

УДК 553.43+546.027(470.5)

ПОТЕНЦИАЛЬНО ПРОМЫШЛЕННАЯ АЛАПАЕВСКО-СУХОЛОЖСКАЯ МЕДНО-ПОРФИРОВАЯ ЗОНА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

© 2015 г. А. И. Грабежев*, А. В. Коровко**, О. Б. Азовскова*, С. В. Прибавкин*

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7
E-mail: azovskova@igg.uran.ru

**Среднеуральская геолого-разведочная экспедиция
624091, г. Верхняя Пышма Свердловской обл., ул. Петрова, 1
E-mail: sugre@mail.ru

Поступила в редакцию 01.09.2014 г.

Принята к печати 24.11.2014 г.

Алапаевско-Сухоложская субмеридиональная зона медно-порфировой минерализации, находящаяся на Среднем Урале, в 75 км восточнее г. Екатеринбург, протягивается на 100 км от г. Алапаевск до г. Сухой Лог. В породах зоны повсеместно наблюдается вкрапленность сульфидов, известны многочисленные слабо изученные рудопроявления и мелкие месторождения (ранее разрабатывавшиеся). Зона, как и промышленное медно-порфиговое Михеевское месторождение (более 1.7 млн т Cu), приурочена к восточной части Восточно-Уральской вулканогенной мегазоны и состоит из нескольких рудопродуктивных субмеридиональных вулкано-плутонических поясов, представляющих собой тектонические блоки. Принято считать, что магматические образования Алапаевско-Сухоложской зоны были сформированы в два этапа. Установлено уменьшение возраста гранитоидного магматизма первого этапа (U-Pb SHRIMP-II и LA ICP-MS датирование цирконов) с севера на юг (млн лет): от 412 (диориты, тоналиты, трондьемиты Ялуниногорского массива) до 404–406 (диориты, гранодиориты, граниты Алтынайско-Артемовской интрузии) и далее до 397 (плагиориодацит-порфиры участка Шата). Становление объемно серицитизированных и сульфидизированных кварцевых диоритов Восточно-Артемовского массива, вероятно, происходило во второй этап (эрохрона, 369 ± 39 млн лет, Rb-Sr датирование). Все гранитоиды относятся к островодужному геохимическому типу и имеют близмантийные изотопные параметры: $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t = 0.7038\text{--}0.7049$, $(\epsilon\text{Nd})_t = 6.6\text{--}8.7$. Авторы считают, что (при принятии современного бортового содержания меди – 0.15–0.20 мас. %) системное комплексное геолого-геофизическое обследование Алапаевско-Сухоложской зоны должно привести к открытию промышленных крупномасштабных медно-порфириковых месторождений. Наиболее благоприятен для выявления объемных штокверков Восточно-Артемовский массив, во многом сходный с рудно-магматической системой Михеевского месторождения.

Ключевые слова: медно-порфириковые месторождения, рудоносные гранитоиды, Урал.

ВВЕДЕНИЕ

Детальное геолого-геофизическое изучение двух небольших рудопоявлений (Новониколаевского и Томинского на Южном Урале) привело к открытию крупных Михеевского и Томинско-Калиновского медно-порфириковых месторождений, суммарные запасы меди в которых превышают 4–5 млн т. В настоящее время ведется крупномасштабная отработка Михеевского и подготовка к отработке Томинского месторождения. Известны и другие ныне обрабатываемые порфириковые месторождения (Грабежев, 2012; Plotinskaya, Grabezhev, 2014). Рассматриваемая в данной статье субмеридиональная Алапаевско-Сухоложская зона находится на Среднем Урале (рис. 1). Она включает многочисленные рудопоявления медно-порфирикового типа и

приурочена, как и южноуральская промышленная медно-порфириковая Тарутинско-Новониколаевская зона, к восточной части Восточно-Уральской вулканогенной мегазоны. Положение обеих рудных зон в пределах одной региональной структуры является положительным прогнозным фактором для выявления промышленного оруденения в Алапаевско-Сухоложской зоне. Однако такого пока не обнаружено, несмотря на значительный объем проведенных здесь в 70–90-х гг. прошлого столетия поисковых работ. Это может быть обусловлено отсутствием системного научно-производственного подхода к изучению данного пояса. Ниже приведены новые краткие сведения о геологическом положении рудопоявлений, изотопном возрасте и изотопно-петрогеохимических особенностях продуктивных гранитоидов. Дана краткая характеристика неко-

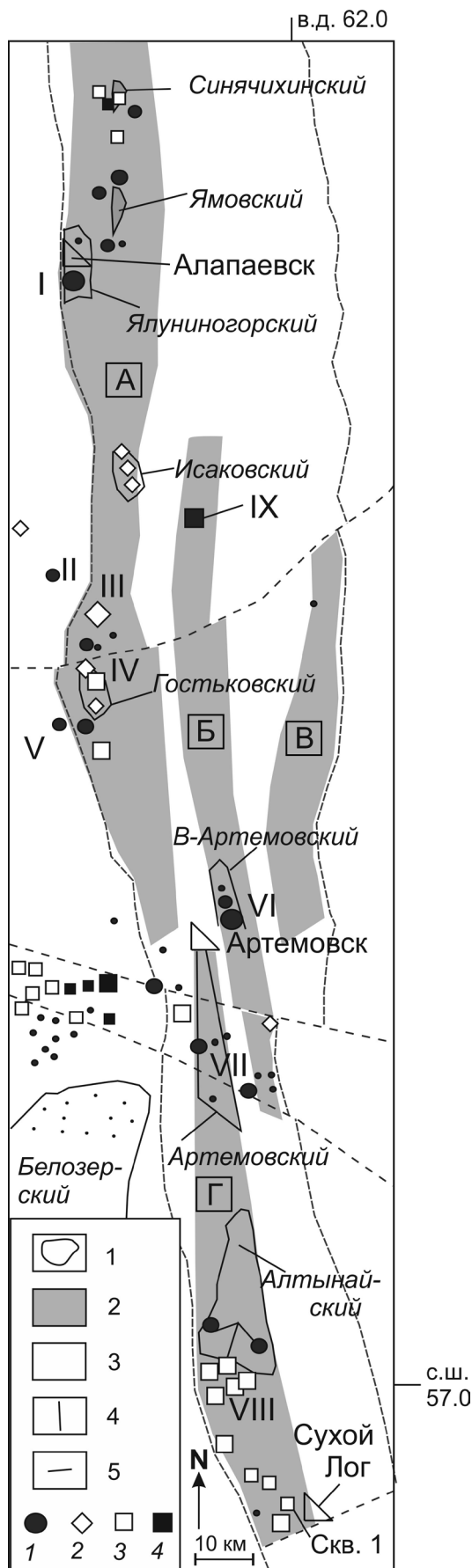


Рис. 1. Схема размещения рудопроявлений в Алапаевско-Сухоложской зоне (по материалам А.В. Коровко и Б.М. Седова, с изменениями).

