

ДВА ТИПА РУДОНОСНЫХ ГУМБЕИТОВ ЭЛЬКОНСКОГО ЗОЛОТО-УРАНОВОРУДНОГО УЗЛА (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)

В пределах Эльконского золото-урановорудного узла выделены два структурно-вещественных блока, резко различающихся особенностями геологического строения, типами рудоносных гидротермально-метасоматических образований и собственно золото-уранового оруденения. Для юго-восточного блока характерно наличие рудоносных гумбеитов эльконского типа (142 ± 5 – 152 ± 6 млн лет) с золото-урановым оруденением, участвующих в строении долгоживущих региональных зон разрывных нарушений. В северо-западном блоке широко развиты рудоносные гумбеиты рябинового типа ($129,1 \pm 1,2$ млн лет), тяготеющие к ареалам развития щелочных мезозойских комплексов с золото-медной минерализацией. Предложена двухстадийная геолого-генетическая модель формирования золото-урановорудных объектов Эльконского рудного узла.

Ключевые слова: *гумбеиты, рудоносность, Эльконский золото-урановорудный узел, Южная Якутия.*

Two structural blocks with significantly different features of the geological structure, types of developed ore-bearing alteration formations and the actual gold-uranium mineralization can be distinguished in the Elkon gold-uranium ore cluster. The south-eastern block characterized by the presence of ore-bearing gumbeyti of «elkonskey» alteration type (142 ± 5 – 152 ± 6 Ma) with gold-uranium mineralization participating in the structure of long-lived regional zones of faults. Within the north-western block mineralized gumbeyti of «ryabinovy» alteration type (129.1 ± 1.2 Ma) with gold-copper mineralization tending to areas of mesozoic alkaline magmatic rocks are widespread. It made possible to propose a two-stage geological-genetic model for the formation of gold-uranium ore objects of the Elkon ore cluster.

Keywords: *gumbeyti, ore-bearing, Elkon gold-uranium ore cluster, South Yakutia.*

Введение. В настоящее время становятся актуальными исследования условий локализации промышленно значимых концентраций урана и золота в комплексных золото-урановых объектах. Подобные рудные объекты известны в пределах Эльконского золото-урановорудного узла, где радиоактивные, редкие и благородные металлы встречаются совместно, и их формирование обусловлено масштабным проявлением магматической и гидротермально-метасоматической деятельности щелочного петрохимического профиля.

В работах предшественников гидротермально-метасоматические образования Эльконского рудного узла, в том числе и вмещающие золото-урановое оруденение, охарактеризованы недостаточно полно. Авторами статьи выполнена типизация рудовмещающих метасоматитов и разработаны критерии локализации площадей, перспективных на обнаружение золото-урановых месторождений.

Методы исследования. Проводилось комплексное петрографо-геохимическое изучение гидротермально-метасоматических образований, кроме того изотопно-геохронологическое исследование по Re-Os датированию сульфидов из рудоносных метасоматитов (возраст определялся в ЦИИ ВСЕГЕИ), изучены флюидный режим формирования данных метасоматитов и газово-жидкие включения; определен удельный вес образцов горных пород по стандартной методике и расчет баланса вещества в ходе метасоматического процесса; изучен состав рудной минерализации в прозрачно-полированных

шлифах с нанесенным углеродным напылением на приборе CamScan MV 2300 с энергодисперсионным микроанализатором LINK Pentafet (Oxford Instr.), при этом характер взаимоотношений и последовательность образования рудных минералов изучались в отраженном свете на микроскопе Leica.

Химический анализ проб рудоносных метасоматитов на Rb, Sr, Zr, Nb, Y, La, Ce, Yb, Th, U, Be, Li, Mo, Sn, B, Cu, Pb, Zn, Bi, Sb, Ge, Ga, Sc, Co, Ni, Mn, Ti, V, As проведен на приборе «ELAN-6100 DRC» (масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ISP-MS). Для определения Sc использовались атомно-эмиссионный метод (прибор Optima-4300 ISP AES), Au метод атомной абсорбции (полного кислотного вскрытия) на приборе Aanalyst-800, Hg метод холодного пара на приборе «Юлия 5М», W, Cr, Ba рентгеноспектральный флуоресцентный (сцикатный) метод (XRF).

Геологическое строение Эльконского рудного узла. Геологические образования слагают два структурных этажа, вещественные составляющие которых на протяжении всей истории геологического развития претерпевали воздействие разновозрастных гидротермально-метасоматических процессов, в том числе рудоподготовительных и рудоформирующих. Имели место мобилизация, перераспределение и отложение рудного вещества с формированием комплексного золото-медного и золото-уранового оруденения в благоприятных рудо локализирующих структурах, в частности в зонах региональных раз-

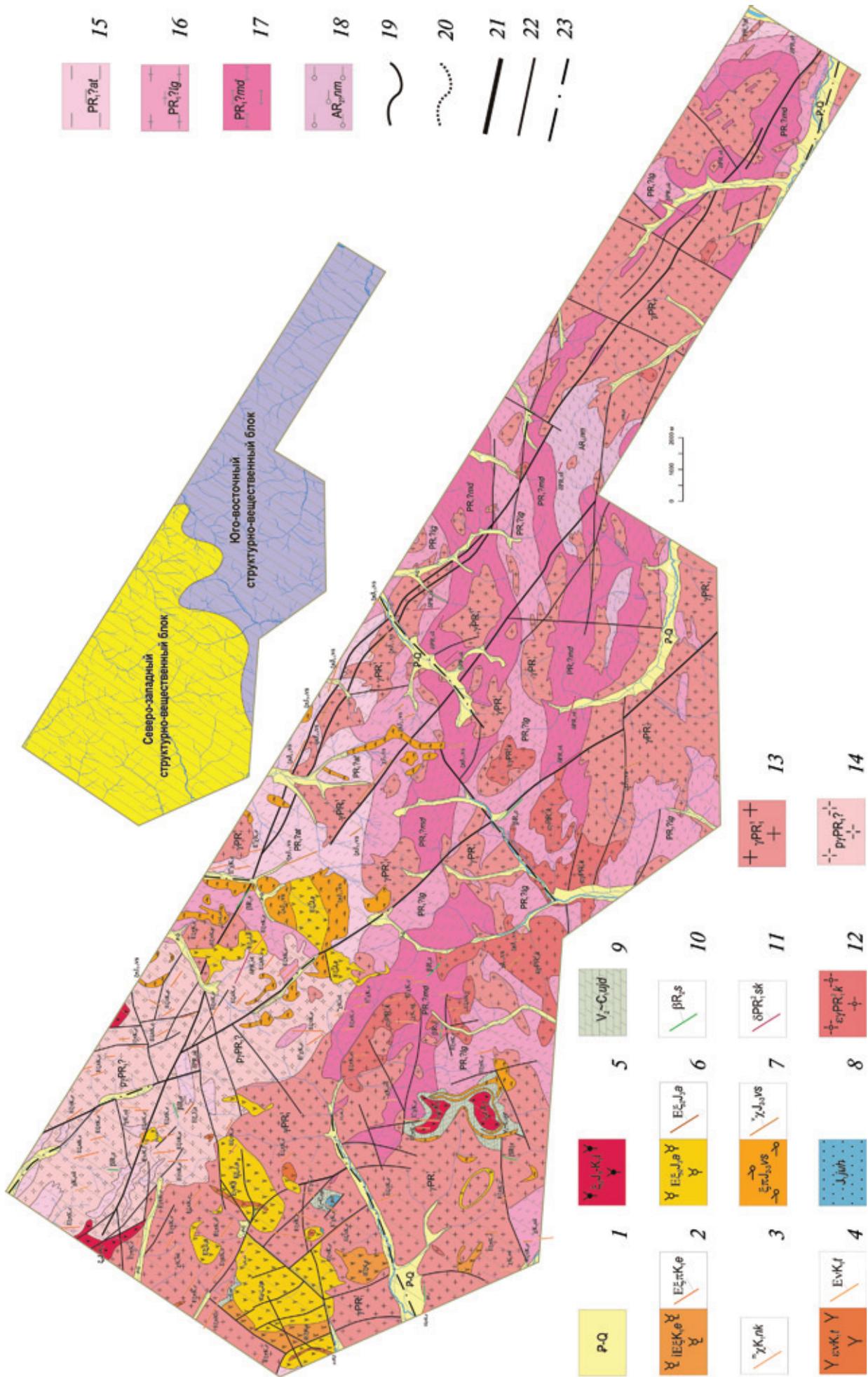


Рис. 1. Геологическая карта Эльконского золото-урановорудного узла (масштаб 1 : 50 000) с делением на блоки

1 — нерасчлененные отложения террас и долин; 2 — эльконский гипабиссальный комплекс целочисленит-щелочногранитовой, эруптивные брекчи с сельсбергитовым цементом; экзоплюзивные брекчи с трахитовым цементом; дайки и мелкие тела щелочных сиенит-порфиров (в том числе эгириновых и кварцевых), граносиенитов, сельсбергитов, бостонитов; 3 — нижнекурунахский гипабиссальный комплекс *вогезит-минетт*, *вогезитов*; 4 — *тобукский гипабиссальный комплекс щелочных пикробазальтов*, мелкие штоки и дайкообразные тела шонкнитов, лампрофиров и биотитовых пироксенитов; 5 — *лебединский плутоновый комплекс монцион-сиенитовой*, вторая фаза, лополиты, штоки, лавколлиты порфировидных кварцевых сиенитов; 6 — *аданский плутоновый комплекс целочисленитовой*, вторая фаза, штоки щелочных сиенитов; штоки и лополиты лаурвикитов и пуласкитов; дайки, силлы щелочных сиенитов; 7 — *верхнеглидарский гипабиссальный комплекс сиенит-порфировый*, лавколлиты, силлы сиенит-порфиров; штоки, силлы вогезитов; дайки сиенит-порфиров; 8 — *токо-чуманская серия*, юхтинская свита, песчаники разнозернистые, редкие прослои и линзы гравелитов, конгломератов и алевролитов (менее 100 м); 9 — *юдомская серия*, усть-юдомская свита, доломиты, в том числе битуминозные, прослои оолитоподобных, реже глинистых, известковистых доломитов. В основании прослои и линзы (0–15 м) кварц-полевошпатовых песчаников, алевролитов, гравелитов и метамондиоритов; 10 — *свагалинский гипабиссальный комплекс долеритовой*, дайки долеритов; 11 — *скальный плутоновый комплекс метамондиоритовой*, дайки метадiorитов и метамондиоритов; 12, 13 — *каменковский плутоновый комплекс лейкогранитовой*; 12 — мелкие массивы умереннощелочных гранитов, 13 — граниты нерасчлененные. Митатит-плутоны гранитов (амфиболовых, биотитовых) гнейсовидных, гранито-гнейсов; 14 — *плаггиограниты образования структур федоровской серии*, реликтовые массивы гнейсовидных плаггиогранитов и плаггиогмитов; 15–17 — *федоровская серия*; 15 — атырская свита. Плаггиосланцы и плаггиогнейсы биотит-роговообманковые и роговообманковые-диопсидовые (более 1000 м), 16 — леггирская свита. Плаггиосланцы и плаггиогнейсы диопсид-роговообманковые, двупироксен-роговообманковые, двупироксен-роговообманковые, биотит-гиперстеновые и роговообманковые, биотит-роговообманковые и роговообманковые, линзы кристаллосланцев флогопит-диопсидовых, скаполит-диопсидовых, двупироксен-роговообманковые, прослои плаггиосланцев биотит-роговообманковых и роговообманковых и двупироксен-роговообманковых, плаггиосланцы и плаггиогнейсы диопсид-роговообманковые, двупироксеновые, биотит-гиперстеновые, роговообманковые и роговообманково-диопсидовые, линзы диопсидовых кристаллосланцев и магнетит-флогопит-диопсидовых пород (не более 1200 м); 18 — *верхнеаданская серия*, нимырская свита. Плаггиосланцы и плаггиогнейсы биотитовые, роговообманково-диопсидовые (часто с ортопироксеном), гранат-биотитовые, прослои гнейсов и кристаллосланцев силлиманит-гранат-кордиеритовых, линзы кварцито-гнейсов биотитовых (не более 200 м); 19, 20 — геологические границы; 19 — согласные залегания и интрузивных контактов, 20 — несогласные залегания; 21–23 — разрывные нарушения; 21 — второстепенные, 22 — главные, 23 — скрытые под четвертичными

рывных нарушений и ареалах развития щелочного мезозойского магматизма.

