

Молчанов А.В.¹, Лазарев Ф.Д.², Кирплюк П.В.², Онищенко А.Н.², Леденгский Р.А.², Лазарев А.Ф.²
(1 — ФГБУ «Институт Карпинского», 2 — НФ ФГБУ «Институт Карпинского»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА ТИПА «НЕСОГЛАСИЯ» НА ЩИТАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

*В статье, на основе анализа геолого-геофизических данных, рассматриваются вопросы о возможности выявления в пределах зон древних структурно-стратиграфических несогласий Алданского и Анабарского щитов Сибирской платформы месторождений урана типа «несогласия». Намечены конкретные площади для постановки крупномасштабных прогнозно-металлогенических и поисковых работ. **Ключевые слова:** уран, месторождения типа «несогласия», Алданский и Анабарский щиты, перспективы.*

Molchanov A.V.¹, Lazarev F.D.², Kirplyuk P.V.², Onishchenko A.N.², Ledengskiy R.A.²,
Lazarev A.F.² (1 — FGBU «Karpinsky Institute», 2 — NF FGBU «Karpinsky Institute»)

PROSPECTS FOR IDENTIFYING «UNCONFORMITY» TYPE URANIUM DEPOSITS ON THE SHIELDS OF THE SIBERIAN PLATFORM

*The article, based on the analysis of geological and geophysical data, discusses the possibility of identifying «unconformity» type uranium deposits within the zones of ancient structural-stratigraphic unconformities of the Aldan and Anabar shields of the Siberian platform. Specific areas have been outlined for large-scale forecasting, metallogenic and prospecting works. **Keywords:** uranium, «unconformity» type deposits, Aldan and Anabar shields, prospects.*

Введение

В соответствии со Стратегией развития минерально-сырьевой базы России до 2035 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р, уран входит в перечень основных видов стратегического минерального сырья, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 30.08.2022 г. № 2473-р., а по распоряжению Правительства РФ от 16 апреля 2024 г. № 939-р уран относится к дефицитным видам твердых полезных ископаемых. При этом Россия занимает четвертое место в мире по ресурсам урана и шестое место — по его производству, являясь одним из крупнейших мировых производителей и поставщиков ядерного топлива для нужд АЭС. Балансовые запасы урана по состоянию на 01.01.2022 г. составили 707,7 тыс. т, которые заключены в недрах 53-х месторождений. Еще на восьми объектах учтены только забалансовые запасы, составляющие в целом по стране 134 тыс. т [1]. В то же время, большая часть урановых руд месторождений страны характеризуется низким качеством, что затрудняет или делает невозможным их отработку в современных экономических условиях. В связи с этим, *стратегическая задача урановой геологии в настоящее время заключается в существенном расширении и улучшении экономической структуры минерально-сырьевой базы урана страны.* Она может быть решена путем выявле-

ния крупнотоннажных урановых и комплексных месторождений с богатыми высококонтрастными рудами, по запасам и качеству сопоставимых с месторождениями типа «несогласия» урановорудной провинции Атабаска Канадского щита, где, начиная с конца 1960-х годов, выявлены крупные и уникальные высокорентабельные месторождения — Раббит-Лейк, Мидуэст-Лейк, Сигар-Лейк, Мак-Артур и др. В пределах же России, на территории которой имеются три докембрийских щита — Балтийский, Анабарский и Алданский, до сих пор не выявлено подобных месторождений урана с высококачественными рудами, за исключением месторождения Карху (Балтийский щит), относимого по своей структурной позиции и генетическим особенностям к объектам типа «несогласия», хотя задача поисков подобных объектов была поставлена перед геологами-уранщиками нашей страны еще в далекие 1970–1980-е годы. По-видимому, здесь сыграла свою роль совокупность различных причин объективного и субъективного характера.

Ниже мы рассмотрим перспективы промышленной ураноносности зон древних структурно-стратиграфических несогласий (СШ) Анабарского и Алданского щитов Сибирской платформы, характеризующихся высокими перспективами на выявление месторождений типа «несогласия».

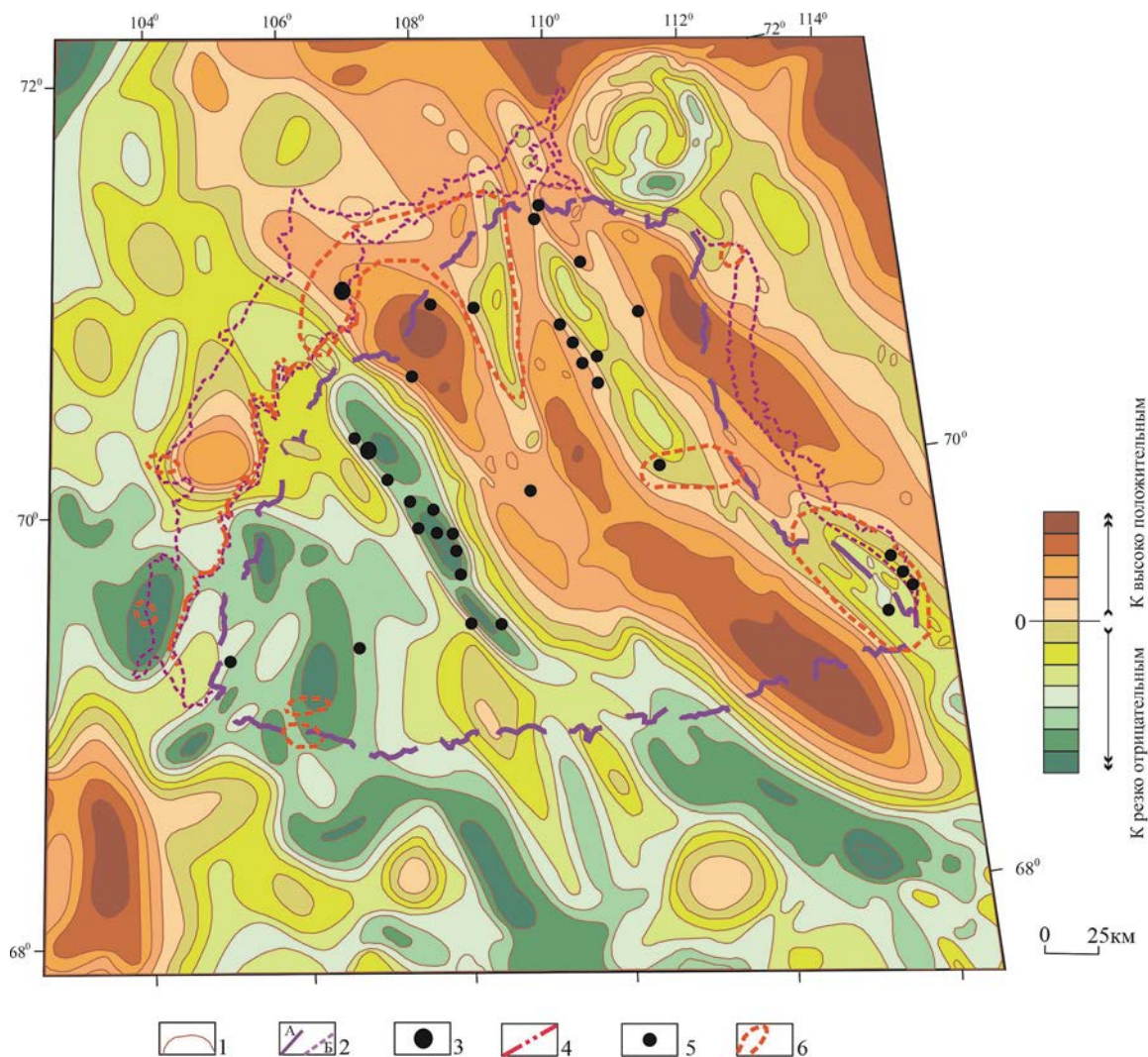


Рис. 1. Распределение уранового оруденения в гравитационном поле Анабарского щита (По Ключеву Н.К., Молчанову А.В., 2000 г. с использованием материалов Высокоостровской Е.Б. и Краснова А.И.): 1 — изоаномалы поля Δg (сигма = 2,67); 2 — контуры развития горных пород архейского, раннепротерозойского (А) и рифейского (Б) возраста; 3 — рудопоявления урана; 4 — горизонты терригенно-осадочных отложений, обогащенных ураном; 5 — проявления урановой минерализации и точечные радиометрические аномалии; радиометрические аномалии площадного характера

Опираясь на известное положение, выдвинутое в прошлом веке Ю.А. Билибиным, о взаимосвязи и взаимообусловленности всех геологических процессов, в том числе и процессов рудообразования, нами ранее было выполнено [3–6] тщательное изучение истории геологического развития указанных щитов, показана связь процессов уранового рудообразования с другими геологическими процессами — осадконакоплением, метаморфизмом, ультраметаморфизмом, магматизмом, гидротермально-метасоматической деятельностью; были намечены основные урановорудные эпохи и ведущие рудообразующие процессы, а также структуры, благоприятные для локализации уранового оруденения, прежде всего, зоны ССН предрифейского возраста.

Анабарский щит представляет собой крупную потенциальную рудную комплексную металлогеническую провинцию, давно привлекающую внимание геологов-ме-

таллогенистов, как геологическая структура длительного развития и гетерогенного строения, в пределах которой, вплоть до настоящего времени, не выявлено ни одного промышленно значимого месторождения. В то же время, регион обладает высокими перспективами обнаружения месторождений урана типа «несогласия» на его восточном, северо-западном и юго-восточном флангах.

