектоно-флюидитным зонам (Токкинская, Темулякитская, Унгринская и др.), сложенные вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными отложениями, метаморфизованными в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций. Радиогеохимическая специализация и металлогеническая по урану значимость трогового СФК не проявлена.

В пределах **Анабарского щита** на рубеже позднего архея — раннего протерозоя происходило заложение и развитие региональных ТФЗ — Котуйкан-Монхоолинской, Ламуйкской, Маганской, Харапской и Билляхской. Две из них — Котуйкан-Монхоолинская и Билляхская, — ограничивают на современном уровне эрозионного среза блоки земной коры щита, характеризующиеся различным геологическим строением и, как следствие, различными геофизическими характеристиками и своеобразной металлогенией. В вещественном отношении данные зоны сложены метаморфитами биотит-амфиболо-гнейсово-кристаллосланцевой формации, бластокактазитами, бластомилонитами. Многочисленные проявления радиоактивной минерализации, известные в пределах ТФЗ, связаны с рудоформирующими процессами последующих этапов развития щита.

На этапе раннепротерозойской активизации **Алданского щита** происходила тектоническая перестройка геологических структур архея, заложение новых и подновление древних ТФЗ, интенсивная вулканоплутоническая деятельность и накопление терригенно-осадочных толщ в локальных депрессионных структурах. В западной части щита (Чаро-Олёкминский блок) закладывался крупный Кодаро-Удоканский прогиб и серия более мелких грабен-синклинальных структур — Угуйская, Олдонгсинская, Нижне-Ханнинская и др.; в пределах Алдано-Тимптонского блока — Субганский, Ярогинский, Чульманский грабены, а в рамках Тимптоно-Учурского блока — Амуликанский, Давангра-Хугдинский и Атугей-Нуямский грабены. Терригенно-осадочные отложения, слагающие эти структуры, с резким угловым несогласием залегают на метаморфогенно-ультраметаморфогенных образованиях раннего и позднего архея. Базальный горизонт отложений грабен-синклиналей представлен красноцветными гравелитами, мелкогалечными конгломератами и грубозернистыми полимиктовыми песчаниками. Мощности его составляет 15 метров. Вышележащие породы представлены песчаниками, песчанистыми алевролитами, глинистыми мелкозернистыми песчаниками и песчано-глинистыми сланцами. Уровень метаморфизма раннепротерозойских терригенно-осадочных отложений, слагающих Угуйскую и Олдонгсинскую грабен-синклинали, низкий и не превышает условий зеленосланцевой фации. К радиогеохимически специализированным в разрезе раннепротерозойских грабен-синклинальных структур Чаро-Олёкминского блока относятся породы глинисто-песчаной черносланцевой фор-

мации, слагающие разрез Олдонгсинской и низы разреза Угуйской грабен-синклиналей в объеме ханинской свиты и ее аналогов.

На востоке щита, в зоне сочленения Тимптоно-Учурского и Батомгского блоков, формировался Улканский протовулканогенный прогиб. В его геологическом строении участвует сложный комплекс осадочно-вулканогенных отложений, составляющих конгломерато-кварцево-песчаниковую (топориканская свита) и терригенную трахиандезит-трахилипаритовую (элгетейская свита) формации, вещественные составляющие которых с резким угловым несогласием залегают на метаморфогенно-ультраметаморфогенных образованиях архейского возраста, а также на древних метаморфизованных корях выветривания (реголитах) [7; 9]. Отчетливой радиогеохимической специализацией характеризуется терригенная трахиандезит-трахилипаритовая формация.

Магматические образования этапа представлены габбро-анортозитовой, габбро-долеритовой, габбро-сиенитовой, гранит-гнейсогранитовой и гранит-лейкогранитовой формациями, среди которых отчетливой радиогеохимической специализацией характеризуются вещественные составляющие габбро-сиенитовой (горбыляхский комплекс) и гранит-лейкогранитовой (ярогинский комплекс и его аналоги) формаций. В структурно-тектоническом отношении они приурочены к длительно развивающимся ТФЗ (Ярогинской, Токкинской, Унгра-Беркакитской, Тоохтоонской и др.).

Важной чертой этапа раннепротерозойской активизации Алданского щита, сыгравшей существенную роль в последующие металлогенические эпохи, является становление в его временных рамках, впервые в истории развития щита, полного, законченного спектра гидротермально-метасоматических процессов, вещественные производные которых слагают активизационный ФГР: формация кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов → формация калиевых пропицитов → формация эйситов. Практически все формации ряда обладают радиогеохимической специализацией. Благодаря проявлению магматических и гидротермально-метасоматических процессов этапа существенно усиливается радиогеохимическая специализация Алдано-Тимптонского блока, а также Тырканского, Улканского и Томптонского тектоно-флюидитных узлов (ТФУ) Тимптоно-Учурского блока; Токкинской, Кондинской и Чаро-Олёкминской ТФЗ Чаро-Олёкминского блока. Во временных рамках этапа сформированы разноранговые урановые и комплексные уран-торий-редкоземельно-редкометалльные объекты ураноносной торий-редкоземельно-редкометалльной формации в кварц-альбит-микроклиновых метасоматитах (месторождения Унгра-Нимгерканское, Никак) и фосфор-урановорудной формации в эйситах и эйситизированных породах (месторождение Тавитчак, р/п Беркакит). Оруденение в рамках последней формации приурочено, главным образом, к зонам трещиноватости,

брекчирования и катаклаза, развитым по гранитам и кварц-плагиоклаз-ортоклазовым метасоматитам позднего архея и дайкам сиенитов и базитов раннего протерозоя. Зоны брекчирования и катаклаза прослеживаются по простиранию на 1,5–3 км при мощности до 300 м. Относительно богатые урановые руды приурочены к участкам наиболее эйситизированных пород. Рудные тела имеют линзовидную и штокверковую форму. Мощность рудных линз составляет 0,5 м при протяженности 2,5–5 м. Содержание урана в штуфных пробах достигает 0,184 %. Среднее содержание урана в рудных телах составляет 0,06 %, тория 0,007 %. Основными урановыми минералами выступают настуран и уранинит, находящиеся в сложных взаимоотношениях.