Нижний структурный этаж сложен архейскими гранитизированными образованиями верхнеаданской серии и протерозойскими метаморфитами федоровской серии. Выходы пород нижнего структурного этажа занимали более 90% площади Эльконского рудного узла, при этом на северном и юго-западном флангах они со структурно-стратиграфическим несогласием перекрываются терригенно-карбонатными отложениями юдомской и юхтинской свит верхнего структурного этажа.

Кроме стратифицируемых отложений нижнего и верхнего структурных этажей, закартированы ультраметаморфогенные и интрузивные породы позднеархейско-раннепротерозойского возраста, а также вулканоплутонические образования, сформировавшиеся на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации.

Исходя из геолого-структурных и металлогенических особенностей, в пределах Эльконского рудного узла [9] выделены два структурно-вещественных блока (северо-западный и юго-восточный), граница между которыми проходит по скрытому Курунг-Юкунгринскому разлому (рис. 1). Этот разлом В. М. Терентьев [14] характеризовал как «...рубеж, проявляющийся системой коротких зон трещиноватости мезозойского возраста, выступающий в качестве геохимического барьера, разобщая области с различными геохимическими особенностями, а также важной пограничной полосы, по которой меняется характер магнитного поля района».

В юго-восточном блоке на современном уровне эрозионного среза магматических тел отсутствует этап мезозойской тектоно-магматической активизации, в геофизических полях выраженной отрицательной магнитной аномалией (от –200 до –250 нТл) и положительной аномалией силы тяжести (до +0,05 мГал). Гидротермально-метасоматические образования (гумбеиты, березиты) формировались в наиболее ранние фазы мезозойской тектоно-магматической активизации и структурно приурочены к осевым зонам долгоживущих разломов.

В северо-западном блоке широко развиты мезозойские магматические образования, что нашло отражение в аномальном магнитном поле блока (от –10 до –30 нТл) и в отрицательных значениях поля силы тяжести (до –0,22 мГал). Гидротермально-метасоматические образования (фениты, гумбеиты, пропилиты и скарны) закартированы во внутреннем и околоинтрузивном пространстве, где накладываются на более ранние метасоматические образования, в том числе этапа мезозойской тектоно-магматической активизации.

Минералого-петрографические исследования рудоносных гумбеитов Эльконского рудного узла. В пределах узла, как было показано выше, выделяются два типа рудоносных гумбеитов, различающихся по структурной позиции и типу оруденения.

В юго-восточном блоке широко развиты рудоносные гумбеиты, приуроченные к региональным долгоживущим зонам разрывных нарушений (зоны Южная, Сохолоохская и др.) и характеризующиеся отчетливой металлогенической специализацией на золото, уран и молибден. Данные гумбеиты относятся к собственно эльконскому типу и сопряжены с ореолами кварц-полевошпатовых метасоматитов, хлорит-эпидотовых пропилитов и березитов. В пределах северо-западного блока широко развиты рудоносные гумбеиты, картируемые в эндо- и экзоконтактах щелочных интрузий. Эти гумбеиты относятся к рябиновому типу, пространственно приуроченному к фенитам, щелочно-амфиболовым пропилитам и скарнам и образовавшемуся на поздней стадии мезозойской

Рис. 2. Структурно-вещественные особенности рудоносных гумбеитов эльконского типа

а) адуляровая (Ad) оторочка вокруг зерен калишпата (Kfsp); *б)* зональные прожилки анкерит-ортоклаз-кварцевого (Ank+Ort+Qtz) состава; *в)* калишпат (адуляр Ad), флюорит (Fl) – идиоморфные кристаллы в краевой зоне прожилка, ксенобласты кальцита (Cc) и кварц (Qtz) в виде агрегатов шестоватого строения в центральной части прожилка; *г)* поздняя флюоритовая минерализация; *д)* характер выделения зерен крупного пирита (отраженный свет, без анализатора); *е)* выделения самородного медистого золота в обратно рассеянных электронах (ОРЭ); *ж)* аргентит (Arg) в кварце в ОРЭ; *з)* продукты распада золотосодержащего пирита (Pyr) в ОРЭ; *и, к)* микробрекчия по гумбеитам с мелкозернистым пиритом (Pyr) и более поздними выделениями браннерита и коффинита (Bran+Cof) в отраженном свете и ОРЭ; *л)* включения иголок рутила (Rt) в зернах коффинита (Cof) в ОРЭ; *м)* развитие коффинита (Cof) по более раннему зерну пирита (Pyr); обр. т-штольня-1 – брекчированный гумбеит с наложенным урановым оруденением (микробрекчия с браннеритовым цементом); образцы 18101-1 и 43701 – брекчированные гумбеиты эльконского типа с кварцевым цементом

тектоно-магматической активизации. Следует отметить, что гумбеиты рябинового типа имеют металлогеническую ярко выраженную золото-медную специализацию. Присутствуют участки совмещения вышеназванных типов рудоносных гидротермально-метасоматических образований, где происходит замещение гумбеитов эльконского типа метасоматитами рябинового типа.

Гумбеиты эльконского типа развиты в пределах долгоживущих зон региональных разрывных нарушений юго-восточного блока эльконского рудного узла. Рудоносные гумбеиты имеют кварц-анкерит-ортоклазовый и кварц-альбит-хлоритовый состав. Интенсивность проявления минеральных ассоциаций рудоносных гумбеитов эльконского типа от 15 до 50%. В ряде случаев новообразований более 50%.

Основные породообразующие минералы рассматриваемых метасоматитов – кварц, шахматный альбит, калишпат, представленный грязно-бурым ортоклазом и его воднопрозрачной разновидностью – адуляром (рис. 2). Наиболее типоморфные акцессорные минералы рудоносных гумбеитов – гематит, флюорит, апатит, лейкоксен. Гумбеитовые изменения проявляются в исходных породах в виде мелко-и среднезернистых автоморфных выделений.

Внутриразломные гумбеиты по отношению к исходной породе характеризуются привнесом * (рис. 3) калия от +18 до 28, окисного железа от +18 до +541, титана от +329 до +1847, фосфора от +459 до +1192 и CO_2 ($\pm\text{H}_2\text{O}$) до +252% и выносом натрия от –90 до –98, кальция от –63 до –94, алюминия от –29 до –32%.

На тройных и бинарных вариационных диаграммах (рис. 3) гумбеиты эльконского типа образуют поле составов, имеющее четкий тренд к возрастанию содержаний титана и фосфора при высоких показателях калиевоности, железистости и низкой натриевоности. Это связано с образованием в рудоносных гумбеитах эльконского типа в основном калишпата (адуляра), пирита, анкерита и рудного минерала – титаната урана. Прослеживается четкая тенденция накопления (концентрирования) титана

* Данные по расчету баланса вещества выполнены атомно-объемным методом (В. А. Рудник, 1966). Удельный вес образцов горных пород, использованных при расчете, получен в ЦАЛ ВСЕГЕИ Н. П. Баландиной по стандартной методике.

Обр. 18101-1
Au 1,01, Ag 15, U 1090 г/т



Обр. 43701
Au 0,56, Ag 10, U - 973 г/т



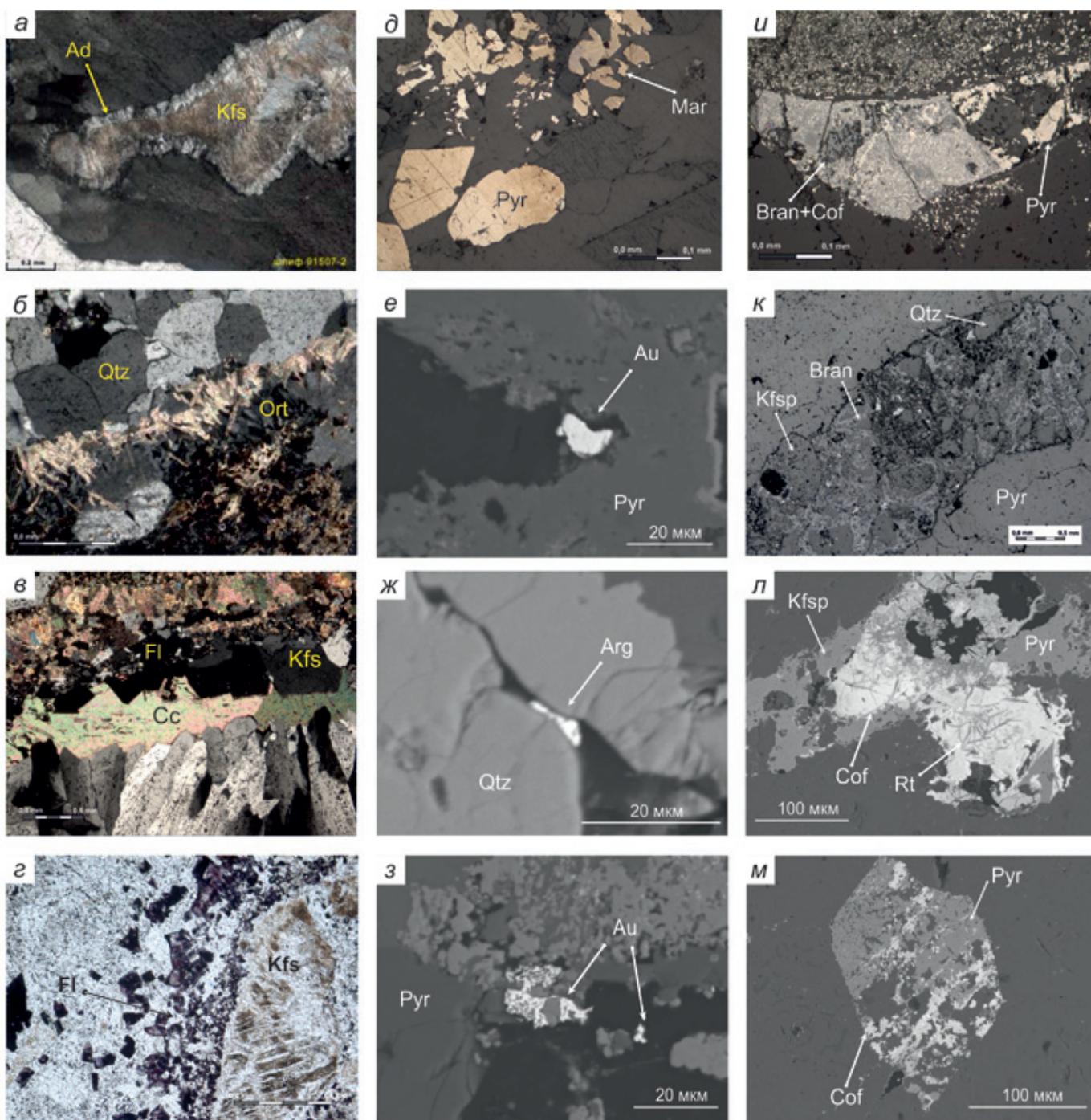
Обр. т-штольня-1
Au 0,53, Ag 1, U 23 800 г/т