В геологическом строении щита выявлены три крупных тектонических блока — Далдынский (центральный), Маганский (западный) и Хапчанский (восточный), сложенные породами метаморфизованными в гранулитовой фации, вплоть до сапфириновой субфации, разделенные межблоковыми (*Билляхской, Котуйкан-Монхоолинской*) и внутриблоковыми (*Маганской, Ламуйкской, Харанской, Северо-Анабарской и Салтах-Дюкенской*) тектоно-флюидитными зонами (ТФЗ). В радиогеохимическом отношении вышескларковыми содержаниями радиоактивных

элементов характеризуются высокоглиноземистые, графитсодержащие гнейсы и метакarbonатные породы, слагающие Хапчанский блок щита.

К настоящему времени в пределах Анабарского щита и его ближайшего обрамления известно более 900 радиометрических аномалий, проявлений радиоактивной минерализации и рудопоявлений урановой, уран-ториевой и ториевой природы, которые в геолого-структурном отношении приурочены: а) к тектоно-флюидитным зонам глубокого заложения и длительного развития: Котуйкан-Монхоолинской, Биляхской, Маганской, Ламуйской, Харапской, Северо-Анабарской и Салтах-Дюкенской); б) к магматическим массивам центрального типа (Одихинча, Сона и др.), сложенным породами ультраосновного и щелочного составов с карбонатитами; в) к углеродсодержащим терригенным породам плитного комплекса Сибирской платформы; г) к древним метаморфизованным корам выветривания (реголитам) и нижним частям разреза красноцветных терригенных отложений мукунской серии раннерифейского возраста (вблизи зоны предрифейского ССН).

В пределах щита все известные разноранговые радиоактивные объекты приурочены к ТФЗ, характеризующимся пониженными значениями гравитационного поля (рис. 1). Тектоно-флюидитные зоны сложены метаморфитами амфиболитовой фации (гнейсы, кристаллические сланцы), магматическими породами кислого (гранитоиды) и основного (анортозиты, габброиды) состава, и динамометаморфическими образованиями — милониты, катаклазиты, их порфиробластовые разности, брекчии и псевдоталииты. В пределах зон широко проявлены высокотемпературные кремне-щелочные метасоматиты раннепротерозойского возраста. Урановое оруденение в пределах указанных зон относится к ураноносной торий-редкоземельно-редкометалльной формации. В радиогеохимическом отношении ТФЗ относятся к рангу радиогеохимически специализированным, а в металлогеническом отношении к специализированным на комплексное высокотемпературное уран-ториевое оруденение порфирирового типа.

Обрамление щита, в пределах северо-западного и восточного флангов, сложено красноцветными кварцевыми, кварц-полевошпатовыми разнозернистыми песчаниками, гравелитами и конгломератами, залегающими на предрифейской метаморфизованной коре выветривания. На южном фланге щита глубокометаморфизованные породы с резким структурно-стратиграфическим несогласием перекрыты карбонатными отложениями вендского и венд-кембрийского возраста. Иногда в основании

этих отложений также отмечаются древние метаморфизованные коры выветривания (реголиты).

Рифейский этап развития щита характеризуется также широким развитием базитовых даек, характеризующихся северо-восточным, субширотным, и крайне редко — северо-западным протиранием. Дайки также закартированы и в терригенных красноцветных отложениях мукунской серии.

Северо-западный фланг Анабарского щита

По северо-западному флангу Анабарского щита выявлены многочисленные аэrorадиометрические и наземные радиометрические аномалии, а также зоны повышенных содержаний урана (по АГСМ данным) и проявления урановой, уран-ториевой минерализации, структурно тяготеющие к зоне предрифейского ССН и непосредственно к древним метаморфизованным корам выветривания. Подавляющее большинство этих объектов расположено в районах перекрытия красноцветными неметаморфизованными крупно-грубозернистыми кварцевыми песчаниками, гравелитами, гравелито-песчаниками и конгломератами мукунской серии метаморфогенно-магматогенных

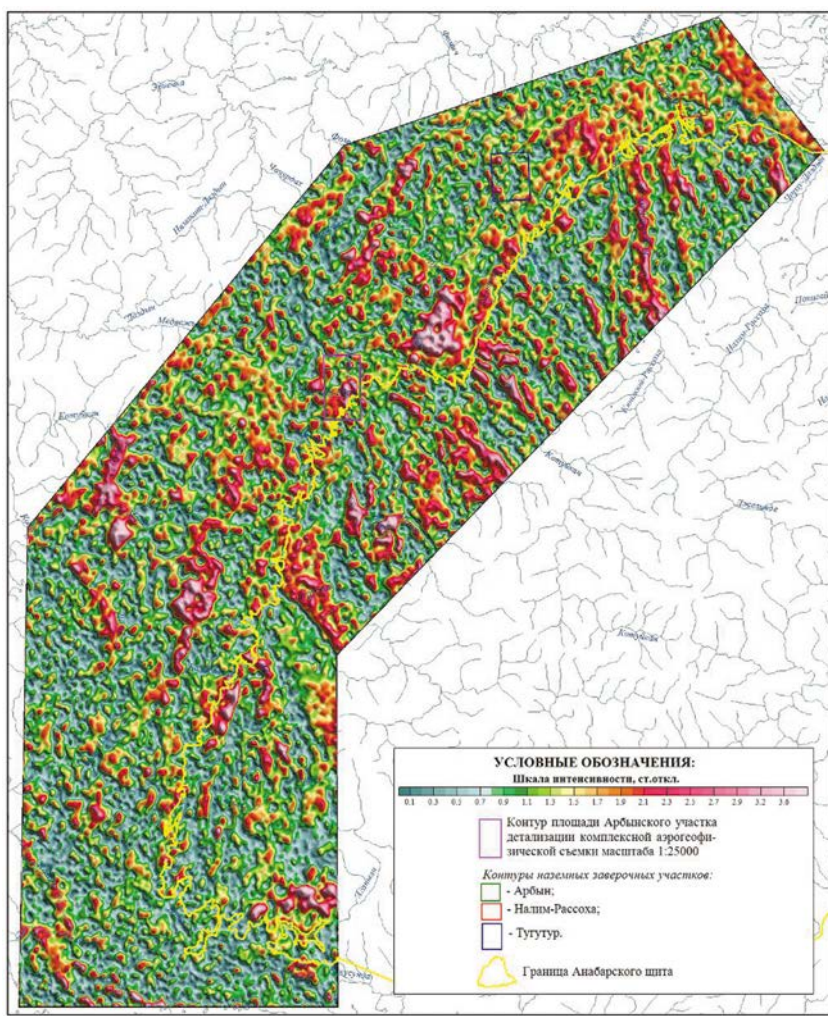


Рис. 2. Карта модуля аномальной составляющей многомерного радиогеохимического поля

ингредиентов архейского и раннепротерозойского возраста, слагающих тектоно-флюидитные зоны — Маганскую, Билляхскую, Котуйкан-Монхоолинскую, Северо-Анабарскую и Салтахскую.

Выполненные в 2004–2005 гг. сотрудниками НФ «ВСЕГЕИ» АГСМ работы по северо-западному флангу Анабарского щита в м-бе 1: 200 000 — 1:50 000 показали отчетливую радиогеохимическую специализацию тектоно-флюидитных зон щита, а также его Маганского блока.

Использование метода главных компонент позволило *составить карты надфоновых содержаний тория и урана*, отражающие их роль в общей гамма-активности естественных радиоактивных элементов. Установлено, что повышенные значения надфоновых концентраций тория и урана характерны для терригенных красноцветных отложений рифейского возраста в объеме мукунской серии. Причем, *терригенные отложения, развитые на северо-западном фланге площади, характеризуются ярко выраженными надфоновыми содержаниями тория, а на юго-западном — надфоновыми содержаниями урана.*

Для выделения областей максимального проявления различного рода перераспределений естественных радиоактивных элементов вычислялся модуль аномальной составляющей многомерного радиогеохимического поля (рис. 2). Данный показатель защищен от влияния геологической неоднородности исследуемого региона и *оценивает своим значением степень нарушения взаимосвязи радиоактивных элементов, вследствие гидротермально-метасоматической переработки исходных горных пород.* Наиболее ярко выраженные значения модуля фиксируются на продолжении радиогеохимически специализированных ТФЗ (Билляхской, Котуйкан-Монхоолинской, в меньшей степени — Северо-Анабарской и Маганской) под чехлом терригенных отложений рифейского возраста.

Ранее, геологами «Аэрогеологии» по результатам ГМК-200, выполненного в бассейне реки Котуйкан на продолжении Котуйкан-Монхоолинской ТФЗ под терригенными отложениями рифейского возраста, был *выделен Турунг-Тугуттурский потенциальный урановорудный район с авторскими прогнозными ресурсами урана кат. Р₃ — 10 тыс. т*, заслуживающий дальнейшего опоискования, что обусловлено наличием в его пределах многочисленных аэро- и наземных аномалий урановой и смешанной природы, протяженных зон электропроводимости, масштабно проявленных низкотемпературных гидротермально-метасоматических новообразований — березитов (гидрослюдистых) и аргиллизитов, а также отчетливо выраженных высоких значений модуля аномальной составляющей многомерного радиогеохимического поля, высоких значений надфоновых содержаний урана и тория.

