

УДК 553.411.496

## ЗОЛОТО И ПЛАТИНОВЫЕ МЕТАЛЛЫ В МЕДНО-МОЛИБДЕН-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

А.Ф. Коробейников\*, А.И. Грабежев\*\*

\*Томский политехнический университет, г. Томск. E-mail: lev@tpu.ru

\*\*Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург. E-mail: grabezhev@igg.uran.ru

Среди месторождений порфировой рудной формации выделяются медно-порфиновый (Au до 0,4 г/т, Cu /100 Au от 500 до 2000), золото-медно-порфиновый (Au 0,5...3 г/т, Cu/100 Au 11...150) и медно-молибден-порфиновый типы. Они отличаются различными содержаниями Cu, Mo, Au, Pt, Pd в рудах и сульфидных ассоциациях. При становлении материнских субвулканических гранитоидных магматических тел происходило рассеяние Au, Pt, Pd в разных типах возникших пород: 1,8...4,1 мг/т Au, 0,5...6 мг/т Pt и 7...11 мг/т Pd. Автометасоматические процессы кислотного выщелачивания диоритов, порфиритов, гранодиоритов, плагиогранитов (серицитизация) приводили к незначительному накоплению благородных металлов (мг/т): 12...34 Au, 12...48 Pt, 12...78 Pd,  $k_n$  1,2...8,7 в продуктах метасоматоза. Лишь завершающие гидротермальные процессы окварцевания и сульфидизации магматитов обеспечивали богатую концентрацию благородных металлов в зонах метасоматоза: 0,5...12 г/т Au, 0,1...0,5 г/т Pt и 0,05...0,3 г/т Pd,  $k_n$  100...1600 и более. При эволюции порфириковых магма-флюидных колонн происходило обогащение золотом и частично платиной, палладием, осмием их апикальных частей и возникали субвулканические золото-медно-порфириковые месторождения с сопутствующими элементами платиновой группы (ЭПГ). Регионы палеорифтогенеза и тектоно-магматической активизации с такими близповерхностными проявлениями порфириковых интрузий островодужного типа и являются наиболее перспективными на поиски промышленного комплексного благороднометалльного оруденения.

### Введение

В группу золото-платиносодержащих комплексных порфириковых месторождений относятся медно-порфириковые и медно-молибден-порфириковые, а также собственно золото-порфириковые рудные объекты. Они выявляются в различных геодинамических обстановках, но более всего они свойственны островодужным и окраинно-континентальным образованиям. Формировались такие рудные объекты при становлении тел базальт-андезитовой вулканической и габбро-диорит-плагиогранитной плутонической формаций натриевых серий на участках активного проявления процессов рифтогенеза и тектоно-магматической активизации отдельных блоков земной коры. Среди них выделяются магнетит-пиритовый, халькопирит-борнитовый, пирит-халькопиритовый, молибденитовый, полисульфидный, энаргит-полисульфидный минеральные типы [1–3]. Для месторождений свойственна отчетливая рудно-метасоматическая зональность: смена сверху вниз и от центра к периферии зон разных минералогических типов руд – магнетит-пиритового в зоне калиево-кремнивого метасоматоза → борнитового, молибденитового в калиево-кремниевых и кварц-хлорит-серицитовых метасоматитах → пирит-халькопиритового в кварц-хлорит-серицитовых, аргиллизитовых метасоматитах → пиритового в пропилитах. В медно-порфириковых рудных объектах содержится 0,01...0,8 г/т Au, 0,05...0,3 г/т Pt, 0,005...0,04 г/т Pd, а в золото-медно-порфириковых – 1...11 г/т Au, 0,01...6 г/т Pt, 0,01...0,3 г/т Pd. Медно-молибден-порфириковые месторождения чаще несут убогое количество этих благородных металлов – 0,005...0,01 г/т [2, 4, 5].

Анализ опубликованных материалов по порфириковым месторождениям показал, что запасы золота в зарубежных месторождениях составляют 2620 т [1]. Двадцать зарубежных месторождений медно-порфирикового типа по запасам золота составили четыре группы: 1...10 т (5 объектов), 10...100 т (9), 100...1000

(5) и более 1000 т (1). Наиболее крупными из них оказались Пангуна (Папуа-Новая Гвинея, 400 т Au), Эль-Теньенте (Чили, 200 т), Биним-Карбон (США, 200 т), Чукикамата (Чили, 104 т), Сьерро-Колорадо (Панама, 90 т), Сан-Мануэль (США, 40 т), Эль-Сальвадор (Чили, 30 т). На территории стран СНГ к числу золотоносных и платиноносных порфириковых объектов относятся месторождения Казахстана (Коунрад, Коксай, Бормы, Актогай, Чатыркуль, Саяк), Узбекистана (Алмалык), Малого Кавказа (Каджаран, Техут, Агарак), Урала (Салаватское, Зеленый Дол, Березняковское), Забайкалья (Шахтамикское, Давендинское, Жирекенское), Чукотки (Песчанка).

А.М. Орлов и др. [6] указывали, что при переработке медно-молибденовых руд в США ежегодно извлекали 1,5 т платиновых металлов, а в Канаде – 0,7 т Pt и 0,1 т Pd. В последние годы появилась информация о промышленно интересных концентрациях платиноидной минерализации в ряде порфириковых месторождений Сибири и Урала [4, 7, 8]. Ограниченные данные о платиноносности порфириковых месторождений Казахстана, Узбекистана, Армении, Болгарии, США, Канады, Филиппин имеются в публикациях С.Т. Бадалова, С.Л. Терехович [9], С.К. Калинина с соавторами [10], А.М. Орлова и др. [6], Л.С. Фармазян и др. [11], Т.А. Тодорова [12], А.М. Кунаева и др. [13], В.Г. Лазаренкова и др. [14], А.Х. Туресебекова и др. [15], I.L. Werle e.a. [16], M. Tarkian e.a. [17].

Все это и послужило основанием для поставки ревизионных геохимических исследований на Pt и Pd в золото-медно-порфириковых рудных объектах Урала [4]. Аналитические определения платиновых элементов в горных породах, рудах, минералах выполнялись по разработанной Н.А. Колпаковой в геолого-аналитическом центре "Золото-платина" ТПУ новой методике инверсионно-вольтамперометрического анализа [18].

