# ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

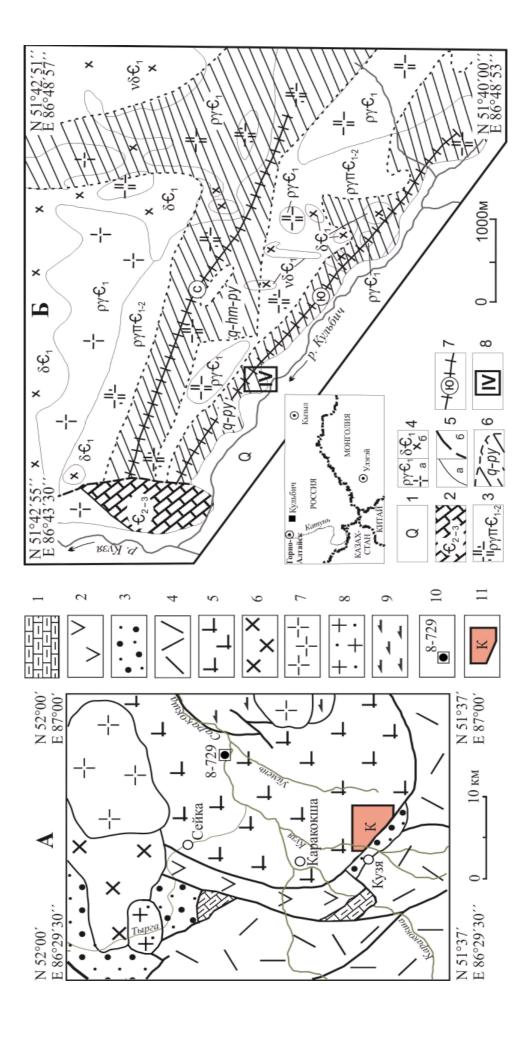
# МАГМАТИЗМ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУЛЬБИЧ И ПРОГНОЗ МЕДНОПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ГОРНОМ АЛТАЕ

**Н.И. Гусев, С.П. Шокальский**, <sup>1</sup>**А.И. Гусев** ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург <sup>1</sup> БПГУ, г. Бийск

Золотосодержащие молибден-меднопорфировые месторождения (далее для краткости – меднопорфировые) обеспечивают три четверти мировой добычи меди, половину - молибдена, одну пятую часть - золота и большую часть - рения (Sillitoe, 2010). В Алтае-Саянском регионе месторождения порфирового типа являются весьма привлекательными для освоения и служат целью первоочередного прогнозирования. Более известны месторождения этого типа в Тыве: месторождение Аксуг находится в стадии доразведки и подготовки к своению, проявляется недропользователями интерес к месторождению Кызык-Чадр (Бурдин и др., 2009). По данным (Гаськов и др., 2006), меднопорфировые месторождения в Алтае-Саянском регионе генетически связаны с порфировыми интрузивами гранитного состава девонского возраста. Формирование порфирового оруденения является следствием сложного взаимодействия: крупномасштабной тектоники, образования магм и внедрения их в верхнюю часть земной коры, потока гидротермальных растворов разнообразного происхождения и сложных химических реакций между флюидами и вмещающими породами, вызывающими накопление рудных компонентов. Магматический контроль играет определяющую роль в этом процессе.

**Общие сведения.** Месторождение Кульбич было открыто в 1947 году и разведывалось в 1948-1954 гг. как штокверковое медно-молибденовое месторождение (Никольская, 1961). Результаты оценки запасов составили: молибдена - 26,3 тыс. т и меди - 1,25 млн. т при среднем содержании молибдена 0,01-0,02% и меди 0,5-0,7%. Оценка месторождения на золото проводилась в 1983-1987 гг. Горно-Алтайской экспедицией (Швецов и др., 1987). Были оценены малопротяженные минерализованные зоны, прогнозные ресурсы золота которых по категории  $P_1$  составили 15 т. Оценка ресурсов золота на массу всего рудного штокверка при запасах 2500 млн. т руды и содержании золота 0,1 г/т как минимум на один порядок выше.

Геологическое строение. По данным (Государственная..., 2001) месторождение приурочено к Кульбичскому массиву гранит-порфиров размером 2х9 км, расположенному в южном эндоконтакте раннекембрийского Саракокшинского габбро-диорит-плагиогранитного плутона (рис. 1, A). Первая фаза Саракокшинского плутона представлена габбро, габбро-норитами, габбро-долеритами, габбро-диоритами; вторая фаза - биотит-амфиболовыми тоналитами и плагиогранитами. Вмещающими для Саракокшинского плутона являются вулканогенно-осадочные толщи кембрия, а также амфиболиты и гнейсы кебезенского метаморфического комплекса. Контакты гранитоидов с вулканогенно-осадочными толщами имеют преимущественно тектонический характер. Рудовмещающий Кульбичский массив сложен калишпатизированными плагиогранит-порфирами, плагиориолит-порфирами, плагиогранофирами. Сведения о возрасте Кульбичского массива весьма противоречивые. Метапорфиры Кульбичского массива рассматривались в качестве краевой фации раннекембрийского Саракокшинского плутона (Никольская, 1961), иногда их относили к самостоя-



тельному комплексу близповерхностных интрузивов с возрастом 315 млн. лет (Домарев, Высокоостровская, 1959), в других случаях - к субвулканическим образованиям сарысазской свиты венда(?) – раннего кембрия (Государственная..., 2001; Туркин, Федак, 2008). При этом саракокшинский габбро-плагиогранитовый комплекс также рассматривается комагматичным сарысазской свите, но для метапорфиров Кульбичского массива принят вендраннекембрийский возраст, а для саракокшинского комплекса - более молодой – раннекембрийский (Государственная..., 2001).

Для плагиогранитов Саракокшинского плутона (Крук и др., 2007) U-Pb методом по цирконам (SHRIMP II, место опробования показано на рис. 1,A) был получен возраст 512±6,2 млн лет и сделан вывод о формировании саракокшинских гранитоидов на рубеже среднего и позднего кембрия, что, на наш взгляд, ошибочно, так как полученный возраст отвечает границе раннего и среднего кембрия (Стратиграфический кодекс, 2006).

*Оруденение*. В Кульбичском рудном поле выделены Северная и Южная рудные зоны, прослеженные на 6 км (рис. 1, Б). Южная зона проходит по правому борту долины р. Кульбич, Северная - в 1,5 км северо-восточнее по водоразделу рек Саразан - Юля - Кульбич, параллельно Южной. Они представлены зонами дробления и окварцевания шириной 200-400 м, северо-западного (290-300°) простирания, параллельными Кульбичскому разлому с крутым 70-80° падением на СВ. Обе зоны сопровождаются широкими ореолами пропилитов. Наиболее интенсивно вкрапленно-штокверковое оруденение развито в западной части рудного поля.

Штокверк сложен несколькими генерациями кварцевых, кварц-кальцитовых и кварцбаритовых прожилков мощностью от долей мм до 1-5 см. В рудах определены молибденит, халькопирит, золото, пирит, сфалерит, галенит, шеелит, вольфрамит, самородная медь, гематит, магнетит, тетрадимит, киноварь, псиломелан, борнит, халькозин, флюорит, барит. Золото высокопробное (970-980‰), представлено одной генерацией, тесно ассоциирует со стебельчатыми выделениями кварца размерами 0,1-0,5 мм и с терадимитом. В качестве примесей в золоте присутствуют медь, теллур и висмут.

В западной части месторождения в пределах Южной зоны на IV рудном участке выделены 3 рудных тела мощностью от 3,5 до 14,9 м и протяжённостью до 150 м. Содержание меди в них от 0,46 до 0,61%, молибдена от 0,01 до 0,03 %. Концентрации золота варьируют от 0,1 до 2,7 г/т. Зона окисления развита до глубин 10-30 м, реже 50-100 м. В зоне окисле-

#### Рис.1. Геологическое строение района месторождения Кульбич

А - обзорная геологическая схема: 1 - раннекембрийская тырганская свита  $(C_1tr)$ : известняки, песчаники, алевролиты, гравелиты, конгломераты; 2 - среднекембрийская усть-семинская свита  $(C_2us)$ : туфы, лавы андезибазальтов, базальтов, трахибазальтов; 3 - раннеордовикская чойская свита  $(O_1us)$ : алевролиты, песчаники, алевропесчаники, конгломераты; 4 - ранне-среднедевонская нырнинская свита  $(D_{1-2}nr)$ : лавы, лавобрекчии, реже туфы базальтов, андезибазальтов; 5 - раннекембрийский саракокшинский габбро-диорит-плагиогранитовый комплекс  $(prC_1s)$ ; 6 - раннедевонский югалинский габбро-монцодиорит-гранодиоритовый комплекс  $(r\partial D_1iu)$ ; 7 - среднедевонский турочакский гранодиорит-гранит-лейкогранитовый комплекс  $(r\partial D_2t)$ ; 8 - позднедевонский кызылташский граносиенит-гранит-лейкогранитовый комплекс  $(elzD_3k)$ ; 9 - среднекембрийско-позднепротерозойский кебезенский метаморфический комплекс  $(6(^{M}C_2:PR_2?)kb)$ ; 10 - участок отбора проб предыдущими исследователями (Крук и др., 2007); 11 - контуры карты-врезки Кульбичского рудного поля.