при уменьшении содержаний закисного железа, что может свидетельствовать о постепенном снижении температуры от образования пирита к браннериту.

Внутриразломные гумбеиты эльконского типа характеризуются аномальным накоплением рудных литофильных и халькофильных элементов (табл. 1, 2) – золота до 3 и серебра до 100 г/т, урана до 3 и мышьяка 0,1–0,2%, ртути до 0,83 и в меньшей степени ниобия до 200–300 г/т, вольфрама до 0,05 и молибдена до 0,05%, концентрирующихся в браннерите и редкоземельных элементах. Среди сидерофильных химических элементов наиболее высокие уровни накопления у ванадия (до 300 г/т).

Сотрудниками филиала «Алданский» ГУ ГПП «Якутскгеология» на северо-западном продолжении зоны Активная пройдена канава протяженностью 63,0 м (рис. 4). В толще кристаллосланцев федоров-

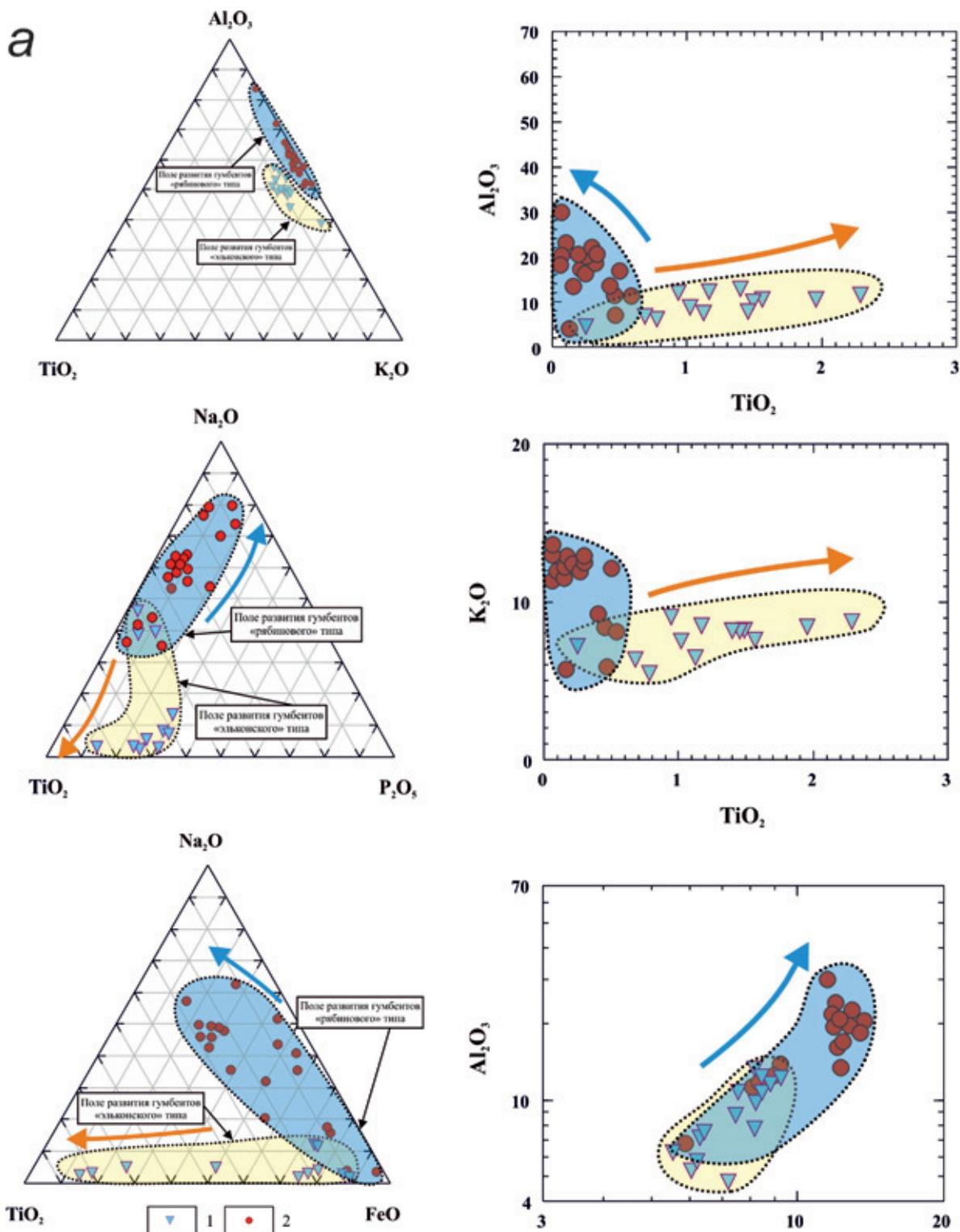


ской серии (44,8–53,3 м) вскрыт минерализованный шов с полнопроявленными гумбеитами эльконского типа, содержащими Au от 0,1 до 3,7, U от 0,02 до 0,05, а также Ag до 17,1 г/т и As до 0,2%. Среднее содержание золота 1,31 г/т, урана 0,025% на мощность 8,5 м. Как видно на рис. 4, золото-урановое оруденение и его элементы-спутники (Ag, As, Hg и т. д.) отчетливо приурочены к участкам наиболее интенсивного проявления гумбеитов эльконского типа, выполняющих систему линейных минерализованных швов в региональных долгоживущих разломах северо-западного простирания. Здесь, как правило, фиксируется аномальное повышение уровня радиометрического фона (до 1000 мкР/ч).

Рудная минерализация мезозойского этапа развития региона в гумбеитах эльконского типа представлена (рис. 2) золотом, которое в изучен-

ных гидротермально-метасоматических образованиях связано с золотоносным пиритом и обладает устойчивыми средними содержаниями 1,5–2 г/т по породе. Среднее содержание золота в пирите из гумбеитов эльконского типа [2] 75–80, в пирите из обр. Р-36-2 до 40 г/т *. В составе пирита, в ходе наших исследований, также зафиксировано содержание серы до 60–70, примеси As 0,39 и Pb 0,61%. Кроме того, в гумбеитах установлены выделения самородного медистого золота и продукты разложения золотосодержащего пирита в ассоциации с сульфидами серебра и электрумом.

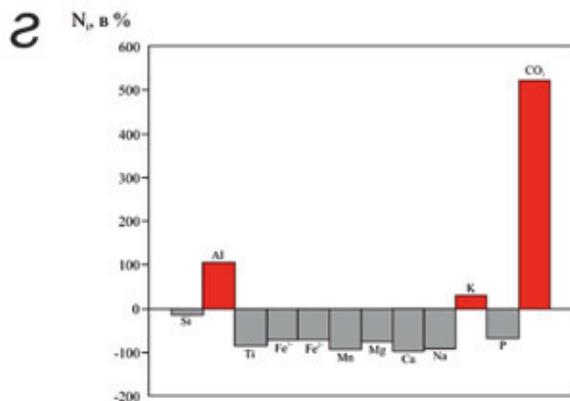
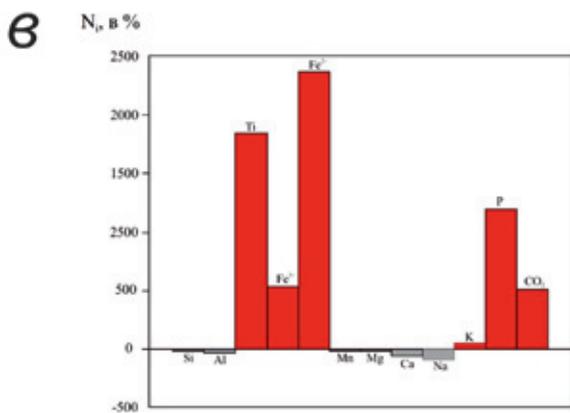
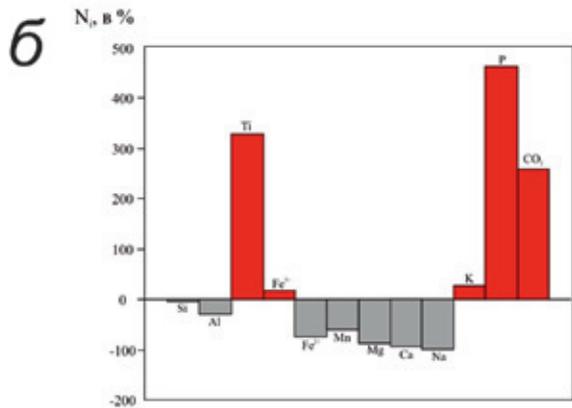
* По результатам химического анализа, проведённого атомно-абсорбционным методом ААА (полного кислотного вскрытия) на приборе Аanalyst-800 в ЦАЛ ВСЕГЕИ.



По экспериментальным данным [8, 15], для щелочно-сульфидных растворов перенос золота в гидротермальном процессе мог происходить в виде гидросульфидных комплексов ($[\text{Au}(\text{HS})_2]^-$, $[\text{Au}(\text{HS})_2]^{2-}$). Возможен перенос в хлоридной, фторидной и гидрохлоридной формах [3]. Согласно [13], совместное формирование золото-урановой минерализации могло происходить в две последовательные, разделенные во времени стадии, причем периодически повторяющиеся (это подтверждается геологическими наблюдениями соотношений золотой и урановой минерализации в гумбеитах зоны

Южная): окисление золота в растворе окислом урана и последующее восстановление Au^+ природными восстановителями – пиритом.