Платинометаллысодержащие месторождения медно-порфирикового и золото-порфирикового типов

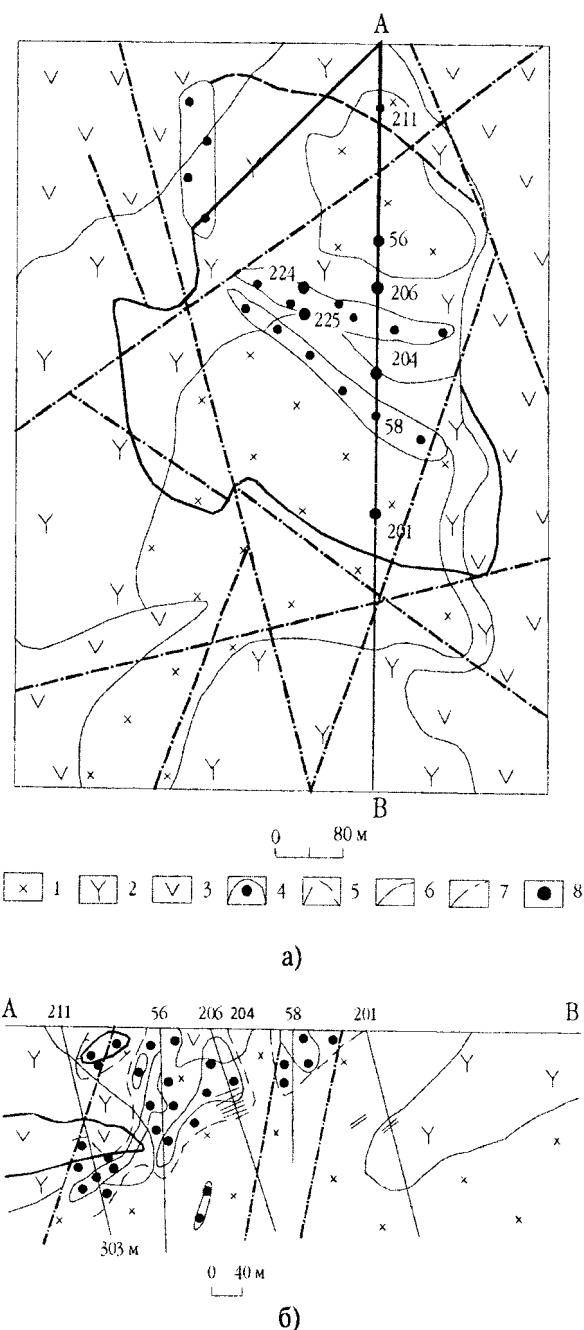
расположены в вулканоплутонических поясах базальтоидного магматизма натриевых серий. Во времени и в пространстве они сменяют однородные базальтовые и контрастные колчеданосные вулканоплутонические формации [1, 2, 19]. Среди продуктивной минерализации выделяются такие минеральные типы: магнетит-пиритовый, халькопирит-борнитовый, пирит-халькопиритовый, молибденитовый, полисульфидный, энаргит-полисульфидный [1–4]. Наиболее крупные рудные объекты сложены магнетит-пиритовыми и пирит-халькопиритовыми рудами. Халькопирит-борнитовые парагенезисы содержат включения дисперсных минералов Bi, Te, Se, Mo, Au, Ag, Pt, Pd. Основной объем благородных металлов находится в виде примесей самородных Au, Ag, Pt, реже электрума, аргентита в борните и халькопирите. В борнитовых рудах Рябинового порфирирового месторождения на Алдане В.А. Коваленкером и др. [7] выявлены минералы элементов платиновой группы (ЭПГ): эрлихманит ( $Os_{0,8}Ir_{0,15}Ru_{0,05}S_2$ ), мончеит Pt(Fe, Ni). Рудные тела таких месторождений залегают в экзо- и эндо-контактах порфирировых штоков, а внутренние части интрузивов оруденения обычно не содержат.

**Особенности геологического строения и рудоносности Березняковского золото-медно-порфирирового месторождения Южного Урала**

Месторождение входит в состав Биргильдинско-Томинского рудного узла, находящегося в южном экзоконтакте Челябинского полихронного ( $C_1$ -P) гранитоидного плутона, в зоне сочленения Восточно-Уральской вулканогенной зоны с Восточно-Уральским поднятием. Для рудного узла характерно сложнблоковое строение. Медно-порфирировые среднеглубинные месторождения (Северо-Томинское и др.) размещены в тектоническом блоке среди пород фундамента, представленных базальтоидами  $O_1$ , прорванными гипабиссальными малыми интрузиями кварц-диоритового состава  $D_3$ - $C_1$ . Березняковское месторождение и Биксизакское проявление золото-порфирирового типа находятся в Мичуринском блоке вулканогенно-осадочной постройки  $D_3$ - $C_1$  субвулканического уровня (рис. 1). Медно-порфирировые руды приурочены к малым интрузивам кварцевых диоритов, диоритов, диоритовых порфиритов мезо-гипабиссального уровня формирования, а золото-медно-порфирировые – к кварцевым диоритовым порфиритам субвулканического уровня.

Прожилково-вкрапленные, штокверковые комплексные золото-платиноидно-медносульфидные руды локализованы в линейных субширотных и северо-западных дизъюнктивных зонах среди кварц-плагиоклазовых диоритовых порфиритов  $D_3$ - $C_1$ . Эти субвулканические тела прорывают туфы и кластолавы андезит-дацитового состава ( $D_3$ - $C_1$ ), образуя единую вулканоплутоническую ассоциацию. Рудные тела размещаются преимущественно в диоритовых порфиритах, интенсивно рассланцованных, катаклазированных, милонитизированных.

Они имеют сложноштокверковое внутреннее строение с изменчивой мощностью рудных тел и невыдержанными содержаниями благородных металлов. Форма рудных тел линейно-вытянутая, извилистая, линзовидная и столбообразная. Протяженность рудных тел до 300 м. Содержания золота и платиновых металлов в рудах составляют 0,6...11 г/т Au, 0,1...0,5 г/т Pt, 0,03...0,25 г/т Pd, 3...40 г/т Ag, а также 0,3...0,6 мас. % Cu, 0,3...0,5 Zn, Se и Te 0,06...0,13,



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта (а) и геологический разрез (б) Березняковского месторождения (по А.И. Грабежеву и др.).  
1) кварцевые диоритовые порфириты, 2) субвулканические кварцевые андезитовые порфириты, 3) туфы осадочно-вулканогенной толщи  $D_3$ - $C_1$ , 4) рудные тела, 5) контур рудной зоны, 6) границы пород, 7) разрывы, 8) скважины колонкового бурения

Bi 2...50 г/т, Sb 10...500 г/т, Sn 8...30 г/т. Текстуры руд вкрапленные, пятнисто-гнездовые, прожилково-вкрапленные, брекчиевидные.

Околорудные измененные порфириты представлены агрегатами хлорита (5...12 об. %), карбонатов (2...15), серицита (10...20), пирита (3...12). Мощность зон метасоматитов достигает 200 м. В этих зонах выделяются тела слюдисто-кварцевых или пиррофиллит-кварцевых метасоматитов или альбит-кварц-хлорит-карбонатного состава.