Б - схематическая геологическая карта Кульбичского рудного поля (составил Гусев Н.И. по материалам В.В. Данилова, А.Н. Швецова, 1983-1987гг.). 1 — отложения квартера; 2 — средне-позднекембрийские терригенно-карбонатные породы тандошинской и кульбичской свит; 3 — ранне-среднекембрийские риодацит-порфиры Кульбичского массива; 4 — раннекембрийский саракокшинский габбро-диорит-плагиогранитовый комплекс: а — калишпатизированные биотит-амфиболовые плагиограниты второй фазы; б — габбро, габбро-долериты, габбро-диориты первой фазы; 5 —границы: а — геологические, б — разрывные нарушения; 6 - зоны гидротермально-метасоматических изменений: q — окварцевание, hm —гематитизация, ру — пиритизация; 7 - стволовые части рудных зон: С — Северной, Ю — Южной; 8 — контур IV рудного участка.

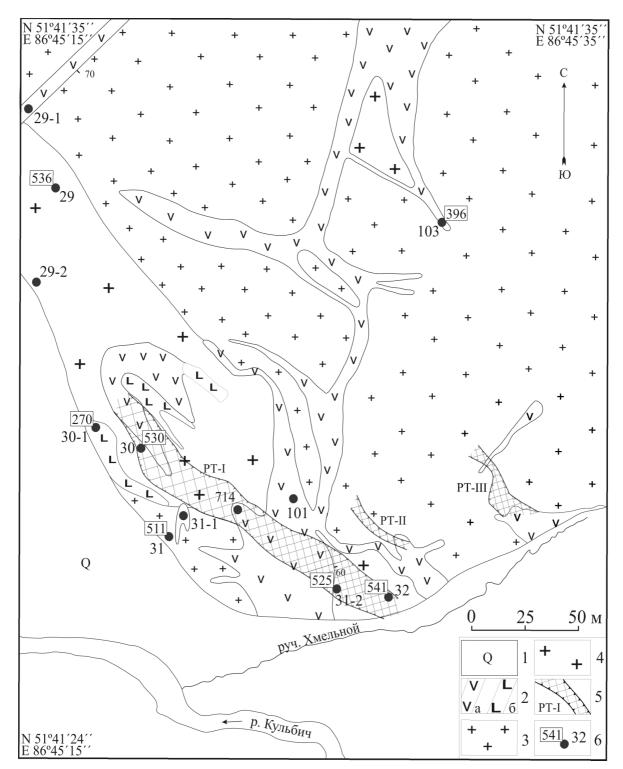


Рис.2. Геологическая карта IV рудного участка

1 — отложения квартера; 2—субвулканичес-кие тела и дайки: a — дацит-порфиров, андезидацит-порфиров и андезибазальтовых порфиритов;  $\delta$  -метабазальтов; 3 — кварцевопорфировые риодацит-порфиры; 4 — окварцованные лейкоплагиограниты; 5-рудные тела и их номера; 6 — точки отбора проб и их номера, в рамочках -конкордантые значения U-Pb возраста по цирконам (SHRIMP II), в млн. лет. Составил Н.И.Гусев по материалам В.В. Данилова и А.Н. Швецова с добавлениями и исправлениями.

ния установлены куприт, тенорит, лимонит, малахит, азурит, медная чернь, охры молибдена и железа. Золотое оруденение, по данным (Государственная..., 2001), пространственно ассоциирует с дайками долеритов, диоритов и гранодиоритов, вблизи которых в окварцованных и калишпатизированных гранит-порфирах содержание золота резко возрастает от 0,2 до 14,4 г/т.

**Цель исследований** — определение возраста и изотопных и геохимических особенностей магматических пород Кульбичского рудного поля, контролирующих молибден-меднозолотопорфировое оруденение и выявление критериев его регионального прогнозирования. Изучение главных разновидностей магматических пород и рудных гидротермально-метасоматических образований Кульбичского рудного поля проведено на площади наиболее обнаженного IV рудного участка (рис. 2). Определение возраста магматических пород по цирконам проведено в 7 пробах, изотопный состав Sr и Nd определен в 3 пробах. Кроме того, для сравнения использованы анализы пород Саракокшинского плутона из работы (Крук и др., 2007).

Для определения возраста магматических пород Кульбичского рудного поля методом SHRIMP II по цирконам в локальном варианте было изучено семь проб (рис. 2), отобранных из следующих разновидностей пород:

- 1) риодацит-порфиры Кульбичского массива (проба 31);
- 2) белые окварцованные лейкоплагиограниты (пробы 29, 31-2, 32), в том числе с золото-медной минерализацией из РТ-I (проба 30);
  - 3) дацит-порфиры субвулканических тел, прорывающих гранитоиды (проба 103);
  - 4) метабазальты из дайки (проба 30-1).

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных полевых работ уточнено геологическое строение IV рудного участка. Светло коричневато-серые риодацит-порфиры, преобладающие на участке, отличаются хорошо выраженной порфировой структурой с характерными крупными до 0,7—1 см в поперечнике порфировыми выделениями темно-серого и черного кварца. В них отмечаются пятна с дендритовидными окислами марганца и зеленоватыми окислами меди, что в пользу присутствия визуально не фиксируемой тонкой вкрапленности халькопирита.

Среди риодацит-порфиров в виде полосы северо-западного простирания шириной 30-50 м залегают белые мелко-среднезернистые окварцованные и калишпатизированные лей-коплагиограниты. В окварцованных породах также встречаются пятна водных окислов меди, иногда вкрапленники флюорита. На отдельных участках они пронизаны разноориентированными кварцевыми прожилками с образованием штокверка.

Гранитоиды прорваны более темноокрашенными субмеридиональными ветвящимися дайками и субвулканическими телами неправильной формы плагиоклаз-порфировых дацит-порфиров, андезидацит-порфиров, реже - андезибазальтовых порфиритов. От вмещающих их риодацит-порфиров они отличаются более темной коричневато-серой окраской, наличием вкрапленников плагиоклаза и отсутствием порфировых выделений кварца. Кроме того, отмечаются немногочисленные и непротяженные дайки северо-западного простирания визуально наиболее свежих темно-зеленых афировых метабазальтов.

# Петрографические особенности пород

**Риодацит-порфиры** (проба 31) под микроскопом содержат 40-50% вкрапленников, наиболее крупные из которых (до 3 мм) представлены кварцем (20%), идиоморфными альбитом (25%) и мусковитом (2-4%). Основная масса — тонкозернистый ( $\sim$ 0,02 мм) агрегат кварца и ксеноморфного альбита примерно в равных количествах. Присутствуют единичные ксеноморфные зерна апатита  $\sim$  1%. По альбиту вкрапленников и основной массе развит доломит (5-7%) и тонкозернистый мусковит-гидрослюдисто-серицитовый агрегат (15-17%).

**Окварцованные** лейкоплагиограниты (пробы 29, 31-2, 32) состоят из кварца (50%) – зерна размером 0,2-0,4 мм, обычно образуют мономинеральные агрегаты из 10-30 зерен

размером 2-3 мм. Олигоклаз (30 - 40%) в основном не сдвойникован, в зернах размером 1-2 мм с редкими (1-3%) пертитами замещения альбита. По плагиоклазу развит гидрослюдисто-мусковит-серицитовый агрегат (10-15%).