Основным первичным урановым минералом Эльконского рудного узла является браннерит (рис. 2), который развивается в гумбеитах эльконского типа в виде цемента микробрекчий (мощностью до 1 см) и микропрожилков (мощностью около 0,1 мм). Кроме браннерита, в цементе присутствуют мелкие зерна кварца, калишпата, а также обломки более ранних выделений пирита, марказита и галенита.



Браннерит встречается в основном в виде колломорфоподобной массы с тесными срастаниями с минералами рудовмещающих гидротермально-метасоматических образований, что крайне затрудняет диагностирование его структуры под микроскопом. Кроме того, характерной особенностью браннерита являются образование сростков с игольчатым оксидом титана, а также присутствие вольфрама W до 6,2 и ванадия V до 2%. Формирование браннерита происходило из растворов, обедненных карбонат-ионом и слабообогатенной сульфидной серой. Это позволяет предполагать перенос урана в виде обыч-

Рис. 3. Петрохимические особенности гумбеитов эльконского и рябинового типов

а) диаграммы полей петрохимического состава (в мас.%) гумбеитов (внутриразломных эльконского и около- и внутриинтрузивных рябинового типов). Стрелками показаны тренды изменения состава в зависимости от типа рудоносного гидротермально-метасоматического образования; б) диаграмма привноса-выноса вещества (ΔN_i , в %), построенная по данным, рассчитанным атомно-объемным методом, гумбеитизация эльконского типа по гнейсам федоровской серии; в) диаграмма привноса-выноса вещества (ΔN_i , в %), построенная по данным, рассчитанным атомно-объемным методом, гумбеитизация эльконского типа по протерозойским гранитоидам; г) диаграмма привноса-выноса вещества (ΔN_i , в %) в процессе гумбеитизации рябинового типа по сиенит-порфирам алданского комплекса, построенная по данным, рассчитанным атомно-объемным методом

ных ионов уранила (UO_2 и UO_2OH^+), устойчивых к нейтральным и слабокислым растворам [10]. Возможно, с более глубоких уровней при повышенных температурах и давлении (до 500 °С, 1,0 Кбар) перенос урана происходил в виде комплексов со фтором [$U(OH)_3F^0$, $U(OH)_2F_2^0$], которые при разрушении в завершающую стадию рудообразования способствовали выпадению из раствора фтора в виде флюорита и урана. Перенос урана в высокотемпературных условиях мог также происходить и в виде комплексов с хлором [$U(OH)_2Cl_2^0$, $UOHCl_3^0$] [6].

При понижении температуры гидротермального раствора перенос урана, видимо, происходил в виде уранил-карбонатных, уранил-гидрокарбонатных комплексов [$UO_2((CO_3)_2(H_2O)_2)^{2-}$, $[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$]. Выпадение урана из растворов осуществлялось при тектонических подвижках в связи с резким снижением парциального давления раствора и перенасыщением его полезными компонентами, в том числе ураном. Температура образования браннерита, по данным [7] и авторов статьи, 120–250 °С. Возраст браннеритовой минерализации, по данным [14], 180–125 млн лет (U-Pb метод). Помимо браннерита, урановая минерализация представлена также силикатами урана – коффинитом, который образует колломорфные агрегаты в ассоциации с пиритом, замещая темноцветные минералы исходной породы. Общее количество коффинита (по литературным данным) от суммы урановых минералов около 10–15%. Коффинит образовывался на завершающих стадиях рудоотложения в результате окисления и разложения браннерита.

Температура формирования гумбеитов эльконского типа, полученная при изучении газовой-жидких включений в породообразующих минералах, от 400 до 150 °С на завершающем этапе, при этом давление снижалось от 1,2 до 0,2–0,3 кбар.

Гумбеиты рябинового типа широко развиты в северо-западном блоке эльконского рудного узла, где пространственно тяготеют к краевым и внутренним частям массивов магматических субщелочных пород этапа мезозойской тектоно-магматической активизации. Установлено, что данный тип гумбеитов замещает более ранние гумбеиты эльконского типа в местах пространственного совмещения щелочных интрузий и древних региональных долгоживущих разломов.

Основные минеральные ассоциации гумбеитов рябинового типа – анкерит-серицит-мусковит-ортоклазовая и кварц-мусковит-анкерит-альбитовая (рис. 5). Типоморфные акцессорные минералы – гематит, флюорит, барит, апатит, лейкоксен, рутил, анатаз, рудные минералы – блеклые руды,

Петрохимический состав и характер распределения рудных компонентов в гумбеитах эльконского типа (мас.%)

| Петрогенные элементы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 71,8 | 72,9 | 70,1 | 79,7 | 69,8 | 78,1 | 73,1 | 60,2 | 80,3 | 86,5 | 67,5 | 80,6 |
| Al ₂ O ₃ | 10,7 | 9,77 | 12,5 | 7,47 | 13,2 | 7,1 | 8,72 | 12,2 | 7,75 | 4,83 | 10,7 | 6,22 |
| TiO ₂ | 1,56 | 1,49 | 1,16 | 1,12 | 1,4 | 0,68 | 1,02 | 0,94 | 1,46 | 0,25 | 1,96 | 0,78 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,47 | 4,99 | 4,05 | 3,21 | 3,72 | 3,47 | 6,28 | 4,66 | 2,49 | 2,37 | 7,01 | 3,44 |
| FeO | 7,16 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 7,16 | 0,25 | 7,16 | 1,07 | 7,16 | 0,25 | 7,16 | 7,16 |
| MnO | 0,01 | 0,012 | 0,021 | 0,01 | 0,01 | 0,033 | 0,015 | 0,061 | 0,049 | 0,02 | 0,022 | 0,01 |
| MgO | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,43 | 0,05 | 2,11 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| CaO | 0,43 | 0,061 | 0,12 | 0,25 | 0,44 | 1,33 | 0,062 | 4,18 | 0,1 | 0,08 | 0,34 | 0,099 |
| Na ₂ O | 0,36 | 0,05 | 1,08 | 0,05 | 1,14 | 0,05 | 0,05 | 0,12 | 0,05 | 0,42 | 0,22 | 0,05 |
| K ₂ O | 7,58 | 8,2 | 8,46 | 6,44 | 8,18 | 6,3 | 7,47 | 9,07 | 5,78 | 3,47 | 8,47 | 5,55 |
| P ₂ O ₅ | 0,75 | 0,53 | 0,061 | 0,36 | 0,33 | 0,26 | 0,48 | 0,45 | 0,17 | 0,078 | 0,96 | 0,82 |
| CO ₂ | 2,11 | 1,73 | 2,4 | 1,3 | 1,44 | 1,94 | 2,6 | 4,31 | 1,69 | 1,91 | 2,48 | 2,42 |
| Сумма | 99,8 | 99,8 | 100 | 99,8 | 99,7 | 99,8 | 99,7 | 99,4 | 99,6 | 100 | 99,7 | 99,8 |
| Рудные элементы и элементы-спутники (в г/т) | | | | | | | | | | | | |
| Au | 2,02 | 0,69 | 2,33 | 1,99 | 0,76 | 0,55 | 0,78 | 0,72 | 0,39 | 1,05 | 0,72 | 1,25 |
| U | 118 | 117 | 7,76 | 293 | 40,1 | 83,4 | 122 | 209 | 29 800 | 187 | 207 | 94 |
| Th | 51,8 | 40,4 | 3,7 | 18,1 | 16 | 16,9 | 53,2 | 30,8 | 51,7 | 4,65 | 72,1 | 105 |
| Ag | 30 | 7,9 | 39,9 | 40,2 | 10,6 | 100 | 8,2 | 25 | 4,05 | 20,1 | 15,3 | 20 |
| As | 788 | 794 | 478 | 40,8 | 456 | 728 | 974 | 1000 | 391 | 279 | 565 | 526 |
| Sb | 9,39 | 25,4 | 14,6 | 12,6 | 8,26 | 21,2 | 33,7 | 27,5 | 89,8 | 8,33 | 26,6 | 13,1 |
| Hg | 0,32 | 0,77 | 0,26 | 0,16 | 0,58 | 0,23 | 0,83 | 0,38 | 0,32 | 0,31 | 0,56 | 0,58 |
| Nb | 111 | 77,5 | 80,3 | 72 | 88,4 | 56,1 | 85,9 | 65,2 | 311 | 31,1 | 93,7 | 55,9 |

Примечание. Пробы гумбеитов: 1 – С-Z-33-3А; 2 – Т-31-6; 3 – 28302-4; 4 – С-37-5А; 5 – ОБН-1-5; 6 – Р-36-1; 7 – Т-31-6А; 8 – Р-36-2; 9 – С-Z-35-7А; 10 – С-Z-36-7А; 11 – С-Z-53-7; 12 – G-27-5-1. Анализы выполнены в ЦАЛ ВСЕГЕИ В. А. Шишловым и В. Л. Кудряшовым на приборе «ELAN-6100 DRC» (масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ISP-MS). Определение Hg выполнено И. В. Реутовой методом холодного пара на приборе «Юлия 5М». Содержание Au определялось атомно-абсорбционным методом ААА (полного кислотного вскрытия) на приборе Aanalyst-800. Петрогенные элементы определялись рентгеноспектральным флуоресцентным (силикатным) методом (XRF) Б. А. Цимошенко.

пирит, халькопирит и борнит. Формы выделения новообразованных минералов представлены ксено- и идиобластами, радиально-лучистыми, лапчатыми и сноповидными агрегатами, а также зонально построенными прожилками с параллельно-шестоватым или микродрузитовым внутренним строением.

При гумбеитизации рябинового типа установлен отчетливый привнос (рис. 3) калия +29, углекислоты +519 и глинозема +104%, а также вынос кремнезема, марганца, железа, магния, кальция, титана и иногда натрия. Данный факт указывает на повышенную щелочность растворов (при относительно высоком значении калиево-натриевого отношения), высокую активность карбонат-иона, сульфидной серы и подвижность титана при формировании рассматриваемых гумбеитов.

Радиологический возраст гумбеитов рябинового типа, по данным Re-Os изотопно-геохронологического датирования * сульфидов (рис. 6), составляет $129,1 \pm 1,2$ (изохрона по пириту и халькопириту)

и $129,1 \pm 2,9$ млн лет (суммарная изохрона для всех сульфидов).

Гумбеиты рябинового типа характеризуются повышенными концентрациями халькофильных элементов (табл. 2, 3) – золота, серебра, меди и свинца. При замещении гумбеитов эльконского типа устанавливается резкий рост уровней накопления литофильных элементов – урана, тория и молибдена, а для сидерофильных элементов наблюдается четкий тренд накопления ванадия, иногда титана и марганца.

Рудная минерализация представлена (рис. 5) тонковкрапленным золотом, образующим мелкие изометричные (до 60 мкм) выделения на поверхности и участках дефектов пирита, иногда халькопирита. Золото в основном среднее- и низкопробное, по классификации [12], с примесями Ag до 24 и Fe до 3 мас.%. Встречаются и отдельные микроскопические включения (до 20 мкм) высокопробного золота (Au до 90 мас.%). Среднее содержание золота в породе 3,17, в отдельных пробах до 34 г/т. Серебро встречается в виде микроскопических выделений в пирите и халькопирите в составе золотосодержащих теллуридов.