1 – контуры гранитоидных массивов (названия массивов выделены курсивом); 2 – тектонические блоки, сложенные преимущественно рудопродуктивными вулканогенными образованиями базальт-андезит-дацитовой формации эмс-среднедевонского возраста; 3 – вулканогенно-осадочные и осадочные породы S–C возраста нерасчлененные; 4 – глубинные субмеридиональные разломы (Алапаевско-Челябинский в левой части рисунка, Бичурский – в правой); 5 – субширотные разломы глубокого заложения. Тектонические блоки: А – Алапаевский (Ялуниногорский), Б – Мостовской, В – Шогринский, Г – Артемовско-Сухоложский. Участки значительной сульфидной минерализации. 1–3 – Cu ± (Au, Zn, Mo)-порфировое и эпitherмально-порфировое оруденение D₁₋₂ возраста: 1, 2 – пирит-халькопиритовое прожилково-вкрапленное (1), иногда включающее небольшие линзы массивных сульфидов (2); содержания Zn составляют менее 0.01–0.05 мас. %; 3 – сфалерит-пирит-халькопиритовое прожилково-вкрапленное с участками густовкрапленного пирита, содержания Zn более (0.05–0.1) мас. %. 4 – Zn–Cu–Pb оруденение C₂ возраста телетермального типа. Размер знаков соответствует масштабу оруденения – от участков существенной минерализации до мелких-средних рудопроявлений и небольших месторождений. Месторождения и крупные рудопроявления. I–VIII – Cu ± (Au, Zn, Mo)-порфировые месторождения и рудопроявления D₁₋₂ возраста: I–V – рудники, функционировавшие в XVIII–XIX вв.: I – Алапаевский, II – Кулигинский, III – Воронинский, IV – Гостьковский, V – Медный; VI–VIII – наиболее крупные рудопроявления: VI – Восточно-Артемовский массив, VII – Артемовский ареал, VIII – Южно-Алтынайский ареал. IX – Zn–Pb Ермаковский рудник, оруденение эпitherмального типа C₂ возраста.

Fig. 1. Chart of ore occurrences in Alapaevsk-Sukhoy Log area (based on the A.V. Korovko, B.M. Sedova, with modification).

1 – contours of the granitoid massifs (the names are given in italics); 2 – tectonic blocks composed mainly ore bearing volcanic formations in basal-andesite-dacite formation Ems-Middle Devonian age; 3 – volcanic-sedimentary and sedimentary rocks of S–C age undivided; 4 – submeridional deep faults (Alapaevsk-Chelyabinsk in the left side of the figure, Bichursky on the right one); 5 – sublatitudinal deep foundation faults. Tectonic units: A – Alapaevsk (Yaluninogorsk), B – Mostovskoy, B – Shogrinsky, G – Artemovsk-Sukhoy Log. Areas of significant sulphide mineralization. 1–3 – Cu ± (Au, Zn, Mo)-porphyry and epithermal-porphyry mineralization D₁₋₂ age: 1, 2 – pyrite-chalcopyrite vein-disseminated mineralization (1), sometimes including small lenses of massive sulphides (2), Zn content is less than (0.01–0.05) wt %; 3 – sphalerite-pyrite-chalcopyrite vein-disseminated mineralization with areas of abundant-disseminated pyrite, the content of Zn over (0.05–0.1) wt %. 4 – Zn–Cu–Pb mineralization C₂ age telethermal type. The character size increases with the scale of mineralization – from significant mineralized areas to small-medium ore occurrences and small deposits. Deposits and large ore occurrences. I–VIII – Cu ± (Au, Zn, Mo)-porphyry deposits and occurrences D₁₋₂ age: I–V – mines functioned in XVIII–XIX centuries: I – Alapaevsky, II – Kuliginsky, III – Voroninsky, IV – Gost'kovsky V – Medny; VI–VIII – the largest ore occurrences: VI – East-Artemovsk massif, VII – Artemovsk area, VIII – South-Altnay area. IX – Zn–Pb Yermakovsky mine, mineralization of epithermal type C₂ age.

торых рудных узлов и рудопроявлений. Выделены наиболее перспективные рудоносные структуры.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОНЫ

Алапаевско-Сухоложская субмеридиональная зона медно-порфировой минерализации протягивается на 100 км (при ширине 3–10 км) примерно от г. Алапаевск на севере до г. Сухой Лог на юге (см. рис. 1). Зона находится в восточной части Восточно-Уральской вулканогенной мегазоны (Коровко и др., 2004¹; Грабежев, 2012). В пределах этой зоны известны многочисленные слабо изученные рудопроявления, а также мелкие ранее обработанные месторождения. Ранее геологипроизводственники относили минерализованные участки к вкрапленному колчеданному типу. Наиболее определено медно-порфировая природа некоторых рудопроявлений была аргументирована И.Б. Федоровой с коллегами (1971), а позже – многими другими исследователями (Смирнов и др., 1988; Грабежев, Белгородский, 1992; Коровко и др., 2004; и др.).