Наиболее рудонасыщенными здесь являются Тыркандинский и Улканский ТФУ, а также Дес-Эвотинская и Унгра-Беркакитская ТФЗ. В пределах Алдано-Тимптонского блока (Усть-Чульманская ТФЗ, Тоохтоонский ТФУ) выявлены интересные в рудно-геохимическом плане ториевые объекты (Усть-Чульманская группа проявлений) в эйситах и эйситизированных породах. В эйситизированных зонах брекчирования мощностью 1–2 м содержание тория достигает 3 % и более (район устья р. Чульман). Основными рудными минералами выступают торит и торианит.

Низкотемпературное урановое оруденение этапа раннепротерозойской активизации Алданского щита (месторождение Тавитчак) по типу рудо-сопровождающих гидротермально-метасоматических новообразований, структурной позиции, основным рудным минералам сходно с урановыми месторождениями района Биверлодж (месторождения Эйс, Фэй и др.) Канадского щита.

На северной оконечности Улканского протувулканогенного прогиба, вблизи зоны ССН предраннепротерозойского возраста, геологами «Таежгеологии» в 1980-х гг. выявлено р/п Топорикан, которое по структурной позиции оруденения, характеру эпигенетических новообразований, наличию древних метаморфизованных кор выветривания, наличию графитосодержащих и графитоносных кристаллосланцев ниже зоны ССН [5] может быть сопоставлено с известными урановыми месторождениями впадины Атабаска, хотя приуроченность к зоне предраннепротерозойского ССН сближает его, прежде всего, с месторождением Мартин, локализованным в районе Биверлодж Канадского щита. Содержание урана в рудных телах рудопроявления по материалам «Таежгеологии» варьируется от 0,01 до 0,73 %. Урановая минерализация представлена вторичными урановыми минералами – торбернитом, метаторбернитом, фосфуранинитом и крайне редко настураном. Радиологический возраст оруденения, определенный уран-свинцовым методом («Таежгеология»), составляет  $1236 \pm 21$  млн лет. Однако имеются и другие значения:  $1053 \pm 72$ ,  $770 \pm 48$ , 400 млн лет, что обусловлено воздействием на оруденение более поздних эпигенетических процессов. Основные концентраторы

рудогенных элементов (U, Ag, Mo, As, Cu, Zn, Pb) на рудопроявлении – гидрослюдистые березиты [7], как вблизи зоны предраннепротерозойского ССН, так и вблизи субвертикальных зон разломов. Температура процесса березитизации, определенная при изучении методом гомогенизации индивидуальных газовой-жидких включений из кварца, составила не менее 125 °С. Наблюдаемые включения являлись двух-, трехфазовыми. В составе газовой и жидкой фаз преобладает CO<sub>2</sub>.

Активизационные процессы раннепротерозойского этапа развития **Анабарского щита** широко проявились в пределах тектоно-флюидитных зон – Котуйкан-Монхоолинской, Билляхской, Харапской и др., в рамках которых формировались магматиты габбро-анортозитовой, гранит-гранодиоритовой и гранит-лейкогранитовой формаций. На фоне развития магматогенных процессов шло становление высокотемпературных кремне-щелочных метасоматитов, относимых к формации кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов, калиевых пропицитов, пропицито-эйситов и эйситов. Эйситовые минеральные парагенезисы наиболее широко развиты в пределах Билляхской и Котуйкан-Монхоолинской ТФЗ, что повышает их роль как потенциально урановорудных структур Анабарского щита. В пределах ТФЗ щита отчетливой радиогеохимической специализацией обладают гранитоиды гранит-лейкогранитовой формации, высокотемпературные кварц-альбит-микроклиновые метасоматиты, бластокатаклазиты и бластомилониты.

Металлогеническая значимость этапа раннепротерозойской активизации для Анабарского щита определяется известными в регионе многочисленными рудопроявлениями и проявлениями радиоактивной минерализации ураноносной торий-редкоземельно-редкометалльной формации в кварц-альбит-микроклиновых метасоматитах. В региональном структурном плане рудные объекты формации приурочены к Котуйкан-Монхоолинской (Монхоолинский потенциально урановорудный узел), Билляхской и Северо-Анабарской ТФЗ, которые в металлогеническом отношении рассматриваются как ураноносные. В их пределах рудоносные кварц-альбит-микроклиновые метасоматиты слагают систему субсогласных, реже кососекущих жил, линз и шлиров, имеющих мощность до 1–2 м. Рудоносные тела слагают полосы шириной несколько метров, протяженностью от десятков до сотен метров. Характер распределения минерализации точечно-струйчатый, мелкогнездовый. Размер гнезд до  $6 \times 10$  см. В объеме формации выделено три минеральных типа: уранинит-монацитовый, уранинит-(молибденит)-тантало-ниабабовый, уранинит-ферриторит-тантало-ниабабовый. Второстепенными рудными минералами выступают магнетит, ильменит, пирит, пирротин, ковеллин, уфертит, апатит. Содержание урана в рудных зонах варьирует от 0,04 до 0,3 % и более; тория – не превышает 0,09 %. Геохимическая специализация рудоносных метасоматитов определяется вышекларковыми

содержаниями Cu, Ni, Mo, Pb, Co, Y, Ce, La, Ti. Рудные объекты формации при скоплениях значительной массы ураноносных метасоматитов в пределах отдельных ТФЗ можно рассматривать как месторождения комплексных убогих рассеянных руд (рудопроявления Котуйкан-Монхоолинской ТФЗ) или как возможный источник радиоактивной минерализации для последующих металлогенических эпох.

По всей видимости, в пределах ТФЗ щита, прежде всего, Котуйкан-Монхоолинской, Билляхской и Северо-Анабарской, следует ожидать низкотемпературное урановое оруденение жильного типа, генетически связанное с процессами эйситизации, сходное с месторождениями района Биверлодж (Эйс, Фей, Верна и др) Канадского щита, и (или) с месторождением Тавитчак Алданского щита, а также урановорудные объекты, относящиеся к ураноносной торий-редкоземельной формации в кварц-альбит-микроклиновых метасоматитах, сходных с месторождениями района Шарлебуа-Лейк.

