



## ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЫСОКОРЕНТАБЕЛЬНЫХ УРАНОВЫХ И КОМПЛЕКСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ «ТИПА НЕСОГЛАСИЯ» НА АНАБАРСКОМ ЩИТЕ

**А.В.Молчанов (ВСЕГЕИ Роснедра МПР России), С.Г.Коваль, Д.К.Ходжаев  
(Акционерная компания «АПРОСА»), Ф.Д.Лазарев (Норильский филиал  
ФГУП «ВСЕГЕИ»)**

В настоящее время уран является одним из важнейших энергоносителей. Рост энергопроизводства, необходимый для экономического развития России, в ближайшие десятилетия будет обеспечиваться главным образом за счет атомной энергетики, что обусловлено чрезвычайной растянутостью транспортных коммуникаций страны и удаленностью источников энергии от центров энергопотребления [1]. После распада СССР главные добычные урановорудные провинции и районы остались за пределами Российской Федерации, что привело к резкому сокращению минерально-сырьевой базы урана. В настоящее время она определяется давно эксплуатируемыми месторождениями Стрельцовского урановорудного района в Забайкалье и запасами нескольких резервных месторождений с рудами относительно низкого качества.

Стратегическая задача урановой геологии заключается в существенном расширении и улучшении экономической структуры минерально-сырьевой базы урана России, что позволит обеспечить растущие потребности атомной энергетики на среднесрочную и более отдаленную перспективы [1, 16]. Данная задача может быть решена путем выявления на территории страны высококоррентабельных урановых месторождений и создания на их основе новых рудников. Наиболее привлекательным типом урановых месторождений в рассматриваемом аспекте являются месторождения «типа несогласия». К ним относятся рудные объекты, располагающиеся вблизи поверхности структурно-стратиграфического несогласия (СН) между архейско-раннепротерозойским кристаллическим основанием древних платформ

и перекрывающими его рифейскими слабодислоцированными и слабометаморфизованными континентальными толщами. Месторождения подобного типа известны на Канадском щите. Они характеризуются крупными запасами урана, высоким качеством и комплексностью руд. Формирование таких месторождений имеет длительную геологическую историю с многоэтапным, многоступенчатым характером перераспределения рудного вещества в ходе различных петрогенетических процессов, проявившихся как на дорифейских, так и пострифейских геотектонических этапах развития урановорудных регионов, с многократной его мобилизацией из окружающих пород и последующей концентрацией урана на более высоком (промышленно значимом) уровне.

В этом аспекте урановорудный потенциал Анабарского щита [8–12] заслуживает самого тщательного изучения и промышленной оценки. Главное внимание при этом должно уделяться прогнозированию и поискам высококоррентабельных типов урановых и комплексных месторождений вблизи зон региональных структурно-стратиграфических несогласий предрифейского и предвендского возрастов.

Рассмотрим некоторые вопросы металлогении урана Канадского щита. Пространственное распределение докембрийских комплексов, степень их метаморфизма, дислоцированности и возраст дислокаций позволили канадским геологам выделить в его пределах ряд геоструктурных мегаблоков, различающихся по металлогеническим особенностям. Урановые месторождения «типа несогласия» выявлены в пределах блока Черчилл, претерпевшего на различных этапах развития неоднократное воздей-

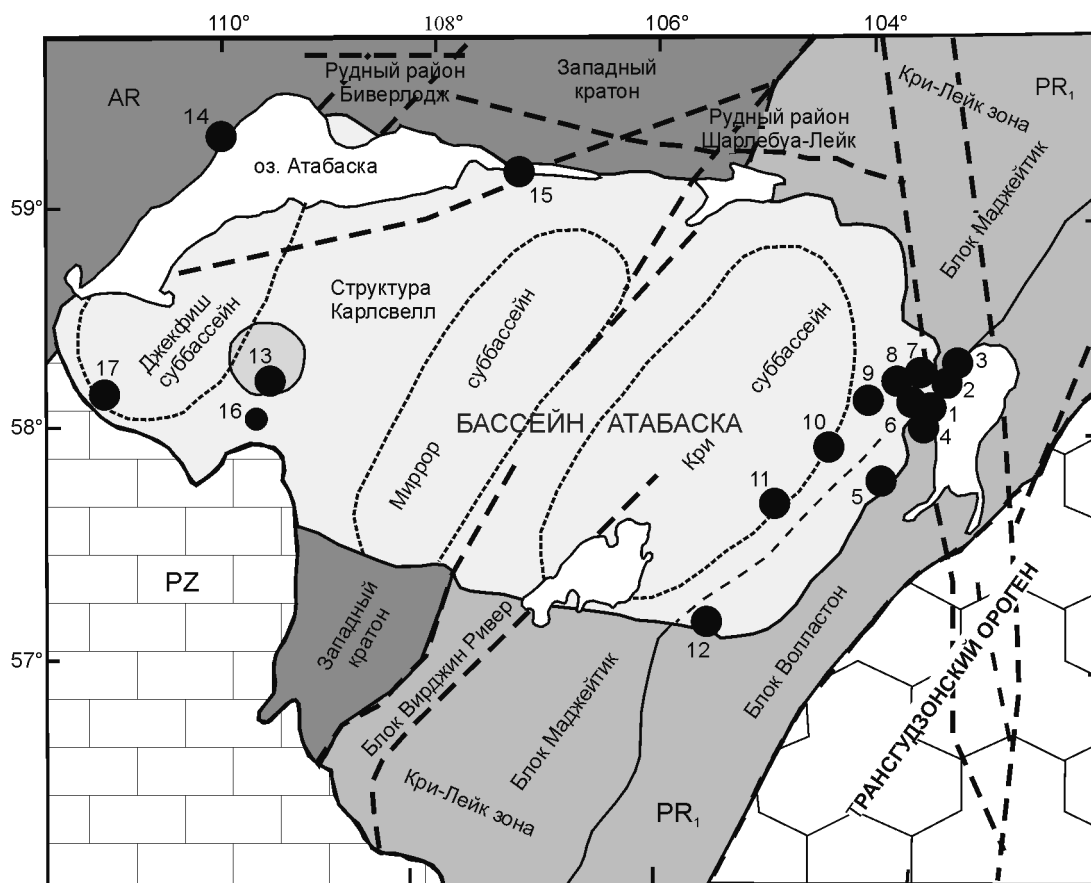


Рис. 1. Положение урановых месторождений «типа несогласия» в бассейне Атабаска, по Ruzicka, 1993 с дополнениями:

месторождения: 1 — Рабит-Лейк, 2 — Коллинз Бей, 3 — Игл Пойнт, 4 — Хорсеш, Равен, 5 — Вест Беа, 6 — Мак-Клин, 7 — Джеб, 8 — Даун-Лейк, 9 — Мид Вест, 10 — Сигар-Лейк, 11 — Мак-Аргур, 12 — Ки-Лейк, 13 — Клаф, 14 — Мариус Бей, 15 — Фон дю Лак; рудопроявления: 16 — Шиа-Крик, 17 — Мейбили-Ривер

ствие активизационных процессов и характеризующегося повышенными содержаниями радиоактивных элементов в слагающих его геологических формациях. Наиболее значимые месторождения урана обнаружены в осадочном бассейне Атабаска, входящем в состав одноименной урановорудной провинции.

Центральную часть *урановорудной провинции Атабаска* (запасы U 500 тыс. т) слагает подвижный пояс Кри-Лейк (PR<sub>1</sub>), средние и верхние части разреза которого насыщены графитоносными и графитосодержащими гнейсами, кристаллическими сланцами и динамометаморфическими образованиями — катаклазитами, милонитами, их бластовыми разностями (рис. 1). Широко развиты ультраметаморфогенные и палингенно-метасоматические гранитоиды, датруемые 1765±30 млн. лет [14], и генетически с ними связанные высокотемпературные кремнещелочные метасоматиты. Северо-западнее

подвижного пояса Кри-Лейк в строении провинции (Западный кратон) участвуют породы группы Тейзин (AR<sub>1</sub>) — различные пара-, ортогнейсы и кварциты, инъецированные гранитоидами (2613±93 млн. лет) и прорванные реоморфическими гранитами раннего протерозоя. Наиболее молодые терригенно-осадочные отложения региона — породы групп Мартин и Атабаска с радиологическим возрастом 1635±180 и 1500 млн. лет соответственно.

Вещественные составляющие группы Мартин сохранились в северо-западной части провинции, в районе Биверлодж, где слагают узкие приразломные грабен-синклинали и представлены гравелитами, конгломератами, песчаниками, алевролитами и аргиллитами. В составе формации имеются субсогласные тела вулканитов средне-основного состава с возрастом 1630 млн. лет. Породы группы Атабаска (формации Мэнитоу-Фолс, Фэ-Пойнт и др.) слагают обширную наложенную впадину и с резким уг-

ловым несогласием залегают на сложноскладчатом архейском (группа Тейзин), раннепротерозойском (пояс Кри-Лейк) фундаменте и метаморфизованных корях выветривания. Базальные части разреза (формация Мэнитоу-Фолс) представлены горизонтом кварцево-галечных конгломератов и гравелито-конгломератов, проницаемость которого на один-два порядка выше [14] окружающих терригенно-осадочных толщ.

В структурном плане терригенные образования группы Атабаска характеризуются спокойным, практически горизонтальным залеганием и отсутствием значимых метаморфических преобразований. Мощность отложений составляет 1500 м. Начальная мощность терригенных толщ бассейна Атабаска оценивается канадскими и французскими исследователями в 5,5 км [18].

Наиболее молодые магматогенные образования провинции, датируемые 1230–950 млн. лет [4], — дайки диабазов, структурно тяготеющие к разрывным нарушениям северо-западного простирания и картируемые как в терригенных отложениях группы Атабаска, так и в древнем складчатом основании.

Среди эпигенетических новообразований провинции выделяются древние (предрифейские) метаморфизованные коры выветривания — реголиты и гидротермально-метасоматические, входящие в состав кварц-плагиоклаз-ортоклазовой, кварц-альбит-микроклиновой, эйситовой, березитовой и аргиллизитовой формаций.

Геологические образования (осадочные, метаморфические, магматогенные, гидротермально-метасоматические), слагающие фундамент впадины Атабаска, имеют радиогеохимическую специализацию, что особенно характерно для пояса Кри-Лейк, на площади перекрытия которого терригенными толщами рифейского возраста и выявлены наиболее значимые по запасам и качеству руд месторождения «типа несогласия» — Мак-Артур, Сигар-Лейк, Ки-Лейк и др. (см. рис. 1).

Металлогенический облик провинции Атабаска определяют разноранговые урановорудные объекты, наиболее древние из которых известны в районе Шарлебуа-Лейк. В пределах последнего широко развиты ураноносные высокотемпературные кварц-полевошпатовые метасоматиты с точечно-гнездовым характером распределения торий-урановых и урансодержащих минералов — уранинита, торита, цирколита, сфена и монацита (порфировый тип оруденения). Радиологический возраст руд района варьирует от 1910 до 1780 млн. лет. Западнее района Шарлебуа-Лейк находится рудный район Биверлудж, в пределах которого выявлено большое количество урановых месторождений —

Гуннар, Эйс, Фэй, Верна, Ураниум-Сити, Мартин-Лейк и др., генетически связанных с нижнепротерозойскими гидротермально-метасоматическими образованиями формации эйситов. Рудные тела месторождений в структурном плане тяготеют к мощным зонам милонитизации, катаклаза и брекчирования. Характер проявления урановой минерализации прожилково-сетчатый. Основной рудный минерал — настуран, реже встречаются браннерит и другие уранотитанаты. Отмечается ураносодержащее углеродистое вещество. Отдельные рудные тела месторождений располагаются вблизи зоны структурно-стратиграфического несогласия предраннепротерозойского возраста (месторождение Мартин-Лейк). Запасы конкретных рудных тел месторождений варьируют от нескольких тонн до сотен тонн урана, при среднем его содержании в рудах 0,2–0,4% [19].

Возраст руд и околорудных гидротермально-метасоматических ореолов района изучен свинцово-изотопным методом [2, 3, 13]. Многочисленные датировки урановых руд группируются в несколько возрастных интервалов: 1900–1780, 1450–1400, 1300–1200, 1100–880, 350–230 млн. лет, что указывает на полихронный характер оруденения, хотя главные руды связаны с этапом гудзонской орогении.