Алапаевско-Сухоложская медно-порфировая зона приурочена к восточному висячему боку Алапаевско-Челябинского долгоживущего глубинного разлома (сбросо-сдвига), который следует рассматривать как рудоконтролирующий. Зона состоит из нескольких рудопродуктивных субмеридиональных вулканоплутонических поясов – тектонических блоков (см. рис. 1). Вулканические и вулканокластические породы этих поясов имеют преимущественно андезитовый состав, D₁e–D₂ возраст (по стратиграфическим данным), находятся среди тектонизированных вулканогенно-осадочных пород широкого вещественного и возрастного (S–C) спектра (Коровко и др., 2004) и включают небольшие мезогипабиссальные гранитоидные массивы. Породы Алапаевско-Сухоложской зоны повсеместно гидротермально изменены и содержат рассеянную сульфидную вкрапленность, участки сульфидной минерализации, рудопроявления и мелкие месторождения медно-порфирового типа (см. рис. 1). Масштабы распространения рассеянной сульфидной (и в том числе халькопиритовой) минерализации поражают воображение. На всем протяжении этой зоны нечасто можно найти образец породы, не содержащий сульфидов. Однако промышленных месторождений здесь пока не выявлено, несмотря на значительный объем проведен-

ных поисковых и поисково-картировочных работ. Одним из недостатков этих работ является обычно их слабое соответствие комплексу методик детальных геолого-геофизических поисков порфировых месторождений (поиски часто ориентировались на выявление колчеданного типа оруденения), отсутствие петро-геохимических исследований и, главное, несистематичность изучения перспективных площадей. Наибольшая концентрация рудопроявлений фиксируется в пределах небольших гранитоидных массивов и в их обрамлении. Особенно выделяются в этом отношении самые крупные из них – Артемовский и Алтынайский массивы. Прожилково-вкрапленная минерализация представлена преимущественно пиритом и халькопиритом, иногда встречаются линзы густовкрапленных существенно пиритовых сульфидов мощностью до 0.3–2.5 м. По мере удаления от гранитоидных массивов в сульфидных ассоциациях нередко появляется сфалерит, который может даже преобладать над халькопиритом. Особенно широкое распространение сфалерита наблюдается в риодацит-порфирах и андезитах южного участка зоны – от Алтынайского массива до г. Сухой Лог. Здесь гранитоидные массивы отсутствуют, однако встречаются тела субвулканических риодацитов и трубки взрыва, выполненные обломками сильно пиритизированных, содержащих до 5–9 мас. % пирита, кварцсодержащих субвулканических диоритовых порфиритов и андезитов (скв. № 1, гл. 604 м). Этот участок, как и ряд других, вероятно, отвечает субвулканическому срезу медно-порфировой колонны. Молибденит фиксируется только в рудопроявлениях, находящихся в калишпатсодержащих гранитоидах центральной части зоны (Артемовский и Алтынайский массивы). Мощность минерализованных зон в наиболее крупных рудопроявлениях варьирует от первых метров до 100–200 м, протяженность – до 1–2 км. В XVIII–XX вв. ряд объектов обрабатывался – Алапаевский, Кулигинский, Воронинский и другие рудники (см. рис. 1).

К западу от Алапаевско-Челябинского глубинного разлома известны только единичные рудопроявления. Исключение представляет Белозерский массив и зона его северного обрамления, где в слабо изученной болотистой местности наблюдается очень много рудопроявлений и точек минерализации (см. рис. 1). Белозерский массив сложен гранитами, аналогичными гранитам Артемовского массива. Это один из наиболее перспективных объектов. Значительно западнее Алапаевско-Челябинского разлома наблюдается небольшое число рудопроявлений, по-видимому, различных генетических типов. Эти объекты выделены в самостоятельную субмеридиональную металлогеническую зону (Коровко и др., 2004). В настоящей работе она не рассматривается.

¹ Коровко А.В., Пуртов В.А., Бурнатная Л.Н. и др. Отчет по поисковым работам по оценке промышленной значимости Каменско-Сафьяновской меднорудной зоны Восточно-Уральского прогиба. Фонды Среднеуральской ГРП : г. Верхняя Пышма, 2004. 319 с.

Таблица 1. Химический состав пород Ялуниногорского (1–7) и Шатинского (8–14) участков (мас. %)**Table 1.** Chemical analyzes of rocks from Yaluninogorsk (1–7) and Shatin (8–14) areas (wt %)

| Компонент | Ала-3-34 | Ала-1-19 | Ала-2-31 | Ала-1-25 | Ала-1-21 | Ала-3-33 | Ала-1а-27 | Сух-14 | Сух-2 | Сух-1 | Сух-17 | Сух-11 | Сух-22 | Сух-4 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| SiO ₂ | 57.08 | 55.28 | 65.07 | 72.05 | 76.10 | 76.09 | 29.39 | 46.94 | 55.47 | 56.74 | 65.93 | 69.49 | 72.27 | 76.77 |
| TiO ₂ | 0.25 | 0.67 | 0.26 | 0.38 | 0.20 | 0.13 | 1.62 | 0.83 | 0.53 | 0.50 | 0.48 | 0.50 | 0.29 | 0.08 |
| Al ₂ O ₃ | 19.66 | 17.50 | 15.13 | 13.17 | 12.41 | 11.60 | 12.90 | 16.72 | 15.84 | 15.83 | 12.41 | 15.04 | 14.64 | 14.23 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.73 | 3.74 | 4.05 | 2.54 | 0.69 | 1.42 | 27.01 | 11.27 | 2.86 | 1.52 | 3.43 | 2.72 | 2.38 | 0.12 |
| FeO | 1.0 | 2.2 | 2.0 | 0.4 | 0.5 | 0.27 | 10.07 | 3.89 | – | – | – | 0.06 | 0.80 | 0.12 |
| MnO | 0.08 | 0.06 | 0.13 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.14 | 0.35 | 0.08 | 0.06 | 0.08 | 0.03 | 0.06 | 0.01 |
| MgO | 2.47 | 5.09 | 2.79 | 1.23 | 0.94 | 0.46 | 6.77 | 9.57 | 5.04 | 4.12 | 5.19 | 3.38 | 1.44 | 1.15 |
| CaO | 7.50 | 7.33 | 2.72 | 1.52 | 1.71 | 2.51 | 8.02 | 0.43 | 0.29 | 0.26 | 0.20 | 0.26 | 0.29 | 0.16 |
| Na ₂ O | 4.67 | 6.14 | 5.50 | 7.51 | 7.14 | 6.24 | 0.28 | 4.79 | 6.13 | 6.18 | 3.83 | 4.21 | 5.54 | 2.49 |
| K ₂ O | 0.67 | 0.59 | 0.42 | 0.10 | 0.12 | 0.06 | <0.03 | 0.02 | 0.41 | 0.37 | 0.69 | 1.02 | 0.52 | 2.20 |
| P ₂ O ₅ | 0.06 | 0.16 | 0.12 | 0.07 | 0.03 | 0.03 | 0.17 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| H ₂ O | 2.36 | 1.88 | 2.12 | 1.70 | 0.69 | 1.20 | 4.85 | 4.20 | 3.80 | 4.15 | 2.40 | 2.12 | 1.23 | 1.87 |
| Пирит | 0.08 | 0.04 | 0.34 | 0.00 | 0.02 | 0.38 | 1.03 | 0.19 | 6.77 | 7.61 | 2.84 | 0.71 | 0.32 | 0.62 |
| Сумма | 100.61 | 100.68 | 100.65 | 100.7 | 100.57 | 100.41 | 102.25 | 99.23 | 97.25 | 97.37 | 97.51 | 99.57 | 99.81 | 99.85 |
| Rb, г/т | 17 | 20 | 19 | 18 | 16 | 17 | 13 | 13 | 16 | 19 | 22 | 26 | 23 | 43 |
| Σг, г/т | 388 | 398 | 255 | 162 | 141 | 145 | 382 | 68 | 87 | 89 | 60 | 67 | 93 | 45 |