Кроме того, по северо-западному флангу щита и его обрамления выделены *потенциальные урановорудные зоны — Маганская и Мукунская*, характеризующиеся авторскими прогнозными ресурсами урана кат. Р₃ — 19,5 тыс. т и 93 тыс. т (соответственно). *Указанные металлогенические подразделения перспективны на выявление месторождений типа «несогласия» и требуют постановки*

детальных поисковых работ, прежде всего, на продолжении ТФЗ под красноцветными терригенными отложениями рифейского возраста, а также аэрогеофизических исследований м-ба 1:25 000 на территории Мукунской потенциальной урановорудной зоны.

Северо-восточный фланг Анабарского щита.

В 2022 г. сотрудниками Норильского филиала ФГБУ «Институт Карпинского» в пределах Попигайской астроблемы и ее обрамления была проведена комплексная аэрогеофизическая (аэромагнитная, аэроэлектроразведочная и аэрогамма-спектрометрическая) съемка м-ба 1: 50 000, в результате которой в северной части Восточно-Анабарской прогнозируемой ураноносной зоны [5] выделены два участка (Восточный и Улахан), перспективные на обнаружение урановорудных объектов типа «несогласия» (рис. 3).

Участки находятся в пределах предполагаемой зоны структурно-стратиграфического несогласия (СН), отделяющей метаморфизованные в гранулитовой фации, в том числе графит-глиноземсодержащие, породы архей-раннепротерозойского возраста, слагающие хапчанский блок Анабарского щита от неметаморфизованных красноцветных терригенных отложений рифейского плитного

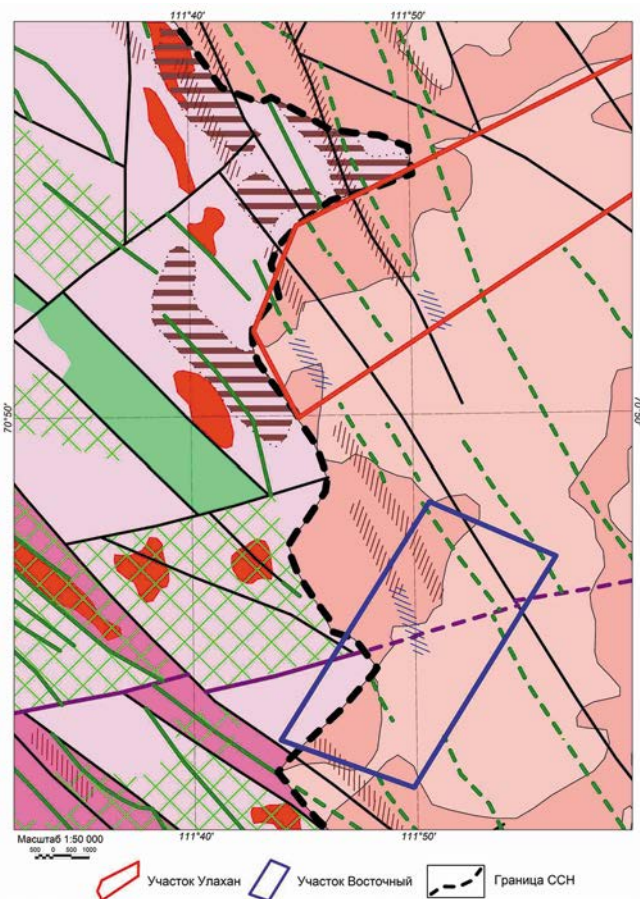


Рис. 3. Схема геологической интерпретации геофизических данных района работ и положение перспективных участков Улахан и Восточный для проведения наземных геолого-геофизических исследований

комплекса Сибирской платформы. На участках установлено несколько областей, отвечающих геологическим и геофизическим поисковым критериям локализации рудных объектов типа «несогласия». Ведущее поисковое значение, по результатам аэроэлектроразведочных работ, играют линейные зоны повышенной электропроводности, отражающие положение графитоносных и (или) графитизированных зон в фундаменте. Благодаря аэромагнитной съемке по линейным магнитным аномалиям прямого и обратного намагничивания выделены рудоконтролирующие зоны, включающие разрывные нарушения и дайки основного состава. Материалы аэрогамма-спектрометрии позволили установить области обширных гидротермально-метасоматических изменений в породах чехла, имеющие калиевую и уран-калиевую радиогеохимическую специализацию.

На участке Восточный (см. рис. 3) в 2023 г. силами сотрудников НФ «Института Карпинского» выполнена наземная геофизическая съемка (магниторазведка, гамма-спектрометрия, электротомография) м-ба 1:25 000 с геологическим сопровождением по заверке аэрогеофизических аномалий.

По данным магниторазведки закартированы разрывные нарушения северо-западного и северо-восточного простирания. Северо-западные разломы согласуются с общим направлением метаморфических пород фундамента и сопровождаются дайками основного состава. Северо-восточная система более молодая и в пределах участка сопряжена с тектономагматической зоной глубинного заложения, залеченной обратно намагниченной дайкой основного состава (рис. 4).

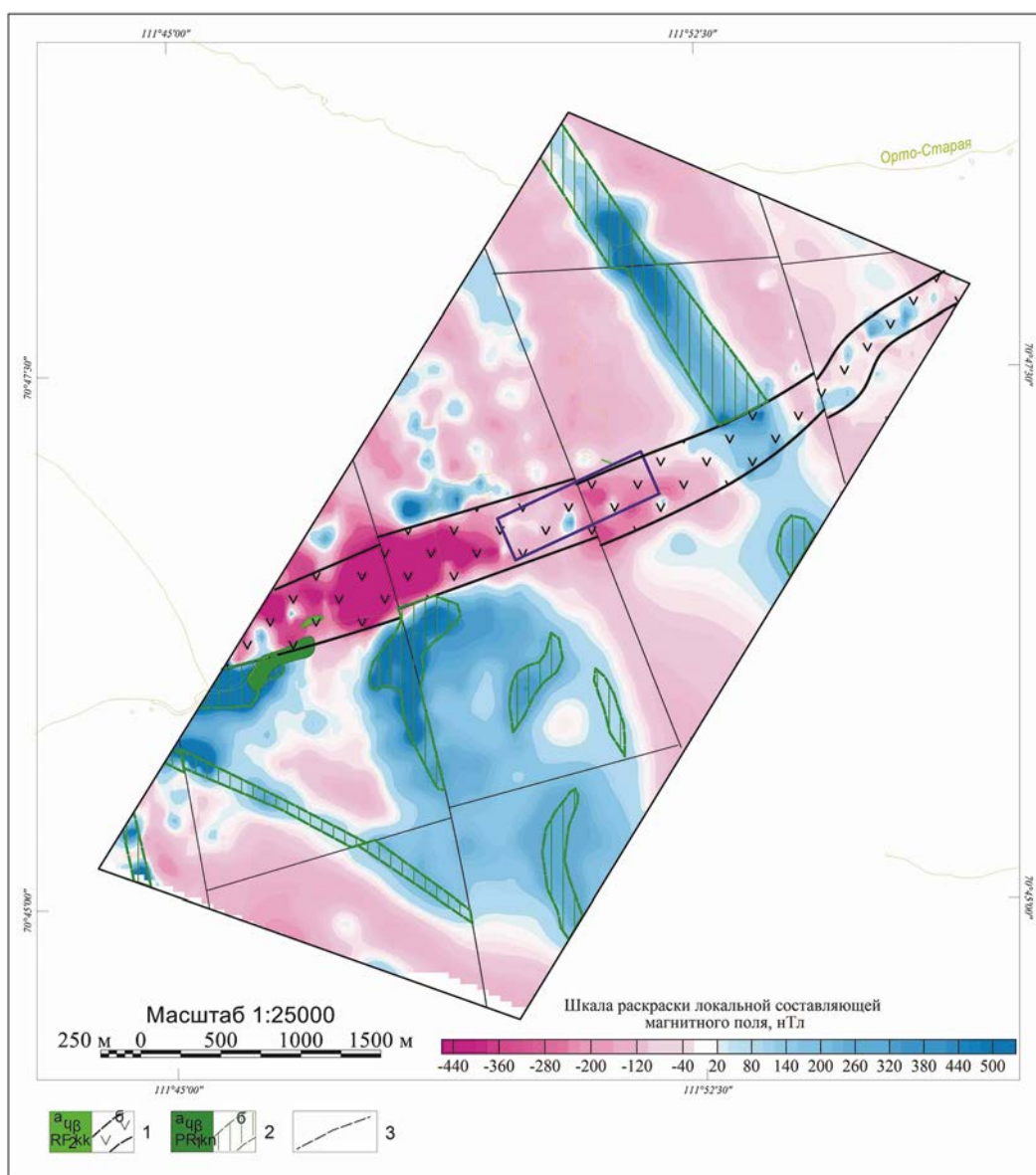


Рис. 4. Локальная составляющая магнитного поля с элементами интерпретации: 1 — Котуйканский комплекс кварцевых долеритов. Дайки: а — на дневной поверхности, б — под вышележащими образованиями; 2 — Кендейский комплекс кварцевых долеритов. Дайка: а — на дневной поверхности, б — под вышележащими образованиями; 3 — тектонические нарушения