В конце раннепротерозойского времени в пределах древних щитов Сибирской платформы произошла денудация горных сооружений, сформировался обширный пенеплен и в условиях относительного тектонического покоя образовалась кора выветривания существенно каолинового состава, впоследствии метаморфизованная, а в некоторых районах претерпевшая интенсивные гидротермально-метасоматические преобразования более поздних этапов развития щитов. На современной дневной поверхности древние метаморфизованные коры выветривания предраннерифейского возраста, сходные с реголитами урановорудной провинции Атабаска, обнажены в пределах Тимптоно-Учурского блока Алданского щита, а также широко развиты на северо-западном и юго-восточном флангах Анабарского щита.

Начиная с рифея, на территории **Алданского щита** существовал платформенный режим развития, во временных рамках которого имели место процессы денудации и пенепленизации древней поверхности с одновременным прогибанием отдельных ее участков (Учурский эпикратонный прогиб), накоплением мощной толщи красноцветных терригенно-осадочных отложений, нижняя часть которых с резким угловым несогласием залегает на геологических образованиях архейского и раннепротерозойского этапов развития и на древних (дорифейских) метаморфизованных корях выветривания, которые наиболее ярко проявлены в пределах Учурского прогиба. Древние метаморфизованные коры выветривания (бассейны рек Учур, Уян), претерпели на рифейском и мезозойском этапах развития щита сильнейшее воздействие гидротермально-метасоматических процессов уровня калиевых пропицитов и гумбеитов. Радиологический возраст монофракции ортоклаза, определенный Rb-Sr методом во ВСЕГЕИ, составил 1670 млн лет (Коршунов и др., 1999). Процесс калишпатизации, в том числе адуляризации кор

выветривания, привел к резкому увеличению в них калия до 12–15 % ( $K_2O$ ) на фоне 1,5–3 % в неизмененных породах. Коры выветривания характеризуются на этом уровне повышенным содержанием урана и золота, что, видимо, обусловлено не первичным накоплением этих элементов, а привнесом их на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации (ТМА).

Базальные части разреза рифейских отложений Алданского щита повсеместно представлены пронцаемыми горизонтами конгломератов и конгломерато-брекчий, гравелитов и гравелито-песчаников мощностью до 100 м. Выше по разрезу они сменяются аркозовыми, реже кварцевыми песчаниками, конгломератами, алевролитами, аргиллитами, известковистыми песчаниками и доломитами. Вблизи зоны предрифейского ССН известны рудопроявления и проявления комплексной золото-урановой, урановой минерализации на западе щита – Угуйская, Олдонгсинская грабен-синклинали (р/п Дюринг-Юрях, Темное и др.) и востоке – Учуро-Уянский прогиб (р/п Конкули, Угдан и др.).

Венд-кембрийские отложения пользуются широким развитием в пределах Среднененской моноклизы и Учуро-Майского прогиба (бассейны рек Алдан, Учур, Мая), где трансгрессивно залегают на образованиях рифейского комплекса и с резким угловым несогласием – на породах кристаллического фундамента (западный фланг Учуро-Майского прогиба). В основании их прослеживается маломощный (до 2 м) базальный горизонт гравелитов, кварцево-галечных конгломератов и крупно-, среднезернистых кварцевых песчаников (бассейн р. Ыным). Венд-кембрийские отложения выполняют также ложе Чульманской, Ытымджинской, Токкинской грабен-синклиналей, а также Аимскую, Мар-Кюэльскую и др. впадины.

Магматические образования платформенного этапа представлены дайками и силлами базитов габбро-долеритовой формации (торский, доросский комплексы), многофазными зональными плутонами центрального типа (Ингилийский, Арбархастахский, Инаглинский, Кондер и т. д.), вещественные составляющие которых объединены в формацию ультраосновных щелочных пород с карбонатитами.

В радиогеохимическом отношении формации платформенного этапа, как правило, неспециализированы. Отдельные разности терригенных пород (конгломераты, гравелито-конгломераты) и магматитов обладают несколько вышекларковыми содержаниями урана и тория. Радиогеохимическая специализация характерна для карбонатитов. Калиевые пропициты этапа обладают лишь несколько вышекларковыми содержаниями урана.

В тоже время гидротермально-метасоматические процессы платформенного этапа выражены околodayковыми ореолами пропицитовых прожилков калиевого петрохимического профиля, а также локальными околоинтрузивными

проявлениями карбонатитов, характеризующихся вышекларковыми содержаниями радиоактивных элементов и комплексными радиоактивно-редкоземельно-редкометалльными рудопроявлениями, относящимися к ураноносной торий-редкоземельно-редкометалльной формации в карбонатитах.

В целом металлогеническая значимость платформенного этапа развития Алданского щита определяется лишь комплексным уран-торий-редкоземельно-редкометалльным оруденением в карбонатитах (р/п Арбарастах, Ингили).

В пределах **Анабарского щита** в рифейское время проходило заложение Маймеча-Воеволинского и Куонамского прогибов, где накапливались красноцветные грубозернистые существенно кварцевые, кварц-полевошпатовые песчаники. Красноцветы рифея с резким структурно-стратиграфическим несогласием залегают на древних метаморфизованных корях выветривания (реголитах), широко развитых на северо-западном и восточном флангах щита. Мощность реголитов достигает 50 м.

Металлогеническая специализация рифейского этапа развития Анабарского щита определяется рудопроявлениями и проявлениями урановой минерализации ураноносной формации в углеродсодержащих терригенных породах. В структурно-вещественном отношении рудные объекты формации приурочены к углеродсодержащим алевроаргиллитовым отложениям усть-илинской свиты, картируемым на северо-западном фланге щита и характеризующимся ярко выраженной радиогеохимической специализацией. По данным АГСМ-съемки, проведенной Норильским филиалом ФГБУ «ВСЕГЕИ», отложения свиты слагают протяженную (более 200 км) ярко выраженную зону повышенной радиоактивности. Содержание урана в отложениях свиты варьируется от 1 до 7 г/т, с многочисленными локальными концентрациями до 0,01–0,03 % (р/п Баалыга-Суох и др.). Мощность рудоносного горизонта темно-серых алевролитов и аргиллитов составляет 40 м. Основными урановыми минералами выступают урановые черни, форма проявления которых – налеты и корочки на поверхности аутогенных кристаллов пирита, рассеянных в алевролитах и аргиллитах.