В постатабасское время, когда провинция приобрела черты радиогеохимической, а также наметилась ее урановорудная специализация, формировались крупные и уникальные по запасам урана (до 200 тыс. т) месторождения с ультрабогатыми (до десятков процентов) комплексными (с Ni, Co, V и др.) рудами. В структурно-тектоническом отношении они тяготеют к зоне предрифейского структурно-стратиграфического несогласия. Мак-Артур, Ки-Лейк, Сигар-Лейк, Мидуэст-Лейк, Рабит-Лейк, Кри-Лейк и др. получили в литературе название месторождений «типа несогласия».

Характерные черты этих месторождений следующие:

отчетливый структурный контроль зоной предрифейского ССН в совокупности с субвертикальными долгоживущими разрывными нарушениями, развитыми в афебийских толщах. Участки дизъюнктивов, прослеженные в породах доатабасского фундамента, как правило, трассируются зонами порфиروبластеза и графитизации. Отмечается унаследованность разрывных структур фундамента в породах платформенного чехла. Чрезвычайно важным обстоятельством является то, что зона ССН отделяет глубокометаморфизованные (амфиболитовая фация), сложнодислоцированные «жесткие» блоки дорифейского фундамента, изобилую-

шие разноранговыми разрывными нарушениями сколового характера, от неметаморфизованных или слабометаморфизованных, пологозалегающих, относительно пластичных терригенных отложений, базальные горизонты которых характеризуются повышенной проницаемостью;

сопровождение всех месторождений зональными ореолами метасоматически измененных пород, симметрично располагающихся над рудными телами и распространяющихся в вышележащие терригенные толщи на сотни метров. Зона структурно-стратиграфического несогласия трассируется пре-дотабасской метаморфизованной корой выветривания — реголитом;

полихронный характер оруденения; радиологические данные показывают, однако, что большая часть руды месторождений образована в интервале 1330–1360 млн. лет. На месторождении Мак-Артур возраст урановой минерализации определен в  $1521 \pm 8$  млн. лет с периодами омоложения рудного вещества в 1070, 550 и 225 млн. лет. Высокосортные уранинитовые руды в глинах из месторождения Коллинз Бэй имеют U-Pb возраст 1484 и 1480 млн. лет, в то время как сажистый настуран в песчаниках только 85 млн. лет;

различные представления об источниках урана для месторождений «типа несогласия». По нашему мнению, наиболее убедительны аргументы исследователей, рассматривающих в качестве источника радиогеохимически специализированные геологические образования (метаморфиты, ультраметаморфиты, метасоматиты, коры выветривания, рудные тела более ранних металлогенических эпох) доатабасского фундамента. Температура образования рудных тел месторождений составляла 130–150°C и более;

для богатых комплексных руд характерны высокая контрастность геохимических барьеров, проницаемость рудоподводящих каналов и зон ССН; формирование зоны дезинтеграции пород чехла и фронта кислотного выщелачивания, которые проявляются на поверхности в зонах электронной и ионной проводимости, градиентного магнитного поля, минимума остаточных аномалий поля Dg, аномальных линейно вытянутых зонах повышенных концентраций урана и его спутников. В породах фундамента участкам развития наиболее контрастного оруденения соответствуют значительная поляризуемость (до 30% и более), повышенная концентрация органического углерода и CO<sub>2</sub> (до 0,68 и 23% соответственно), высокая концентрация графита (до 45%). Отмечаются зона «выгорания» графита вдоль тектонических нарушений и линейных кор выветривания, высокая проницаемость продуктив-

ного горизонта в целом (до 13%), но пониженная в области формирования оруденения (до 5,7%).

Наиболее крупные промышленно значимые урановые месторождения в провинции Атабаска тяготеют к основанию крупных депрессионных структур и системам долгоживущих протяженных разломов глубокого заложения, узлам их пересечения, прослеживаемым в блоках, претерпевших масштабное воздействие разновозрастных ультраметаморфогенно-магматогенных и гидротермально-метасоматических процессов. Известные в литературе определения возраста урановорудных объектов, а также этапность их формирования позволяют говорить о длительном возрастном интервале последовательного преобразования на Канадском щите урановорудной системы: от архея – раннего протерозоя, включая практически весь фанерозой.

Урановорудные районы Канады в период 1900–1100 млн. лет характеризовались многократными проявлениями магматогенной и гидротермально-метасоматической деятельности, образованием наложенных впадин, неоднократными глыбовыми перестройками, разделенными эпохами формирования кор выветривания. Создавались благоприятные условия для масштабной миграции урана, его дифференциации как в эндогенных, так и гипергенных процессах и, как следствие, для образования значительных концентраций урановых руд, в том числе и месторождений «типа несогласия».

**Анабарский щит** представляет собой крупную потенциально рудную комплексную провинцию, слабо изученную к настоящему времени. Он давно привлекает внимание как геологическая структура длительного развития и гетерогенного строения с неоднократным проявлением этапов тектонической активизации.

В зависимости от структурно-пространственного распределения разновозрастных геологических образований, степени их метаморфизма, дислоцированности и масштабности проявления ультраметаморфических процессов в пределах щита выделены три мегаблока: Маганский тоналит-грондземито-гнейсовый, Далдынский эндербито-гнейсовый и Хапчанский гранулит-парагнейсовый [14]. Межблоковые структуры представлены региональными долгоживущими тектонофлюидитными зонами глубокого заложения — Котуйкан-Монхоолинской и Билляхской, к внутриблоковым относятся Маганская, Ламуйкская, Северо-, Южно-Анабарские, Харапская и Салтахская (рис. 2). Блоковое строение щита подчеркивается также характером гравиметрического поля (рис. 3) и его металлогеническими особенностями [12].

В истории геологического развития Анабарско-

го щита выделяются протократонный ( $AR_1$ ,  $AR_2$ ), троговый ( $AR_2-PR_1$ ), тектономагматической активизации ( $PR_1$ ,  $MZ$ ) и платформенный (начиная с рифея) этапы, вещественно зафиксированные в соответствующих структурно-формационных комплексах (СФК).

На *протократонном (раннеархейском) этапе* развития Анабарского щита в пределах Далдынского блока шло накопление вулканогенных образований, составляющих разрез далдынской и низов верхнеанабарской серий, претерпевших в интервале 3,15–3,30 млрд. лет метаморфические преобразования гранулитовой фации [14]. Температурные условия соответствовали 820–950°C при давлении 8–11 кбар. В радиогеохимическом отношении геологические образования раннеархейского возраста не специализированы и характеризуются содержаниями урана и тория ниже кларка. Проявления радиоактивной минерализации раннеархейского возраста в пределах щита не установлены.