Минерализованные (омедненные) метаплагиогранит- порфиры из рудного тела РТ- I (проба 30). Медная минерализация визуально представлена вкрапленниками и гнездами халькопирита в черной «рубашке» тенорита или самостоятельными выделениями тенорита по трещинам с налетом малахита и азурита. Под микроскопом вкрапленники (40%) размером 1,5-2,0 мм представлены альбитом (35%), калишпатом (3-4%), кварцем (1-2%). Визуально наиболее многочисленные и крупные вкрапленники кварца. Основная масса (0,02-0,05 мм и до 1 мм) неравномерная по составу и структуре. Примерно половина - кварц, остальное − альбит и калишпат в равных соотношениях, но кварц-альбитовый и более крупнозернистый кварц-калишпатовый агрегаты размещаются обособленно, поэтому взаимоотношения между ними не ясны. Мелкая вкрапленность апатита составляет ~ 1%. Порода сильно изменена: наложены прожилковидные агрегаты мономинерального кварца с волнистым погасанием (15-20%), мусковит (3%), серицит (10%), гидрослюдистые агрегаты (10-15%).

*Дацим-порфиры* (проба 103) характеризуются лавобрекчиевой текстурой. Вкрапленники (10-15%) размером от 0,5 до 2-3 мм представлены альбитом (№ 2-4), магнетитом (1-2%) и обломками эпидота, сфена и рудного минерала. Основная масса представлена обломками с микропойкилитовой структурой, претерпевшими интенсивные кварц-альбитовые изменения, сцементированными лавой того же состава. Изометричные ксеноморфные зерна кварца размером 0,1–0,3 мм переполнены лейстами альбита (№ 2-4) размером в среднем 0,05мм. Вкрапленность апатита составляет ~ 1%. Вторичные минералы представлены хлоритом (3-5%), анкеритом (6-8%) и серицит-гидрослюдистым агрегатом (10%).

**Метабазальты** (проба 30-1 из дайки) почти полностью сложены новообразованными минералами. Они состоят из лейст (0,1-0,3 мм) плагиоклаза (40%) деанортизированного и псевдоморфно замещенного альбитом, по альбиту развит крупночешуйчатый серицит (2-3%). В интерстициях присутствуют: карбонаты (20-25%), хлорит (20%), часто ассоциирующий с кварцем (7-10%).

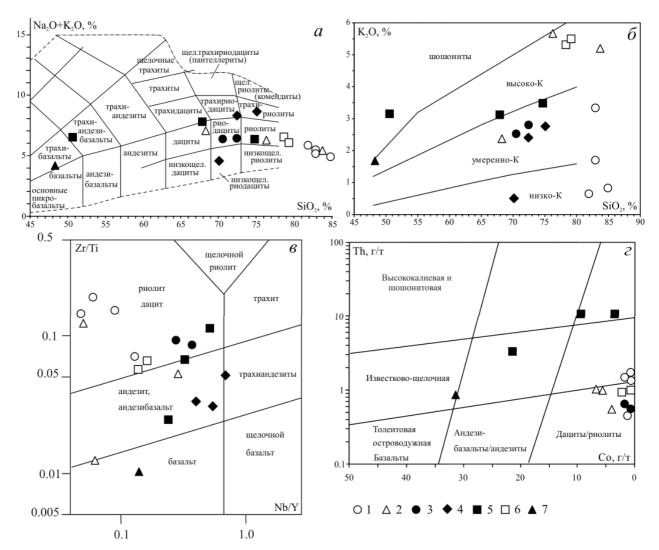
# Петрогеохимические особенности пород

Риодацит-порфиры Кульбичского массива относятся к нормальнощелочным и умереннокалиевым породам (рис. 3, а,б). Окварцованные лейкоплагиограниты отличаются высокой кременкислотностью, причем породы с меднопорфировым оруденением наиболее обогащены  $K_20$  (рис. 3,  $\delta$ ). К высококалиевым относятся субвулканические дацит-порфиры и метабазальты.

В связи с интенсивными вторичными изменениями, проявленными во всех изученных породах, могут быть нарушены первичные содержания легкоподвижных компонентов (K, Na, Si), используемых на классификационных диаграммах (рис. 3). С целью проверки повышенной щелочности пород использованы диаграммы на основе малоподвижных элементов Zr/TiO $_2$ -Nb/Y, эквивалентной диаграмме TAS (рис. 3,  $\epsilon$ ), и диаграмма Th–Co (рис. 3,  $\epsilon$ ), равнозначная диаграмме  $K_2$ O–SiO $_2$ .

На рис. 3,  $\varepsilon$  видно, что все породы являются нормальнощелочными. Субвулканические дацит-порфиры на рис. 3,  $\varepsilon$ , вероятно, действительно являются первично высококалиевыми. Все остальные кислые разности пород принадлежат толеитовой островодужной и известково-щелочной сериям.

Для всех пород отмечаются отрицательные аномалии Ta, Nb, Ti, Th и положительные – K, U, Pb (рис.4.а), а также общая обогащенность некогерентными элементами, что явля-



**Рис. 3. Классификационные диаграммы** *а и б* - по Петрографическому кодексу (2008), *в* –по (Pearce, 1996), *г* –по (Hastie et al., 2007).

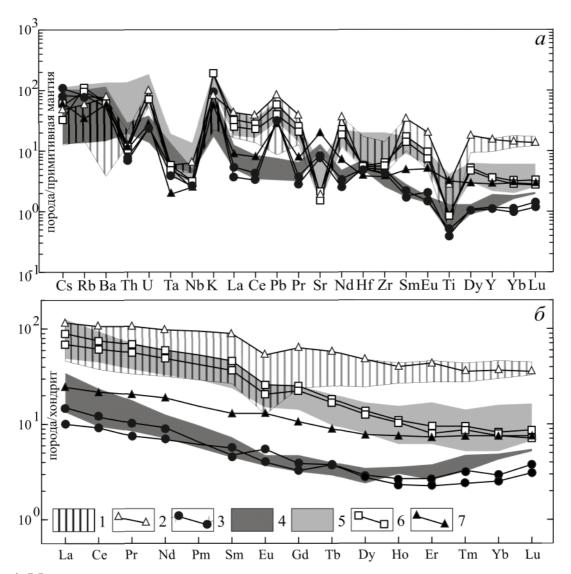
ется признаком субдукционного магматизма (Sun, McDonough, 1989; Pearce, 1996). В риодацит-порфирах Кульбичского массива наблюдаются положительные аномалии Sr, Nd, Hf, Zr. Во всех остальных породах эти элементы дают отрицательные аномалии.

Наиболее обогащены РЗЭ, с почти симметричным профилем распределения и отчетливой отрицательной Еu-аномалией, окварцованные лейкоплагиограниты, а также их калишпатизированные разности с золото-медной минерализацией (рис. 4, б).

В отличие от них риодацит-порфиры Кульбичского массива обеднены редкоземельными элементами, в них отсутствует отрицательная или отмечается положительная Еu-аномалия. Риодацит-порфиры обнаруживают полное геохимическое сходство с ранее охарактеризованными (Крук и др., 2007) полнокристаллическими гранитоидами Саракокшинского плутона.

Изотопный состав Nd и Sr в магматических породах Кульбичского рудного поля

№ пп.	<b>№</b> проб	Sm, <sub>Γ/T</sub>	Nd, Γ/T	<sup>147</sup> Sm / <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd / <sup>144</sup> Nd	$\epsilon_{Nd}(T)$	T(Nd) <sub>DM</sub>	Rb, г/т	Sr, Γ/T	<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	$\epsilon_{Sr}(T)$
1	30-1	2,47	9,7	0,1531	0,512841	5,5	781	29,7	443	0,1937	0,704972	0,59
2	31	0,85	3,4	0,1495	0,512818	6,6	792	51,1	167	0,8875	0,709903	-6,56
3	103	5,32	26,5	0,1212	0,512639	3,8	845	56	130	1,2471	0,711625	7,92

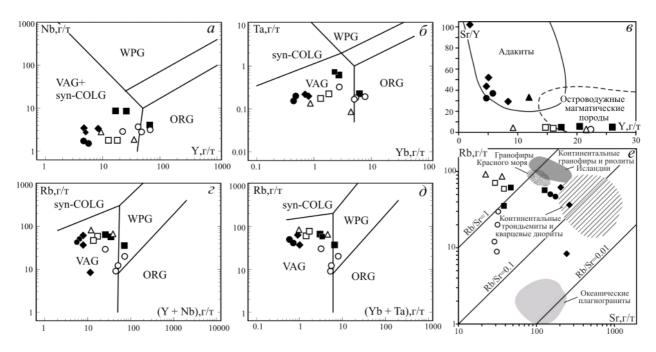


**Рис. 4. Мультиэлементные диаграммы**При нормировании состав примитивной мантии и хондрита - по (Sun, McDonough, 1989).

1 - окварцованные лейкоплагиограниты; 2- тоже с медной минерализацией; 3 – риодацит-порфиры ; 4 – гранитоиды Саракошинского плутона по Н.Н. Крук и др., (2007); 5 – дацит-порфиры и андезибазальтовые порфириты; 6 – дацит-порфиры с золото-медной минерализацией; 7 – дайка метабазальтов.