На востоке щита известны многочисленные аэrorадиометрические и наземные аномалии, зоны повышенных содержаний урана и проявления радиоактивной минерализации вблизи зоны предрифейского ССН, как правило, в местах, где терригенные красноцветные отложения рифея с угловым несогласием перекрывают древние метаморфизованные коры выветривания и графитсодержащие, графитоносные кристаллосланцы, участвующие в строении тектоно-флюидитных зон – Котуйкан-Монхоолинской, Билляхской, Северо-Анабарской, Маганской, Салтах-Дюкенской. На таких площадях широко развиты эпигенетические гидротермально-метасоматические образования: аргиллизиты, гидрослюдистые

березиты, гумбеиты. Реголиты имеют зональное строение. Здесь же отмечаются многочисленные наземные и аэrorадиометрические аномалии урановой, ториевой и смешанной уран-ториевой природы. На северо-западном фланге Анабарского щита, в зоне наложения красноцветных отложений рифея на метаморфизованные коры выветривания, тектониты и графитсодержащие высокоглиноземистые кристаллосланцы Котуйкан-Монхоолинской ТФЗ, геологами ГПП «Аэрогеология» при проведении ГМК-200 был локализован потенциальный урановорудный район – Турунг-Тугуттурский с авторскими прогнозными ресурсами урана категории  $P_3$  в 10 тыс. т. Работы Норильского филиала ФГБУ «ВСЕГЕИ» выявили, по данным аэроэлектроразведки, протяженные зоны электропроводимости, указывающие на возможность обнаружения в данном районе промышленно-значимых урановорудных объектов «типа несогласия», подобных урановорудной провинции Атабаска.

На юго-востоке Анабарского щита, на участке перекрытия красноцветными терригенными отложениями лабазтахской свиты Билляхской тектоно-флюидитной зоны [1] ранее нами выделен Биригиндино-Мюнюсяхский потенциальный урановорудный район, перспективный на выявление в его пределах промышленно-значимых урановорудных объектов «типа несогласия». В районе зона ССН предрифейского возраста трассируется в материалах АГСМ-съемки масштаба 1 : 25 000, выполненной аэропартией Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА» в 2003–2004 гг., протяженными контрастными аэроаномалиями урана, тория, калия, а также наземными радиометрическими исследованиями, выполненными под руководством автора статьи.

Красноцветные терригенные рифейские отложения района претерпели воздействие интенсивных катагенетических процессов, а также масштабных гидротермально-метасоматических преобразований с формированием обширных ореолов гумбеитизации и гидрослюдистой березитизации. Кроме того, в зонах разрывных нарушений, в частности, в разломе «Горелый», который рассматривается нами как одна из основных рудоподводящих структур района, интенсивно проявлены аргиллизиты, характеризующиеся радиометрическими аномалиями интенсивностью до 2000 мкР/ч ториевой и смешанной уран-ториевой природы радиоактивности. Содержание урана по материалам А. И. Пономаренко, сотрудника Амакинской экспедиции Якутского ТГУ, полученным в 1966 г., в тектонических глинках составляет от 0,01 до 0,07 %, а золота – до 1,0–1,5 г/т, что подтвердилось и нашими исследованиями, проведенными совместно с геологами АК «АЛРОСА» в 2003–2007 гг. В пределах Биригиндинского участка, в районе развития полей гумбеитизации и многочисленных радиометрических аномалий, отмечается своеобразная (аномальная) для заполярья растительность. Так, помимо низкорослых лиственниц, карликовой березки и кедрового

сланника, типичных для данной широты и высотных отметок рельефа, на Биригиндинском участке обильно произрастают березы высотой до 4–5 м, а «карликовая березка» достигает высоты 2–3 м. По нашему мнению, такая растительная аномалия обусловлена, в том числе, воздействием радиогенного тепла, исходящего из невоскрывших на дневной поверхности урановородных, уран-торий-редкоземельно-редкометалльных тел данного участка. В меньшей степени такая же растительная аномалия прослежена нами на участках Южный, Мюнюсяхский и Боронгский Биригиндино-Мюнюсяхского потенциального урановородного района.

Для заверки радиометрических данных на территории Биригиндино-Мюнюсяхского потенциального урановородного района в зонах ССН силами Амакинской ГРЭ АК «АПРОСА» в 2005–2007 гг. выполнялись наземные геофизические и буровые работы по оценке аэrorадиоактивных аномалий (участки Биригиндинский, Боронгский, Мюнюсяхский). По результатам полукочественных спектральных анализов проб вторичных ореолов рассеяния на указанных участках выявлены площадные аномалии U, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Mn, Yb, La, Y, Nb, приуроченные к разрывным нарушениям, узлам их пересечения и зонам ССН предрифейского возраста.

В результате проведенных заверочных буровых работ на трех участках всеми скважинами были вскрыты, по данным каротажа (СГК), многочисленные геохимические аномалии урана, тория и редких земель. В частности, на участке Биригиндинском три скважины по данным каротажа (СГК) вскрыли убогое, бедное (скв. 13, 19) и рядовое (скв. 17) урановые оруденения, представленные урановородными брекчиями. Наилучшее пересечение получено в скважине № 17 с содержанием урана 0,158 % на мощность 0,9 м. Урановая минерализация, по данным сотрудников ВИМСа, представлена тонкой вкрапленностью коффинита, урансодержащих торутита, синхизита, торианита, ураноторита (?), урансодержащих глинисто-гидрослюдистых минералов, развитых в цементе урановородных брекчий. На участке Мюнюсяхском одна скважина (№ 20, инт. 33,75–36,25 м, 37,75–42,25 м, 44,75–45,45 м, 54,95–55,45 м, 60,15–60,55 м) вскрыла убогое урановое оруденение, представленное пологосекущими ветвисто-прожилково-штокверковыми брекчиями с гидрослюдисто-глинистым метасоматическим ураноносным цементом. Во всех урановородных интервалах выявлен осложняющий фактор в виде более древних аномальных фоновых ниобий-редкоземельно-высокоторийных концентраций, на которые накладываются урановородные брекчии. Данное обстоятельство обуславливает повышенное и высокоторийное торий-урановое отношение: 1,16 (скв. 17), 3,2–4,3 (скв. 20), 7,8–8,6 (скв. 13), 10,1 (скв. 19). Установлено, что, чем выше концентрация урана в урановородных брекчиях, тем ниже торий-урановое отношение. Определение состава