На *протократонном (позднеархейском) этапе* в Маганском блоке накапливались вулканогенные и терригенно-вулканогенные отложения (пироксеновые гнейсы, двупироксеновые плагиогнейсы и кристаллосланцы), в Хапчанском блоке — терригенные и карбонатно-терригенные с явным преобладанием высокоглиноземистых, известково-силикатных и карбонатных пород (биотит-гранатовые гнейсы и плагиогнейсы, гранат-кордиеритовые и гранат-силлиманит-кордиеритовые, диопсид-скаполитовые и диопсидовые гнейсы, мраморы и кальцифиры; характерно почти постоянное присутствие в составе гранатсодержащих пород графита).

Уровень метаморфизма позднеархейских пород соответствует гранулитовой фации. Условия температуры и давления при метаморфизме оцениваются в 780–850°C и 7–8,5 кбар. В пределах Хапчанского блока давление при метаморфизме поддерживалось на уровне 5,5–7,5 кбар, а температура — 750–820°C [14].

Магматогенно-ультраметаморфогенные образования представлены метаультрабазами далдынского комплекса, гранитоидами анабарского и маганского комплексов. Степень площадной гранитизации Анабарского щита уменьшается в направлении с запада (Маганский блок) на восток (Далдынский, Хапчанский блоки), что фиксируется, в частности, характером гравитационного поля щита (см. рис. 3). Эндербиты Далдынского мегаблока датированы по U-Pb конкордии цирконов в  $3,2 \pm 0,32$  млрд. лет [17].

На фоне развития ультраметаморфогенных процессов шло становление генетически связанных с ними высокотемпературных кварц-плагиок-

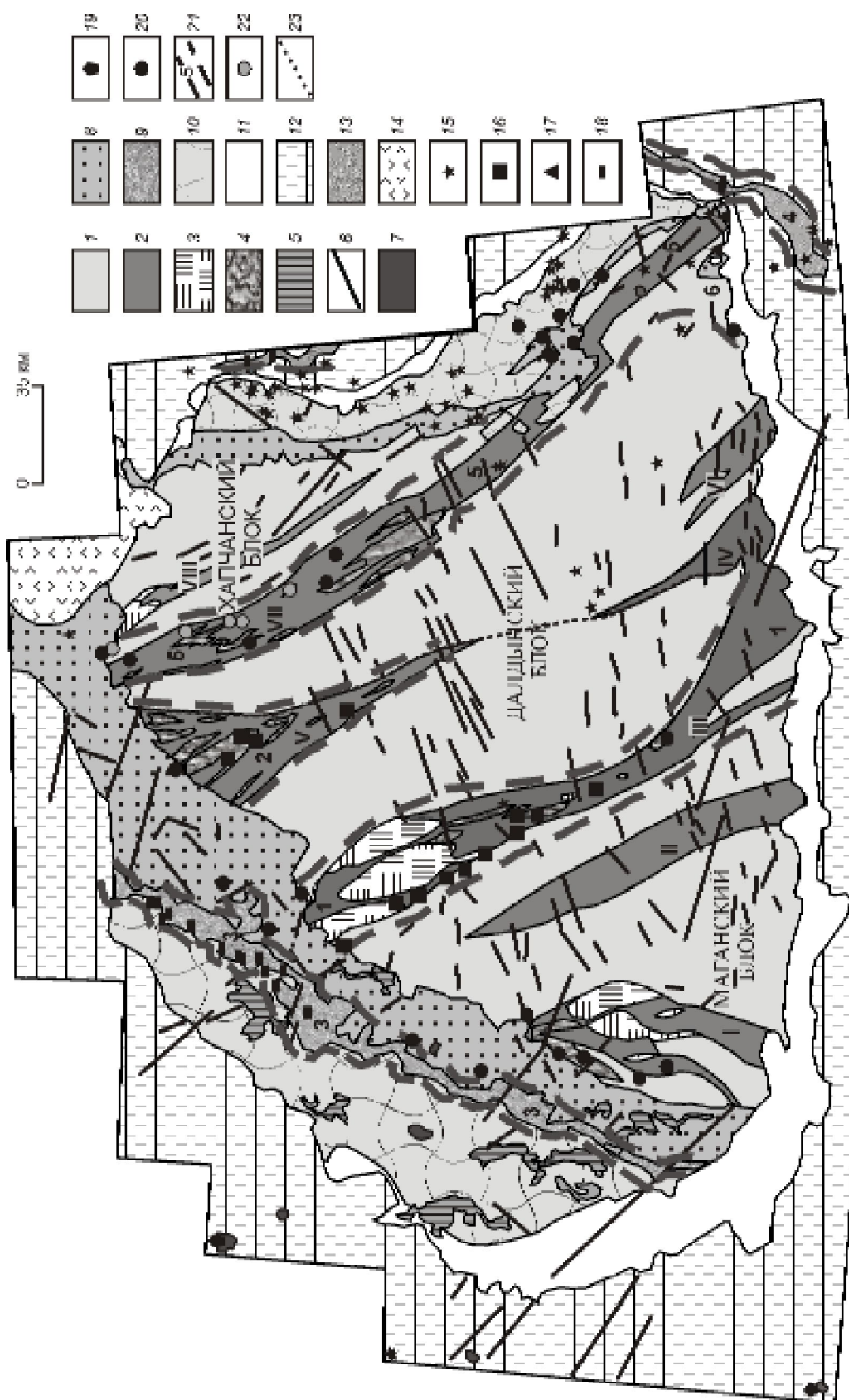
лаз-ортоклазовых метасоматитов, также широко развитых в пределах наиболее гранитизированного Маганского блока.

Отложения протократонного (позднеархейского) этапа развития характеризуются низкими содержаниями радиоактивных элементов при высоком торий-урановом отношении ( $>10$ ). Наибольшими содержаниями урана и тория обладают высокоглиноземистые гнейсы и их графитсодержащие разновидности [5, 13] Хапчанского блока — U 0,6 и  $2,9 \cdot 10^{-4}\%$ , Th 9,6 и  $13,0 \cdot 10^{-4}\%$ , Th/U=6,0 и 4,5 соответственно. В метакarbonатных породах с увеличением алюмосиликатной примеси последовательно возрастают содержания тория и калия в направлении от мраморов к диопсид(скаполит)-плагиоклазовым кристаллосланцам. Среднее содержание U в этих образованиях варьирует от 1,2 до  $2,8 \cdot 10^{-4}\%$ , а Th от 2,9 до  $12,0 \cdot 10^{-4}\%$  при Th/U 2,4–5,4. Минимальные содержания тория характерны для наиболее чистых carbonатных пород.