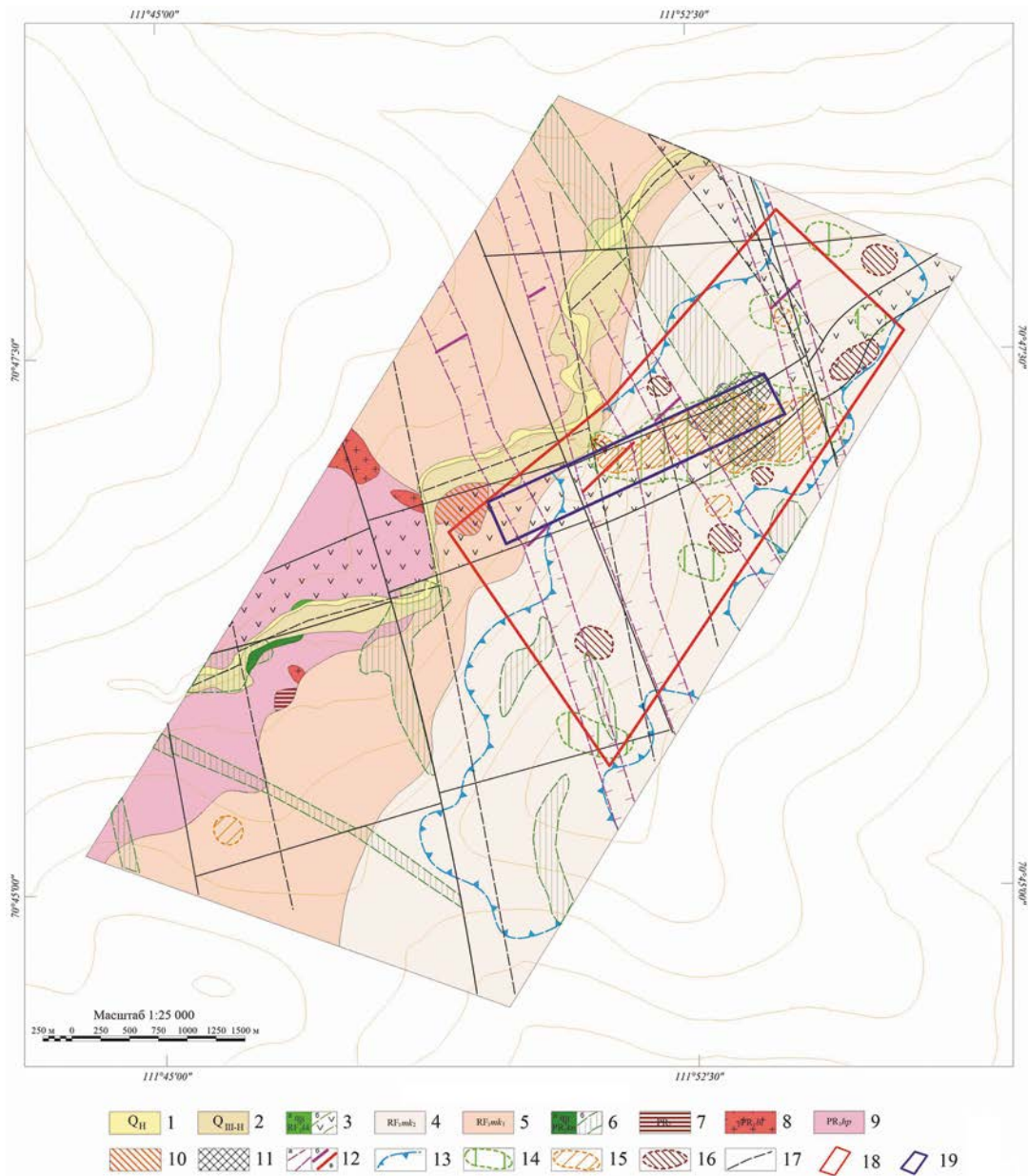


Рис. 5. Прогнозная схема геологической интерпретации геофизических данных по участку Восточный: *современные аллювиальные отложения:* 1 — русловые и пойменные пески, галечники, валунники; 2 — первая надпойменная терраса — пески, галечники, валунники; 3 — Котуйканский комплекс кварцевых долеритов. Дайки: а — на дневной поверхности, б — под вышележащими образованиями. *Мукунская серия:* 4 — средне- и мелкозернистые песчаники полевошпат-кварцевого состава; 5 — крупнозернистые песчаники преимущественно кварцевого состава с прослоями гравелитов и конгломератов; 6 — Кендейский комплекс кварцевых долеритов. Дайка: а — на дневной поверхности, б — под вышележащими образованиями; 7 — протерозойская кора выветривания, начальная стадия: дресва и щебень слабоветрелых гнейсов в глинистом субстрате; 8 — Биляхский plutонический комплекс гранодиорит-гранит-граносиенитовый. Гнейсограниты, лейкократовые биотитовые граниты; 9 — Хаптасыннская толща. Гиперстено-гранатовые и двупироксеновые гнейсы, плагиогнейсы, их биотит и графитосодержащие разновидности, прослои кальцифиров, мраморов; 10 — метасоматиты кварц-полевошпат-слюдистые (калишпатизация); 11 — сульфидная минерализация пирит-пирротинового состава; 12 — зоны высокой проводимости: а) проекция на поверхности; б) по профилю томографии; в) с высокой поляризуемостью. *Гидротермально-метасоматические изменения в песчаниках мукунской серии:* 13 — зона калишпатизации: послойное, пятнистое и гнездовое осветление средне- и мелкозернистых песчаников, обожрение, тонкие (1–2 мм) кварц-карбонатные прожилки с гидроокислами железа. Содержание в значительной степени новообразованного калишпата 10–30 %, отмечаются метасоматические серицит и иллит; 14 — зона глауконита: зеленовато-серые средне- и мелкозернистые песчаники с содержанием глауконита от 5 до 30 % с послойным и гнездовым распределением. Отмечается присутствие бурого биотита; 15 — зона полного осветления: светло-серые, до белых песчаники, часто окварцованные с многочисленными зонами дробления и разноориентированными прожилками кварц-карбонатного состава мощностью от первых мм до 1 см. Отмечаются метасоматические прожилки гидрослюдисто-серицитового состава с примесью гётита; 16 — зона гематитизации: кирпично-красные, бурые средне- и мелкозернистые песчаники, по которым отмечаются пленки гидроокислов железа, по сколам трещин — ярозит. Содержание гематита до 10 %. Отмечаются метасоматические иллит-серицит-гематитовые агрегаты; 17 — разрывные нарушения; 18 — контур перспективного участка для дальнейшего изучения; 19 — контур перспективного участка для проведения буровых работ

Гамма-спектрометрические поля в пределах участка работ характеризуются контрастной зональностью: для юго-восточной части установлено повышенное гамма-поле с отчетливой калиевой специализацией терригенных рифейских пород, а для северо-западной части — уран-ториевая природа радиоактивности метаморфитов хапчанского блока с урановыми аномалиями вблизи зоны ССН.

Повышенные содержания калия приурочены к верхней, менее грубозернистой, части песчаников и совпадают с областью частичного осветления, установленной геологическими наблюдениями и определенной петрографическими исследованиями, как зона калишпатизации. Области изменений, помимо калишпатизации, представлены зонами полного осветления с прожилками гидрослюдисто-серицитового состава, а также зонами глауконита и гематитизации.

На участке Восточный выполнены работы методом электротомографии с целью построения геоэлектрического разреза до глубины 300 м и определения зон повышенной проводимости и поляризуемости, ассоциирующих с графитоносными зонами, благоприятными для локализации урановорудной минерализации вблизи зоны предрифейского ССН. Электротомографические работы позволили подтвердить две зоны проводимости, выделенные по аэрогеофизическим данным, и локализовать две новые проводящие зоны с высокими значениями поляризуемости.

Профиль 2-2 располагается в центральной части участка, пересекая его в северо-восточном направлении. На интервале 0–3 км метаморфические породы фундамента выделяются областью высокого электрического сопротивления (от 10 000 до 100 000 Ом·м), сопоставимой с терригенным плитным комплексом (мукунская серия), которая перекрывается областью низких значений (500–5000 Ом·м). Мощность осадков здесь колеблется от 0 до 80 м, достигая в отдельных впадинах, вероятно тектонической природы, 130 м. На интервале 3–5,2 км в фундаменте выделяется серия высокопроводящих (менее 500 Ом·м) зон шириной до 400 м, причем на интервале 3,9–4,6 км они сопровождаются аномально высокими значениями поляризуемости (до 7 %), что с высокой долей вероятности связано с развитием здесь графитоносных пород. Терригенная толща на этом интервале разделяется на: верхнюю, с пониженным сопротивлением, мощностью до 110 м и нижнюю, с повышенным сопротивлением, мощностью до 105 м. Общая мощность толщи до 200 м. Интервал 5,2–7,2 км характеризуется переуглубленным осадочным чехлом (до 250 м) и единичной зоной проводимости в фундаменте с поляризуемостью до 2 %. В целом можно констатировать, что интервал 3,2–4,6 км совпадает с зоной интенсивных метасоматических изменений и является наиболее благоприятной обстановкой для локализации урановорудной минерализации.

По результатам интерпретации геолого-геофизических материалов на прогнозной схеме отмечены разрывные нарушения различного ранга, интрузивные породы

основного состава, области гидротермально-метасоматических изменений и зоны повышенной проводимости и поляризуемости, благоприятные для локализации урановорудной минерализации. *По совокупности критериев прогнозируемого уранового оруденения типа «несогласия», выделенных при геологических наблюдениях и интерпретации геофизических данных уточнен перспективный участок для постановки поисковых (красный контур), в том числе буровых (синий контур) работ (рис. 5).*

Юго-восточный фланг Анабарского щита

В пределах юго-восточного фланга Анабарского щита Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА», совместно с сотрудниками отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых (Молчанов А.В., Ефимов С.А.), в 2002 г. радиометрическими наблюдениями было установлено повышенное значение радиометрического фона в местах выхода на дневную поверхность зоны предрифейского ССН. Надфоновые превышения радиоактивности составляли от 5 до 10 мкР/ч и фиксировались на протяжении 15 км главным образом в местах перекрытия вещественных составляющих Биляхской ТФЗ красноцветными терригенными отложениями рифея.