новообразованных минералов, содержания урана и тория в рыхлом, пористом глинисто-гидрослюдистом цементе брекчий при помощи микроанализатора и электронного микроскопа выявило наличие концентраций урана, связанное с сорбцией урана на глинисто-гидрослюдистых минералах, в концентрациях 0,028–0,045 %, с торий-урановым отношением 0,73–1,33, аналогичным для урановородных интервалов, выделенных по данным каротажа. Вероятно, в пределах локализованного потенциального урановородного района наблюдается отчетливое наложение двух рудоформирующих процессов, приводящих к формированию как уран-торий-редкоземельно-редкометалльного оруденения (видимо, процесс карбонатизации), так и к собственно урановородному процессу, имевшему место вблизи зоны регионального ССН и, соответственно, отвечающего за формирование урановородных тел «типа несогласия».

Авторские прогнозные ресурсы урана по категории  $P_2$  для выделенных в пределах района потенциально урановородных зон в сумме для Биригиндинского и Южного участков (по данным Эбеляхской партии Амакинской ГРЭ АК «АПРОСА») составили 15,5 тыс. т. Следует подчеркнуть, что представленные авторские ресурсы коллегами из АмГРЭ рассчитаны по данным каротажа, поскольку в рудных интервалах выход керна практически отсутствует в виду его полного разрушения при физическом воздействии бурового оборудования. К сожалению, несмотря на полученные значительные авторские ресурсы урана, по объективным и субъективным причинам поисковые работы на участке организованы не были. Вследствие этого до сих пор нет четкого понимания наличия или отсутствия здесь месторождений «типа несогласия».

Помимо Биригиндино-Мюнюсяхского потенциального урановородного района, перспективами на обнаружение месторождений «типа несогласия» обладает так называемый куранахский «рифейский залив», локализованный в бассейне рек Куранах, Хаптыспыта, Мальджангарка, в южной части Билляхской ТФЗ. Здесь отдельные рудоносные структуры, представленные зонами бластокатаклизитов, тектонических брекчий, графитсодержащих высокоглиноземистых гнейсов, насыщенные радиоактивными аномалиями, в том числе урановой природы, с резким несогласием перекрыты красноцветными терригенными толщами раннего рифея как на южном, так на и северном флангах куранахского залива. В данном районе рифейские и раннепротерозойские породы, а также реголиты предрифейского возраста, претерпели интенсивные гидротермально-метасоматические преобразования с новообразованием зон гидрослюдистой березитизации и проявлениями вблизи зоны ССН вторичной урановой минерализации – уранофана.

Начало платформенного (венд-ранне-мезозойского) этапа развития щитов Сибирской платформы ознаменовалось накоплением

песчано-доломитовой битуминозной формации на северном фланге Алданского щита и по обрамлению Анабарского щита. Карбонатные, терригенно-карбонатные отложения этапа, составляющие низы разреза плитного комплекса платформы, с резким структурным несогласием перекрывают как позднерифейские отложения, так и глубоко метаморфизованные и ультраметаморфогенные образования позднего архея и раннего протерозоя и предвендские метаморфизованные коры выветривания. Осадочные отложения кембрия представлены карбонатными формациями, залегающими с размывом на различных отложениях рифея и венда.

Во временных рамках платформенного этапа развития щитов отчетливой радиогеохимической специализацией обладают битуминозные карбонатные и терригенно-карбонатные отложения куонамского горизонта кембрийского возраста (юго-восточный и восточный фланги Анабарского щита), и битуминозные карбонатные отложения Березовского прогиба на северо-восточном фланге Алданского щита. В пределах радиогеохимически специализированных осадочных отложений кембрийского возраста, развитых на флангах щитов Сибирской платформы, известны многочисленные проявления урановой минерализации, иногда с повышенным содержанием золота, вплоть до 2 г/т, заслуживающие постановки в узлах их локализации специализированных прогнозно-металлогенических исследований.

На этапе мезозойской тектоно-магматической активизации, наиболее масштабно проявившейся в пределах Алданского щита, формировались наложенные угленосные грабен-синклинальные структуры – Чульманская, Токкинская, Ытымджинская, Верхне-Гынская, Гонамо-Нуямская и др., горстовые поднятия – Эльконское, Соктокутское, Амгинское. Широко проявилась магматическая и гидротермально-метасоматическая деятельность [3; 4]. В пределах угленосных грабен-синклиналей нижние части разреза юрских отложений в объеме юхтинской свиты (конгломерат-песчаниковая формация) с резким угловым несогласием залегают на глубоко метаморфизованных породах докембрия и карбонатных отложениях венд-кембрийского, кембрийского возраста. Магматические образования этапа представлены фанолит-щелочно-сиенитовой (алданский комплекс) и гранит-лейкогранитовой (талгыгский, кет-капский, джугджурский комплексы) формациями, первая из которых характеризуется отчетливой радиогеохимической специализацией.