* Исследования выполнены в ЦИИ ВСЕГЕИ Р. Ш. Крымским.

Геохимические особенности рудоносных гумбеитов эльконского и рябинового типов *

| Элементы | С _р по району | Гумбеиты эльконского типа по протерозойским гранитоидным комплексам | | | | | | Гумбеиты рябинового типа по мезозойским магматическим комплексам | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|---|------|-------|------|--------|------|--|------|-------|------|--------|------|
| | | I–III | V, % | IV–VI | V, % | VII–IX | V, % | I–III | V, % | IV–VI | V, % | VII–IX | V, % |
| <i>Литофильные элементы</i> | | | | | | | | | | | | | |
| Rb | 105 | 137,3 | 41 | 129,9 | 50 | 110,2 | 53 | 194,9 | 31 | 214 | 35 | 220,2 | 38 |
| Sr | 397 | 419 | 50 | 327 | 54 | 260 | 69 | 661,5 | 83 | 680,9 | 109 | 2532 | 389 |
| Ba | 422 | 445 | 32 | 400 | 59 | 300 | 153 | 1033 | 107 | 1250 | 208 | 2400 | 188 |
| Zr | 131 | 133,5 | 67 | 163,9 | 201 | 140,5 | 175 | 252,7 | 71 | 288 | 77 | 1652,1 | 156 |
| Nb | 6,4 | 6,46 | 69 | 24,5 | 202 | 52,6 | 209 | 11,85 | 69 | 26,6 | 165 | 51,6 | 130 |
| Y | 7,0 | 6,4 | 86 | 11,2 | 131 | 15,75 | 169 | 14,1 | 70 | 680,9 | 109 | 61,5 | 239 |
| Yb | 1,6 | 1,61 | 33 | 1,91 | 57 | 1,99 | 102 | 1,63 | 37 | 2,44 | 226 | 5,08 | 173 |
| La | 29 | 64,6 | 65 | 55,9 | 83 | 57,6 | 179 | 20,9 | 50 | 31,1 | 179 | 19,4 | 125 |
| Ce | 73 | 97,7 | 47 | 135,6 | 116 | 102,7 | 104 | 56,4 | 35 | 62,4 | 37 | 56,5 | 52 |
| Th | 6,1 | 12,3 | 92 | 20,5 | 245 | 35,2 | 313 | 16,8 | 119 | 111,6 | 726 | 3331,2 | 445 |
| U | 1,6 | 4,38 | 112 | 566,9 | 566 | 997 | 405 | 9,03 | 243 | 245,4 | 477 | 263,9 | 343 |
| Be | 0,9 | 0,76 | 76 | 0,84 | 76 | 0,87 | 93 | 2,8 | 78 | 3,88 | 280 | 5,39 | 328 |
| Li | 12 | 13,6 | 48 | 13,94 | 38 | 13,69 | 45 | 11,7 | 63 | 22,1 | 407 | 22,5 | 191 |
| W | 1,9 | 3,2 | 40 | 7,98 | 176 | 22,7 | 430 | 2,47 | 51 | 4,2 | 83 | 4,73 | 88 |
| Mo | 2,8 | 3,36 | 29 | 7,14 | 338 | 4,9 | 56 | 2,6 | 56 | 21,7 | 530 | 22,9 | 287 |
| Sn | 1,8 | 1,45 | 50 | 1,96 | 53 | 2,6 | 62 | 2,4 | 37 | 2,5 | 53 | 3,5 | 59 |
| B | 18 | 23,4 | 24 | 28,9 | 47 | 27,7 | 52 | 24,2 | 35 | 20,1 | 34 | 22,25 | 77 |
| <i>Халькофильные элементы</i> | | | | | | | | | | | | | |
| Au | 0,0022 | 0,023 | 234 | 0,28 | 206 | 0,53 | 161 | 0,0059 | 252 | 0,076 | 242 | 3,17 | 261 |
| Ag | 0,048 | 0,25 | 173 | 3,62 | 202 | 7,8 | 155 | 0,48 | 329 | 0,91 | 259 | 9,92 | 124 |
| <i>Халькофильная группа элементов</i> | | | | | | | | | | | | | |
| Cu | 31 | 36,4 | 44 | 53,3 | 138 | 72,6 | 155 | 114,9 | 276 | 191,4 | 154 | 839,5 | 156 |
| Pb | 8,9 | 6,98 | 77 | 8,04 | 104 | 7,34 | 73 | 82,9 | 117 | 103,1 | 230 | 191,8 | 147 |
| Zn | 18 | 12,5 | 56 | 21,9 | 84 | 19,7 | 74 | 35,9 | 41 | 42,5 | 106 | 32,25 | 75 |
| Bi | 0,7 | 0,59 | 33 | 0,61 | 92 | 0,55 | 27 | 1,1 | 66 | 1,2 | 71 | 2,27 | 99 |
| Hg | 0,011 | 0,035 | 95 | 0,13 | 108 | 0,23 | 89 | 0,083 | 542 | 0,029 | 177 | 0,04 | 118 |
| Sb | 0,16 | 0,8 | 100 | 16,9 | 603 | 9,48 | 119 | 1,14 | 397 | 1,53 | 221 | 1,38 | 219 |
| As | 3,0 | 17,2 | 102 | 121,2 | 155 | 233,5 | 99 | 12,6 | 175 | 22,1 | 177 | 9,82 | 175 |
| Ge | 0,9 | 0,99 | 24 | 1,07 | 62 | 1,05 | 59 | 1,15 | 30 | 1,3 | 49 | 1,53 | 70 |
| Ga | 21 | 24,8 | 24 | 19,9 | 33 | 18,5 | 44 | 32,6 | 37 | 32,9 | 49 | 46,6 | 65 |
| <i>Сидерофильная группа элементов</i> | | | | | | | | | | | | | |
| P | 1280 | 1314 | 50 | 1700 | 50 | 2800 | 106 | 1118 | 46 | 1480 | 64 | 1300 | 120 |
| Mn | 330 | 234 | 60 | 300 | 97 | 300 | 112 | 621 | 56 | 590 | 93 | 1300 | 193 |
| Ti | 3410 | 3755 | 56 | 6600 | 83 | 9000 | 75 | 4392 | 82 | 6650 | 60 | 7200 | 88 |
| V | 39 | 46,1 | 41 | 189,3 | 113 | 362,7 | 108 | 94,1 | 99 | 97,9 | 77 | 119,5 | 98 |
| Sc | 6,6 | 7,27 | 31 | 8,15 | 55 | 8,7 | 55 | 6,26 | 51 | 7,76 | 58 | 5,1 | 39 |
| Cr | 32 | 50 | 49 | 56,4 | 46 | 98,7 | 154 | 19,2 | 115 | 24,6 | 104 | 8,68 | 304 |
| Co | 6,7 | 6,36 | 34 | 7,52 | 79 | 7,54 | 81 | 5,72 | 60 | 6,1 | 56 | 6,95 | 90 |
| Ni | 7,8 | 8,09 | 40 | 9,65 | 103 | 9,96 | 84 | 6,29 | 109 | 6,5 | 111 | 6,18 | 169 |
| N | | 24 | | 66 | | 132 | | 37 | | 82 | | 22 | |

* См. примечение к табл. 1.

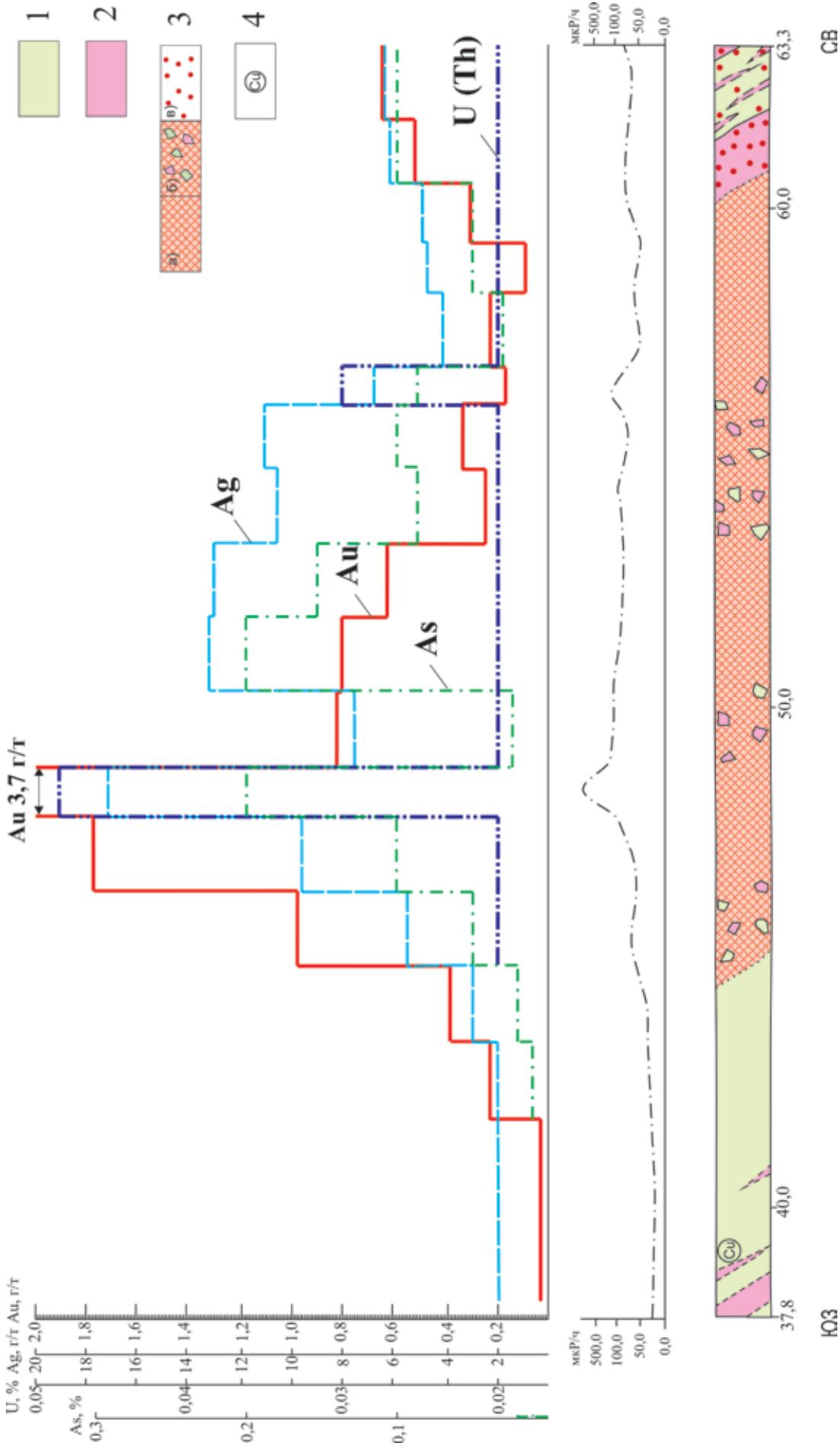


Рис. 4. Схема строения золото-урановой зоны с рудомещающими гумбейтами эльконского типа (документация полотно канавы и результаты опробования по данным ГУГПП «Якутскгеология», филиал «Алданский»)