В 2003 г. на средства АК «АЛРОСА» были выполнены АГСМ-работы м-ба 1:25 000 в пределах Биляхской ТФЗ, включая и ее юго-восточную оконечность, характеризующуюся повышенным радиометрическим фоном в пределах зоны ССН. Последняя отчетливо устанавливается по аэромагнитным данным и по радиоактивным каналам (уран, торий, калий).

Зона предрифейского ССН трассируется ярко выраженной аномалией содержания урана, а также тория и калия. В пределах зоны ССН были намечены три участка для проведения наземной заверки (включая буровые работы и выявление аэрогамма-спектрометрических аномалий) — Биригиндинский, Мюнюсяхский и Боронгский.

На основании проведенного металлогенического анализа данного региона было выполнено районирование по урану с выделением Биригиндино-Мюнюсяхского золото-урановорудного потенциального района и Боронг-Биригиндинского золото-урановорудного потенциального узла (рис. 6).

Для заверки радиометрических аномалий на территории Биригиндино-Мюнюсяхского потенциального урановорудного района в зонах ССН силами Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА» в 2005–2007 годах выполнялись наземные геофизические и буровые работы по оценке аэроаэроактивных аномалий (участки Биригиндинский, Боронгский, Мюнюсяхский). По результатам полукорреляционных 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 скважинами были вскрыты, по данным каротажа (СГК), многочисленные геохимические аномалии урана, тория и редких земель. В частности, на участ-

ке Биригиндинский три скважины, по данным каротажа (СГК), вскрыли убогое (скв. 13), бедное (скв. 19) и рядовое (скв. 17) урановое оруденение, представленное урановородными брекчиями. Наилучшие пересечения получены в скважине №17 с содержанием урана 0,158 % на мощность 0,9 м и 0,18 % на 0,7 м. Причем указанные три скважины были пробурены в зонах электропроводности, прослеженных в породах фундамента по данным электроразведочных работ (метод срединного градиента). Для каждого участка построены планы изоом, на которых отчетливо проявлены зоны электропроводности. Кроме того, составлялись геоэлектрические разрезы с прослеживанием на глубину электропроводящих зон, рассматриваемых авторами как рудоподводящие каналы. На дневной поверхности данные зоны фиксируются геохимическими аномалиями (вторичные ореолы рассеяния кобальта, никеля, иттербия, марганца). Кроме того, практически все скважины, заданные над электропроводящими зонами, вскрыли интервалы с существенно

вышекларковыми содержаниями урана, а за пределами указанных зон подобное не наблюдалось.

Урановая минерализация, вскрываемая скважинами, по данным сотрудников ФГБУ «ВИМС», представлена тонкой вкрапленностью коффинита, урансодержащих торутита, синхизита, торианита, ураноторита, урансодержащих глинисто-гидроslюдистых минералов, развитых в цементе урановородных брекчий (рис. 7, 8).

В пределах выделенных Биригиндино-Мюнюсяхского золото-урановородного потенциального района и Боронгиригиндинского золото-урановородного потенциального узла, наблюдается наложение двух рудоформирующих процессов, приводящих к формированию уран-торий-редкоземельно-редкометалльного оруденения, за которое ответственен процесс карбонатитообразования, а также собственно урановородный процесс, проявившийся вблизи зоны предрифейского регионального ССН, отвечающий за формирование урановородных тел типа «несогласия». Так, по данным ФГБУ «ВИМС» Т.Н. Сириной и Б.Н. Шашорина [8],

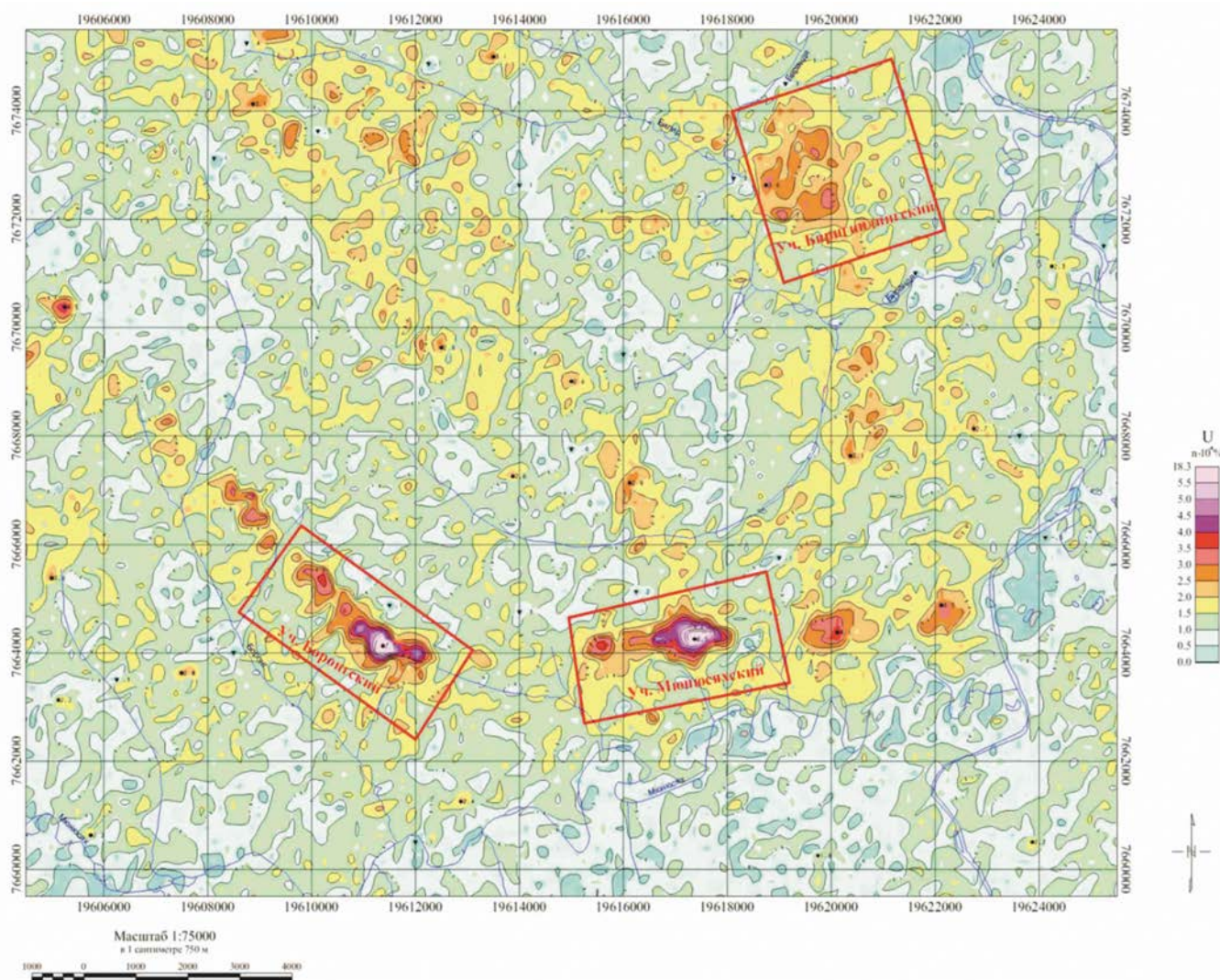


Рис. 6. Карта содержаний урана по юго-восточному флангу Анабарского щита. Амакинская ГРЭ АК «АЛРОСА», 2003 г. Масштаб съемки 1: 25 000

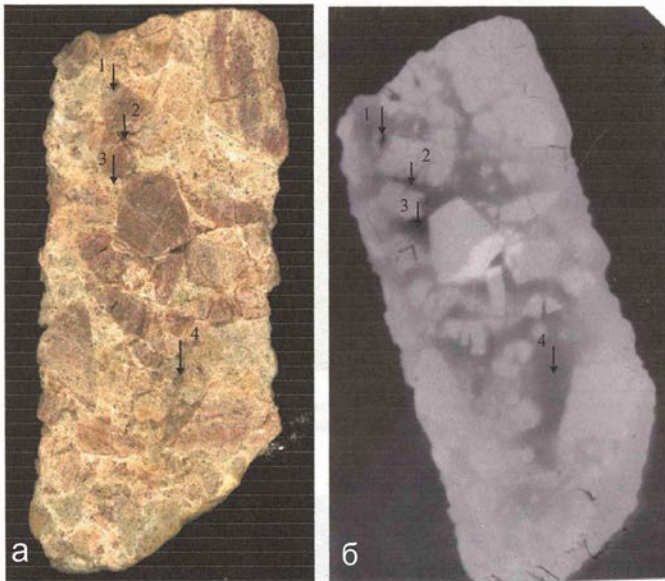


Рис. 7. а) — урановорудная брекчия с обломками калишпатовых метасоматитов и рыхлым урановорудным цементом. Обр. 17/179,6. Фото Сириной Т.Н., ВИМС, 2006 г.; б) — радиография (Обр. 17/179,6) экспозиция 20 суток, ВИМС, 2006 г.