Гидротермально-метасоматические процессы этапа мезозойской ТМА Алданского щита проявились чрезвычайно широко и с высокой степенью проработки исходного субстрата. Вещественные производные этих процессов слагают два полных формационно-генетических ряда: формация фенитов → формация пропицитов → формация гумбеитов → формация цеолититов; формация кварц-плагиоклаз-ортоклазовых метасоматитов → формация пропицитов → формация

гумбеитов → формация березитов. В структурном отношении метасоматиты этих ФГР приурочены к длительно живущим тектоно-флюидитным зонам – Олёмко-Эвотинской, Ларба-Суннагинской, Олдонгсинской и др. Низкотемпературные члены ФГР – формации гумбеитов, цеолититов и березитов – широко проявлены и в зонах ССН предраннепротерозойского (Угуйская, Олдонгсинская грабен-синклинали, Улканский протовулканоген), предрифейского (Учуро-Майский прогиб, Улканский протовулканоген) и предраннеюрского (Чульманская, Ытымджинская, Токкинская и др. грабен-синклинали) возраста, а также в осадочных толщах, слагающих наложенные пострифейские прогибы. В связи с низкотемпературными гидротермально-метасоматическими процессами этапа на Алданском щите формировались разноранговые комплексные золото-урановые объекты, относимые к: 1) золото-урановорудной формации в гумбеитах и гумбеитизированных породах, с субформациями: а) в зонах долгоживущих региональных разрывных нарушений (месторождения Южное, Дружное, Курунг, Элькон, Дес-Дорожное и др.); б) в проницаемых угленосно-терригенных толщах мезозойских депрессий (месторождение Перевальное, р/п Голубичное, Северо-Западное и др.); в) в тектонизированных слабо метаморфизованных терригенных отложениях докембрийских депрессионных структур вблизи зоны предраннепротерозойского ССН (Угуйская грабен-синклиналь); г) в проницаемых слабометаморфизованных углеродсодержащих терригенных породах вблизи зоны предрифейского ССН (р/п Олдонгсо, Дюринг-Юрях и др.); д) в зонах дробления в мезозойских щелочных породах (месторождения Серединское, Иннокентьевское, Андреевское) [2]; 2) фосфор-урановорудной формации в цеолититах и цеолитизированных породах, рудные объекты которой (Хойумканское, Горбыляхское) имеют некоторые черты сходства с известными месторождениями Забайкалья – Горное и Березовое; 3) урановой в березитах и березитизированных породах; с субформациями: а) в зонах долгоживущих региональных разломов (р/п Холодниканское, Митинга); б) в тектонизированных терригенно-вулканогенных отложениях и вулканитах вблизи региональных зон ССН (р/п Элгэтэ, Топорикан и др.).

Металлогеническая значимость этапа мезозойской ТМА определяется крупными и уникальными по запасам месторождениями урана Эльконского урановорудного района с запасами более 340 тыс. т при среднем его содержании 0,147 % и многочисленными, не до конца опробованными, разноранговыми низкотемпературными урановыми и комплексными золото-урановыми объектами вышеуказанных формационных типов. В то же время интенсивная, масштабная проявленность рудоформирующих процессов этапа мезозойской ТМА в пределах зон древних ССН предраннепротерозойского, предрифейского и предвендского возраста позволяет надеяться на

обнаружение здесь нового для Алданского щита типа промышленного уранового и комплексного золото-уранового оруденения вблизи зон древних ССН, но имеющего мезозойский возраст руд. На правильность последнего утверждения указывает наличие такого оруденения в большинстве зон древних ССН щита (р/п Калибри, Бабочка, Гросс, Темное, Конкули, Угдан и др.), но не подвергнувшегося сколько-нибудь серьезной заверке буровыми работами. Однако, исходя из региональных предпосылок, качество и масштабы оруденения здесь могут быть близки к месторождениям «типа несогласия» урановорудной провинции Атабаска. К первоочередным в этом плане относятся зоны древних ССН предраннепротерозойского возраста Олдонгсинского, Угуйского, Улканского потенциально-урановорудных районов; предрифейского возраста – Улкано-Учурской потенциально-урановорудной области, включая и предрифейскую зону ССН на северном фланге Улканского вулканогена; предвендского возраста – Амгинской, Северо-Эльконской, Омнинской и Ытымджинской минерализованных площадей. Определенными промышленными перспективами обладает также Горбылях-Тимптонский потенциально-урановорудный район на предмет выявления здесь месторождений урановых и фосфор-урановых руд [6], близких по типу к месторождениям Горное и Березовое в Забайкалье [6; 9].

Палеозой-мезозойский этап активизации **Анабарского щита** и его ближайшего обрамления выразился в проявлении кимберлитового и карбонатитового магматизма. В 2001 г. в бассейне р. Хаптасыннах выявлена линейная зона мощностью до нескольких метров, представленная интенсивно гидротермально проработанными тектонитами. Новообразования в ней представлены водянoproзрачным адуляром и выделениями тонко рассеяного по массе породы гематита. Здесь же, в базальных кварцевых крупнозернистых песчаниках мукунской серии, отмечены ромбовидные по габитусу новообразованные кристаллы водянoproзрачного адуляра. По типу данные гидротермально-метасоматические новообразования чрезвычайно сходны с формацией гумбеитов Алданского щита, которая и в геохимическом и металлогеническом аспекте специализирована на золото, уран, молибден. В связи с чем выявленная зона в бассейне р. Хаптасыннах требует серьезного опoискования на предмет ее ураноносности.

В юго-восточной части щита в пределах Билляхской ТФЗ известен Мальджангарский карбонатитовый массив с радиологическим возрастом  $167 \pm 4$  млн лет, с которым генетически связана уран-торий-редкоземельно-редкометалльная минерализация, отнесенная к ураноносной торий-редкоземельно-редкометалльной формации [10]. На западном фланге щита в поле развития терригенных отложений плитного комплекса рифея-кембрия известны массивы щелочно-ультраосновных пород с карбонатитами (Одихинча,

Ессей, Кугда, Сона и др.), в генетической связи с которыми известны рудопроявления комплексной уран-торий-редкоземельно-редкометалльной минерализации в карбонатитах. Рудные минералы представлены перовскитом, кнопитом, пироклором, дизаналитом, колумбитом, бадделейтом, цирконом, торитом и пиритом. Содержание урана в рудах составляет 0,007–0,03 %, в единичных случаях до 0,165 % (карбонатиты массива Ессей), тория – 0,08 %. Содержание суммы редкоземельных элементов достигает 7,5 %, ниобия 0,3 % (массивы Одихинча, Кугда), тантала до 0,1 %.

Металлогеническая значимость кайнозойского этапа развития **Алданского и Анабарского щитов** определяется формированием россыпных скоплений золота, платиноидов, монацита, а для Анабарского щита – и алмазов.