Субвулканические дацит-порфиры, а также породы из рудного тела РТ-I, имеют примерно такой же уровень содержаний легких РЗЭ, как и окварцованные лейкоплагиограниты, но они резко обеднены средними и тяжелыми РЗЭ при слабо выраженном Еи-минимуме. В дайковых метабазальтах наблюдается положительная Еи-аномалия, профиль распределения РЗЭ плоский, близкий к горизонтальному. По содержанию РЗЭ они занимает промежуточное положение между бедными РЗЭ риодацит-порфирами Кульбичского массива и секущими их субвулканическими дацит-порфирами.

Степень дифференцированности магматических пород по величине  $(La/Yb)_n$  наиболее низкая у окварцованных лейкоплагиогранитов (0.9-2.0), несколько выше в риодацит-порфирах (3,7-4,7), но наиболее высокая (7,4-10,2) в секущих дацит-порфирах, в том числе с Cu-Au оруденением. Повышенные содержания меди и золота прямо коррелируются с содержаниями  $K_2O$ . По отношению Cu/Mo, варьирующему от 150 : 1 до 686 : 1 (среднее 280 : 1), и отношению Cu/Au (ат. кол.) - от 8 200 до 35 713 (среднее 20 108), оруденение в рудном теле PT-I относится к золото-меднопорфировому типу (Kesler et al., 2002).



**Рис.5.** Дискриминационные диаграммы для пород кислого состава На диаграммах a, b, c, d поля гранитов - по (Pearce, 1984): syn-COLG - синколлизионные граниты, WPG - внутриплитовые граниты, ORG - граниты океанических хребтов, VAG -граниты вулканических дуг. Диаграмма b - по (Defant, Drummond, 1990), c - по (Трондъемиты..., 1983). Остальные обозначения см. рис. 3, 4.

Гранитоиды на рис. 5 a,  $\delta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\delta$  классифицируются как граниты вулканических дуг, и только единичные составы окварцованных лейкоплагиогранитов и дацит-порфиров тяготеют к полю гранитоидов океанических хребтов или внутриплитовых гранитов.

По соотношению содержаний  $Al_2O_3$  (14,5-15,0 %) и Yb (0,43-0,50 г/т) кульбичские риодацит-порфиры близки к высокоглиноземистым континентальным трондъемитам. В плагиогранитах Саракошинского плутона хоть и ниже содержания  $Al_2O_3$  (12,74-13,95%), а содержания Yb выше (0,80-0,71 г/т), но все же в разряд низкоглиноземистых океанических трондъемитов, как считают H.H. Крук и др. (2007), они не попадают. По соотношению Rb и Sr на рис. 5, e риодацит-порфиры Кульбичского массива размещаются между полями континентальных трондъемитов и рифтогенных гранофиров Красного моря.

По соотношению Sr/Y–Y (рис. 5,  $\epsilon$ ) гранитоиды Саракокшинского плутона и риодацит-порфиры Кульбичского массива попадают в поле адакитов. Составы этих пород «прижаты» к левой границе поля адакитов по причине низких содержаний иттрия и следуют тренду частичного плавления деплетированных и измененных MORB с эклогитовым реститом с соотношением гранат/клинопироксен = 50/50 (Xianghua et al.,2009). В поле адакитов попадают также дайковые метабазальты, а все остальные породы классифицируются как известково-щелочные магматические породы островных дуг.

**Термобарогеохимия и флюидный режим рудообразования** определялись по образцам из штокверка с Au-Cu оруденением из рудного тела РТ-I. Минерализованные породы сильно окварцованы и имели первичный состав кварц-плагиоклаз-порфировых пород. Визуально хорошо различимы более мощные (около 1 см) прожилки темно-серого до почти черного кварца и маломощные (1-2 мм) прожилки белого и светло-серого кварца. Установлены три генерации кварца.

Наиболее мощные прожилки сложены кварцем-1, который представлен крупными деформированными зернами с первичными и вторичными флюидными включениями. Первичные флюидные включения почти не сохранились — они представлены единичными вы-

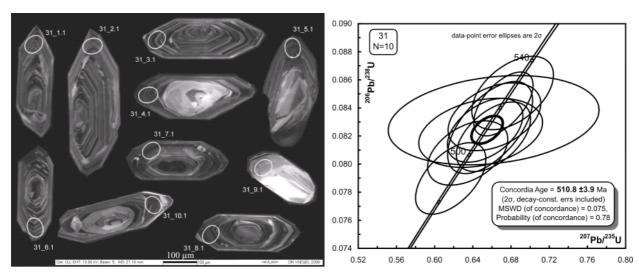


Рис. 6. Катодолюминисцентные изображения цирконов (слева) и конкордия (справа) для риодацит-порфиров Кульбичского массива (проба 31)

сококонцентрированными газово-жидкими водно-солевыми включениями, не диагностируемыми оптическими метолами. Концентрация солей во флюиде не менее 45-50% по массе. Температура гомогенизация первичных включений - 385-410 °C, давление около 2,5 кбар. Вторичные включения являются производными кипящего флюида и представлены газовыми, жидкими и газово-жидкими включениями с различным соотношением газа и жидкости ± солевых фаз. Эти включения многочисленны и имеют субмикроскопические размеры (1-2мкм), что не позволяет надежно диагностировать их состав.

Кварц-2 представлен изометричными мелкими зернами в трещинах и идиоморфными зернами в порах. В интерстициях между зернами наблюдаются газовые пузырьки  ${\rm CO_2}$  и жидкая водная фаза. Кварц-2 содержит флюидные и твердофазовые первичные включения. Флюидные включения водные и углекислотно-водные, газово-жидкие, водно-солевые с рудным минералом. Температура гомогенизации 225-245 °C. Твердофазовые включения представлены микроскопическими (5-8 мкм) зернами полевого шпата и рудного минерала. В крупных порах и трещинах постоянно наблюдается ассоциация рудных минералов, кварца-2 и чешуек слюдистого минерала (серицита), что в пользу их формирования из единого флюида.

Кварц-3 присутствует в виде скоплений мелких идиоморфных зерен с характерной «паркетной» текстурой. В этом кварце содержатся единичные однофазовые флюидные включения: жидкой  $\rm H_2O$  или газа  $\rm CO_2$ . Очень редко встречаются первичные газово-жидкие включения, гомогенизирующиеся при температуре 165-170 °C.

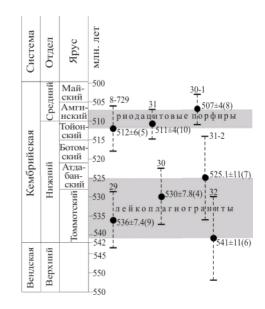
Таким образом, причиной рудоотложения, вероятно, служило пульсационное изменение кислотных свойств флюида на фоне снижения температуры и давления. Первая кислотная стадия, характеризующаяся температурой 385-410 °C и давлением около 2.5 кбар, была безрудная или незначительно рудная. Вторая стадия, с температурой 225-245 °C является основной рудоносной. Третья, завершающая стадия, протекавшая при температуре 165-170 °C, в основном безрудная. Газово-жидких включений, пригодных для надежного определения давлений на второй и третьей стадии метасоматоза, не обнаружено, но появление во флюиде  $CO_2$  в виде самостоятельной газовой фазы только на последней гидротермальной стадии свидетельствует о снижении давления от ранних стадий к завершающей.

**Результаты определения возраста и изотопия**. Риодацит-порфиры Кульбичского массива (проба 31) содержат коричневатые прозрачные идиоморфные удлиненно-призма-

# **Рис. 7. Сопоставление кембрийских возрастов цир**конов

Номера проб соответствуют приведенным на рис. 6 и 9. Проба 8-729 - из работы (Крук и др., 2007). Точкой обозначен конкордантный возраст, пунктиром — 95% доверительный интервал. Справа от точки - конкордантный возраст в млн. лет, в скобках — количество измерений, использованных для построения конкордии.