1 – кристаллические сланцы биотит-диопсид-амфиболовые, гранитизированные и мигматизированные; 2 – пиритсодержащие 3–7%-ные и магнетитсодержащие 5–7%-ные породы, состоящие из переменного количества полевых шпатов, кварца, биотита и амфиболов, образующие линзы и пластовые залежи в кристаллических сланцах и гранитах; 3 – внутриразломные гумбейты эльконского типа: а) полностью проявленные (оранжево-жёлтые и бурые, объёмно обохренные кавернозные породы с редкими мелкими реликтами материнских пород; б) неположно проявленные брекчированные (реликты составляют до 50–60% объёма породы); в) обохренные и выщелоченные материнские породы; 4 – пункты халькопиритовой минерализации

Петрохимический состав и характер распределения рудных компонентов в гумбеитах рябинового типа (в мас.%)

| Элементы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 54,4 | 50,3 | 62,1 | 61 | 25 | 18 | 63,7 | 63,1 | 65,9 | 74,3 | 62,3 | 62,9 |
| Al ₂ O ₃ | 29,8 | 13,4 | 16,8 | 18,6 | 6,76 | 4,04 | 17 | 17,1 | 18,6 | 11,8 | 20,7 | 21,4 |
| TiO ₂ | 0,048 | 0,16 | 0,49 | 0,3 | 0,47 | 0,12 | 0,23 | 0,2 | 0,022 | 0,45 | 0,24 | 0,028 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,76 | 8,59 | 4,75 | 2,72 | 18,9 | 14,8 | 3,57 | 4,04 | 0,98 | 3,06 | 2,22 | 1,16 |
| FeO | 0,25 | 1,44 | 0,25 | 0,72 | 4,19 | 5,92 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| MnO | 0,01 | 0,39 | 0,017 | 0,08 | 0,96 | 0,58 | 0,016 | 0,015 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| MgO | 0,17 | 3,25 | 0,05 | 0,38 | 3,96 | 5,07 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| CaO | 0,03 | 6,28 | 0,046 | 1,24 | 10,2 | 10,1 | 0,1 | 0,024 | 0,022 | 0,054 | 0,012 | 0,01 |
| Na ₂ O | 0,23 | 0,31 | 0,39 | 0,27 | 0,18 | 0,23 | 0,41 | 0,43 | 0,19 | 0,25 | 0,37 | 0,31 |
| K ₂ O | 11,5 | 10,7 | 12,3 | 12,6 | 5,88 | 3,61 | 12,4 | 12,4 | 13,3 | 8,36 | 12,3 | 12,8 |
| P ₂ O ₅ | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,18 | 0,063 | 0,05 |
| CO ₂ | 2,55 | 3,93 | 2,48 | 1,49 | 9,61 | 7,48 | 2,04 | 2,15 | 0,45 | 1,28 | 1,33 | 1,01 |
| Сумма | 99,6 | 98,9 | 99,6 | 99,6 | 86,6 | 70,6 | 99,7 | 99,6 | 99,7 | 99,8 | 99,7 | 99,7 |
| Рудные элементы и элементы-спутники (в г/т) | | | | | | | | | | | | |
| Au | 0,071 | 3,18 | 33,9 | 0,06 | 34 | 14 | 4,92 | 12,4 | 0,45 | 1,02 | 0,02 | 12,9 |
| Cu | 520 | 3000 | 402,1 | 249,5 | 15,2 | 4000 | 310 | 2000 | 105 | 100,9 | 80,5 | 120 |
| Ag | 10,2 | 20,1 | 40,3 | 1,0 | 30,5 | 19,8 | 20,5 | 30,0 | 5,05 | 1,0 | 2,1 | 2,9 |
| Sb | 0,12 | 0,43 | 0,96 | 0,45 | 0,34 | 1,91 | 0,28 | 0,82 | 4,4 | 26,3 | 0,56 | 0,28 |
| Mo | 4,0 | 30,1 | 15,2 | 29,9 | 0,8 | 15,0 | 4,0 | 5,7 | 300 | 8,3 | 15,2 | 0,8 |
| Bi | 1,5 | 1,25 | 1,3 | 1,01 | 0,5 | 3,4 | 1,7 | 2,5 | 5,65 | 1,15 | 3,0 | 1,1 |
| Pb | 37,9 | 36,7 | 14,4 | 36,7 | 11,7 | 58,6 | 16 | 19,8 | 58,6 | 61,4 | 651 | 12,6 |

Примечание: пробы гумбеитов: 1 - МТ-50; 2 - МТ-54; 3 - МТ-55; 4 - МТ-56; 5 - МТ - 58; 6 - Ш-1; 7 - Ш-2; 8 - Ш-4; 9 - Ш-3; 10 - 10704-4; 11 - 20804-1; 12 - МТ-47. Далее - см. примеч. к табл. 1.

Сульфидная минерализация - пирит и халькопирит - образует тесные сростания в виде гнезд, замещая темноцветные минералы. Галенит присутствует в пирите в виде мелких вкрапленных минеральных фаз, борнит развивается по поверхности халькопирита. Иногда в гумбеитах рябинового типа встречаются сульфаты и ванадаты свинца, а также халькозин.

При пространственном совмещении гумбеитов эльконского и рябинового типов оруденение имеет комбинированный золото-урановый медьсодержащий характер (месторождения Интересное и Лунное). Основные урановые минералы - браннерит и уранинит, а также продукты распада браннерита - арсенаты, силикаты и фосфаты урана; золото, серебро и медь связаны с пиритом, халькопиритом и блеклыми рудами (теннантит, тетраэдрит).

В ходе проведенных исследований на участках совмещения эльконского и рябинового типов оруденения также была выявлена собственно медно-ванадиевая минерализация в кварц-карбонатном гидротермалите, представленная фольбортитом (рис. 5). Это, по-видимому, объясняет повышенные содержания ванадия (до 400 г/т) в целом по северо-западному блоку Эльконского рудного узла. Ванадиевая минерализация в пределах Центрально-Алданского рудного района устанавливалась и ранее. Так, по данным [5] в пределах Самолазовского золоторудного месторождения в неокисленных первичных рудах в кварц-флюорит-карбонатной жиле был установлен сульванит (CuVS₄), образующий

мелкую вкрапленность (30-70 мкм) в ассоциации с золотоносным пиритом, галенитом, молибденитом, халькопиритом и блеклыми рудами. Н. В. Петровская [11] впервые обнаружила сульванит в одной из рудных залежей (Орочонская) Лебединского месторождения в ассоциации с пиритом, борнитом и халькопиритом.

Температура формирования гумбеитов рябинового типа, по данным изучения газово-жидких включений, от 370 до 160 °С на завершающем этапе, при резком спаде давления от 2,6 до 0,2-0,3 кбар.

Геолого-генетическая модель формирования золото-урановорудных объектов Эльконского рудного узла. Двухстадийная геолого-генетическая модель формирования золото-уранового оруденения составлена на основе комплексного изучения петролого-геохимических особенностей и зональности гидротермально-метасоматических образований с выделением основных типов рудоносных метасоматитов, а также физико-химических условий их образования из гидротермального раствора (рис. 6).

Рудоподготовительный этап. На этапе раннепротерозойской активизации Алданского щита формировались региональные долгоживущие разрывные нарушения. Зоны разломов трассируются сланцеватостью, милонитизацией, катаклизмом, а также телами будинированных кварцевых жил, дайками метадиоритов скального комплекса, на которые накладывались высокотемпературные кремнещелочные метасоматиты с радиологическим возрастом 1924 ± 10 млн лет и отчетливой радиогеохи-

Рис. 5. Структурно-вещественные особенности рудоносных гумбеитов рябинового типа

a) агрегаты серицит-мусковита (Ser-Ms); *б)* агрегаты калишпата (Kfsp), мусковита (Ms) и кальцита (Cc); *в)* новообразования кварца (Qtz), калишпата (Kfsp) и анатаза; *г)* ромбовидные выделения калишпата (Kfsp) в прожилках; *д, е)* характер выделения золото- и медьсодержащих сульфидов (Pyr, Chpyr) в гумбеитах рябинового типа в отраженном свете; *ж, з)* формы выделения золота в сульфиде (Pyr, Chpyr) в обратно рассеянных электронах (ОРЭ); *и)* браннерит (Bran) претерпевает разрушение с образованием арсенатов урана; *к)* выделения торбернита в ОРЭ; *л)* формы выделения блеклых руд в кварце в ОРЭ; *м)* формы выделения фольбортита (Folb) в ОРЭ. Обр. МТ-58 – гигантозернистый калишпат-карбонатный (карбонат представлен железистым доломитом) гумбеит рябинового типа с гнездами пирита, у местных геологов получил название «сиенитовый пегматит». Обр. МТ-55 – сильно измененный (гумбеитизированный) гигантозернистый сиенит-порфир, при этом в породе наблюдаются многочисленные пустотки, выполненные мелкими кристаллами кварца, калишпата, карбоната и пирита. Обр. 71001-1 – кварцево-жильный гидротермалит с ванадиевой минерализацией (фольбортит) в зоне наложения гумбеитов рябинового типа на гумбеиты эльконского типа

мической специализацией. Периферийные участки зон региональных разломов сложены пропилитами хлорит-эпидотового состава (рис. 6).

На мезозойском этапе тектоно-магматической активизации Алданского щита в пределах Эльконского рудного узла происходила общая структурно-тектоническая перестройка с образованием ортогональной сети трещинных разрывных нарушений и интенсивными проявлениями щелочного магматизма и гидротермально-метасоматической деятельности. В пределах Эльконского рудного узла обособились два структурно-вещественных блока: *северо-западный* и *юго-восточный*.

В *северо-западном блоке* происходили внедрение комплекса мезозойских магматических пород (157,5–116,2 млн лет) с образованием широких ореолов фенитов, скарнов и более поздних щелочно-амфиболовых пропилитов, а также перераспределение вещества и перенос его в центральные зоны данного ряда метасоматических образований.

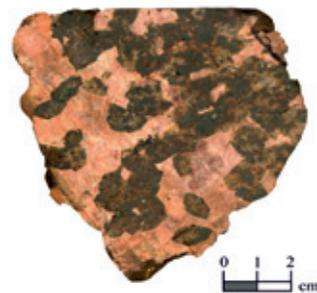
Рудоформирующий этап состоял из двух разделенных во времени последовательных стадий.