**Заключение.** Заканчивая рассмотрение особенностей металлогении урана древних щитов Северо-Американской и Сибирской платформ на фоне их историко-геологического развития, следует подчеркнуть, что устанавливаются общие черты их металлогенического по урану развития в докембрии, сходные тектонические режимы, смена которых во времени обуславливала возникновение месторождений урана близких по типу урановорудных формаций. В то же время в пределах Канадского щита известны уникальные по запасам и качеству руд месторождения новых для щитов Сибирской платформы промышленных типов, прежде всего, «типа несогласия». Их прогноз для Сибирской платформы является актуальнейшей задачей.

Изложенные материалы по металлогении урана Алданского и Анабарского щитов, их металлогеническому по урану районированию позволяют оценить урановорудный потенциал этих структур земной коры Сибирской платформы весьма высоко. Причем в пределах обоих щитов имеются перспективы обнаружения не только традиционных для них типов уранового оруденения (эльконский, торгойский и др.), но и месторождений «типа несогласия», характеризующихся в регионах-прототипах высококачественными комплексными (U, Ni, Co и др.) рудами с уникальными по масштабам запасами урана.

В пределах *Алданского щита* прямыми признаками вероятной промышленной ураноносности характеризуются зоны древних ССН предраннепротерозойского, предрифейского и предвендского возраста, к каждой из которых приурочены разноранговые урановорудные и комплексные золото-урановорудные объекты. В вещественном выражении зоны ССН предраннепротерозойского и предрифейского возраста трассируются древними метаморфизованными корами выветривания. Выявление здесь полных аналогов месторождений «типа несогласия» регионов-прототипов осложняется масштабным развитием процессов мезозойской ТМА, имевших место, соответственно, уже после формирования зон древних ССН. В связи с чем в пределах данных

зон ССН следует ожидать не только аналогов месторождений «типа несогласия», известных в урановорудной провинции Атабаска, но и, прежде всего, молодых (мезозойских) урановых, золото-урановых месторождений в древних зонах структурно-стратиграфических несогласий. Причем качество руд, их контрастность и масштабы этого нового для щита промышленно-генетического типа могут оказаться вполне сопоставимыми с месторождениями провинции Атабаска.

*Анабарский щит* обладает высокими перспективами обнаружения классических месторождений «типа несогласия». Здесь намечены две региональные зоны структурно-стратиграфических несогласий – предраннерифейского и предвендского возрастов, трассируемые древними метаморфизованными корами выветривания и интенсивными низкотемпературными гидротермально-метасоматическими новообразованиями уровня аргиллизитов, березитов и гумбеитов. Наиболее важными в прогнозном отношении являются участки зон структурно-стратиграфических несогласий, картируемые над региональными тектоно-флюидитными зонами древнего заложения, перекрытыми терригенными красноцветными осадочными породами рифея – Маганской, Котуйкан-Монхоолинской, Биляхской, Харапской и Ламуйской. Причем уже в настоящее время в зоне предрифейского ССН Анабарского щита локализованы два потенциально урановорудных района с оруденением, относимым, по мнению автора, к «типу несогласия»: Турунг-Тугуттурский на северо-западе щита и Биригиндино-Мюнюсяхский на юго-востоке щита, характеризующиеся существенными авторскими ресурсами урана категории  $P_3$  (10 тыс. т) и  $P_2$  (15 тыс. т). Кроме того, значительными перспективами на выявление объектов «типа несогласия» обладает Куранахский «рифейский залив», красноцветные терригенные толщи которого в бассейнах рек Куранах, Мальджангарка и Хаптаспыта с резким ССН перекрывают динамометаморфические и графитсодержащие высокоглиноземистые кристаллосланцы, слагающие Биляхскую ТФЗ.

Таким образом, постановка региональных прогнозно-металлогенических работ на уран в пределах обозначенных зон древних структурно-стратиграфических несогласий Алданского и Анабарского щитов может привести к существенному увеличению МСБ урана Российской Федерации за счет выявления крупных по запасам месторождений с высококачественными, контрастными рудами.

1. Государственная Геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Анабаро-Виллюйская. Лист R-49 – Оленек. Объяснительная записка / Н. И. Гусев, М. Г. Пушкин, А. А. Круглова, Л. Ю. Сергеева и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2016. – 296 с.

2. Государственная Геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Се-

рия Алдано-Забайкальская. Лист O-50 – Бодайбо. Объяснительная записка / Л. Б. Макарьев, Г. Л. Митрофанов, Н. И. Митрофанова, В. М. Пай и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. – 612 с.

3. Государственная Геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист O-51 – Алдан. Объяснительная записка / А. В. Радьков, А. В. Молчанов, Д. С. Артемьев, Е. В. Беленко и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2015. – 365 с.

4. Государственная Геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист O-52 – Томмот. Объяснительная записка / А. В. Радьков, А. В. Молчанов, А. В. Терехов, Е. В. Беленко и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2016. – 267 с.

5. Машковцев Г. А. и др. Уран Российских недр / Г. А. Машковцев, А. К. Константинов, А. К. Мигута, М. В. Шумилин, В. Н. Шеточкин. – М.: ВИМС, 2010. – 850 с.

6. Молчанов А. В. Фосфор-урановая формация в цеолититах и цеолитизированных породах Алданского щита // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. – Вып. 134. – М., 1992. – С. 105–108.

7. Молчанов А. В. Металлогения урана щитов Сибирской платформы. // Региональная геология и металлогения. – 2001. – № 13–14. – С. 118–137.

8. Молчанов А. В., Толстов А. В., Ефимов С. А. Металлогения урана древних щитов. Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века // Материалы региональной научно-практической конференции «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-методическое обеспечение их решений, посвященной 35-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». – Воронеж, 2003. – С. 666–675.

9. Молчанов А. В. Металлогения урана Алданского и Анабарского щитов: Автореф. дисс. ... докт. геол.-минерал. наук. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. – 42 с.