Примечание. 1 – диорит среднезернистый, 2 – субвулканический диоритовый плагиоклазовый порфирит, 3 – субвулканический дацитовый порфир – диоритовый плагиоклазовый порфирит, 4 – плагиогранит-порфир сильно измененный, 5 – плагиолейкогранит с небольшим количеством актинолита и гидросерицита, 6 – жильный плагиолейкогранит, 7 – магнетитсодержащий хлорит-эпидотовый метасоматит с небольшим количеством пирита по породе неизвестного состава; 8–14 – сильно деанортитизированные субвулканические породы: 8 – базальто-диабаз, содержащий сегрегации бесцветного хлорита; 9, 10 – сильно альбитизированные диоритовые порфириты с единичными вкрапленниками кварца, содержат сегрегации бесцветного хлорита; 11–13 – плагиодацит-порфиры местами слабо серицитизированные, содержащие вкрапленники плагиоклаза, кварца, сегрегации бесцветного хлорита; 14 – риолитовый порфир сильно серицитизированный. В обр. 9–11 двухвалентное железо не определялось. Места взятия образцов: 1, 6 – гора Ялуниха; 2, 4, 5 – самая южная часть вулcano-плутонической постройки, около плотины; 3 – северная часть вулcano-плутонической постройки, эпидотизированные надкровлевые вулканы; 7 – надкровлевая часть штольни (напротив завода). Шатинский участок: 8–12, 14 – оруденелый лог напротив устья р. Шата; 13 – устье р. Шата.

Note. 1 – medium-grained diorite, 2 – subvolcanic plagioclase diorite-porphyrite, 3 – subvolcanic dacite porphyry – plagioclase diorite-porphyrite, 4 – porphyry plagiogranite highly modified, 5 – plagiocleukogranit with a small amounts of actinolite and hydrosericitite, 6 – veined plagiocleukogranit, 7 – magnetite bearing chlorite-epidote metasomatite with a small amounts of pyrite, by unknown parent rock; 8–14 – subvolcanic rocks with intensive deanortitization: 8 – basalt-dibaz with segregations of colorless chlorite, 9, 10 – diorite-porphyrites strongly albitized with single phenocrysts of quartz and segregations of colorless chlorite, 11–13 – porphyry plagioclases with phenocrysts of plagioclase, quartz and colorless chlorite segregations, weakly sericitized, 14 – porphyry rhyolite strongly sericitized. In samples 9–11 ferrous iron not determined. Sampling locations: 1, 6 – Yalunih Mount; 2, 4, 5 – the most southern part of the volcano-plutonic structure, about the dam; 3 – the northern part of the volcano-plutonic structure, epidotized over-roof volcanic, 7 – over-roof part of the adit (in front of the factory). Shatin area: 8–12, 14 – mineralized ravine in opposite to estuary of Shata-river; 13 – estuary of Shata-river.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТИВНЫХ ГРАНИТОИДОВ

В пределах Алапаевско-Сухоложской зоны можно условно выделить несколько многофазных интрузивных и субвулканических гранитоидных комплексов. Все они сопровождаются прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией. Возрастные геологические отношения между комплексами не наблюдались, в настоящей работе комплексы выделены на основе петрогеохимических различий и абсолютной геохронологии. Все комплексы, кроме одного, имеют плагиогранитоидный состав. Общей особенностью гранитоидов является слабое развитие порфировых фаций при абсолютном преобладании порфировидной и фанеритовой структур. Выделяется четыре гранитоидных комплекса.

Первый комплекс – диорит-тоналит-трондземитовый, представлен небольшими слабо эродированными гипабиссальными и субвулканическими массивами, слагаемыми натриевыми гранитоидами (габбро)-кварцдиорит-тоналит-плагиоадамеллитового состава. Эти массивы находятся в северной половине зоны. Как правило, массивы вытянуты в субмеридиональном направлении, их длина составляет 1–2 (до 6) км, а ширина 0.5–1.0 км. К их числу относятся (с севера на юг) Верхнесинячихинский, Ямовский, Ялуниногорский (Алапаевский), Исаковский, Гостьковский массивы (см. рис. 1). Геологи-съемщики считают, что они комагматичны (на основании петрохимического сходства) ниже-среднедевонской базальт-андезит-плагиодацит-плагиолипаритовой формации, преимущественно слагающей выде-