тические кристаллы циркона (рис.6). Длина зерен составляет 80-300 мкм, коэффициент удлинения (Ку) = 2.5-3.3. Преобладают зерна со светлыми центральными частями (рис.6) и темными тонкозональными краями с выдержанным отношением Th/U=0,13-0,37 (табл. 2), что является типичным для магматического циркона из кислых пород. Для всех 10 зерен получен конкордантный возраст 510,8 $\pm$ 3,9 млн.



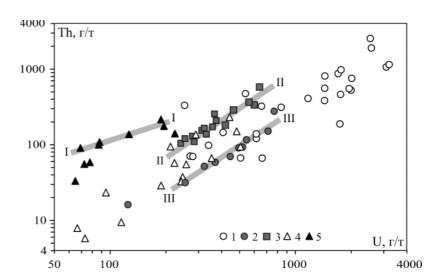
лет (рубеж раннего и среднего кембрия) с незначительным среднеквадратичным отклонением (СКВО=0,078) и высокой вероятностью конкордантности - 0,78 (рис.6).

Эти данные близки к результату 512±6 млн лет, полученному (Крук и др., 2007) для плагиогранитов Саракокшинского плутона. Эволюция магматического расплава происходила в направлении снижения содержаний U и Th и уменьшения Th/U отношения от 0,29 в ядерной части до 0,16 в краевой части зерен циркона.

Окварцованные лейкоплагиограниты (пробы 29, 30, 31-2 и 32) содержат желтоваторозовые прозрачные, полупрозрачные и мутные цирконы. В катодных лучах наряду с зернами с тонкой зональностью, но нарушенной метасоматическими изменениями, часто преоб-

ладают очень темные неясно зональные зерна (рис. 8). Во всех четырех пробах встречаются разновозрастные цирконы, но в каждой выделяется от 9 до 4 зерен (в общей сложности 26 измерений) с возрастом 541-525 млн лет (ранний кембрий), причем в пробах 32 и 31-2 получены малые значения СКВО= 0,091 и 0, 22 и высокие значения вероятности конкордантности: 0,76 и 0,64, соответственно. Раннекембрийские цирконы в целом характеризуются более высокими содержаниями U и Th (рис.8).

В субвулканических дацит-порфирах (проба 103) цирконы желтые, розовые, прозрачные, длинно- и уме-



**Рис. 8.** Диаграмма содержаний Th и U в цирконах 1 – раннекембрийские окварцованные лейкоплагиограниты (пробы 29,

1 – раннекеморийские окварцованные леикоплагиограниты (прообі 29, 30, 31-2, 32). 2 – ранне-среднекембрийские риодацит-порфиры (проба 31); 3 – ранне-среднедевонские дацит- порфиры (проба 103); 4, 5 – дайковые метабазальты (проба 30-1): 4 – цирконы пермского возраста; 5- цирконы среднекембрийского возраста; I-I – тренд в цирконах пермского возраста из дайковых метабазальтов; II–II – тренд в цирконах из ранне-среднедевонских дацит-порфиров; III-III - тренд в цирконах из ранне-среднекембрийских риодацит-порфиров.

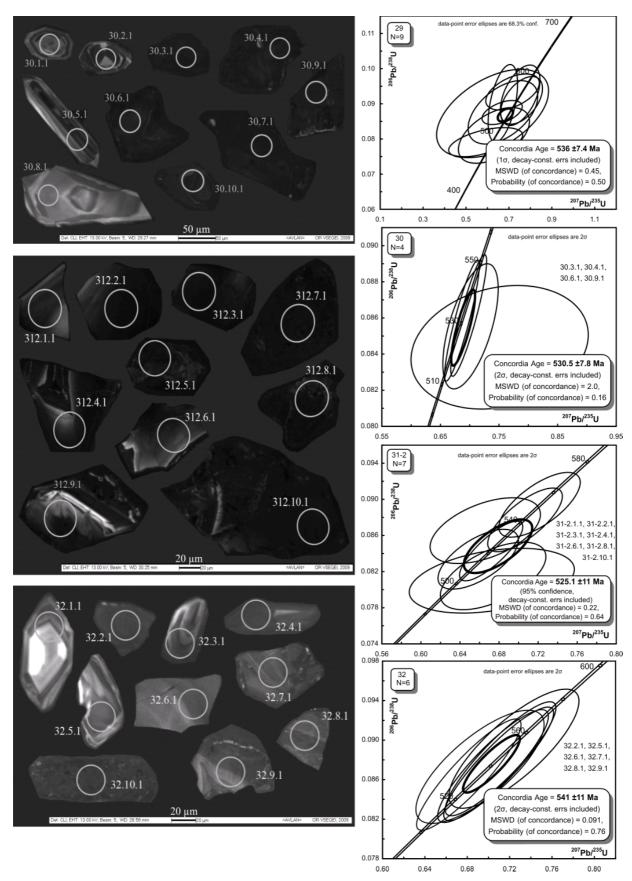


Рис. 9. Катодолюминисцентные изображения цирконов (слева) и конкордии (справа) для окварцованных лейкоплагиогранитов (пробы 29, 30, 31-2 и 32)

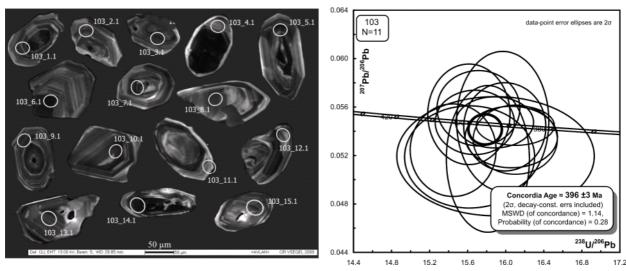


Рис. 10. Катодолюминисцентные изображения цирконов и конкордия для дацит-порфиров (проба 103)

реннопризматические, субидиоморфные кристаллы. Длина зерен составляет 80-200 мкм, Ку=1,5-2,5. В катодных лучах преобладают тонкозональные кристаллы со светлыми каймами. Некоторые цирконы с элементами секториальной и грубой зональности. Содержания радиоактивных элементов умеренные: U=240-639 г/т, Th=108-575 г/т, Th/U=0,39-0,93. Для всех цирконов получен конкордантный возраст 396±3 млн. лет (граница раннего и среднего девона), но при сравнительно высоком значении СКВО=1,14 и низком - вероятности конкордантности 0,28.

В дайковых метабазальтах (проба 30-1) обнаружены разнообразные по цвету и морфологии цирконы. Было проанализировано в общей сложности 25 зерен. По величинам измерений выявилось два кластера: один из 11 зерен с возрастом 505,7±3,7 млн. лет (средний кембрий), другой из 10 зерен с возрастом 270,3±4,4 (граница ранней и средней перми). Кроме того, для грубозонального зерна по двум измерениями был получен конкордантный возраст 386±6 млн. лет. В более крупных по размеру цирконах среднекембрийского возраста проявлена тонкая магматическая зональность, причем внутреннее строение цирконов и отношения Th/U=0,14-0,32 совершенно аналогичны установленным в риодацит-порфирах Кульбичского массива (проба 31) и не характерны для цирконов из базитов. Наиболее бедные Th и U цирконы (точки 2.1, 4.1, 8.1) имеют характеристики метаморфогенных цирконов Th/U=0,08-0,12. На этом основании кембрийские цирконы можно считать ксеногенными для дайки метабазальтов. Среднедевонский возраст 386±6 млн. лет (Th/U=0,47-0,53), вероятнее всего, также получен по ксеногенному зерну, захваченному из дацит-порфиров, подобных изученным в пробе 103. Популяция наиболее молодых цирконов с пермским возрастом  $270,3\pm4,4$  млн. лет является низко- и умеренно радиоактивной (Th= 34-217 г/т, U=65-224 г/т), но с наиболее высоким отношением Th/U=0,53-1,37 (среднее 0,98), и характеризуется грубой зональностью, что свойственно цирконам из базитов. Полученное значение конкордантного возраста 270,3±4,4 млн. лет характеризуется малой величиной СКВО=0,034 при высокой вероятности конкордантности (0,85) и может быть принято в качестве возраста даек метабазальтов.