10. Молчанов А. В. и др. Рудоносность Мальджангарского карбонатитового массива / А. В. Молчанов, Д. К. Ходжаев, Н. Е. Морозова, И. В. Рубаков, А. С. Ивановский // Региональная геология и металлогения. – 2007. – № 32. – С. 103–107.

11. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 г.: Государственный доклад / Под ред. Е. И. Петрова, Д. Д. Тетенькина. – М., 2021. – 568 с.

12. Тарханов А. В., Бугриева Е. Крупнейшие урановые месторождения мира / Под ред. Г. А. Машковцева. – М.: ВИМС, 2012. – 204 с.

13. Uranium exploration in Athabasca basin/ Eds.: E. M. Cameron. – Saskatchewan, Canada, 1983. – 310 p.

14. Jefferson C. W. et al. Unconformity-associated uranium deposits of the Athabasca Basin, Saskatchewan and Alberta / C. W. Jefferson, D. J. Thomas, S. S. Gandhi, P. Ramaekers, G. Delaney, D. Brisbin, C. Cutts, P. Portella, R. A. Olson // EXTECH IV: Geology and Uranium Exploration TECHNOLOGY of the Proterozoic Athabasca Basin, Saskatchewan and Alberta. – 2007. – P. 23–68.

1. Gosudarstvennaya Geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'ye pokolenie). Seriya Anabaro-Vilyuyskaya. List R-49 – Olenek. Ob"yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3<sup>rd</sup> Generation). Anabaro-Vilyuyskaya series. Sheet R-49 – Olenek. Explanatory Notes]. Eds.: N. I. Gusev, M. G. Pushkin, A. A. Kruglova, L. Yu. Sergeeva et al. St. Petersburg, VSEGEI, 2016, 296 p.

2. Gosudarstvennaya Geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'ye pokolenie). Seriya Aldano-Zabaykal'skaya. List O-50 – Bodaybo. Ob"yasnitel'naya

- zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3<sup>rd</sup> Generation). Aldano-Zabaykal'skaya series. List O-50 – Bodaybo. Explanatory Notes]. Eds.: L. B. Makar'ev, G. L. Mitrofanov, N. I. Mitrofanova, V. M. Pay et al. St. Petersburg, VSEGEI, 2010, 612 p.
3. Gosudarstvennaya Geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Aldano-Zabaykal'skaya. List O-51 – Aldan. Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3<sup>rd</sup> Generation). Aldano-Zabaykal'skaya series. Sheet O-51 – Aldan. Explanatory Notes]. Eds.: A. V. Rad'kov, A. V. Molchanov, D. S. Artem'ev, E. V. Belenko et al. St. Petersburg, VSEGEI, 2015, 365 p.
4. Gosudarstvennaya Geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Aldano-Zabaykal'skaya. List O-52 – Tommot. Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3<sup>rd</sup> Generation). Aldano-Zabaykal'skaya series. Sheet O-52-Tommot. Explanatory Notes]. Eds.: A. V. Rad'kov, A. V. Molchanov, A. V. Terekhov, E. V. Belenko et al. St. Petersburg, VSEGEI, 2016, 267 p.
5. Mashkovtsev G. A., Konstantinov A. K., Miguta A. K., Shumilin M. V., Shchetochkin V. N. Uran Rossiyskikh nedr. Moscow, VIMS, 2010, 850 p.
6. Molchanov A. V. Fosfor-uranovaya formatsiya v tseolitizirovannykh porodakh Aldanskogo shchita. *Materialy po geologii mestorozhdeniy urana, redkikh i redkozemel'nykh metallov*. Moscow, 1992, vol. 134, pp. 105–108. (In Russian).
7. Molchanov A. V. Metallogeniya urana shchitov Sibirskoy platformy. *Regional Geology and Metallogeny*. 2001, no. 13–14, pp. 118–137. (In Russian).
8. Molchanov A. V., Tolstov A. V., Efimov S. A. Metallogeniya urana drevnikh shchitov. Problemy prognozirovaniya, poiskov i izucheniya mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh na poroge XXI veka. Materialy regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy geologicheskoy otrasli AK «ALROSA» i nauchno-metodicheskoe obespechenie ikh resheniy, posvyashchennoy 35-letiyu YaNIGP TsNIGRI AK «ALROSA». Voronezh, 2003, pp. 666–675.
9. Molchanov A. V. Metallogeniya urana Aldanskogo i Anabarskogo shchitov. Avtoref. diss. dokt. geol.-mineral. nauk. [Metallogeny of uranium of the Aldan and Anabar shields. Dr. Sc. (Geol. Mineral.) Thesis]. St. Petersburg, VSEGEI, 2004, 42 p.
10. Molchanov A. V., Khodzhaev D. K., Morozova N. E., Rubakov I. V., Ivanovskiy A. S. Rudonosnost' Mal'dzhangarskogo karbonatitovogo massiva. *Regional Geology and Metallogeny*. 2007, no. 32, pp. 103–107. (In Russian).
11. O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2020 g.: Gosudarstvennyy doklad. / Eds.: E. I. Petrov, D. D. Teten'kin. Moscow, 2021, 568 p.
12. Tarkhanov A. V., Bugrieva E. Krupneyshie uranovye mestorozhdeniya mira. Eds. G. A. Mashkovtsev. Moscow, VIMS, 2012, 204 p.
13. Uranium exploration in Athabasca basin. Eds.: Eion M. Cameron. Saskatchewan, Canada, 310 p.
14. Jefferson C. W., Thomas D. J., Gandhi S. S., Ramaekers P., Delaney G., Brisbin D., Cutts C., Portella P., Olson R. A. Unconformity-associated uranium deposits of the Athabasca Basin, Saskatchewan and Alberta. EXTECH IV: Geology and Uranium Exploration TECHNOLOGY of the Proterozoic Athabasca Basin, Saskatchewan and Alberta. 2007, pp. 23–68.

---

*Молчанов Анатолий Васильевич* – доктор геол.-минерал. наук, зав. отделом, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, Россия, 199106. <anatoly\_molchanov@vsegei.ru>

*Molchanov Anatoly Vasilievich* – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Department, A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny prospect, St. Petersburg, Russia, 199106. <anatoly\_molchanov@vsegei.ru>