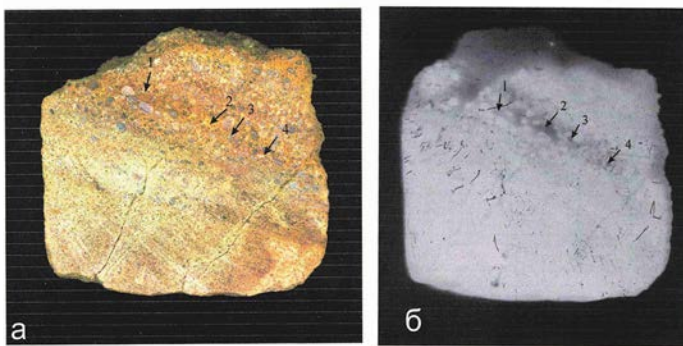


Рис. 8. а) — осветленный, брекчированный гравелито-песчаник с «прожилком» урановорудной брекчии Обр. 17/177,7. Фото Сириной Т.Н., ВИМС, 2006 г.; б) — радиография (Обр. 17/177,7) в натуральную величину, экспозиция 20 суток. ВИМС, 2006 г.

во всех вскрытых скважинами урановорудных интервалах выявлены более древние аномальные ниобий-редкоземельно-высокоториевые концентрации, на которые и накладываются урановорудные брекчии.

Авторские прогнозные ресурсы урана кат. P₂ по данным сотрудников Эбеляхской партии Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА» Румянцева В.Д. и других, для выделенных в пределах Биригиндино-Мюнюсяхского потенциально золото-урановорудного района потенциально урановорудных зон в сумме для Биригиндинского и Южного участков (последний расположен на правом берегу р. Биригиндэ), составили 15,5 тыс. т. Следует подчеркнуть, что представленные авторские ресурсы коллегами из Эбеляхской партии рассчитывались по данным гамма-каротажа, поскольку в рудных интервалах выход керн практически отсутствовал ввиду его полного разрушения при физиче-

ском воздействии бурового оборудования. К сожалению, несмотря на полученные значительные авторские ресурсы урана, по объективным и субъективным причинам, собственно поисковые работы на участке поставлены не были, вследствие чего, четкого понимания наличия или отсутствия здесь месторождений типа «несогласия», а также его масштабов, до настоящего времени не имеется.

В связи с последним, рекомендуется провести поисковые на уран работы вблизи зоны предрифейского ССН в пределах Боронг-Биригиндинского потенциального золото-урановорудного узла и в северо-восточной части Биригиндино-Мюнюсяхского потенциального золото-урановорудного района с целью выявления высокорентабельных месторождений типа «несогласия».

Помимо Биригиндино-Мюнюсяхского потенциально урановорудного района, перспективами на обнаружение месторождений типа «несогласия» обладает зона ССН куранахского «рифейского залива», локализованная в средней части Биляхской ТФЗ, в бассейне рек Куранах, Хаптыспыта и Мальджангарка. Здесь отдельные рудоносные структуры, представленные зонами бластокатаклазитов, тектонических брекчий, графитсодержащих высокоглиноземистых гнейсов, насыщенные радиоактивными аномалиями, в том числе урановой природы. Как на южном, так и северном флангах куранахского залива, они с резким структурно-стратиграфическим несогласием перекрыты красноцветными терригенными толщами раннего рифея. В данном районе рифейские и раннепротерозойские породы, а также метаморфизованные коры выветривания предрифейского возраста, претерпели интенсивные гидротермально-метасоматические преобразования с новообразованием зон гидрослюдистой березитизации. В зонах разрывных нарушений, вблизи зоны ССН на южном фланге куранахского «рифейского залива», выявлены проявления вторичной урановой минерализации, представленной уранофаном. На площади куранахского «рифейского залива» рекомендуется провести прогнозно-металлогенические работы с бурением м-ба 1: 50 000.

Алданский щит

В истории геологического развития Алданского щита (рис. 9) выделяются этапы, характеризующиеся проявлением в их временных рамках рудоподготовительных (осадконакопление, региональный метаморфизм, ультраметаморфизм, магматизм) и рудоформирующих (гидротермально-метасоматическая деятельность) процессов, в результате действия которых обособились, начиная с архея, металлогенические по урану эпохи и металлогенические подразделения ранга ураноносных зон, урановорудных (или потенциальных урановорудных) районов и узлов. В пределах щита в конце 1960-х годов были обнаружены крупные по запасам урановые месторождения, локализованные в пределах Эльконского золото-урановорудного района. Месторождения сформированы на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации, ответственной за формирование в регионе крупных и уникальных по запасам месторождений урана и золота, входящих в резервный фонд страны.

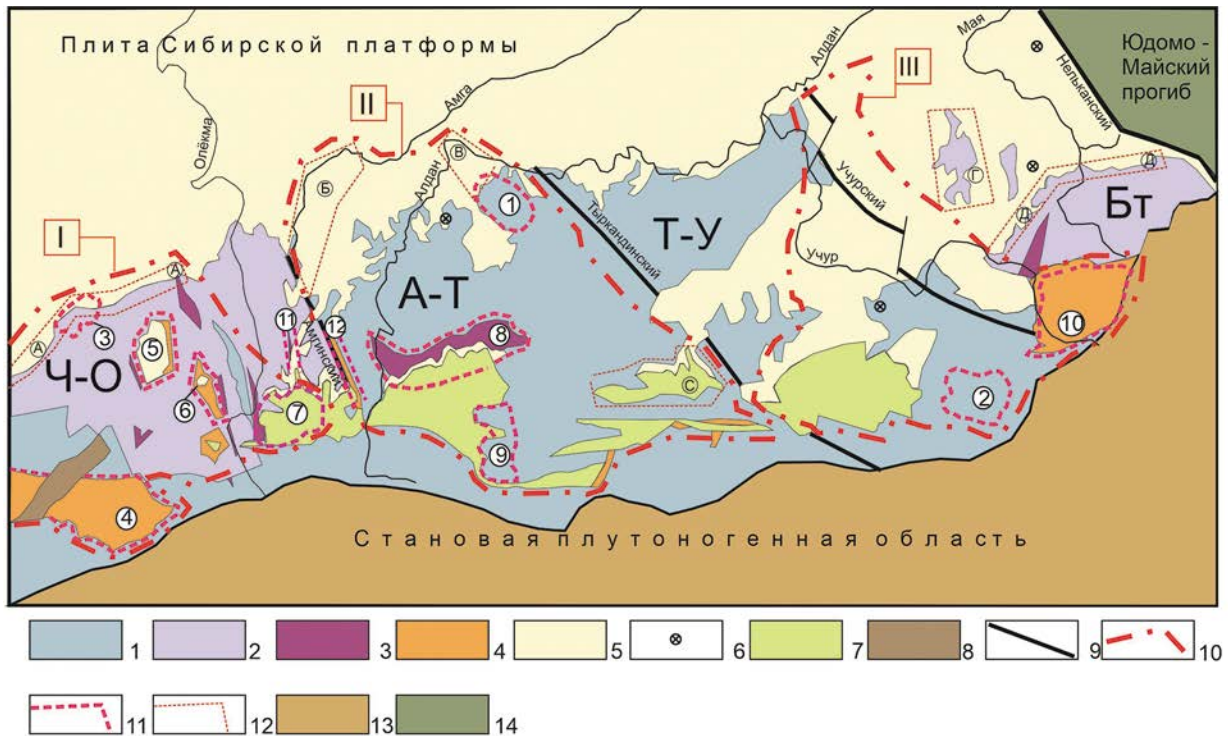


Рис. 9. Схема металлогенического по урану районирования Алданского щита [Молчанов, 2004]: 1–2 — протократонный СФК: 1 — AR_1 , 2 — AR_2 ; 3 — СОК зеленокаменных поясов; 4 — СФК раннепротерозойской тектоно-магматической активизации; 5 — платформенный СФК; 6 — массивы щелочно-ультраосновных пород; 7 — СФК мезозойской тектоно-магматической активизации; 8 — СФК современных рифтов; 9 — региональные межблоковые зоны разломов; 10 — металлогенические области: I — Центрально-Алданская урановорудная, II -Чаро-Олекминская урановорудная, III — Улкано-Учурская потенциально-урановорудная; 11 — урановорудные и потенциально-урановорудные районы и зоны: 1 — Эльконский, 2 — Тырканский, 3 — Торгойский, 4 — Удоканский, 5 — Угуйский, 6 — Олдонгсинский, 7 — Усмунский, 8 — Унгра-Тимптонский, 9 — Горбылях-Тимптонский, 10 — Улканский, 11 — Субганская, 12 — Ярогинская; 12 — минерализованные площади, перспективные на обнаружение месторождений урана, в том числе вблизи зон древних структурно-стратиграфических несогласий: А — Чаро-Токкинская, Б — Амгинская, В — Северо-Эльконская, Г — Омнинская, Д — Северо-Батомгская, С — Ытымджинская; Мегаблоки: (Ч-О) — Чаро-Олекминский, (А-Т) — Алдано-Тимптонский, (Т-У) — Тимптоно-Учурский, (Бт) — Батомгский; 13 — становая плутогенная область; 14 — Юдомо-Майский прогиб

Исходя из тематики статьи, авторами опускается характеристика архейской и раннепротерозойской металлогенических по урану эпох. Отметим лишь, что к началу рифейской эпохи, во временных рамках которой в регионе могли быть сформированы месторождения типа «несогласия», Алданский щит уже характеризовался отчетливой радиогеохимической и металлогенической по урану специализацией [5, 6].