В *первую стадию* формировались ранние рудоносные гумбеиты эльконского типа с возрастом 142 ± 5 и 152 ± 6 млн лет [4], при поступлении гидротермального флюида из глубинного магматического очага первого порядка (В. А. Абрамов, 1995) в осевых частях долгоживущих разломов. Гумбеиты накладывались на более ранние метасоматические образования рудоподготовительного этапа (кварц-полевошпатовые метасоматиты и пропилиты).

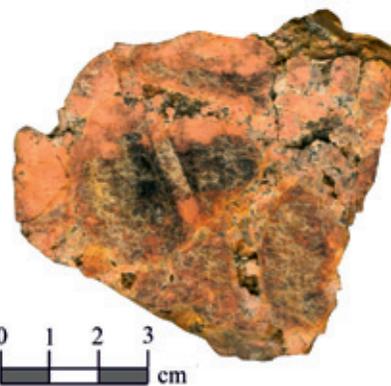
Установлено, что минералообразующий флюид, из которого формировались гумбеиты эльконского типа, имел в начале процесса температуру от 400 до 250 °С и соответствовал кислотным условиям. По мере снижения температуры (250–150°) происходила резкая смена условий на щелочные и восстановительные вплоть до нейтральных в конце процесса. Уменьшение температуры происходило на фоне падения давления от 1,0–1,2 до 0,2–0,3 кбар.

Рудная минерализация формировалась в результате расслоения углекислотно-водно-солевого флюида с осаждением золота на природных восстановителях (Fe^{2+}) в наиболее ранние фазы рудообразования. При последующем изменении физико-химических условий (сброс давления под действием тектонических подвижек) происходит формирование микробрекчии с цементом, состоящим из титаната урана. Основные рудные ми-

Обр. МТ-58
Au 34, Ag 30,5, Cu 15,2 г/т



Обр. МТ-55
Au 33,9, Ag 25, Cu 402,1 г/т



Обр. 71001-1
Au 0,016, Ag 2,
Cu 4000, V 3000 г/т

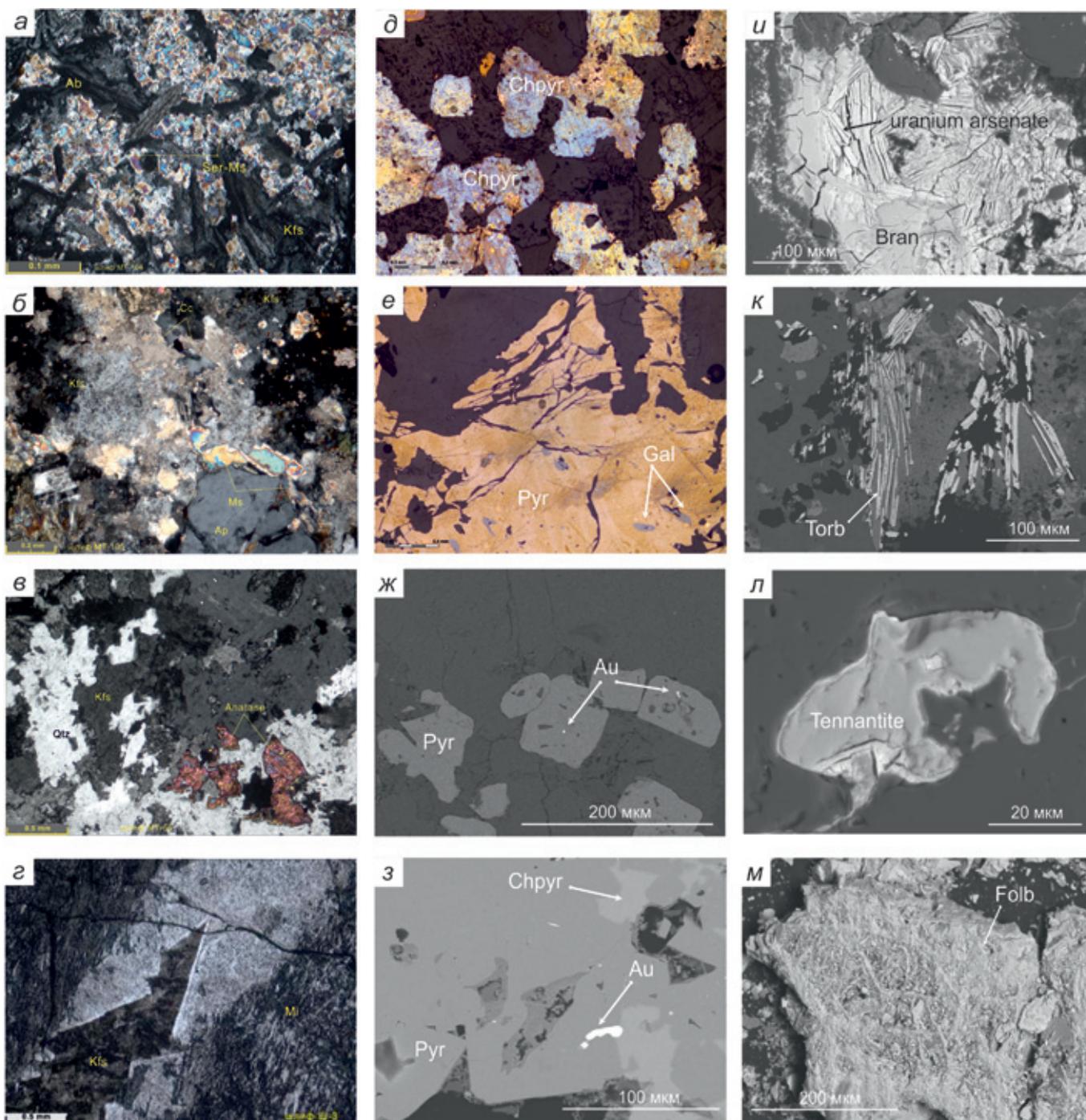


нералы – золотосодержащий пирит, браннерит и коффинит.

Следует отметить, что гумбеиты эльконского типа формировались в условиях закрытой-полужакрытой гидротермальной системы, что свидетельствует о подъеме рудообразующего раствора с больших глубин и преобладающей роли в процессе рудообразования – дегазации флюида путем отделения углекислоты, приводящей к распаду золотосодержащих гидросульфидных комплексов.

Завершается стадия формированием березитов, являющихся конечным членом метасоматической зональности, приуроченной к древним долгоживущим нарушениям.

Во *вторую стадию* формируются около- и внутриинтрузивный типы рудоносной гумбеитизации (рябиновый) с возрастом $129,1 \pm 1,2$ млн лет (по-



лучен по данным Re-Os изохронного датирования сульфидов), связанным с поступлением растворов из магматического очага второго порядка (промежуточного), служившего источником интрузивных щелочных пород, распространенных на территории рудного узла.

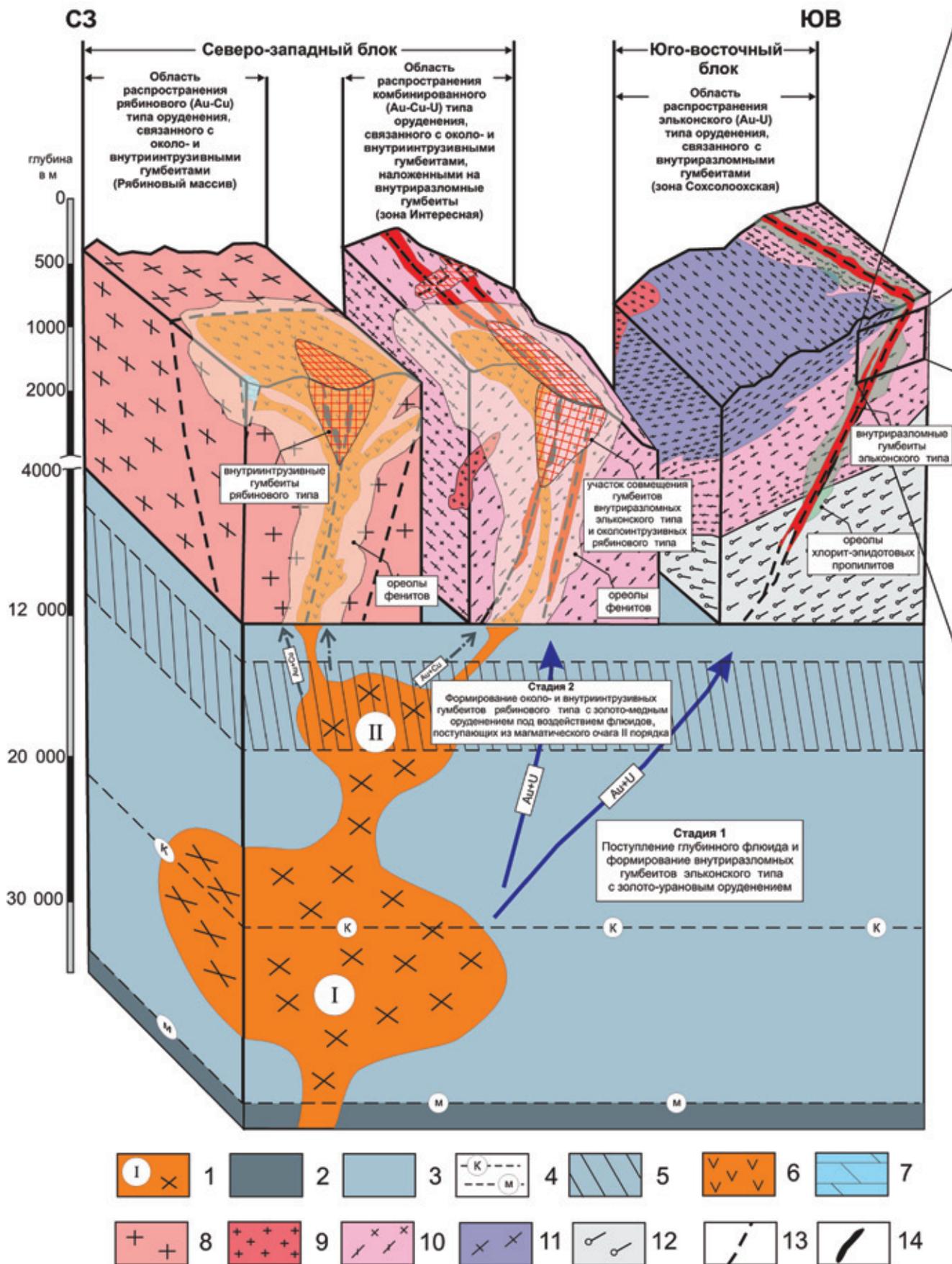
Гумбеиты рябинового типа накладывались на более ранние гидротермально-метасоматические изменения — фениты и щелочно-амфиболовые пропилиты, включая гумбеиты эльконского типа.

Минералообразующая среда при формировании гумбеитов рябинового типа имела резко изменчивые физико-химические условия — брекчирование при температурах 310–370 °C при активном воздействии флюидного потока с ориентировкой мелких обломков и дезинтеграции зерен минералов. Рудные компоненты отлагались при температуре

220–280 °C и давлении 0,3–0,6 кбар. Наиболее поздние образования, осаждаемые из раствора при температуре 160 °C, — кварц и флюорит.