Наибольший промышленный интерес представляют Zn-Cu-Ag-Au-Pt рудные тела ( $Ag/Au=1...11$ ,  $Au/Pt+Pd=1,8...5$ ) с гесситом, теллуридом, золотом и Zn-Cu-Au-Ag-Pd-Pt рудные тела ( $Ag/Au=10...12$ ,  $Au/Pt+Pd=1,8...2$ ) с гесситом, ртутистым электрум. Мощность таких рудных зон составляет 2...7 м, протяженность – сотни метров. Руды сложены (мас. %): пиритом (8...12), теннантитом, халькопиритом (1,5...6), сфалеритом (0,3...1), галенитом (0,3). Ранней сульфидной ассоциацией является пирит-халькопиритовая с редкими арсенопиритом, а поздней – золото-теллуридно-сфалерит-теннантитовая. Наиболее ценные минералы гессит, алтаит, петцит, золото пробы 820...860 ‰ (13...17 мас. % Ag), электрум (62 мас. % Ag), самородный теллур находятся в сфалерите, блеклой руде в форме дисперсных выделений размером 0,01...0,2 мм.

Продуктивная минерализация формировалась в две стадии: раннюю пиритовую и позднюю полиметаллическо-сульфидную. Пиритовая ранняя ассоциация включает метасоматический пирит в околорудных метасоматитах в виде прожилковых, гнездовых скоплений размером в первые десятки сантиметров. Отдельные кристаллы пирита имеют размеры 0,05...0,2 мм пентагондодекаэдрического габитуса, создают густую вкрапленность в метасоматитах. Иногда в таком пирите выявляются реликты раннего глобулярного пирита в ассоциации с графитом.

Фоновая вкрапленность, просечки, гнезда метакристаллов пирита свойственны пропилитам и аргиллизитам. В рудных зонах пиритизированные метасоматиты обогащены теннантитом, сфалеритом, пиритом, халькопиритом, галенитом, реже гесситом, калаверитом, сальванитом, креннеритом, алтаитом, пильзенитом, самородными теллуридом и золотом. В результате возникали локальные минерализованные зоны и рудные тела. На этих участках индивиды пирита укрупняются до 1...1,5 мм, и кристаллы приобретают куб-пентагондодекаэдрический облик. Такой пирит обеднен примесями – присутствуют лишь Ni 0,04...0,06 мас. %, Co 0,1...0,18, As 0,16, и нередко раздроблен и замещается кварцем, карбонатами, полисульфидными агрегатами.

Полиметаллическо-сульфидная минеральная ассоциация развита на участках прожилкового окварцевания и карбонатизации пород. Она включает три парагенетических комплекса рудных минералов – золото-полиметаллическо-сульфидный, зо-

лото-теллуридно-полиметаллическо-сульфидный и теллуридно-полиметаллическо-сульфидный. В золото-теллуридно-полиметаллическо-сульфидном парагенезисе господствуют золото в ассоциации с алтаитом, гесситом, пильзенитом. В теллуридно-полиметаллическо-сульфидном парагенезисе самородное золото не встречено, но распространены его теллуриды – калаверит, креннерит, сальванит, а также самородный теллур.

Самородное золото в рудных телах двух генераций. Золото I генерации имеет пробы 970...984 ‰ и размеры золотин 0,005...0,01 мм. Это золото совместно с блеклой рудой выполняет интерстиции в агрегатах перекристаллизованного метасоматического пирита. Примеси в золотинах представлены (%): Cu – 0,08, Ag – 2,19, Hg – 0,12. Золото II генерации установлено в золото-теллуридно-полиметаллическо-сульфидном парагенезисе. Оно имеет пробы 800...860 ‰ и сопровождается ртутистым электрум (Au 61,73 %, Ag 23,9, Hg 24,29), редкими айкинитом  $CuPbBiS_3$  (Cu 10,96 %; Pb 36,05; Bi 36,89; Te 0,13; Fe 0,35; S 16,75 %), гесситом  $Ag_2Te$ , алтаитом  $PbTe$ , пильзенитом  $Bi_3Te_4$ . Размеры выделений этих минералов не превышают 0,15 мм среди пирита, блеклой руды и кварца. Самородное золото часто находится в сростании с гесситом. Количество пирита в рудах составляет 2...5 %. Раннее высокопробное золото I и блеклая руда выполняют интерстиции в агрегатах пирита, а низкопробное золото II и ртутистый электрум совместно с гесситом размещаются в теннантите. Золотины I генерации имеют пластинчатую и дендритную формы. Они содержат до 0,11 мас. % Pd и 0,014 Hg. В теллуридно-полиметаллическо-сульфидном парагенезисе золото II представлено калаверитом  $AuTe_2$ , креннеритом (Au, Ag)Te, сальванитом  $(Au, Ag)_2Te_4$  в ассоциации с самородным теллуридом. Размеры выделений золота в теннантите и кварце 0,01...0,1 мм.

Рудовмещающие диоритовые порфириты серицитизированы ( $\pm$  парагонит), а на выклинивании рудных зон замещаются анкеритом, кальцитом, пиритом (до 6...10 %). Для околорудных метасоматитов (аргиллизитов) свойственна ассоциация парагонита и K-Na слюды с примесью мусковита. На отдельных участках слюды представлены гидропарагонитом, парагонит-сметтитом с переменным содержанием монтмориллонитовых слоев от 11 до 27 % [2, 3]. В общем метасоматическом ореоле слюды слагают 10...20 %, хлорит 5...15 %, карбонаты 5...20 % от общего объема пород. В этом ореоле находятся тела метасоматитов слюдисто-кварцевого или пиррофиллит-кварцевого состава с сульфидами. Мощность таких бескарбонатных метасоматитов составляет 2...60 м при общей мощности зоны метасоматоза в 200 м. В этой зоне выделяются скопления карбонатных, карбонатно-кварцевых прожилков с сопровождающей карбонатизацией пород. Пиррофиллит-кварцевые метасоматиты сопряжены с рудными телами и составляют зоны мощностью 60 м и более. В этих зонах нередко обособляются

участки тонкозернистого роговикового кварца с сульфидами.

На основе кальцит-доломитового геотермобарометра вероятные температуры рудообразования определены в пределах 380...320 °С при давлениях растворов 0,8...1,2 кбар. Аргиллизиты с монтмориллонитом, вероятно, формировались при температурах 240...160 °С и давлениях 0,1...0,4 кбар. Первоначально возникали пиропиллит-кварцевые ассоциации, а затем монтмориллониты. Изотопный состав серы пиритов  $\delta^{34}\text{S}$  изменяется от  $-2$  до  $-5$  ‰ в рудах мезоабиссального Томинского медно-порфинового объекта, до  $+2...6$  ‰ в рудах субвулканического Березняковского месторождения, а за пределами его зафиксировано возрастание значений  $\delta^{34}\text{S}$  пирита до  $+4...9$  ‰. На участках развития арсенопирита и кварц-барит-халькопиритовых жил Биксизакского проявления эти значения возрастают до  $+12...16$  ‰.