Повышенными содержаниями радиоактивных элементов отличаются высокотемпературные кварц-плагиоклаз-ортоклазовые метасоматиты, являющиеся производными ультраметаморфических процессов, с которыми в пределах Маганского блока ассоциируют проявления ториевой минерализации ураноносной торий-редкоземельной формации в кварц-плагиоклаз-ортоклазовых метасоматитах. Основным носителем повышенных концентраций радиоактивных и редкоземельных элементов служит монацит, распределенный в породе достаточно равномерно, реже — циркон, ортит, торит, ксенотим, апатит. Содержание U в рудных объектах достигает 0,01%, Th — от 0,07 до 1,5–3,5%, редкоземельных элементов (Ce, Y, Zr, La) — до 1%. В ряде случаев суммарное содержание Zr и La составляет 10%.

На рубеже позднего архея – раннего протерозоя на Анабарском щите проявился *тропо́вый этап* развития. В его временных рамках происходило заложение и развитие региональных тектонофлюидитных зон — Котуйкан-Монхоолинской, Билляхской, Ламуйкской, Харапской, Салтахской, Маганской, Северо-, Южно-Анабарской, в строении которых широко распространены метаморфиты верхне-ламу́йского комплекса, разновозрастные магматические, гидротермально-метасоматические и динамометаморфические образования. При формировании комплекса отмечается определенная роль [7] ареального диафтореза в условиях амфиболитовой фации по гранулитам архейского возраста.

Современный уровень эрозийного среза обнажает достаточно глубокие горизонты тектонофлюидитных зон, соответствующие параметрам амфиболитовой фации. Радиогеохимическая специализа-



ция метаморфитов собственно трогового СФК практически не проявлена или проявлена крайне слабо. Наиболее высокие содержания по отношению к другим метаморфитам комплекса свойственны биотит-амфиболовым гнейсам ( $U\ 0,8-0,9\cdot 10^{-4}\%$ ,  $Th\ 9,1-15,8\cdot 10^{-4}\%$ ,  $Th/U=12,1-19,1$ ). Однако производные процессов динамотермального метаморфизма — катаклазиты, милониты и их бластовые разности — характеризуются отчетливой специализацией на радиоактивные элементы, но, по-видимому, это обусловлено наложением более поздних активизационных процессов раннепротерозойского возраста.

В пространственном отношении к метаморфитам трогового комплекса тяготеют проявления высокотемпературной радиоактивно-редкоземельной минерализации и золота, имеющие явно наложенный характер.

На *этапе раннепротерозойской тектономагматической активизации* счита наиболее широко проявились магматические, динамометаморфические и гидротермально-метасоматические процессы. Максимальная степень проработки субстрата фиксируется в пределах межблоковых региональных тектонофлюидитных зон — Котуйкан-Монхоолинской и Билляхской и внутриблоковых — Северо-Анабарской, Южно-Анабарской, Харапской, Маганской, Ламуйкской и Салтахской. В тектонофлюидитных зонах закартированы многочисленные тела магматических пород основного (амбардах-коялахский комплекс) и кислого (маганский, билляхский и монхоолинский комплексы) составов. Отчетливо повышенными содержаниями радиоактивных элементов характеризуются двуслюдяные и биотитовые гранитоиды билляхского и монхоолинского комплексов ( $U\ 4,8\cdot 10^{-4}\%$ ,  $Th\ 14,4\cdot 10^{-4}\%$ ,  $Th/U=4,8$ ), что подчеркивается и данными аэрогаммаспектрометрических исследований, проведенных Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА» и Норильским филиалом

ФГУП «ВСЕГЕИ» в пределах Котуйкан-Монхоолинской, Билляхской, северных флангов Северо-Анабарской и Маганской тектонофлюидитных зон.

На фоне развития магматогенных процессов шло становление гидротермально-метасоматических образований, слагающих активизационный формационно-генетический ряд: формация кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов@формация калиевых пропицитов@формация эйситов. Вещественные составляющие формации эйситов встречаются крайне редко, что, по-видимому, обусловлено их слабой устойчивостью к физическому выветриванию и, как следствие, к быстрому разрушению при выходе на современную дневную поверхность.

Гидротермально-метасоматические формации активизационного формационно-генетического ряда характеризуются вышекларковыми содержаниями радиоактивных и редкоземельных элементов.

С формацией кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов генетически связаны рудопроявления и проявления ураноносной торий-редкоземельно-редкометалльной минерализации (Меркью, Хапчаганахта, Каспаровское и др.), картируемые исключительно в тектонофлюидитных зонах или их ближайшем окружении. Перспективы промышленной ураноносности формации невысокие. В то же время, при скоплениях значительной массы рудоносных высокотемпературных кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов в рамках отдельных тектонофлюидитных зон их можно рассматривать как месторождения комплексных убогих, рассеянных руд порфирирового типа — проявления Котуйкан-Монхоолинской тектонофлюидитной зоны или в качестве возможного источника радиоактивной минерализации для последующих металлогенических эпох (Котуйкан-Монхоолинская, Билляхская, Северо-Анабарская тектонофлюидитные зоны).