Гумбеиты рябинового типа формировались при смене условий от закрытых гидротермальных систем к открытым (приповерхностные условия) на фоне резкого спада давления под воздействием тектонических нарушений, что является основным минерало- и рудообразующим фактором.

Немаловажный факт — образование комбинированного типа оруденения в области совмещения ореолов ранних внутриразломных гумбеитов эльконского типа и внутри-, околоинтрузивных гумбеитов рябинового типа. Разрушается первичная урановая минерализация (браннерита) метасоматитов эльконского типа с образованием фосфатов, арсенатов, ванадатов, силикатов урана и уранинита.



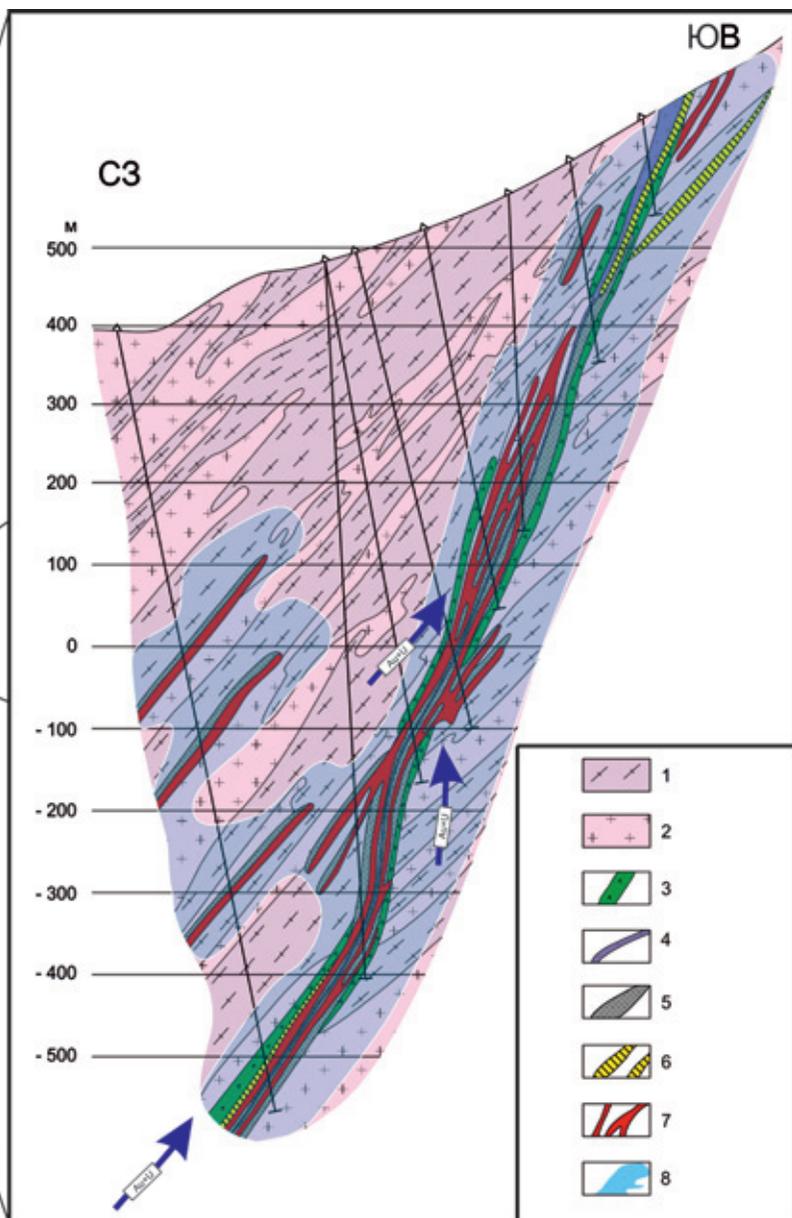


Рис. 6. Геолого-генетическая модель формирования комплексного золото-урановорудного оруденения в пределах Эльконского рудного узла (В. А. Абрамов, 1995; В. Е. Бойцов, 2006)

1 – ярусная система магматических очагов (I, II порядка); 2 – верхняя мантия; 3 – консолидированная земная кора; 4 – границы Конрада (К) и Мохо (М); 5 – переходный разуплотненный слой; 6 – мезозойские щелочные магматиты; 7 – породы платформенного чехола; 8 – протерозойские плагииграниты; 9 – протерозойские лейкограниты; 10 – гранитизированные кристаллосланцы; 11 – кристаллосланцы; 12 – гранито-гнейсы гиперстенсодержащие; 13 – разрывные нарушения; 14 – рудные тела.

На правой стороне: 1 – кристаллосланцы; 2 – граниты; 3 – метадiorиты; 4 – кремнещелочные кремнесоматиты и бластомилониты; 5 – гумбеиты эльконского типа; 6 – барит-кварцевые жилы; 7 – урановорудные тела; 8 – эпидотовые пропилиты

Медная и ванадиевая минерализация при совмещении гумбеитов эльконского и рябинового типов представлена блеклыми рудами и фольбартитом.

На основе геолого-генетической модели и всего комплекса проведенных исследований выделены два типа гумбеитизации, характеризующиеся различными типами оруденения, – **эльконский** (Au,U), **рябиновый** (Au-Cu) и **комбинированный элькон-рябиновый** (Au-Cu+Au-U).

Заключение. Исследованиями установлено, что в пределах Эльконского золото-урановорудного узла выделяются два структурно-вещественных блока, резко различающихся геологическим строением, типами гидротермально-метасоматических образований и золото-уранового оруденения.

Проведена типизация рудоносных гидротермально-метасоматических образований и обоснована зональность их проявления. Так, для юго-восточного блока Эльконского рудного узла характерно наличие высокотемпературных кварц-полевошпатовых метасоматитов, пропилитов и рудоносных **гум-**

беитов эльконского типа (142 ± 5 – 152 ± 6 млн лет) с золотосодержащей пиритовой и браннеритовой рудной минерализацией, приуроченных к долгоживущим региональным разломам. В северо-западном блоке развиты фениты, щелочно-амфиболовые пропилиты и **рудоносные гумбеиты рябинового типа** ($129,1 \pm 1,2$ млн лет), тяготеющие к ареалам развития щелочных мезозойских комплексов с золотой, золотосодержащей пиритовой, халькопиритовой минерализацией и блеклыми рудами.

Построена двухстадийная геолого-генетическая модель формирования золото-урановорудных объектов Эльконского рудного узла, связанных с двумя типами гумбеитизации. Установлено, что формирование оруденения связано с двумя последовательными стадиями, выраженными проявлениями двух типов рудоносных метасоматитов в различных геолого-структурных обстановках.

Так, для **гумбеитов эльконского типа** в рудоподготовительную стадию характерно формирование высокотемпературных кремнещелочных метасоматитов в центральной части региональных зон разломов и хлорит-эпидотовых пропилитов по их

периферии. В результате происходил вынос вещества из краевых частей зоны разломов в центральные, куда в дальнейшем поступал рудоносный флюид, формировавший гумбеиты эльконского типа с золото-урановым оруденением.

Гумбеиты рябинового типа парагенетически связаны с интенсивным проявлением щелочного магматизма и накладываются на более ранние щелочно-амфиболовые пропилиты, фениты и гумбеиты эльконского типа с образованием золото-медного и комплексного золото-медно-уранового оруденения.

1. *Абрамов В.А., Рыжкова В.М., Орлова М.П.* Глубинное строение и мезозойский магматизм Алданской провинции // Регион. геология и металлогения. 2000. № 12. – С. 57–68.
2. *Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н.* Золото и уран в мезозойских гидротермальных месторождениях Центрального Алдана (Россия) // Геология рудных м-ний. 1998. Т. 40. № 4. – С. 354–369.
3. *Буряк В.А., Бакулин Ю.И.* Металлогения золота. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – 403 с.
4. *Казанский В.И., Крупенников В.А., Розанов Ю.А.* Условия локализации мезозойских золотоносных метасоматитов в кристаллическом фундаменте Центрально-Алданского района // Известия АН СССР. Серия Геол. № 6. 1970. – С. 5–16.
5. *Краснов А.Н., Дорожкина Л.А., Трубкин Н.В.* Ванадиевая минерализация золоторудного месторождения Самолазовское, Центральный Алдан // Известия вузов. Геология и разведка. 2004. № 5. – С. 70–72.

6. *Коваленко Н.И., Рыженко Б.Н., Присягина Н.И., Бычкова Я.В.* Экспериментальное исследование растворимости уранинита в водных растворах HCl при 500 °C и 1 кбар // Геохимия. 2011. № 3. – С. 277–289.

7. *Крупенников В.А.* Урановые (браннеритовые) месторождения в разломах фундамента эпиархейских кратонов // Гидротермальные месторождения урана. – М.: Недра, 1978. – С. 128–138

8. *Летников Ф.А., Вилор Н.В.* Золото в гидротермальном процессе. – М.: Недра, 1981. – 224 с.

9. *Молчанов А.В.* и др. Эльконский золото-урановорудный узел (Южная Якутия) – основные черты геологического строения, петрографо-геохимические особенности гидротермально-метасоматических образований и рудоносность / А.В. Молчанов, В.В. Шатов, А.В. Терехов, В.Н. Белова, А.В. Радьков, В.В. Семенова, О.Л. Соловьев, Н.В. Шатова // Регион. геология и металлогения. 2012. № 50. – С. 80–101.

10. *Наумов Г.Б.* Миграция урана из гидротермальных растворов // Геология рудных м-ний. 1998. Т. 40. № 4. – С. 307–325.

11. *Петровская Н.В.* Сульфаниит из золоторудного месторождения Лебединого (Алдан) // ДАН СССР. 1941. Т. 32. № 6. – С. 427–429.

12. *Петровская Н.В.* Самородное золото. – М.: Наука, 1973. – 347 с.

13. *Рыженко Б.Н., Коваленко Н.И.* Переотложение золота в урансодержащих растворах – ключ к формированию золото-урановой минерализации // Геохимия. 2009. Т. 429. № 3. – С. 378–382.

14. *Терентьев В.М., Казанский В.И.* Эльконский урановорудный район на Алданском щите // Регион. геология и металлогения. 1999. № 8. – С. 47–58.

15. *Smith F.G.* The alkali-sulphide theory of gold deposition // Econ. Geol. 1943. Vol. 38. N 7. – P. 561–590.

Терехов Артем Валерьевич – кандидат геол.-минер. наук, ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Artem_Terekhov@vsegei.ru>.
Молчанов Анатолий Васильевич – доктор геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ. <Anatoly_Molchanov@vsegei.ru>.
Шатова Надежда Витальевна – аспирант, вед. инженер, ВСЕГЕИ. <Nadezhda_Shatova@vsegei.ru>.
Белова Валентина Николаевна – ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Valentina_Belova@vsegei.ru>.