По изотопному составу Nd и Sr (табл., рис.12) в магматических породах Кульбичского рудного поля фиксируется существенное участие в магмообоазовании ювенильного мантийного источника (положительные значения  $\varepsilon_{\rm Nd}(T)$ ) . Отклонение от мантийной последовательности за счет повышенных значений  $\varepsilon_{\rm Sr}(T)$  может свидетельствовать о незначительным участии материала верхней континентальной коры. Риодацит-порфиры Кульбичского

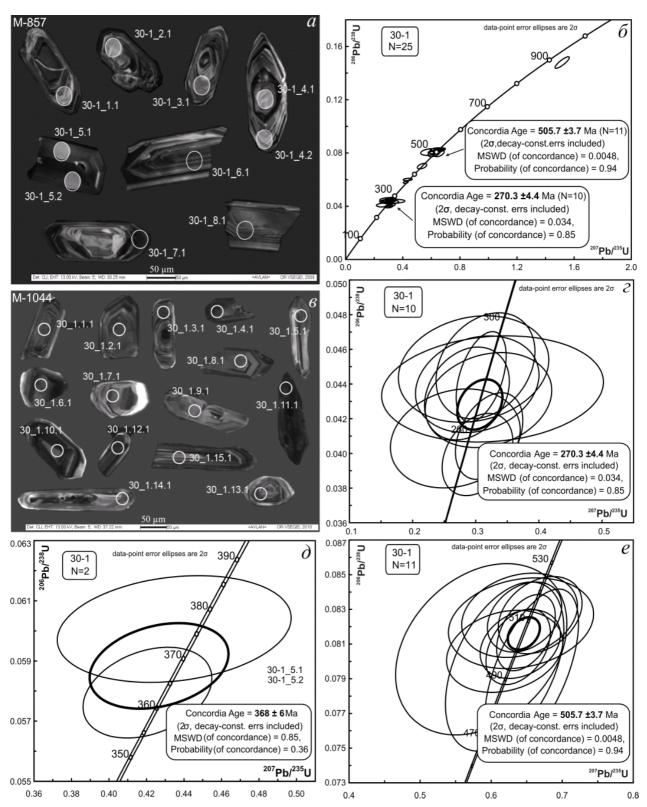


Рис. 11. Катодолюминисцентные изображения цирконов (a, e) и конкордии (b, c, d, e) для дайковых метабазальтов (проба 30-1)

массива имеют характеристики близкие к базальтам MORB-типа. В плагиогранитах Саракокшинского плутона изотопный состав Sm и Nd (Крук и др., 2007):  $^{147}$ Sm/ $^{144}$ Nd=0,1118;  $^{143}$ Nd/ $^{144}$ Nd=0,512715±12;  $\epsilon_{\rm Nd}$ ( $\Gamma_{\rm 512}$ )=+6,7 - аналогичен таковому в риодацит-порфирах Кульбичского массива. Ранне-среднедевонские дацит-порфиры наиболее обогащены радиоген-

ным стронцием ( $\epsilon_{\rm Sr}(T)$ =7,92), что может быть следствием взаимодействия с карбонатными породами коры. По отношению La/Nb для всех пород реконструируется литосферный мантийный источник, причем по отношению La/Sm девонские субвулканические образования находятся на эволюционной кривой обогащенного мантийного источника EM-типа при степени частичного плавления ~5%, а пермские дайковые метабазальты почти точно соответствуют соотношению этих элементов в обогащенных базальтах E-MORB-типа.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рудное поле месторождения Кульбич локализовано в интрузивном массиве риодацитпорфиров в краевой части Саракокшинского габбро-диорит-плагиогранитного плутона. Риодацит-порфиры Кульбичского массива имеют ранне-среднекембрийский возраст - 511 млн лет. По возрасту, геохимическим особенностям, изотопному составу Nd и Sm риодацитпорфиры идентичны гранитоидам Саракокшинского плутона.

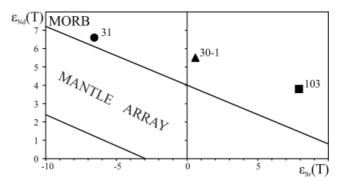
Риодацит-порфиры содержат крупные блоки (ксенолиты) окварцованных лейкоплагиогранитов раннекембрийского возраста: 541-525 млн лет, которые имеют одинаковый уровень содержаний и характер распределения РЗЭ с плагиогранитами майнского комплекса (Руднев и др., 2005) и, вероятнее всего, относятся к майнскому тоналит-плагиогранитовому комплексу. Таким образом, Саракокшинский плутон является полихронным и состоит из пород, принадлежащих двум разновозрастным комплексам: раннекембрийскому тоналитплагиогранитовому и ранне-среднекембрийскому габбро-диорит-плагиогранитовоому, заключительной фазой которого являются риодацит-порфиры Кульбичского массива. Формирование гранитоидов вероятно происходило в супрасубдукционной обстановке, геохимических признаков коллизионного магматизма не установлено.

Субмеридиональные малые тела дацит-порфиров, андезидацит-порфиров и андезибазальтовых порфиритов прорывают ранне-среднекембрийские риодацит-порфиры Кульбичского массива. Возраст их формирования ранне-среднедевонский — 396 млн лет и они относятся к нырнинскому вулканическому комплексу (Государственная..., 2001). По величине  $\varepsilon_{Nd}(T)$  они близки к кислым вулканитам корумкешинского вулканического комплекса ЮВ Алтая эмского возраста (Государственная ..., 2009). В породах корумкешинского комплекса также отмечается медная минерализация, но не имеющая промышленного значения.

Дайки метабазальтов северо-западного простирания с возрастом 270 млн лет являют-

ся наиболее поздними в рудном поле. Они внедрялись на рубеже ранней и средней перми и, вероятно, относятся к ранним стадиям формирования пермь-триасового теректинского дайкового комплекса. Дайки имеют северо-западную (алтайскую) ориентировку, одинаковую с Кульбичским разломом (параллельно долине р. Кульбич) и рудными зонами.

Специфической особенностью ранне-среднекембрийских риодацит-порфиров Кульбичского массива и гранитоидов Саракокшинского плутона являются их геохимическое сходство с адакитами. Адакитовые магмы, по классической модели, образуются в результате плавления субдуцированного слэба молодой («горячей») литосферы, в то время как



Puc.12. Sr-Nd изотопная систематика для магматических породах Кульбичского рудного поля

При расчете первичных изотопных отношений и величин  $\epsilon_{Nd}(T)$  и  $\epsilon_{Sr}(T)$  для проб: 30-1 (270 млн. лет), 31 (511млн. лет), 103 (396 млн. лет) применялись значения: для CHUR  $^{143}$ Nd/ $^{144}$ Nd = 0,512638;  $^{147}$ Sm/ $^{144}$ Nd = 0,1967, для UR  $^{87}$ Sr/ $^{86}$ Sr = 0,7045;  $^{87}$ Rb/ $^{86}$ Sr = 0,0827. Область MANTLE ARRAY и MORB - по (Zindler, Hart, 1986).

обычные известково-щелочные магмы островных и континентальных дуг образуются в результате плавления мантийного клина (Defant, Drummond, 1990). Альтернативными механизмами образования адакитовых гранитов считаются процессы ассимиляции и фракционирования, плавление деламинитизированной нижней коры или субдукция океанического хребта (Xianghua et al., 2009). Причем Au-Cu порфировое оруденение связано с наиболее примитивными адакитовыми гранитоидами (Sun et al., 2010). По сравнению с примитивной мантией риодацит-порфиры Кульбичского массива немного обогащены легкими и средними РЗЭ, а содержания Y и тяжелых РЗЭ соответствуют значениям примитивной мантии. Положительная аномалия Sr в них не является следствием аккумуляции плагиоклаза, поскольку Еи и другие несовместимые редкие элементы, родственные с этой минеральной фазой, не дают аномального обогащения. Эти особенности свидетельствуют об отсутствии плагиоклаза в резидуальной фазе в процессе плавления. Для выделения адакитовых пород обычно используются диаграммы: Sr/Y – Y и La/Yb – Yb (Defant, Drummond, 1990). Гранитоиды Саракокшинского плутона и Кульбичского массива классифицируются как адакитовые только на первой из них за счет низких содержаний Ү. На диаграмме La/Yb – Yb эти породы не попадают в поле адакитов из-за низких содержаний La, самое большое значение отношения La/Yb составляет 10,2. Такие же неполно проявленные геохимические особенности адакитовых пород наблюдается на Филиппинах в регионе Минданао (Mindanao) (Jego et al.,2005), в том числе на Au-Cu-порфировом месторождении Кингкинг (Kingking) (Suerte, 2009). На диагармме Sr/Y – Y они классифицируются как адакиты, но по отношению La/Yb тоже не попадают в поле адакитов, что объясняется относительно низким общим содержанием РЗЭ, и выделяются в качестве «промежуточных» адакитов. Меднопорфировое оруденение месторождения Кульбич характеризуется примерно таким же отношением Си/Аu (ат. кол.) = 20 108, что и на месторождении Кингкинг.