Таблица 2. Химический состав гранитоидов и метасоматитов из некоторых массивов Алапаевско-Сухоложской зоны (мас. %; Rb и Sr в г/т)**Table 2.** Chemical analyzes of granitoids and metasomatic rocks from some massives of Alapaevsk–Sukhoy Log zone (wt %; Rb and Sr in ppm)

| Компоненты | 1(9) | 2(3) | 3(2) | 4(6) | 5(3) | 6(1) | 7(2) | 8(1) | 9(1) | 10(1) | 11(1) | 12(3) |
|--------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 62.49 | 64.83 | 71.90 | 75.96 | 60.96 | 60.59 | 56.88 | 59.74 | 76.62 | 54.80 | 60.06 | 63.06 |
| TiO ₂ | 0.46 | 0.42 | 0.18 | 0.10 | 0.44 | 0.55 | 0.505 | 0.44 | 0.18 | 0.43 | 0.63 | 0.56 |
| Al ₂ O ₃ | 13.83 | 14.47 | 13.86 | 13.12 | 13.60 | 17.67 | 16.56 | 17.25 | 8.55 | 16.2 | 15.23 | 15.25 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.57 | 1.50 | 0.76 | 0.73 | 1.77 | 5.66* | 4.16 | 2.06 | 4.81 | 3.12 | 4.26 | 0.77 |
| FeO | 4.08 | 4.25 | 1.89 | 1.49 | 4.95 | – | 1.20 | 1.20 | 1.10 | 6.73 | 2.59 | 4.10 |
| MnO | 0.12 | 0.13 | 0.06 | 0.03 | 0.13 | 0.06 | 0.11 | 0.16 | 0.05 | 0.13 | 0.11 | 0.14 |
| MgO | 3.95 | 3.30 | 0.46 | 0.31 | 3.67 | 6.60 | 3.28 | 2.23 | 0.86 | 1.91 | 4.53 | 5.67 |
| CaO | 5.03 | 4.27 | 1.18 | 0.95 | 6.59 | 0.16 | 3.50 | 4.56 | 0.90 | 4.82 | 1.39 | 1.48 |
| Na ₂ O | 3.17 | 4.03 | 5.54 | 4.05 | 1.73 | 0.22 | 4.05 | 2.50 | 0.40 | 0.32 | 6.00 | 3.61 |
| K ₂ O | 1.16 | 0.76 | 3.60 | 2.61 | 1.69 | 3.12 | 2.41 | 3.66 | 1.52 | 2.72 | 0.35 | 1.11 |
| P ₂ O ₅ | 0.08 | 0.09 | 0.03 | 0.03 | 0.08 | 0.12 | 0.31 | 0.30 | 0.17 | 0.05 | 0.07 | 0.08 |
| П.п.п. | 2.66 | 2.21 | 0.62 | 1.18 | 4.93 | 6.05 | 7.45 | 7.20 | 7.20 | 11.05 | 6.33 | 6.27 |
| Сумма | 99.89 | 100.30 | 100.06 | 100.56 | 100.54 | 100.80 | 100.42 | 101.30 | 101.30 | 102.28 | 101.55 | 102.11 |
| FeS ₂ | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 9.7 | 1.0 | 5.4 |
| Rb | 15 | 22 | 40 | 41 | 27 | 26 | 23 | 38 | 38 | 80 | 7 | 20 |
| Sr | 203 | 197 | 58 | 94 | 135 | 40 | 37 | 471 | 471 | 30 | 226 | 73 |

Примечание. 1–6 – Артемовско-Алтынайская интрузия: 1–4 – минимально метасоматически измененные кварцевые диориты, плагио-гранодиориты, граниты и лейкограниты; 5 – умеренно серицитизированный кварцевый диорит; 6 – аподиоритовый серицит-кварцевый метасоматит; 7–9 – Восточно-Артемовский массив: 7 – слабо и умеренно серицитизированные кварцевые диориты, 8 – сильно серицитизированный кварцевый диорит, 9 – аоплагиогранитный серицит-кварцевый метасоматит; 10–12 – Сухоложское рудопроявление (скв. 1): 10 – анкерит (9.8 мас. %)-пирит-хлорит-серицит-кварцевый метасоматит с просвечивающей структурой диоритового порфирита, 11 – хлоритизированный и сильно альбитизированный диоритовый порфирит, 12 – плагиоклазовые диоритовые порфиры сильно хлоритизированные и слабо серицитизированные. В скобках – число проб. Прочерк – компонент не определялся. Анализы выполнены в лабораториях ИГТ УрО РАН, ПГО “Уралгеология” и ОАО “Уралмеханобр”. * Все железо как Fe₂O₃.

Notes. 1–6 – Artemovsko-Altynayskaya intrusion: 1–4 – minimal metasomatic-altered quartz diorites, plagiogranodiorites, granites and leucogranites; 5 – moderately sericitized quartz diorite; 6 – apodiorite sericite-quartz metasomatite. 7–9 – East-Artemovsky massive: 7 – slightly-moderately sericitized quartz diorite, 8 – strongly sericitized quartz diorite, 9 – apoplagiogranite sericite-quartz metasomatite; 10–12 – Sukhologzhskoye ore occurrence (well No. 1): 10 – ankerite (9.8 wt %)-pyrite-chlorite-sericite-quartz metasomatite with a shadow structure of diorite-porphyrite; 11 – chloritized and strongly albitized diorite-porphyrite; 12 – plagioclase diorite porphyrite strongly chloritized and weakly sericitized. In brackets – the number of samples. Analyses performed in the laboratories of IGG UB RAS, PGO “Uralgeologiya” and OAO “Uralmekhanobr”. Dash – the component was not detected. * All iron as Fe₂O₃.

ленные тектонические пояса (см. рис. 1). Сложно построенный Ялуниногорский массив представлен телами мелко-, мелко- и среднезернистых кварцевых диоритов, диоритовых порфиритов, тоналитов, плагиодацитовых порфиров и трондьемитов. Порфировые породы обычно образуют дайкообразные тела в кварцевых диоритах. Субвулканические их разновидности, возможно, постепенно переходят во вмещающие вулканы. Наблюдается обычная картина поведения породобразующих компонентов в ряду от диорита до плагиогранита – увеличение содержания кремния и уменьшение количества всех других петрогенных элементов (табл. 1). Важнейшей особенностью гранитоидов является крайне низкое содержание в них калия (0.4–0.7 и 0.06–0.12 мас. % K₂O в диоритах и плагиогранитах соответственно). Гранитоиды повсеместно гидротермально изменены. Амфибол обычно хлоритизирован или актинолитизирован, плагиоклаз очень слабо серицитизи-

рован. Встречаются участки эпидозитов и пирит-магнетит-(гранат)-эпидотовых метасоматитов.