#### Особенности распределения Au, Pt, Pd в магматических, метасоматических породах и рудах порфириновых месторождений

Предварительная информация по распределению этих благородных металлов дана в ранних публикациях авторов и других исследователей [1–27]. К настоящему времени получены дополнительные геологические данные по содержаниям золота и платиновых металлов не только в золото-порфириновых, но и в медно-порфириновых и скарново-медно-порфириновых месторождениях Урала.

В табл. 1, 2, на рис. 2 приведены результаты аналитических исследований Au, Pt, Pd по Березняковскому, Биксизакскому, Томинскому, Гумешевскому, Михеевскому, Тарутинскому месторождениям Урала.

Фоновые содержания благородных металлов определены для магматических пород рудных месторождений Южного Урала. Здесь гранитоиды, находящиеся за пределами порфириновых рудных полей и месторождений, изучены на примере Мичуринской субвулканической медно-порфириновой рудной зоны ( $D_3-C_1$ ). Магматиты характеризуются повышенными против кларковых значений содержаниями золота: 6...23 мг/т. Лишь в небольшой части проб диоритовых порфиритов количества Au не превышают фоновых значений в 1...3 мг/т. Такие же оклокларковые значения концентраций Au выявлены в гранитоидах Челябинского плутона, расположенного в северной части рудного узла. В этих гранитоидах установлены пониженные содержания Cu до 0,01...0,02 мас. % вместо 0,1...0,3 мас. % в гранитоидах Томинской медно-порфириновой малой интрузии. Породы порфириновой малой интрузии повсеместно пропилитизированы, серицитизированы и несут обильную вкрапленность сульфидов. Количество серы в них достигает 1,5...3 мас. %, а в пределах медно-золоторудных зон даже 3...6 мас. %. В пирите и халькопирите из диоритов Томинского штока определено 0,5...9 г/т Au, а в отдельных пробах халькопирита 29 г/т Au. В сфалерите из массив-

ных сфалерит-пиритовых руд Березняковского месторождения выявлено 1,2...2,6 г/т Au.

Содержания платины и палладия в исходных и гидротермально измененных диоритах, диоритовых порфиритах варьируют от 0,4 до 48 мг/т Pt и от 0,7 до 100 мг/т Pd, при средних значениях 6,8 мг/т Pt и 42 мг/т Pd. В зонах прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации Березняковского золото-медно-порфиринового месторождения содержания Pt достигают значений 323...500 мг/т, а Pd – 33...250 мг/т, при средних значениях для отдельных типов руд 93...323 мг/т Pt и 33...84 мг/т Pd. Кварцево-барит-сульфидные жильно-штокверковые руды Биксизакского проявления несут еще более значимые количества этих металлов: 170...2430 мг/т Pt и 80...250 мг/т Pd.

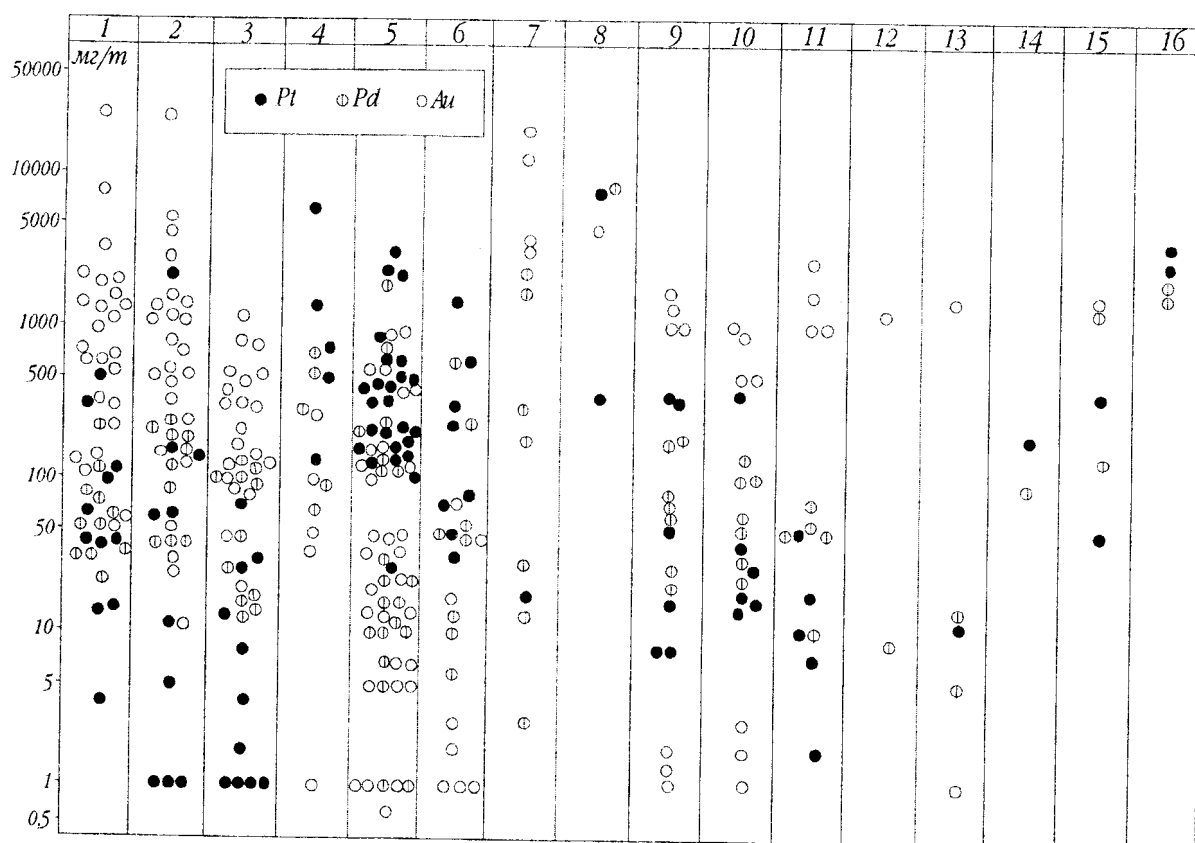
Напротив, вкрапленно-прожилковые руды Томинского медно-порфиринового месторождения характеризуются пониженными концентрациями ЭПГ: 6,8...20 мг/т Pt и 42...76 мг/т Pd. В отличие от них вкрапленные медносульфидные руды Михеевского медно-порфиринового и Гумешевского, Тарутинского скарново-медно-порфириновых месторождений характеризуются устойчиво повышенными содержаниями платины и палладия – 400...3200 мг/т Pt и 600...2100 мг/т Pd, при низких содержаниях золота в 70...300 мг/т.

На диаграммах рис. 2 показано распределение Au, Pt, Pd в магматитах, рудах, минералах порфириновых месторождений России и зарубежных стран. Из диаграммы видно, что промышленно интересные концентрации Au свойственны прожилково-вкрапленным медносульфидным рудам Березняковского, Биксизакского, Алмалыкского, Бошекульского, Каджаранского, Агаракского, Дастакертского, Джиндаранского, Айгедзорского, Санта-Томас II месторождений. Менее значимые содержания платины и палладия, представляющие тем не менее промышленный интерес, характерны для медно-сульфидных руд Березняковского, Биксизакского, Михеевского, Гумешевского, Тарутинского, Бошекульского, Каджаранского, Санта-Томас II, Аллардского месторождений. В этих рудных объектах концентрации Au, Pt, Pd достигают значений 8...29 г/т Au, 0,5...8 г/т Pt и 0,2...2,4 г/т Pd.