Существенная деплетированность Y и тяжелыми P3Э в адакитах относительно их известко-щелочных эквивалентов предполагает присутствие граната в рестите в процессе частичного плавления или его фракционирование в процессе дифференциации в сочетании с фракционной кристаллизацией. На Филиппинах происхождение «типичных» адакитов (Jego et al., 2005, 2010) объясняется мокрым плавлением на глубине не менее 100 км эклогитизированных океанических базальтов или, в качестве альтернативы, фракционированием граната и амфибола при высоких давлениях из расплавов в верхней части мантии. Для объяснения адакитовых признаков в саракокшинских гранитоидах, по-видимому, применим механизм, предложенный для «промежуточных» адакитов, которые образуются в результате смешения «типичных» адакитовых магм и мафических мантийных магм (Jego et al., 2005).

Кембрийский адакитовый магматизм имеет существенное развитие в данном регионе. Так, примерно в 100 км северо-восточнее Кульбича, в Горной Шории, к майнскому комплексу относятся биотитовые лейкоплагиограниты Кшитинского массива, для которых методом SHRIMP II по цирконам (7 измерений) установлен конкордантный возраст  $545,0\pm3,9$  млн. лет (СКВО 0,064, вероятность конкордантности 0,80, неопубликованные данные Г.А.-Бабина). Плагиограниты Кшитинского массива по геохимическим параметрам полностью соответствуют адакитовым гранитоидам (Sr/Y= 168; Yb -0,23 г/т; La/Yb= 44,3). В этом же районе на границе Горной Шории и Горного Алтая низкокремнеземистый адакитовый магматизм установлен в Сеглебирском блоке (Гусев А., Гусев Н., 2005).

Связь Au-Cu-порфирового оруденения с адакитововым магматизмом является предметом обширной дискуссии, которой был посвящен специальный выпуск журнала Economic Geology (2007, V. 102, N. 4). По результатам многочисленных исследований, эмпирически установленная связь золота с адакитовыми магмами экспериментально не подтверждается. При этом главными параметрами, контролирующими обогащение магм золотом, являются высокая фугитивность кислорода и концентрация серы в расплаве (Jego et al., 2010). Поэто-

му считается, что ассоциация Аu—Сu оруденения и островодужных магм обусловлена участием в магмообразовании обогащенного серой и золотом протолита, что может объясняться переплавлением субдукцированного слэба с колчеданным оруденением. Au-Cu специализация риодацит-порфиров Кульбичского массива вполне вероятна в связи с возможным участием в образовании магм саракокшинского комплекса медно-колчеданного оруденения ранней (венд-раннекембрийской) островодужной стадии. Известно, что с вулканитами раннекембрийской нижнемонокской свиты и массивами майнского комплекса пространственно ассоциирует медно-колчеданное оруденение (Майнское месторождение и др.). В связи с гранитоидами ранне-среднекембрийского возраста могло формироваться меднопорфировое оруденение при попадании в зоны магмообразования пород, обогащенных сульфидами. Однако ранне-среднекембрийское меднопорфировое оруденение, средняя глубина формирования которого составляет 2,1 км (Мигакаті, 2010), скорее всего, не сохранилось, а было денудировано или оказалось погребенным в процессе ордовикских аккреционно-коллизионных событий.

Аu-Cu оруденение месторождения Кульбич наложено на ранне-среднедевонские субвулканические образования нырнинского вулканического комплекса. По геохимическим особенностям дацит-порфиры этого комплекса представлены продуктами смешения мантийной магмы ( $\varepsilon_{Nd}(T)=3,8$ ) и материала верхней части земной коры ( $\varepsilon_{Sr}(T)=7,92$ ). Кроме того, дацит-порфиры образовались в результате наиболее глубокого фракционирования магмы ((La/Yb)<sub>n</sub>=7,7-10,2), чем все остальные породы Кульбичского рудного поля ((La/Yb)<sub>n</sub>=0,9-4,7). Это позволяет время формирования Au-Cu оруденения месторождения Кульбич считать, по крайней мере, не древнее раннего-среднего девона. Определяющую роль в его формировании могло играть участие в девонском магмообразовании кембрийских пород с колчеданным и порфировым оруденением.

Критерии прогнозирования золото-меднопорфирового оруденения кульбичского типа. Первоочередными объектами для изучения являются площади развития вулканических пород магнетитовой серии ранне-среднедевонского возраста (нырнинский и саганский вулканические комплексы). Прямым признаком является наличие в вулканических образованиях этого возраста пунктов минерализации и проявлений с прожилково-вкрапленным медным оруденением. Хорошие перспективы для прогнозирования дает возможность использования дистанционных методов, а именно - материалов гамма-спектрометрической съемки, поскольку повышенные содержания золота и меди на месторождении Кульбич связаны прямой корреляцией с калием. Первоочередными объектами для изучения должны стать калиевые аномалии в девонских вулканических комплексах, на площади которых известны проявления медной минерализации. Весьма актуальной является оценка степени сохранности оруденения от процессов денудации. Наиболее перспективны площади с эпитермальным золото-серебрянным высокосульфидизированным оруденением в сочетании с медной минерализацией. Обычно они сопряжены с золото-меднопорфировым оруденением на глубине. По современным оценкам эпитермальное оруденение образуется на глубинах до 1 км от земной поверхности, а золото-медно-порфировое оруденение - в среднем 2.1 км, что вполне приемлемо для современных возможностей промышленного освоения месторождений открытым способом.

Оценка перспектив выявления золото-меднопорфирового оруденения. В 60 км юго-восточнее месторождения Кульбич в средней части девонского Уйменского прогиба медные проявления с золотом наблюдаются в ассоциации с субвулканическими трахибазальт-риолит-риодацитовыми образованиями нырнинского ( $D_{1-2}$ ) и саганского ( $D_2$ ) вулканических комплексов. Эта площадь была выделена в качестве прогнозируемого Сумультинского золото-меднорудного узла (Государственная..., 2005). Вулканические аппараты среднедевонского возраста в пределах рудного узла сопровождаются флюидо-эксплозивными брекчиями, зонами пропилитизации и аргиллизации. Несколько проявлений меди (Некрасовс-

кое, Верхне-Кызыл-Тобракское и другие) приурочены к туффизитам и порфировым породам верхней подсвиты нырнинской свиты раннего-среднего девона. Они ассоциируют с эпитермальными проявлениями урана (Сумультинским, Айрыкским, Грозовым и другими). Медная минерализация имеет прожилково-вкрапленный тип и представлена халькопиритом, халькозином, ковеллином, борнитом в кварц-карбонатных прожилках и вторичными малахитом и хризоколой. В зоне окисления медных минералов в тонких кварцевых прожилках шестоватого облика наблюдались зерна золота размером 0,05 мм и 0,15х0,3 мм. Содержания меди в рудах варьируют от 0,1 до 1%, золота – от 0,2 до 2 г/т. В пределах прогнозируемого узла рудопроявления эпитермального золото-серебряного типа, близкого к высокосульфидизированному подтипу, обогащённому медью, пространственно ассоциируют с проявлениями меди и урана. Прогнозируемый рудный узел ориентирован в меридиональном направлении, имеет площадь 520 км<sup>2</sup> и ранее не оценивался с позиций возможного медно-золото-порфирового и эпитермального золото-серебряного оруденения. Авторские прогнозные ресурсы золота эпитермального оруденения по категории Р, составляют 94 т (Государственная..., 2005). Указанные прогнозные ресурсы не паспортизированы и ВСЕГЕИ не апробированы. Медно-порфировое оруденение не оценивалось.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рудном поле Кульбичского месторождения U-Pb методом по цирконам (SHRIMP II) установлены магматические образования четырех разновозрастных магматических комплексов. Риодацит-порфиры Кульбичского массива с геохимическими признаками адакитоподобных пород имеют ранне-среднекембрийский возраст 511 млн. лет. По геохимическим особенностям, изотопному составу, характеру цирконов и возрасту риодацит-порфиры Кульбичского массива близки плагиогранитам Саракокшинского плутона. Риодацит-порфиры Кульбичского массива содержат в виде ксеноблоков окварцованные лейкоплагиограниты с возрастом 541-525 млн. лет, которые близки к раннекембрийскому майнскому тоналит-плагиогранитовому комплексу в Западном Саяне. Формирование субмеридиональных субвулканических тел дацит-порфиров, андезидацит-порфиров и андезибазальтовых порфиритов нырнинского комплекса с возрастом 396 млн. лет происходило на границе раннего и среднего девона. Внедрение даек метабазальтов с возрастом 270 млн. лет происходило на границе ранней и средней перми и совпадает с временем функционирования Таримского плюма. Дайки относятся к ранним стадиям формирования пермо-триасового теректинского дайкого комплекса.