Второй комплекс – (габбро)-диорит-гранодиорит-гранитный, представляет большую часть южной половины зоны. Комплекс включает субмеридиональные довольно крупные гип-, мезо-абиссальные массивы – Артемовский (10 × (2–5) км) и Алтынайский (20 × (1–3) км), соединяющиеся на глубине. К этому же комплексу относится несколько мелких массивов (Белозерский, Пещерный, Хомутинский), находящиеся в западном обрамлении Алапаевско-Сухоложской зоны (в пределах силурийского Рефтинского массива). Гранитоиды были детально охарактеризованы ранее (Грабежев, Смирнов, 2012). Массивы сложены двумя субкомплексными гранитоидов, состав которых варьирует от диоритов до гранитов при преобладании малокалиевых кварцевых диоритов-гранодиоритов (обычно 0.9–1.9 мас. % K₂O) и гранитов (табл. 2). Повышенное содержание калия и обычное при-

Таблица 3. Содержание малых элементов в магматитах Ялуниногорского (1–7) и Сухоложско-Рудянского (8–12) участков (г/т)**Table 3.** The contents of minor elements in magmatites of Yaluninogorsk (1–7) and Sukhoy Log–Rudyansk (8–12) areas (ppm)

| Компо- нент | Ала-3-34 | Ала-1-19 | Ала-2-31 | Ала-1-25 | Ала-1-21 | Ала-3-33 | Ала-1а-27 | Сух-1 | Сух-17 | Сух-11 | Сух-22 | Сух-4 |
|----------------|--------------|-------------|--------------|-------------|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Cu | 23.1 | 16.3 | 36.3 | 8.8 | 12.9 | 24.5 | 1605 | 36.4 | 18.6 | 11.8 | 16.2 | 5.5 |
| Zn | 59.6 | 17.0 | 46.5 | 9.8 | 6.1 | 13.1 | 55.5 | 52.2 | 40.5 | 14.2 | 18.8 | 18.3 |
| Pb | 2.15 | 1.13 | 2.35 | 1.77 | 5.25 | 1.37 | 1.81 | 5.67 | 3.11 | 1.55 | 3.59 | 2.39 |
| Mo | 0.19 | 0.21 | 0.09 | 0.11 | 0.32 | 1.20 | 0.73 | 0.29 | 0.77 | 1.12 | 0.30 | 0.25 |
| Re | 0.002 | 0.005 | 0.003 | 0.005 | 0.008 | 0.013 | 0.006 | 0.001 | 0.027 | 0.079 | 0.000 | 0.003 |
| Ag | 0.03 | 0.05 | 0.08 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | 0.53 | 0.19 | 0.102 | 0.07 | 0.08 | 0.15 |
| Bi | 0.012 | 0.023 | 0.081 | 0.017 | 0.027 | 0.019 | 0.047 | 0.287 | 0.299 | 0.117 | 0.054 | 0.193 |
| Cd | 0.371 | 0.043 | 0.034 | 0.023 | 0.029 | 0.015 | 0.070 | 0.057 | 0.019 | 0.020 | 0.020 | 0.050 |
| Sb | 0.30 | 0.26 | 1.00 | 0.18 | 0.42 | 0.28 | 2.07 | 0.39 | 0.508 | 0.45 | 0.55 | 0.52 |
| As | 3.34 | 3.90 | 2.09 | 1.19 | 1.28 | 1.69 | 8.10 | 15.22 | 4.01 | 3.53 | 13.48 | 2.47 |
| Tl | 0.092 | 0.097 | 1.916 | 0.135 | 0.106 | 0.040 | 0.065 | 0.783 | 0.470 | 7.132 | 2.408 | 0.323 |
| Te | 0.016 | 0.033 | 0.015 | 0.008 | 0.013 | 0.008 | 0.051 | 0.483 | 0.472 | 0.159 | 0.090 | 0.044 |
| Se | 0.39 | 0.50 | 0.37 | 0.65 | 0.28 | 0.28 | 2.64 | 2.27 | 5.15 | 1.17 | 0.25 | 0.38 |
| Sn | 0.25 | 0.74 | 0.32 | 1.04 | 0.51 | 0.19 | 3.74 | 0.30 | 1.042 | 1.19 | 0.59 | 0.85 |
| Ti | 1391 | 2649 | 1333 | 1437 | 1272 | 784 | 6250 | 1842 | 1740 | 1969 | 1272 | 501 |
| V | 119.5 | 228.7 | 42.7 | 17.4 | 27.4 | 14.2 | 208.3 | 114.2 | 120.9 | 77.0 | 29.5 | 6.5 |
| Cr | 7.0 | 9.1 | 8.9 | 3.9 | 5.4 | 3.1 | 537.9 | 39.0 | 51.1 | 61.2 | 47.9 | 1.0 |
| Mn | 379 | 313 | 554 | 156 | 74 | 115 | 521 | 288 | 307 | 145 | 253 | 32 |
| Co | 32.1 | 59.3 | 45.0 | 58.6 | 75.6 | 72.3 | 93.6 | 13.8 | 7.6 | 1.4 | 5.0 | 46.5 |
| Ni | 6.8 | 32.1 | 7.6 | 3.2 | 8.9 | 2.8 | 192.4 | 9.3 | 6.0 | 3.2 | 9.6 | 1.6 |
| Li | 1.45 | 1.55 | 3.71 | 0.94 | 0.44 | 1.09 | 3.04 | 4.28 | 3.66 | 2.61 | 5.27 | 1.62 |