Следовательно, на Урале промышленно значимые концентрации платиновых металлов выявляются не только в рудных телах и окружающих сульфидоносных метасоматитах собственно золото-порфириновых, но и скарново-медно-порфириновых месторождений девон-карбонного возраста.

Кроме этого золото-медно-порфиринового платиноносного оруденения на Урале выделяется аналогичное оруденение в Шеракабулакской, Медногорской рудных зонах ( $D_2$ ) Магнитогорско-Мугоджарского прогиба и Желтыркольском месторождении, связанных с гранодиоритовыми интрузивами Зауральского поднятия [2–4].

На рис. 3 приведена диаграмма соотношений средних содержаний золота ( $\bar{x}_{\text{Au}}$ , мг/т) и показате-



**Рис. 2.** Распределение Au, Pt, Pd в сульфидизированных гранитоидах, вкрапленно-прожилковых сульфидно-теллуридных рудах, пиритах, халькопиритах, сфалеритах, галенитах, борнитах и сульфидных концентратах золото-медно-молибден-порфириковых месторождений мира.  
 Месторождения: 1) Березняковское золото-медное, Урал; 2) Биксизакское золото-медное, Урал; 3) Томинское медное, Урал; 4) Михеевское медное, Урал; 5) Гумешевское медное, Урал; 6) Тарутинское медное, Урал; 7) Алмалыкское медное, Узбекистан; 8) Бошекульское медное, Казахстан; 9) Каджаранское медное, Кавказ; 10) Агаракское медное, Кавказ; 11) Дастакертское медное, Кавказ; 12) Джиндаранское медное, Кавказ; 13) Айгедзорское медное, Кавказ; 14) Медетское Си-Мо, Болгария; 15) Санта-Томас II, Филиппины; 16) Аллард, штат Колорадо, США

ля вариации ( $V_{Au}$ , %) в неизмененных гранитоидах, автометасоматитах и вкрапленно-прожилковых золото-медно-порфириковых рудах Томинско-Мичуринского рудного узла Урала. Анализ диаграммы показал, что исходные диориты, диоритовые порфириды, гранодиориты, граниты отличаются пониженными количественными показателями (геохимическое поле I на графике 2,  $\bar{x}_{Au} = 2...4$  мг/т). Пропилитизированные их разности также характеризуются пониженными значениями  $\bar{x}_{Au}$  и  $V_{Au}$  (поле II), а серицитизированные гранитоиды – 2...3-кратными повышенными их значениями (поле III). Промышленно значимые концентрации этого металла (1...12 г/т Au) установлены в интенсивно сульфидизированных метасоматитах (серицитовые и аргиллизитовые) и прожилково-вкрапленных сульфидных рудах (поле V на рис. 3). Тем самым подчеркивается последовательно-ступенчатое накопление золота в зонах медно-порфирикового рудогенеза Томинско-Мичуринского рудного узла с промышленно важным накоплением его при автометасоматических и поздних гидротермальных процессах:  $k_n^{Au} 100...1300$  и более.

Для сравнения приведем разрозненные опубликованные данные по распределению платиновых

металлов в порфириковых рудных объектах Сибири и зарубежных территорий (рис. 2). В.И. Сотниковым [8] предварительно изучено распределение ЭПГ в медно-молибденовых рудах Сорского, Жирекенского, Давендинского месторождений Сибири. В рудосносных гранитоидах этих месторождений определено содержание платины до 10 мг/т, а палладия до 29 мг/т. В платиносодержащих пробах пород не обнаружена сульфидная минерализация. В молибденитах определены содержания Pt 8...36 мг/т и Pd 8...92 мг/т для Сорского, 1...380 мг/т Pt и 1...170 мг/т Pd для Жирекенского и 10...240 мг/т Pd для Давендинского рудных объектов. В Давендинском штокверковом медно-молибден-порфириковом месторождении установлено накопление платиновых металлов в центральной части рудной зоны. Здесь концентрация платины достигает 34...380 мг/т, а палладия – 7...270 мг/т. На верхнем горизонте содержания Pt и Pd снижены на порядок, а на флангах рудной зоны не превышают фоновых значений. Молибдениты кварцевых жил и штокверков несут 88...300 мг/т Pt и 26...53 мг/т Pd. Максимальные содержания Pt и Pd выявлены в молибденитах брекчиевых сульфидных руд. Такая же тенденция распределения Pt и Pd установлена и для молибдени-

**Таблица 1.** Содержание платиноидов и золота в породах Томинско-Мичуринского рудного узла, мг/т

№	Тип	Pt	Pd	Au	№	Тип	Pt	Pd	Au	№	Тип	Pt	Pd	Au
1	I	< 1	7	12	26	II	17	26	150	51	V	< 1	20	41
2		< 1	12	33	27		40	75	107	52		< 1	36	50
3		< 1	66	30	28		41	61	380	53		< 1	9	60
4		< 1	110	15	29		42	85	130	54		1	31	23
5		< 1	12	11	30		62	53	250	55		1	6	9
6		< 1	46	13	31		98	37	670	56		1	9	4
7		< 1	46	11	32		120	35	51	57		1	38	4
8		< 1	110	18	33		323	33	630	58		3	63	34
9		< 1	30	11	34		500	250	58	59		4	41	20
10		< 1	36	25	35			210	135	60		12	61	75
11		< 1	53	6	36			230		61		16	55	33
12		1	120	25	37		III	5	42	189		62	VI	36
13	2	61	25	38	11	210		11	63	< 1	12	340		
14	3	210	33	39	188	210		32	64	1	18	460		
15	5	150	15	40	2430	250	28	65	1	140	100			
16	6	39	5	41	IV	< 1	42	1800	66	1	100	255		
17	12	27	7	42		1	85	1060	67	2	20	780		
18	15	75	15	43		61	240	1150	68	4	30	45		
19	30	24	26	44		63	180	800	69	5	46	130		
20	48	60	22	45		170	41	540	70	8	17	1040		
21	II	< 1	91	128		46	V	< 1	25	21	71	13		100
22		1	20	660	47	< 1		46	45	72	30	120		90
23		4	120	530	48	< 1		18	5	73	33	46		820
24		6	51	460	49	< 1		30	5	74	70	94	21	
25		15	53	1400	50	< 1		5	75					