Положительные значения  $\varepsilon_{\rm Nd}(T)$  для магматических пород кембрийского, девонского и пермского возрастов указывают на существенно ювенильный мантийный источник магм. Роль каждого из магматических событий в формирование Au-Cu оруденения месторождения Кульбич представляется неравнозначной. Основным рудопродуктивным, вероятнее всего, был ранне-среднедевонский магматизм. Его породы наиболее глубоко фракционированные, оруденение размещается вблизи девонских субвулканических интрузий и наложено на них. Кембрийский адакитоподобный магматизм, вероятно, сопровождался меднопорфировым оруденением, но сохранность месторождений этого возраста после ордовикских коллизионных событий маловероятна. Кембрийские магматические породы с колчеданным и меднопорфировым оруденением могли служить источником серы, меди и золота при формировании девонского Au-Cu-порфирового оруденения. Дайки ранне-среднепермских базальтов являются послерудными и могли влиять на перераспределение рудных компонентов с образованием поблизости рудных столбов. Прирост прогнозных ресурсов медно-молибден-золотопорфирового оруденения возможен в осевой части Уйменского прогиба на площади прогнозируемого Сумультинского золото-меднорудного узла. Кроме оруденения медно-пор-

фирового типа в этом рудном узле ранее прогнозировалось эпитермальное золото-серебряное оруденение высокосульфидизированного типа, обычно расположенное в близповерхностных условиях над меднопорфировым оруденением. Для реализации прогноза рекомендуется проведение ГДП-200 на площади листа М-45-Х.

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам ЦИИ ВСЕГЕИ А.Н. Ларионову, Н.Г. Бережной, Н.В Толмачевой за оказание методической помощи в обработке и интерпретации результатов термобарометрических и изотопных анализов. Исследования проведены в рамках федеральной программы Роснедра Министерства природных ресурсов и экологии: «Оценка потенциально-ресурсных минерагенических зон аккреционно-коллизионных областей и областей активизации Урала, Сибири и Дальнего Востока», гос. рег. № 1-07-294.

#### Литература

Бурдин Н. В., Лебедев В. И., Лебедев Н. И. Золото-медь-молибден-порфировые руды / / Успехи современного естествознания. 2009. N3. www.rae.ru/use/pdf/2009/05/2009 05 02.pdf Гаськов И.В., Акимцев В.А., Ковалев К.Р., Сотников В.И. Золотосодержащие мине-

ральные ассоциации месторождений медно-рудного профиля Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика, 2006, т. 47, № 9, с. 996-1004.

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Алтайская. Лист M-45-III (Чемал). Объяснительная записка / Ю.А. Туркин, А.И. Гусев, С.И. Федак и др. -СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ. 2001. 194с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-45 – Горно-Алтайск. Объяснительная записка. -СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ. 2005. 305с. В издании.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000 (второе поколение). Серия Алтайская. Лист M-45-XXIII (Кош-Агач) с клапаном M-45-XXIX. Объяснительная записка / Пономарев А.Л., Крупчатников В.И., Русанов Г.Г. и др. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ. 2009. 295с. В издании.

Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. Томск, STT. 2003. 307 c.

Гусев А.И., Гусев Н.И. Адакиты междуречья Коура-Мунжа (юг Горной Шории, северовосток Республики Алтай) // Бюлл. «Природные ресурсы Горного Алтая», 2005, № 1, с. 44-48.

Домарев В.С. Высокоостровская Е.Б. Близповерхностные интрузии и возраст гранитоидов Уйменской депрессии (Горный Алтай) // Изв. АН СССР, сер. геол., 1959, № 2, с. 43-58.

Крук Н.Н., Руднев С.Н., Шокальский С.П. и др. Возраст и тектоническая позиция плагиогранитоидов Саракокшинского массива (Горный Алтай) // Литосфера, 2007, № 6, с. 137-146.

Никольская Ж.Д. Условия формирования медно-молибденового штокверкового месторождения на Алтае // Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., 1961, № 60, с. 47-50.

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд. второе. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 200с.

Pуднев С.Н., Бабин Г.А., Владимиров А.Г. и др. Геологическая позиция, возраст и геохимическая модель формирования островодужных плагиогранитоидов Западного Саяна // Геол. и геофизика, 2005, т. 46, № 2, с. 170–187.

Стратиграфический кодекс России. Изд. четвертое. СПб.: изд. ВСЕГЕИ, 2006. 96с. Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы. М.: Мир. 1983. 354с.

Туркин Ю.А., Федак С.И. Геология и структурно-вещественные комплексы Горного Алтая. Томск: STT, 2008. 460c.

- *Defant M.J., Drummond M.S.* Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere // Nature, 1990, vol. 347, n. 6294, p. 662-665.
- Hastie A. R., Kerr A. C., Pearce J. A., Mitchell S. F. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram // J. Petrology, 2007, vol. 48, p. 2341–2357.
- *Jego S., Maury R. C., Polver M. et al.* Geochemistry of adakites from the Philippines: constraints on their origins // Res. Geol., 2005, 55, n. 3, p. 163–187.
- *Jego S., Pichavant M., Mavrogenes J.A.* Controls on gold solubility in arc magmas: an experimental study at 1000 C and 4 kbar // Geochim. et Cosmochim. Acta, 2010, vol. 74, n. 7. P. 2165–2189.
- *Kesler S.E, Stephen L., Chryssoulis S.L., Simon G.* Gold in porphyry copper deposits: its abundance and fate // Ore Geol. Rev., 2002, vol. 21, n. 1, p. 103–124.
- *Murakami H., Seo J.H., Heinrich C.A.* The relation between Cu/Au ratio and formation depth of porphyry-style Cu–Au  $\pm$  Mo deposits // Miner. Deposita, 2010, vol. 45, n. 1, p. 11–21.
- *Pearce J. A., Harris N. W., Tindle A. G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // J. Petrology, 1984, vol. 25, p. 956–983.
- *Pearce J. A.* A user's guide to basalt discrimination diagrams // Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration. Geological Association of Canada, Short Course Notes. 1996, vol. 12, p. 79–113.
  - Sillitoe R.H. Porphyry copper systems // Econ. Geol., 2010, vol. 105, n. 1-2, p. 3-41.
- *Suerte L.O., Imai A., Nishihara S.* Geochemical characteristics of intrusive rocks, Southeastern Mindanao, Philippines: implication to metallogenesis of porphyry copper-gold deposits // Res. Geol., 2009, vol. 59, n. 3, p.244 262.
- Sun W.D., Ling M.X., Chung S.-L., Ding X., Yang X. Slab melting and its implications for copper ore mineralization and future exploration // Geochim et Cosmochim Acta, 2010, vol. 74(12S): A1007.
- Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the ocean basins. Eds. Saunders A.D. & Norry M.J. Geol. Soc. Special Publ. 1989, n. 42, p. 313-345.
- *Williams I.S.* U-Th-Pb geochronology by ion microprobe  $/\!/$  Rev. in Econ. Geology, 1998, n. 7, p. 1-35.
- Xianghua L., Xiaoyong Y., Liangfan Y., Qianming Z. Formation of the adakite-like granitoid complex and porphyry copper-gold deposit in Shaxi from southern Tancheng-Lujiang fault belt: a clue to the West Pacific plate subduction //Chin. J. Geochem. 2009. 28. N 1. P 28–43.
- Zindler A., Hart S.R. Chemical geodynamics // Ann. Rev. Earth and Planet. Sci., 1986, vol. 14, p. 493-571.