Важной в металлогеническом отношении чертой дорифейской истории развития щита, сыгравшей существенную роль для последующих металлогенических эпох, является становление полного, законченного спектра гидротермально-метасоматических процессов, от *высокотемпературных* — кварц-плагиоклаз-ортоклазовых, кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов, *среднетемпературных* — пропицитов и *низкотемпературных* — эйситов, способствовавших масштабной мобилизации, перераспределению и последующей локализации урана, вплоть до формирования урановых месторождений. В частности, месторождения урана Тавитчак [2], расположенного в Тимптоно-Учурском блоке щита.

На востоке Алданского щита, в зоне сочленения Тимптоно-Учурского и Батомгского блоков, формировался Улканский протовулканогенный прогиб (рис. 10). В его геологическом строении участвует сложный комплекс осадочно-вулканогенных отложений, составляющих конгломерато-кварцево-песчаниковую (топориканская свита) и терригенную трахиандезит-трахилипаритовую (элгетейская свита) формации. Их вещественные составляющие с резким угловым несогласием залегают на метаморфогенно-ультраметаморфогенных образованиях архейского возраста, а также на древних метаморфизованных корях выветривания (реолитах) предраннепротерозойского возраста. Отчетливой радиогеохимической специализацией характеризуется терригенная трахиандезит-трахилипаритовая формация раннепротерозойского возраста в объеме элгэтэйской свиты.

На северной оконечности Улканского протовулканогенного прогиба, вблизи зоны ССН предраннепротерозойского возраста, геологами ГПП «Таежгеология» в 1980-х годах выявлено рудопроявление Топорикан (рис. 11), которое по структурной позиции уранового оруденения, характеру эпигенетических новообразований,

наличию древних метаморфизованных кор выветривания, а также графитосодержащих и графитоносных кристаллосланцев ниже зоны ССН [2], может быть сопоставлено с известными урановыми месторождениями впадины Атабаска, хотя приуроченность к зоне предраннепротерозойского ССН сближает его, прежде всего, с месторождением Мартин, локализованным в уранорудном рудном районе Биверлодж Канадского щита [4].

Содержание урана в рудных телах рудопроявления по материалам ГПП «Таежгеология» варьирует 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 (ГПП «Таежгеология»),

составляет 1236 ± 21 млн лет. Однако имеются и другие значения: 1053 ± 72 , 770 ± 48 , 400 млн лет, что обусловлено воздействием на оруденение более поздних эпигенетических процессов. Основными концентраторами рудогенных элементов — U, Ag, Mo, As, Cu, Zn, Pb на рудопроявлении являются гидрослюдистые березиты как вблизи зоны предраннепротерозойского ССН, так и вблизи субвертикальных зон разломов. Температура процесса березитизации, определенная методом гомогенизации индивидуальных газово-жидких включений в кварце, составила 125°C .

На *рифейском этапе* в пределах Алданского щита существовал платформенный режим развития, во временных рамках которого имели место процессы денудации и пенеplanation древней поверхности с одновременным

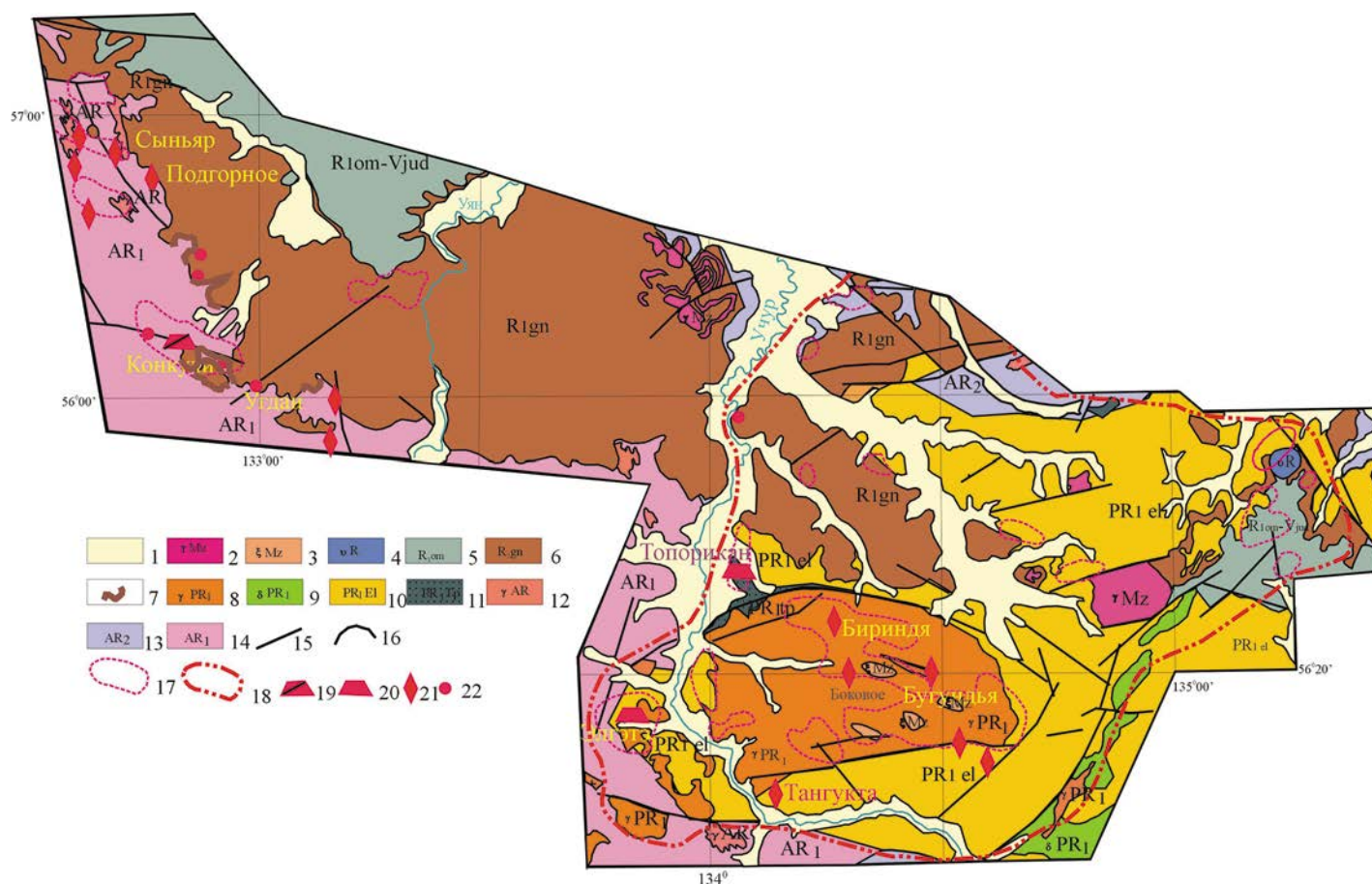


Рис. 10. Специализированная на уран структурно-формационная карта Учуро-Уянской площади Алданского щита (Тимптоно-Учурский, Батомский блоки): 1 — современные аллювиальные отложения; 2 — гранитоиды гранит-лейкогранит-граносиенитовой формации; 3 — породы фонолит-щелочно-сиенитовой формации; 4 — ультраосновные и щелочные породы с карбонатами; 5 — отложения песчико-доломитовой формации; 6 — отложения конгломерато-песчаниковой красноцветной формации; 7 — метаморфизованные коры выветривания предрифейского возраста (реголиты); 8 — гранитоиды гранит-лейкогранитовой формации; 9 — мафиты габбро-анортозитовой формации; 10 — вулканиты трахиандезит-трахириолитовой формации; 11 — отложения конгломерато-кварцевопесчаниковой формации; 12 — гранитоиды гранитовой формации; 13 — метаморфические формации позднего архея (амфиболитовая фация метаморфизма); 14 — метаморфические формации раннего архея (гранулитовая фация метаморфизма); 15 — линейные разломы; 16 — кольцевые разломы; 17 — ореолы повышенных содержаний урана по данным АГСМ-работ ГПП «Таежгеология»; 18 — границы Улканского потенциального урановорудного района. Рудные объекты: 19–20: урановой формации месторождений типа «несогласия» (19 — вблизи зоны предрифейского ССН, р/ Конкули; 20 — вблизи зоны предраннепротерозойского ССН, р/п Топорикан); 21 — ураноносной торий-редкоземельно-редкометалльной формации в кварц-альбит-микроклиновых метасоматитах; 22 — проявления урановой минерализации неясной формационной принадлежности, тяготеющие к зоне ССН предрифейского возраста

прогибанием отдельных ее участков (Учурский эпикратонный прогиб), накоплением мощной толщи красноцветных терригенно-осадочных отложений, нижняя часть которых с резким структурно-стратиграфическим несогласием залегает на геологических образованиях архейского и раннепротерозойского этапов развития и на древних (дорифейских) метаморфизованных корях выветривания, которые наиболее ярко проявлены в пределах Учурского эпикратонного прогиба (см. рис. 10). Древние метаморфизованные коры выветривания (бассейны рек Учур, Уян) претерпели на рифейском и мезозойском этапах развития щита масштабное воздействие гидротермально-метасоматических процессов, приведших к формированию калиевых пропилитов и гумбеитов. Радиологический возраст монофракции ортоклаза из метаморфизованной коры выветривания, определенный Rb-Sr методом во ВСЕГЕИ, составил 1670 млн лет. Процесс калишпатизации, включая адуляризацию 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 повышенными содержаниями урана и золота, что, видимо, обусловлено не первичным накоплением этих элементов, а их привнесом на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации.