Примечание: I-IV – субвулканическая Мичуринская зона: I – диоритовые порфиры от слабо до сильно серицитизированных; II – обогащенные сульфидами участки Берзняковского золото-порфирирового месторождения; III – барит-халькопиритовые участки во фтанитах Биксизакского рудопоявления; IV – апоккарбонатные массивные халькопирит-сфалерит-пиритовые руды Биксизакского рудопоявления. V-VI – мезо-гипабиссальная Томинская зона (Томинское медно-порфирировое месторождение): V – диоритовые порфиры от слабо до сильно серицитизированных (содержания меди 0,1..0,3 мас. %); VI – обогащенные сульфидами участки. Анализы выполнены инверсионно-вольтамперометрическим методом [4, 5] из навески в 5 г в Томском политехническом университете

тов Сорского медно-молибден-порфирирового месторождения: 28 мг/т Pt и 52 мг/т Pd в молибденидах центральной зоны и 7,5 мг/т Pt и 12 мг/т Pd в периферических блоках. Содержания платиновых металлов в молибденитовом концентрате руд Сорского месторождения составили 61 мг/т Pt и 230 мг/т Pd. В сульфидных минералах медно-молибденовых руд месторождения Алмалык в Узбекистане содержания Pt и Pd не превышали значений – мг/т и лишь в молибдените определено повышенное количество <sup>187</sup>Os до 2000 мг/т [9]. Содержания Au и Ag в рудах, напротив, отличаются повышенными значениями 22...450 мг/т. По определениям С.К. Калинина с соавторами [10] в рудах этого медно-молибденового месторождения концентрации ЭПГ составили для Pt 0,33 г/т, Pd 2,5, Rh 0,005, Au 4, Ag 47; месторождения Бошекуль – 7,8 г/т Pt, 8,5 Pd, 0,7 Rh, 4,8 Au, 50 Ag; месторождения Каджаран в Армении – 0,39 г/т Pt, 0,2 Pd, 1,0 Au, 30,3 Ag; месторождения Агарак в Армении – 0,8 г/т Pt, 0,1 Pd, следы Au, 7,8 г/т Ag.

А.С. Фармазяном и др. [11] в рудах медно-молибден-порфирировых месторождений Армении приводятся такие содержания благородных металлов: Каджаран – 18 мг/т Pt, 23...80 Pd, Au следы; Агарак – Pt 15, Pd 25...60, Au следы...600 мг/т; Дастакерт –

2...7 мг/т Pt, 10...74 Pd, 1000 Au; Айгедзор – 16 мг/т Pd, 1800 Au; Джиндара – 9 мг/т Pd и 1330 Au. В молибденитовых концентратах этих рудных объектов установлены концентрации благородных металлов (мг/т): Каджаран – 8...391 Pt, 50...220 Pd, 1000...2000 Au; Агарак – 18...40 Pt, 32...160 Pd, 500...1000 Au; Дастакерт – 12...50 Pt, 5...50 Pd, 1000 Au; Айгедзор – 12 Pt, 5 Pd, следы Au.

Т.А. Тодоров [12] отметил следующие содержания ЭПГ в минералах порфирировых месторождений Болгарии: в халькопиритах месторождения Медет 216 мг/т Pt, 95 Pd, 24 Rh. На месторождении Элаците выявлены минералы ЭПГ меренскит и палладоарсенид.

Незначительно повышенные концентрации Pt и Pd определены в золото-медно-порфирировых рудах борнит-халькопирит-магнетитовой ассоциации Филиппин: 160 мг/т Pd, 39 Pt, 1,8 г/т Au [17]. В сульфидных концентратах этих руд содержания ЭПГ оцениваются как 1,5 г/т Pd и 0,4 г/т Pt. Минералы ЭПГ меренскит, котульскит, мончеит присутствуют в виде мелких включений в халькопирите и борните. В концентратах сульфидов меди из медно-порфирирового месторождения Аллард штата Колорадо (США) отмечаются содержания платиновых металлов (г/т): 2,9...3,9 Pt и 1,9...2,3 Pd [16].

Таблица 2. Распределение Au, Pt и Pd (мг/т) в метасоматитах и рудах золото-медно-порфировых месторождений Урала

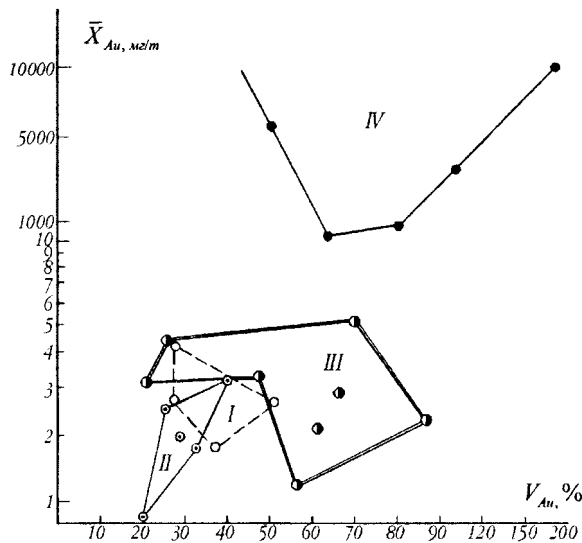
Горная порода, руда, минерал	Число проб	Pt	Pd	Au	Au/Pt+Pd
<b>Мичуринская субвулканическая золото-порфировая зона Южного Урала, D<sub>3</sub>-C<sub>1</sub></b>					
<b>Березняковское золото-порфировое месторождение</b>					
Тонкозернистый пирит-халькопирит-борнит-сфалеритовый агрегат	9	$\frac{4...500}{93}$	$\frac{26...250}{84}$	$\frac{51...1400}{340}$	1,9
Кварц-пирит-халькопиритовый прожилок	1	98	37	670	5,0
Метасоматит с густовкрапленным пиритом	1	323	33	630	1,8
<b>Биксизакское золото-порфировое проявление</b>					
Кварц-барит-сфалерит-пирит-халькопиритовый метасоматит по фтаниту	5	$\frac{1...2430}{527}$	$\frac{42...250}{164}$	$\frac{11...189}{62}$	0,09
Массивный сфалерит-пиритовый агрегат в мраморах	3	$\frac{1...170}{78}$	$\frac{41...180}{88}$	$\frac{540...1800}{1047}$	6,3
Вкрапленный сфалерит-пиритовый агрегат в мраморах	2	$\frac{1...61}{31}$	$\frac{85...240}{163}$	$\frac{1060...1150}{1105}$	5,7
<b>Томинское медно-порфировое месторождение, D<sub>3</sub>-C<sub>1</sub></b>					
Вкрапленность халькопирита с пиритом в метасоматитах	7	$\frac{1...70}{20}$	$\frac{12...140}{76}$	$\frac{21...820}{298}$	3,1
Густая вкрапленность пирита с подчиненным халькопиритом в метасоматитах	4	$\frac{2...13}{6,8}$	$\frac{17...100}{42}$	$\frac{45...1040}{494}$	10
<b>Гумешевское скарново-медно-порфировое месторождение, D<sub>1-2</sub></b>					
Эпидот-гранатовый скарн с вкрапленностью халькопирита и пирита	2	$\frac{640...621}{630}$	$\frac{110...160}{135}$	44,1	0,06
Доломитизированный мрамор с вкрапленностью пирита и халькопирита	4	$\frac{218...500}{400}$	$\frac{1...120}{39}$	$\frac{1...860}{303}$	0,7
Халькопирит-пирит-кварц-карбонатный метасоматит	4	$\frac{180...2700}{1028}$	$\frac{18...2100}{603}$	-	-
Массивная халькопирит-пиротиновая руда	4	$\frac{166...3200}{1562}$	$\frac{5...755}{196}$	$\frac{5...550}{248}$	0,14
Халькопирит-пирит-амфибол-эпидотовый метасоматит	4	$\frac{120...370}{242}$	$\frac{1...12}{7,7}$	$\frac{15...950}{278}$	1,10
Пирит-эпидот-хлоритовый метасоматит	4	$\frac{30...218}{150}$	$\frac{10...430}{174}$	$\frac{5...430}{188}$	0,6
Халькопирит	1(3)	30	430	$\frac{1...180}{40}$	0,09
<b>Михеевское медно-порфировое месторождение, D<sub>3</sub>-C<sub>1</sub></b>					
Халькопирит с примесью пирита в пропилите	1	6100	66	100	0,02
Массивный агрегат пирита с примесью халькопирита (2...3 %) в пропилите	2	$\frac{160...1600}{880}$	$\frac{530...700}{615}$	300	0,2
Пирит-халькопиритовый агрегат в кварцевой жиле	2	$\frac{500...750}{625}$	$\frac{96...330}{213}$	$\frac{38...48}{43}$	0,05
<b>Тарутинское скарново-медно-порфировое месторождение, C<sub>1</sub></b>					
Халькопирит с примесью магнетита из скарна	1	1700	610	71	0,03
Пирит-халькопиритовая вкрапленность в скарне	4	$\frac{34...330}{121}$	$\frac{6...49}{28}$	$\frac{1...19}{8}$	0,05
Пирит-халькопирит-галенитовая вкрапленность в скарне	1	270	52	3	0,01
Вкрапленность пирита в скарне	1	80	10	44	0,49
Кварц-халькопирит-пиритовый жильный агрегат	1	620	270	1	0,001