| Be | 0.44 | 0.46 | 0.60 | 0.62 | 0.30 | 0.36 | 0.15 | 0.31 | 0.26 | 0.22 | 0.35 | 0.34 |
| Sc | 8.3 | 23.5 | 6.6 | 7.4 | 3.6 | 2.7 | 36.0 | 17.3 | 15.3 | 13.4 | 6.2 | 3.8 |
| Ga | 17.4 | 13.5 | 13.6 | 12.8 | 9.3 | 9.3 | 21.6 | 11.9 | 11.3 | 12.1 | 10.2 | 10.3 |
| Ge | 1.03 | 1.33 | 0.93 | 1.11 | 0.76 | 1.19 | 3.30 | 0.72 | 0.78 | 0.62 | 0.92 | 1.01 |
| Rb | 8.0 | 10.0 | 6.4 | 2.8 | 1.8 | 1.3 | 0.3 | 6.8 | 11.5 | 14.7 | 8.8 | 31.3 |
| Cs | 0.550 | 0.141 | 0.189 | 0.044 | 0.024 | 0.062 | 0.030 | 0.179 | 0.276 | 0.253 | 0.233 | 0.652 |
| Sr | 403.3 | 414.1 | 252.3 | 122.3 | 87.8 | 110.8 | 814.6 | 77.7 | 41.1 | 44.4 | 65.8 | 22.7 |
| Ba | 200 | 108 | 112 | 82 | 45 | 42 | 7 | 82 | 89.486 | 130 | 75 | 327 |
| Zr | 6.7 | 38.1 | 53.5 | 83.3 | 65.1 | 76.5 | 77.3 | 71.9 | 59.6 | 70.4 | 57.9 | 45.3 |
| Hf | 0.31 | 1.14 | 1.55 | 3.50 | 2.03 | 2.80 | 2.52 | 2.14 | 1.884 | 2.23 | 1.90 | 1.64 |
| Nb | 0.49 | 1.09 | 1.39 | 3.15 | 1.74 | 3.72 | 3.34 | 1.16 | 0.99 | 0.94 | 1.45 | 1.35 |
| Ta | 0.03 | 0.08 | 0.09 | 0.23 | 0.16 | 0.40 | 0.28 | 0.09 | 0.073 | 0.07 | 0.13 | 0.13 |
| Th | 0.74 | 3.00 | 2.19 | 4.28 | 4.20 | 13.83 | 4.74 | 1.87 | 1.23 | 1.41 | 3.29 | 3.09 |
| U | 0.28 | 0.95 | 0.86 | 1.93 | 1.75 | 2.63 | 4.05 | 0.65 | 0.71 | 0.89 | 1.48 | 1.19 |
| Y | 6.9 | 13.2 | 10.9 | 30.2 | 8.3 | 10.2 | 31.9 | 10.5 | 12.1 | 11.6 | 7.8 | 10.0 |
| La | 6.317 | 18.272 | 11.839 | 15.972 | 5.738 | 20.047 | 24.239 | 1.700 | 1.368 | 1.763 | 10.824 | 11.091 |
| Ce | 12.522 | 43.338 | 24.195 | 36.402 | 12.730 | 37.615 | 50.579 | 3.830 | 3.175 | 4.633 | 25.491 | 25.082 |
| Pr | 1.473 | 5.678 | 2.796 | 4.786 | 1.590 | 3.643 | 6.392 | 0.446 | 0.422 | 0.632 | 2.710 | 2.818 |
| Nd | 5.937 | 23.762 | 10.501 | 20.187 | 5.977 | 11.168 | 26.018 | 1.869 | 2.024 | 2.616 | 10.446 | 10.272 |
| Sm | 1.350 | 4.960 | 2.080 | 4.990 | 1.324 | 1.775 | 5.814 | 0.702 | 0.714 | 0.701 | 2.189 | 2.064 |
| Eu | 0.920 | 1.217 | 0.680 | 1.185 | 0.296 | 0.256 | 6.009 | 0.224 | 0.292 | 0.236 | 0.426 | 0.271 |
| Gd | 1.401 | 3.758 | 1.951 | 5.249 | 1.351 | 1.416 | 6.663 | 1.121 | 1.173 | 1.009 | 1.879 | 1.677 |
| Tb | 0.209 | 0.492 | 0.311 | 0.877 | 0.226 | 0.233 | 1.074 | 0.239 | 0.249 | 0.216 | 0.276 | 0.257 |
| Dy | 1.336 | 2.865 | 1.975 | 5.810 | 1.546 | 1.541 | 7.097 | 1.807 | 1.995 | 1.909 | 1.767 | 1.752 |
| Ho | 0.288 | 0.568 | 0.430 | 1.255 | 0.341 | 0.358 | 1.525 | 0.429 | 0.486 | 0.474 | 0.391 | 0.398 |
| Er | 0.848 | 1.597 | 1.339 | 3.850 | 1.100 | 1.267 | 4.489 | 1.432 | 1.665 | 1.677 | 1.350 | 1.304 |
| Tm | 0.127 | 0.235 | 0.210 | 0.599 | 0.184 | 0.219 | 0.647 | 0.220 | 0.267 | 0.279 | 0.217 | 0.214 |
| Yb | 0.877 | 1.559 | 1.551 | 4.014 | 1.361 | 1.754 | 4.207 | 1.565 | 1.923 | 1.994 | 1.568 | 1.601 |
| Lu | 0.132 | 0.230 | 0.252 | 0.607 | 0.219 | 0.314 | 0.635 | 0.257 | 0.316 | 0.322 | 0.267 | 0.259 |
| B | 10.004 | 12.130 | 5.338 | 2.707 | 1.892 | 2.661 | 5.975 | 3.529 | 4.401 | 3.335 | 6.252 | 9.796 |
| Au | 0.004 | 0.005 | 0.006 | 0.014 | 0.008 | 0.011 | 0.020 | 0.011 | 0.009 | 0.013 | 0.006 | 0.004 |
| Pt | 0.003 | 0.024 | 0.026 | 0.053 | 0.026 | 0.045 | 0.042 | 0.037 | 0.032 | 0.030 | 0.029 | 0.025 |
| Pd | 0.31 | 1.44 | 1.98 | 4.07 | 2.29 | 2.66 | 3.11 | 2.48 | 2.108 | 2.48 | 2.02 | 1.58 |
| Ir | 0.001 | 0.006 | 0.009 | 0.022 | 0.011 | 0.015 | 0.019 | 0.011 | 0.011 | 0.013 | 0.012 | 0.009 |