Базальные части разреза рифейских отложений Алданского щита повсеместно представлены проницаемыми 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 (рудопроявления Дюринг-Юрях, Темное и др.) и востоке — Учуро-Уянский прогиб (рудопроявления Конкули, Угдан и др.) [7].

К сожалению, не были подвергнуты прогнозно-поисковым работам площади севернее рудопроявления Топорикан, на право- и левобережье р. Учур, где красно-, и пестроцветные терригенные отложения рифейского возраста с резким ССН залегают на высокорadioгеохимически специализированных вулканитах элгетэйской свиты и метаморфизованных корях выветривания предрифейского возраста.

В отличие от Анабарского щита, в истории геологического развития Алданского щита, чрезвычайно широко и масштабно проявился этап мезозойской тектоно-магматической активизации, приведшей к формированию крупных по запасам урановых и золоторудных месторождений. Низкотемпературные рудоносные гидротермально-метасоматические процессы, приведшие к формированию рудоносных низкотемпературных гидротермально-метасоматических новообразований: гумбеитов, цеолититов и березитов, широко проявлены и в зонах ССН предраннепротерозойского (Угуйская, Олдонгсинская грабен-синклинали; Улканский протовулканоген) и предрифейского (Учуро-Майский прогиб, Улканский протовулканоген) возраста.

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 опоскованными, 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

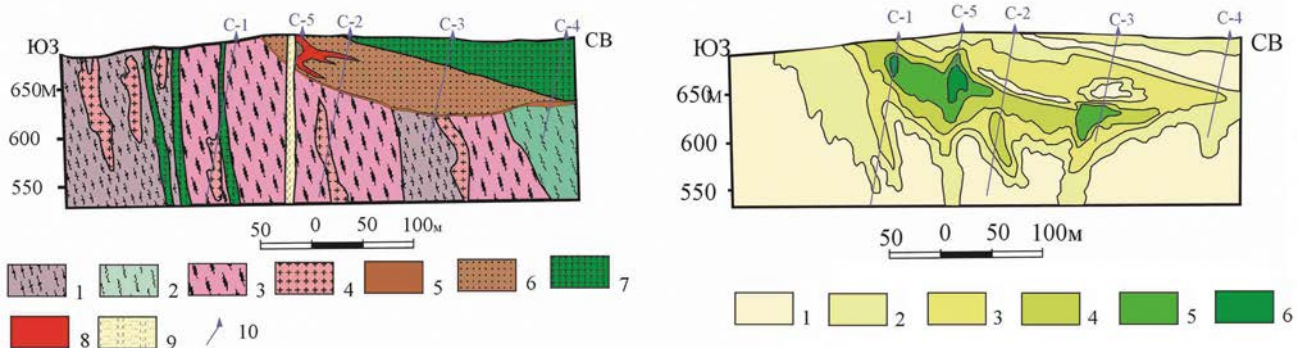


Рис. 11. Рудопроявление Топорикан. Геологический разрез слева и схема ореолов развития гидрослюдистых березитов. Материалы аэропартии №35 ПГО «Таежгеология»: 1 — биотит-амфиболовые гнейсы (AR_1), 2 — метабазиты (AR_1), 3 — графит-гранат-биотит-плагиоклазовые гнейсы, в том числе катаклазированные и подвергшиеся порфиробластезу, 4 — гранитоиды (AR_2), 5 — древние метаморфизованные коры выветривания (реголиты), 6 — гравелитопесчаники, кварцевые разнозернистые песчаники топориканской свиты (PR_1), 7 — диабазы (R), 8 — рудное тело, 9 — зона брекчирования, 10 — скважины и их номера. Степень проявленности гидрослюдистых березитов (в %) к общему объему породы: 1 — до 20; 2 — 20–39; 3 — 40–59; 4 — 60–79; 5 — 80–89; 6 — более 90

такого оруденения в большинстве зон древних ССН щита (рудопроявления Калибри, Бабочка, Гросс, Темное, Конкули, Угдан и др.), но не подвергавшегося 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.*

В связи с последним, к первоочередным для постановки прогнозно-металлогенических и поисковых работ 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.

Рекомендации

Для выявления высокорентабельных месторождений урана типа «несогласия» в пределах Анабарского и Алданского щитов Сибирской платформы следует до 2030 г. провести комплекс поисковых и прогнозно-металлогенических на уран работ м-ба 1: 50 000 и крупнее.

На **Анабарском щите** провести:

— поисковые работы по северо-западному флангу щита:

1) *в пределах Турунг-Тугуттурского потенциального урановорудного узла;*

2) *на продолжении тектоно-флюидитных зон (Билляхской, Котуйкан-Монхоолинской, Северо-Анабарской и Салтахской), перекрытых красноцветными терригенными отложениями рифейского возраста:*

— выполнить аэрогеофизические исследования м-ба 1:25 000 с локализацией площадей для проведения наземных поисковых работ на уран:

3) *в пределах Мукунской потенциальной урановорудной зоны:*

— поисковые работы на восточном фланге щита:

1) *в пределах локализованных площадей на участке Восточный (в рамках листов R-49-IX, X);*

2) *в пределах Боронг-Биригиндинского потенциально золото-урановорудного узла и северо-западного фланга Биригиндино-Мюнюсяхского потенциального золото-урановорудного района (в рамках листов R-49-XXIX, XXX; R-50-XXV).*

— выполнить аэрогеофизические исследования м-ба 1:25 000 с локализацией площадей для проведения наземных поисковых работ на уран:

3) *в пределах Восточно-Анабарской потенциальной урановорудной зоны;*

— прогнозно-металлогенические исследования м-ба 1: 50 000:

4) *в пределах куранахского «рифейского залива» (в рамках листов R-49-XXIII, R-49-XXIV).*

На **Алданском щите** провести:

— поисковые работы в пределах зон ССН предрифейского возраста:

1) *на площади Улканского потенциально-урановорудного района (в рамках листов O-53- XXXII, XXXIII);*

2) *на площади Улкано-Учурской потенциально-урановорудной области в бассейне рек Уян и Учур (листы O-53-XXV, XXVI, O-52-XXX).*

— прогнозно-металлогенические и поисковые работы на западном фланге щита:

3) *в пределах Угуйского и Олдонгсинского потенциальных урановорудных районов (в рамках листов O-51-XIX, O-50-XXIV, O-51-XIII, O-50-XVIII);*

4) *в пределах зоны предрифейского ССН на продолжении рудоносных структур Угуйской грабен-синклинали под плитный комплекс Сибирской платформы (O-51-XIII, O-50-XVIII).*

Постановка предложенных поисковых и прогнозно-металлогенических на уран работ 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 типа «несогласия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 г. — М., 2021. — 568 с. / Гл. редакторы: Петров Е.И. и др.
2. Машковцев, Г.А. Уран Российских недр / Г.А. Машковцев, А.К. Константинов, А.К. Мигута, М.В. Шумилин, В.Н. Щеточкин. — М.: ВИМС, 2010. — 850 с.
3. Молчанов, А.В. Металлогения урана щитов Сибирской платформы / А.В. Молчанов // Региональная геология и металлогения. — № 13–14, С-Пб: ВСЕГЕИ, 2001.
4. Молчанов, А.В. Металлогения урана древних щитов / А.В. Молчанов, А.В. Толстов, С.А. Ефимов // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века: Матер. региональной науч.-прак. конф. «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-методическое обеспечение их решений, посвященной 35-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА», 2003, Воронежский ГУ.
5. Молчанов, А.В. Металлогения урана Алданского и Анабарского щитов / А.В. Молчанов: Автореферат дисс. доктора геолого-минералогических наук. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. — 42 с.
6. Молчанов, А.В. Историко-геологическая модель уранового рудогенеза Алданского и Анабарского щитов Сибирской платформы / А.В. Молчанов // Региональная геология и металлогения. — 2022. — № 90. — С. 78–90.
7. Томашев, А.В. Геологическое строение и перспективы на уран в Учуро-Майском районе (Хабаровский край) / А.В. Томашев, А.В. Молчанов // Сборник ВИМС. Пятый международный симпозиум: УРАН: ГЕОЛОГИЯ, РЕСУРСЫ, ПРОИЗВОДСТВО. Сборник докладов, 23–24 ноября 2021. — С. 114–134.
8. Шашорин, Б.Н. Особенности глубинного строения Анабарского щита в связи с проблемой его ураноносности / Б.Н. Шашорин, Р.Н. Афансьева // Разведка и охрана недр. — 2007. — № 4. — С. 29.

© Коллектив авторов, 2024

Молчанов Анатолий Васильевич // Anatoly_Molchanov@karpinskyinstitute.ru
Лазарев Федор Дмитриевич // FLazarev@karpinskyinstitute.ru
Кирплюк Павел Валентинович // Pavel_Kirplyk@karpinskyinstitute.ru
Онищенко Андрей Николаевич // Andrey_Onishenko@karpinskyinstitute.ru
Леденгский Роман Андреевич // Roman_Ledengskiy@karpinskyinstitute.ru
Лазарев Антон Федорович // Anton_Lazarev@karpinskyinstitute.ru

Статья поступила в редакцию 03.06.2024 г.