**Рис. 2. Схема блокового строения Анабарского щита с элементами металлогенического на уран районирования:**

1 — протократонный СФК ( $AR_1, AR_2$ ); 2 — троговый СФК, тектонофлюидитные зоны длительного развития: I — Маганская, II — Ламуйкская, III — Котуйкан-Монхоолинская, IV — Южно-Анабарская, V — Северо-Анабарская, VI — Харапская, VII — Билляхская, VIII — Салтахская; магматиты: 3 — метагаббро-анортозитовой формации ( $PR_1$ ), 4 — гранит-гранодиоритовой и гранит-лейкогранитовой формаций ( $PR_1$ ), 5–6 — габбро-диабазовой формации (R–T); 5 — силлы, 6 — дайки; 7 — ийолит-карбонатитовая формация (MZ); формации платформенного СФК: 8 — красноцветная конгломерат-песчаниковая (R), 9 — песчано-аргиллитовая углеродсодержащая (R), 10 — песчано-доломитовая и кремнисто-песчано-доломитовая битуминозная ( $R_2$ ), 11 — сульфатно-песчано-доломитовая битуминозная (V), 12 — терригенно-карбонатные, карбонатные (V–C, C), 13 — глинисто-известняково-битуминозная (куонамский горизонт); 14 — попигайская астроблема; 15 — трубки взрыва (кимберлиты, пикриты, альнеиты); рудные формации: 16 — ураноносная торий-редкоземельно-редкометалльная в кварц-альбит-микроклиновых метасоматитах, 17 — урановорудная «типа несогласия», 18 — ураноносная в углеродсодержащих терригенных породах, 19 — ураноносная торий-редкоземельно-редкометалльная в карбонатах, 20 — неясной принадлежности; 21 — металлогенические зоны: 1 — Котуйкан-Монхоолинская, 2 — Северо-Анабарская потенциально урановорудные, 3 — Усть-Ильинская, 4 — Куонамская ураноносные, 5 — Билляхская потенциально золото-урановорудная, 6 — Биригиндино-Мюнсюяхский потенциально золото-урановорудный район; 22 — проявления золотой минерализации; 23 — Главный Анабарский разлом

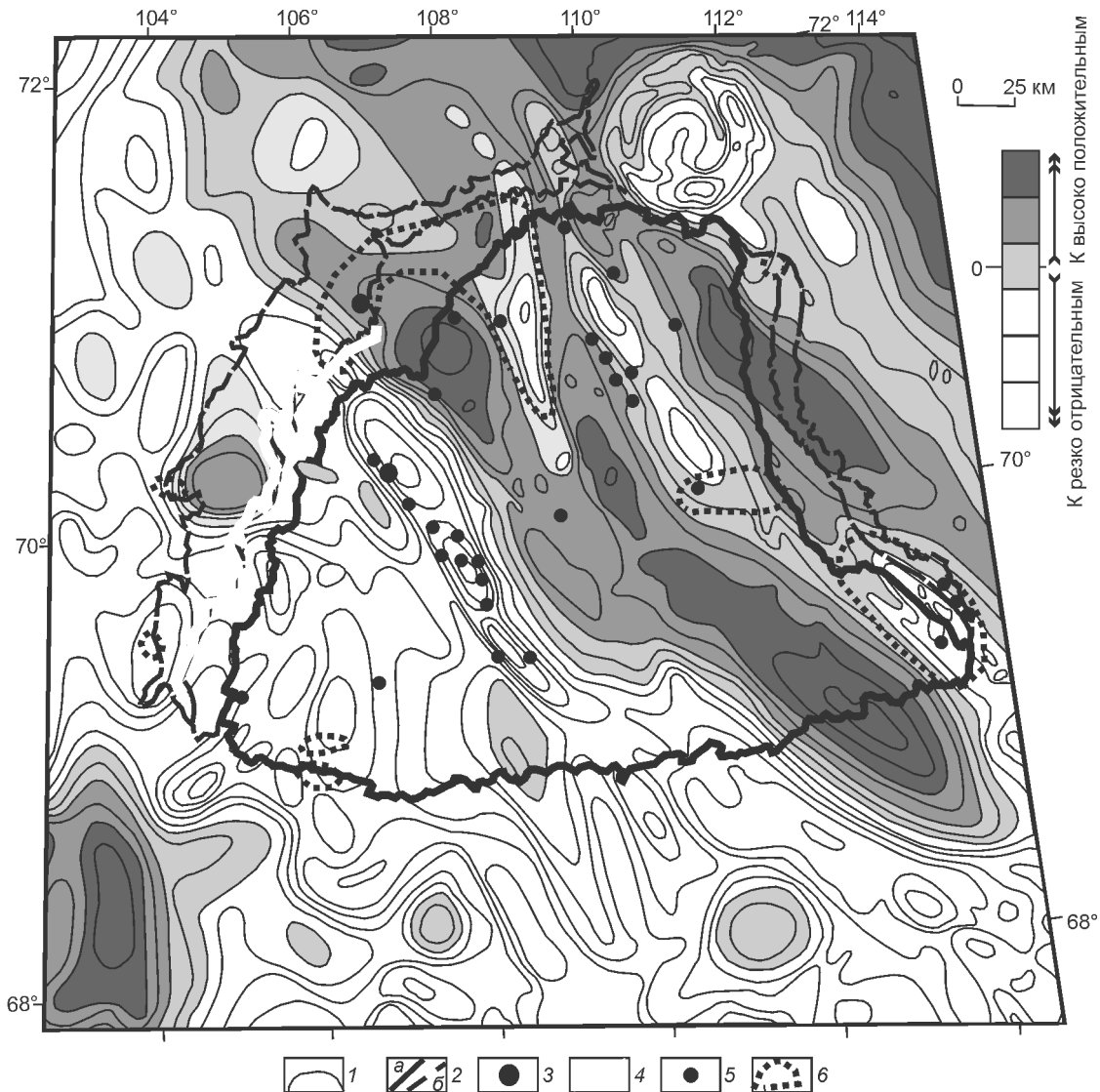


Рис. 3. Распределение уранового оруденения в гравитационном поле Анабарского щита, по А.В.Молчанову, С.А.Ефимову, Н.К.Клюеву, 2002:

1 — изоаномалы поля Dg ( $\gamma=2,67$ ); 2 — контуры развития горных пород архейского, раннепротерозойского (а) и рифейского (б) возрастов; 3 — рудопроявления урана; 4 — горизонты терригенно-осадочных отложений, обогащенных ураном; 5 — проявления урановой минерализации и точечные радиометрические аномалии; 6 — площадные радиометрические аномалии

Достаточно большими перспективами на выявление промышленной урановой минерализации, исходя из аналогии с урановыми месторождениями урановорудного района Биверлодж Канадского щита, обладает формация эйситов.

В конце раннепротерозойского времени в результате денудации горных сооружений сформиро-

вался обширный пенеэплен. В условиях относительного тектонического покоя образовалась древняя (впоследствии метаморфизованная) кора выветривания — реголит\*, мощность которой варьирует от нескольких метров до нескольких десятков метров. Производные ее континентальной денудации в виде брекчий и гравелитов слагают основание разре-

\*Термин «реголит» в зарубежной литературе используется как синоним термина «древняя метаморфизованная кора выветривания», особенно при характеристике регионов с месторождениями «типа несогласия».