Примечание: в числителе дроби – содержание металла минимальное и максимальное, в знаменателе – среднее его содержание. Анализы выполнены инверсионно-вольтамперометрическим методом в лаборатории геолого-аналитического центра "Золото-платина" Томского политехнического университета с чувствительностью  $1 \cdot 10^{-7}$  мас. %, воспроизводимостью повторных анализов 80...90 % из навески 1...5 г. Аналитики: З.С. Михайлова (Au, Pd), Э.В. Горчаков, Е.В. Смышляева (Pt)

В медносульфидных концентратах порфировых месторождений других регионов мира отмечаются повышенные содержания Pt и Pd: в месторождении Элаците (Болгария) – 170 мг/т Pt и 760...1900 Pd; в месторождении Мамут (Малайзия) – 450...490 мг/т Pt и 1180...1600 Pd; в месторождении Ок-Теди (Папуа-Новая Гвинея) – 8...24 мг/т Pt и 650...980 Pd [17].

Даже такой краткий анализ изученной платиноносности разных типов месторождений медно-молибден-порфировой формации свидетельствует о том, что многие минеральные типы данных рудных объектов несут промышленно значимые концентрации не только Au, Ag, Te, Se, Bi, Tl, но и платиновых металлов, особенно Pt, Pd, Rh и Os.





**Рис. 3.** Распределение Au в золотоносно-платиноносных медно-порфировых интрузиях Южного Урала (по А.Ф. Коробейникову и А.И. Грабежеву). Поля распространения Au в горных породах Березняковского, Томинского месторождений и Биксиакского проявления: I) в неизмененных диоритовых порфиритах, диоритах, гранодиоритах, плагиогригитах,  $D_3-C_1$ ; II) в пропилитизированных диоритах, вулканитах; III) в сульфидизированных диоритах, серицитизированных гранитоидах; IV) в сульфидизированных серицитовых метасоматитах и вкрапленных медно-цинк-серебряных сульфидных рудах

**Выводы**

1. Среди месторождений порфировой рудной формации выделяются медно-порфировый ( $Au \leq 0,4$  г/т,  $Cu/100 Au \leq 500...2000$ ), золото-медно-порфировый ( $Au 0,5...3$  г/т,  $Cu/100 Au 11...150$ ) и медно-молибден-порфировый типы. Они отличаются разными содержаниями Cu, Mo, Ag, Au, Pt, Pd, Re, Os в рудах и сульфидных скоплениях. Такие комплексные месторождения свойственны островодужным и реже окраинноконтинентальным обстановкам на участках активного проявления процессов рифтогенеза и тектоно-магматической активизации отдельных блоков земной коры. Рудные ассоциации формировались при становлении тел базальт-андезитовой вулканической и габбро-диорит-плагиогригитной плутонической формаций натриевой серии.

2. При формировании субвулканических магморудно-метасоматических порфировых колонн благородные металлы создавали промышленно значи-

мые концентрации ступенчато-последовательно. В период становления гранитоидных интрузий без существенного проявления аутометасоматоза Au и ЭПГ благодаря проявлению нейтральных свойств обеспечивали низкофоновые их концентрации во всех типах горных пород:  $k_n = 1,0$ . В период интенсивного кислотного выщелачивания магматитов, выразившегося в серицитизации пород, происходило перераспределение металлов и незначительный их привнос глубинными гидротермами:  $k_n = 1, 2...3$ . Лишь в завершающий период гидротермального окварцевания и сульфидизации пород осуществлялось максимальное накопление Au и ЭПГ в апикальных частях магмо-рудно-метасоматических порфировых колонн, вплоть до образования крупных промышленных месторождений:  $k_n = 150...2800$ .

3. Поведение Pt и Pd в магматических и метасоматических процессах порфировых интрузий сходно с таковым более изученного поведения золота. При процессах дифференциации и кристаллизации расплавов не установлено накопление этих металлов в разных типах магматитов:  $k_n = 1,0$ .

Фоновые содержания ЭПГ в магматитах разного состава варьируют в пределах 0,5...6 мг/т Pt и 7...11 мг/т Pd. Формирование серицитовых аутометасоматитов порфировых систем сопровождалось незначительным накоплением Pt и Pd в продуктах аутометасоматоза до  $k_n = 1,3...8,7$ . Лишь процессы заключительного гидротермального окварцевания и сульфидизации пород отдельных горизонтов рудно-метасоматических колонн приводили к накоплению этих металлов до 0,2...3,6 г/т  $k_n^{ЭПГ} = 100...600$ ). Однако более значимой концентрации Pt и Pd в продуктах гидротермального метасоматоза и сульфидизации порфировых колонн Сибири и Урала пока не выявлено.