за лабазтахской и старореченской свит рифея и венда соответственно.

На восточном фланге Анабарского щита метаморфизованные коры выветривания предрифейского возраста претерпели интенсивные низкотемпературные гидротермально-метасоматические преобразования калиевого петрохимического профиля. Содержание  $K_2O$  в образованных эпипородах достигает 10% и более.

В рифейское время на *платформенном этапе* развития Анабарского щита проходило заложение Котуйканского и Куонамского прогибов, нижние части разреза которых сложены красноцветными грубозернистыми кварцевыми, кварц-полевошпатовыми отложениями. Красноцветы раннего рифея с резким угловым несогласием залегают на древних метаморфизованных корах выветривания и метаморфитах архей-раннепротерозойского возраста.

Магматические процессы платформенного этапа привели к формированию дайкового комплекса пород базитового состава и обусловили проявленность в пределах Анабарского щита процессов внутриплатформенной активизации рифейского возраста.

Среди рифейских отложений отчетливой радиогеохимической специализацией обладает алеврито-аргиллитовая углеродсодержащая формация в объеме усть-ильинской свиты (северо-западный фланг щита). Отложения свиты по материалам АГСМ-съемки м-ба 1:200 000, выполненной в 2005 г. Норильским филиалом ФГУП «ВСЕГЕИ», выделяются как региональная аномалия урана и тория протяженностью более 200 км и шириной первые километры. Содержание урана вышекларковое, может достигать 7 г/т. Отмечаются многочисленные локальные аномалии с вариациями содержания  $U$  от 0,01 до 0,03%.

Повышенные содержания урана (до 6 г/т) избирательно встречаются также в перекристаллизованных доломитах билляхской серии (восточный фланг щита), выходящих на дневную поверхность в береговых обнажениях р. Большая Куонамка.

Металлогеническая специализация рифейского этапа определяется рудопроявлениями и проявлениями урановой минерализации ураноносной формации в углеродсодержащих терригенных породах. В структурно-вещественном отношении рудные объекты приурочены к терригенным тонко-, мелкозернистым углеродсодержащим отложениям усть-ильинской свиты. Мощность собственно рудоносного горизонта (темно-серых алевролитов и аргиллитов) составляет порядка 40 м. Основные урановые минералы образуют налеты и корочки урано-

вой черни на поверхности аутигенных кристаллов пирита, рассеянных в алевролитах и аргиллитах. Максимальное содержание  $U$  2% установлено в одной из проб рудопроявления Баалыга-Суох.

На восточном и западном флангах Анабарского щита известны многочисленные аэрометрические аномалии, области повышенных содержания урана и проявления радиоактивной минерализации, тяготеющие к зоне предрифейского структурно-стратиграфического несогласия и, как правило, находящиеся в местах перекрытия рифейскими красноцветными отложениями радиогеохимически специализированных тектонофлюидитных зон (Котуйкан-Монхоолинской, Билляхской, Маганской).

Вблизи зоны предрифейского структурно-стратиграфического несогласия в бассейне р. Большая Куонамка выявлены повышенные содержания урана, а также золота и серебра. Здесь же установлены зоны эпигенетической гидрослюдизации и хлоритизации базальных горизонтов рифея.

На юго-восточном фланге щита в базальных отложениях рифея (бассейн рек Мюнюсях, Биригинде и Малая Куонамка) ФГУП «ВСЕГЕИ» и Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА» выявлены интенсивные гидротермально-метасоматические изменения красноцветных отложений мукунской серии с новообразованиями глинисто-гидрослюдистого мелкочешуйчатого агрегата, водяно-прозрачного калиевого полевого шпата и халцедоновидного кварца. С этими эпигенетическими новообразованиями связаны высокие и аномально высокие содержания радиоактивных, редкоземельных и халькофильных элементов (Мюнюсяхский, Биригиндинский, Боронгский участки). Последнее весьма характерно для районов локализации месторождений урана «типа несогласия» урановорудной провинции Атабаска.

Венд-палеозойское время ознаменовалось накоплением песчано-доломитовой битуминозной формации (старореченская свита). Породы с резким структурным несогласием перекрывают верхнерифейские отложения, а на юге Анабарского щита — глубоко метаморфизованные и ультраметаморфогенные образования позднего архея и раннего протерозоя, включая и образования тектонофлюидитных зон. Здесь же, на юге щита, в основании венда закартированы древние метаморфизованные коры выветривания.

В рамках платформенного этапа развития щита отчетливой радиогеохимической специализацией обладают отложения куонамского горизонта кембрийского возраста, в пределах которого известны многочисленные радиометрические аномалии и проявления радиоактивной и комплексной минерализации.

На восточном фланге щита проявления урановой минерализации тяготеют к высокоуглеродистым горючим сланцам куонамского горизонта кембрия. Общая мощность пласта горючих сланцев 15 м, но практический интерес представляет пачка мощностью 2,8 м, залегающая в основании горизонта. Горючие сланцы представлены известковисто-кремнисто-глинистыми породами, на 20–50% обогащенными изотропным органическим веществом. В них повышено содержание большинства рудных элементов, многие из которых присутствуют в промышленных концентрациях. Металлогеническую специализацию горючих сланцев определяют V (до 1%), Mo (до 0,1%), Ni (до 0,1%) и U (до 0,006%). Содержание U в золе сланцев более 0,01% [10].

На *этапе мезозойской тектономагматической активизации* тектоническая активность в регионе сопровождалась подновлением древних тектонофлюидитных зон, реактивацией авлакогенов, формированием новых ослабленных зон и узлов их пересечения, что в итоге привело к внедрению по ним значительных магматических масс щелочно-ультраосновного состава с карбонатитами, формированию трубчатых тел, сложенных пикритами, альнеитами и кимберлитами. Для этапа также характерна гидротермально-метасоматическая деятельность, с которой связаны гидротермалиты формаций гумбеитов и гидрослюдистых березитов.

Отчетливой радиогеохимической специализацией в рамках рассматриваемого этапа тектономагматической активизации характеризуются карбонатиты и генетически ассоциирующие с ними магматические породы, включая базиты субщелочного уклона (междуречье Биригинде – Малая Куонамка).