4. Геохимические исследования показали, что промышленно важное накопление Au, Pt, Pd, Os в зонах гидротермального выщелачивания и сульфидизации пород магмо-рудно-метасоматических колонн порфировых интрузий происходило на субвулканическом уровне и слабо проявлялось на среднегипабиссальном уровне.

Поэтому прогнозно-поисковые работы на благородные металлы в первую очередь следует проводить в апикальных частях порфировых интрузий и в тех регионах, где активно проявилась субвулканическая деятельность гранитоидных интрузий благодаря процессам рифтогенеза и тектоно-магматической активизации структур.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Минина О.В. Зональность и золотоносность руд медно-порфировых месторождений. — М.: ВИЭМС, 1985. — 47 с. (Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений металлических полезных ископаемых: Обзор).
2. Грабежев А.И., Молошаг В.П. Zn-Cu-Ag-Au-оруденение Томинского медно-порфирового рудного узла

(Южный Урал) // Доклады РАН. — 1993. — Т. 300. — № 3. — С. 349–351.

3. Грабежев А.И., Коробейников А.Ф., Молошаг В.П. Золото в медно-золото-порфировых месторождениях Урала // Геохимия. — 1995. — № 10. — С. 1465–1471.
4. Коробейников А.Ф., Грабежев А.И., Молошаг В.П. Поведение платины, палладия, золота при формировании медно-порфировой рудообразующей колонны



- (Томинско-Мичуринский рудный узел, Урал) // Доклады РАН. — 2002. — Т. 383. — № 5. — С. 668–671.
5. Беневольский Б.И., Зубатарева Л.И., Мишиева Н.В. благородные металлы в комплексных рудах зарубежных месторождений. — М.: ВИЭМС, 1991. — 47 с.
  6. Орлов А.М., Борбыш В.Ф., Гедгагова Н.Н. Производство металлов платиновой группы за рубежом. — М.: ЦНИИЦВЕТМЕТ, 1975. — 64 с.
  7. Коваленкер В.А., Мызник И.К., Кочетков А.Я., Наумов В.Б. Платиноносное золото-сульфидное оруденение Рябинового щелочного массива (Центральный Алдан, Россия) // Геология рудных месторождений. — 1996. — Т. 38. — № 4. — С. 345–356.
  8. Нетрадиционная платиноидная минерализация Средней Сибири / А.М. Сазонов, О.М. Гринев, Г.И. Шведов, В.И. Сотников. — Томск: Изд. ТПУ, 1997. — 148 с.
  9. Бадалов С.Т., Терехович С.Л. К геохимии элементов платиновой группы в Алмалыкском рудном районе (УзбССР) // Доклады АН СССР. — 1966. — Т. 168. — № 6. — С. 1397–1400.
  10. Калинин С.К., Файн Э.С., Егизбаева К.Е. Стабильный изотоп осмий-187. — Алма-Ата: Наука, 1975. — 95 с.
  11. Фармазян А.С., Калинин С.К., Терехович С.Л. Особенности геохимии элементов группы платины в рудах медно-молибденовых месторождений Армении // Доклады АН СССР. — 1970. — Т. 190. — № 6. — С. 1455–1457.
  12. Тодоров Т.А. Минералы и минерализация платиновых металлов в Болгарии: состояние изученности проблемы // VII Международный платиновый симпозиум: Тезисы докл. — М., 1994. — С. 111.
  13. Кунаев А.М., Калинин С.К., Ли И.Е. Распределение изотопа  $^{187}\text{Os}$  в продуктах Дзезказганского и Балхашского медеплавильных заводов // Химия и технология осмия. — Алма-Ата, 1985. — С. 195–200.
  14. Лазаренков В.Г., Петров С.В., Таловина И.В. Геохимия элементов платиновой группы. — СПб, 2001. — С. 207–212.
  15. Турсебеков А.Х., Каширский С.А. Технологическая минералогия и оценка руд в связи с комплексным освоением медно-молибденовых и других месторождений Республики Узбекистан // Тез. докл. ВМО. — СПб, 2001. — С. 104–106.
  16. Werle J.L., Ickzamuddin M., Mutscheer F.E. Allard stock, La Plata Mountains, Colorado-analkaline rock-hosted porphyry copper-precious metal district // Canad. J. Earth. Sci. — 1984. — V. 21. — № 6. — P. 630–641.
  17. Tarkian M., Coopmar G. Platinum-group minerals in the Santo-Tomas II (Philex) porphyry copper-gold deposit, Luson-Island, Philippines // Mineral Deposits. — 1995. — V. 30. — P. 39–47.
  18. Колпакова Н.А., Иванов Ю.А., Коробейников А.Ф. Определение платиновых металлов в рудах и концентратах методом инверсионной вольтамперометрии // Платина России. Проблемы развития минералого-сырьевой базы платиновых металлов. — М.: АОЗТ "Геоинформмарк", 1995. — Т. II. — Кн. 1. — С. 181–184.
  19. Авдонин В.В. Принципы геолого-промышленной типизации рудных месторождений. — М.: ЗАО: "Геоинформмарк", 1999. — 40 с. (Геология, методы поисков, разведки и оценки твердых полезных ископаемых: Обзор).

УДК 552.322+553.411.071

## МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ АССОЦИИ КИСЛЫХ ГИПАБИССАЛЬНЫХ ПОРОД БЕРИКУЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

И.В. Кучеренко

Томский политехнический университет

E-mail: lev@tpu.ru

*Приведены результаты изучения минерального и химического составов кислых гипабиссальных пород Бериккульского рудного поля. Установлены три вида гранитоидов: низкощелочных, нормальных, лейкократовых гранитов. Каждый вид представлен аплитовидной, порфиоровидной, пегматоидной структурными разновидностями и одной биотитовой минеральной разновидностью. Все виды гранитоидов относятся к весьма высокоглиноземистым и преобладающе к калиево-натриевой петрохимической серии при эпизодическом участии пород калиевой серии. По совокупности признаков, в частности, с учетом пространственно-возрастной близости, сходства составов плутонических гранитоидов мартайгинского времени и кислых гипабиссальных пород рудного поля сделан вывод об образовании последних в составе Мартайгинского комплекса, вероятно, на заключительных этапах его становления.*

### Введение

Ранее [1] было показано структурное и возрастное положение даек кислых пород Бериккульского рудного поля. Они представляют автономную от более поздних основных гипабиссальных пород ассоциацию, что следует из фактов пересечения их более многочисленными хорошо раскристаллизованными дайками долеритов, в эндоконтактах или

в маломощных (до 5...20 см) телах — в полном объеме сложенными афанитовой породой. Афанитовое строение долеритов, свидетельствующее об относительно быстром застывании расплавов, зафиксировано и в участках пересечения долеритами даек кислых пород. Во вскрытом объеме рудного поля задокументировано около 300 даек основных пород и около 150 даек гранитоидов, при этом не обнару-