Металлогеническая значимость этапа определяется проявлениями комплексной уран-торий-редкоземельно-редкометалльной минерализации в карбонатитах. Известные в обрамлении Анабарского щита рудопоявления подобной комплексной минерализации пространственно тяготеют к массивам центрального типа — Одихинча, Ессей, Кугда, Сона, прорывающим терригенно-карбонатные платформенные отложения или метаморфиты архей-раннепротерозойского возраста (Мальджангарский массив). Комплексное радиоактивно-редкоземельно-редкометалльное оруденение локализуется в карбонатитах и корах выветривания по ним. Рудные минералы представлены перовскитом, кнопитом, пироксеном, дизаналитом, колумбитом, бадделеитом, цирконом, торитом и пиритом. Содержание U в рудах варьирует от 0,007 до 0,03%, в единичных случаях до 0,165% (карбонатиты мас-

сива Ессей), Th 0,08%. Содержание суммы редкоземельных элементов составляет 7,5%, Nb 0,3% и более (массивы Одихинча, Кугда, Мальджангарский), Та до 0,1%.

Металлогеническая значимость *кайнозойского этапа* развития Анабарского щита определяется формированием в его временных рамках россыпных скоплений золота, платиноидов, монацита и алмазов.

Итак, устанавливаются общие черты металлогенического (по урану) развития в докембрии провинции Атабаска Канадского щита и Анабарского щита Сибирской платформы. Им свойственны сходные тектонические режимы, смена которых во времени обуславливала возникновение урановорудных объектов близких по типу урановорудных формаций. В то же время, в пределах Канадского щита известны уникальные по масштабам и качеству руд промышленные типы урановых месторождений, прежде всего «типа несогласия», новые для Анабарского щита.

Анализ приведенных выше материалов позволяет ожидать в пределах Анабарского щита наличие урановорудных объектов трех промышленно перспективных типов:

урановые и комплексные месторождения «типа несогласия» на восточном, западном и южном флангах щита, прежде всего на площадях перекрытия терригенными толщами рифейского и вендского возрастов региональных тектонофлюидитных зон;

урановые месторождения в эйситах и эйситизированных породах в пределах радиогеохимически специализированных тектонофлюидитных зон — Котуйкан-Монхоолинской, Билляжской, Северо-Анабарской, Маганской и др.;

комплексные уран-торий-редкоземельно-редкометалльные месторождения в карбонатитах на юго-восточном и восточном флангах щита — Мальджангарский, Верхне-Биригиндинский и другие массивы.

С учетом пространственно-временного распределения на Анабарском щите разноранговых и разноформационных типов урановорудных объектов проведено его металлогеническое на уран районирование и составлена прогнозно-металлогеническая на уран карта м-ба 1:500 000, где выделены ураноносные, потенциально золото-урановорудные зоны и потенциально золото-урановорудный район (см. рис. 2). Показаны также площади, наиболее благоприятные для выявления высококоррелябельного уранового и комплексного оруденения, требующие постановки поисковых и тематических работ среднего масштаба.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас*. Уран России / Гл. редактор Н.П.Лаверов. – М., 2000.
2. *Быховер Н.А.* Распределение мировых ресурсов минерального сырья по эпохам рудообразования. – М.: Недра, 1984.
3. *Вольфсон Ф.И., Королев К.Г., Румянцева Г.В.* Вопросы генезиса урановых месторождений «несогласия» // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1989. № 1.
4. *Геологическая структура эндогенных урановых рудных полей и месторождений / В.А.Крупенников, Л.Е.Толкунов, А.В.Хорошилов и др.* – М.: Недра, 1986.
5. *Кузнецов А.А.* Новые данные по геохимии платиноидов и золота в раннедокембрийских кристаллических породах Анабарского щита // Докл. РАН. 2000. Т. 373. № 5.
6. *Лаверов Н.П., Смилкстын А.О., Шумилин М.В.* Зарубежные месторождения урана. – М.: Недра, 1983.
7. *Лутц Б.Г., Оксман В.С.* Глубокоэродированные зоны разломов Анабарского щита. – М.: Наука, 1990.
8. *Молчанов А.В.* Эпохи эндогенного уранового рудонакопления в истории геологического развития Сибирской платформы (на примере Алданского, Анабарского щитов и Енисейского кряжа) // Тез. докл. Международной конференции «Полезные ископаемые, формирование, прогноз, ресурсы». СПб., 1999.
9. *Молчанов А.В.* Металлогения урана щитов Сибирской платформы // Региональная геология и металлогения. 2001. № 13–14.
10. *Молчанов А.В., Толстов А.В.* Урановый рудогенез на щитах Сибирской платформы (в связи с прогнозированием высокорентабельных месторождений) // Южно-Якутская комплексная экспедиция: 50 лет. Нерюнгри, 2001.
11. *Молчанов А.В., Терентьев В.М., Ефимов С.А.* Перспективы промышленной ураноносности Анабарского щита // Мат-лы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. 2001. Вып. 143.
12. *Молчанов А.В., Ключев Н.К.* Месторождения «типа несогласия» и возможность их обнаружения на древних щитах Сибирской платформы // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. 2002. Вып. 2 (№ 16).
13. *Распределение радиоактивных элементов в метаморфитах Анабарского щита: происхождение пород и эволюция земной коры / О.М.Розен, А.О.Ножкин, В.А.Злобин и др.* // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1989. Т. 64. Вып. 4.
14. *Сибалд Т.* Геология кристаллического фундамента в районе опытного полигона ААЭ/МАГАТЭ // Мат-лы по геологии месторождений зарубежных стран. М., 1982. Вып. 5.
15. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв. ред. Л.М.Парфенов, М.И.Кузьмин.* – М.: МАИК, Наука, Интерпериодика, 2001.
16. *Шумилин М.В.* Анализ минерально-сырьевой базы урана России / Мат-лы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. 2002. Вып. 144.
17. *Archean and Early proterozoic evolution of the Siberian craton: A preliminary assessment / O.M.Rosen, K.C.Condie, L.M.Natapov et al.* // Archean crustal evolution. Amsterdam, 1994.
18. *Pagel M., Ruhlmann F., Bruneton P.* The Cigar Lake uranium deposit. – Saskatchewan, Canada.
19. *Ruzicka V.* Unconformity-type Uranium Deposits // Mineral Deposit Modeling: Geological Association of Canada. 1993. Special Paper 40.