Таблица 3. Окончание

Table 3. End

| Компонент | Ала-3-34 | Ала-1-19 | Ала-2-31 | Ала-1-25 | Ала-1-21 | Ала-3-33 | Ала-1а-27 | Сух-1 | Сух-17 | Сух-11 | Сух-22 | Сух-4 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------|--------|--------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Ru | 0.011 | 0.009 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.003 | 0.010 | 0.003 | 0.002 | 0.005 | 0.003 | 0.002 |
| Rh | 0.015 | 0.017 | 0.009 | 0.004 | 0.003 | 0.004 | 0.052 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |
| La/Yb | 7.20 | 11.72 | 7.63 | 3.98 | 4.22 | 11.43 | 5.76 | 1.09 | 0.711 | 0.88 | 6.90 | 6.93 |
| Sr/Y | 58.57 | 31.36 | 23.17 | 4.05 | 10.54 | 10.88 | 25.51 | 7.44 | 3.387 | 3.83 | 8.39 | 2.27 |
| TR | 33.74 | 108.53 | 60.11 | 105.78 | 33.98 | 81.61 | 145.39 | 15.84 | 16.07 | 18.46 | 59.80 | 59.06 |

Примечание. 1–7 – Ялуниногорский массив: 1 – диорит среднезернистый, 2 – диоритовый порфирит, 3, 4 – плагиодацитовый порфир, 5 – плагиолейкогранит, 6 – жильный плагиолейкогранит, 7 – магнетитсодержащий эпидозит; 8–12 – Шатинский участок, сильно деанортитизированные субвулканические породы: 8 – диоритовый порфирит, 9–11 – плагиодацит-порфиры местами слабо серицитизированные, 12 – риолитовый порфир сильно серицитизированный. Более детальная характеристика пород дана в табл. 1.

Notes. 1–7 – Yaluninogorsk massif: 1 – medium-grained diorite, 2 – diorite porphyrite, 3, 4 – plagioclase Porphyry, 5 – plagioleukogranit, 6 – veined plagioleukogranit, 7 – magnetite-bearing epidote; 8–12 – greatly deanoortitizide subvolcanic rocks, Shatin district: 8 – diorite porphyrite; 9–11 – plagioclase porphyry sometimes poorly sericitized; 12 – strongly sericitized rhyolite porphyry. A more detailed description of rocks is given in Table 1.

существование калишпата является важнейшей особенностью гранитоидов этого комплекса в отличие от других комплексов. Наличие в гранитоидах малоупорядоченного пертитового (до 25 об. %) калишпата ($2V = 62-84^\circ$) и зон закалок в контактах массивов свидетельствует об их гип-мезоабиссальном уровне становления. Артемовский массив имеет меньший эрозионный срез по сравнению с Алтынайским массивом. В гранитоидах широко распространена прожилкововкрапленная пиритизация (\pm халькопирит и молибденит), выявлено значительное число крупных рудопроявлений.

Третий комплекс – вулканосубвулканический андезит-плагиоориодацитовый – включает субвулканические тела плагиоклазовых риодацит-порфиров и диоритовых порфиритов, находящихся в коагматических вулканитах самой южной части зоны (от южной оконечности Алтынайского массива до г. Сухой Лог). Сульфидная минерализация характерна для всех участков субвулканических тел и вмещающих вулканитов (Огородников и др., 2002; Волчек, Червяковский, 2011; и др.). На северной окраине г. Сухой Лог глубокой скважиной на всю ее глубину (604 м) вскрыта трубка взрыва, представленная обломками очень сильно пиритизированных (4–13 мас. % пирита) и хлоритизированных субвулканических диоритовых порфиритов и андезитов с цементирующей массой тех же пород (Грабежев, Коровко, 2009). Характерно, что плагиоклаз из субвулканических участков Шата полностью преобразован в альбит, что подтверждается и химическими анализами пород (см. табл. 1). Первичный темноцветный минерал везде замещен хлоритом и местами небольшим количеством гидросерицита. Породы содержат 1–5 об. % сульфидов (преимущественно пирита). Нередко наблюдающаяся высокая пористость и лимонитизация выветрелых

пород свидетельствуют о значительном первичном содержании сульфидов.

Четвертый комплекс – кварцевых диоритов – представлен одним небольшим недавно выявленным массивом – Восточно-Артемовским, вытянутым в субмеридиональном направлении на 7–10 км (при ширине 1–3 км) на север от г. Артемовский (см. рис. 1). Наблюдаются преимущественно кварцевые диориты и базокварцевые диоритовые порфириты, широко представлен разнообразный комплекс жильных пород (Коровко и др., 2006; Грабежев, Коровко, 2010). Диоритоиды имеют низкое содержание SiO_2 (56–59 мас. %, см. табл. 2), количество первичного кварца не превышает 10–15 мас. %. Калишпат отсутствует, очень редко встречаются реликты бурого биотита. Повсеместно наблюдается сильно выраженная объемная серицитизация (K_2O – 2–3 мас. % и более), хлоритизация, карбонатизация и сульфидизация (3–15 мас. % халькопирита и пирита) гранитоидов.

Геохимические и изотопные данные по большинству объектов изложены в статьях (Грабежев, Смирнов, 2012; Грабежев, Коровко, 2010). Сумма РЗЭ в гранитоидах Ялуниногорского массива и участка Шата сильно варьирует (соответственно 34–106 и 16–60 г/т, табл. 3). Гораздо стабильнее сумма РЗЭ в гранитоидах Артемовско-Алтынайской интрузии и Восточно-Артемовского массива – соответственно 53–71 и 52–57 г/т. На спектрах РЗЭ гранитоидов Артемовско-Алтынайской интрузии обычно наблюдается **Eu минимум, аналогичная картина** иногда фиксируется и в гранитоидах Ялуниногорского массива (рис. 2). Сложная картина спектров РЗЭ субвулканических участков Шата обусловлена, вероятно, их сильным гидротермальным изменением. Серицитизированные кварцевые диориты Восточно-Артемовского массива характеризуются

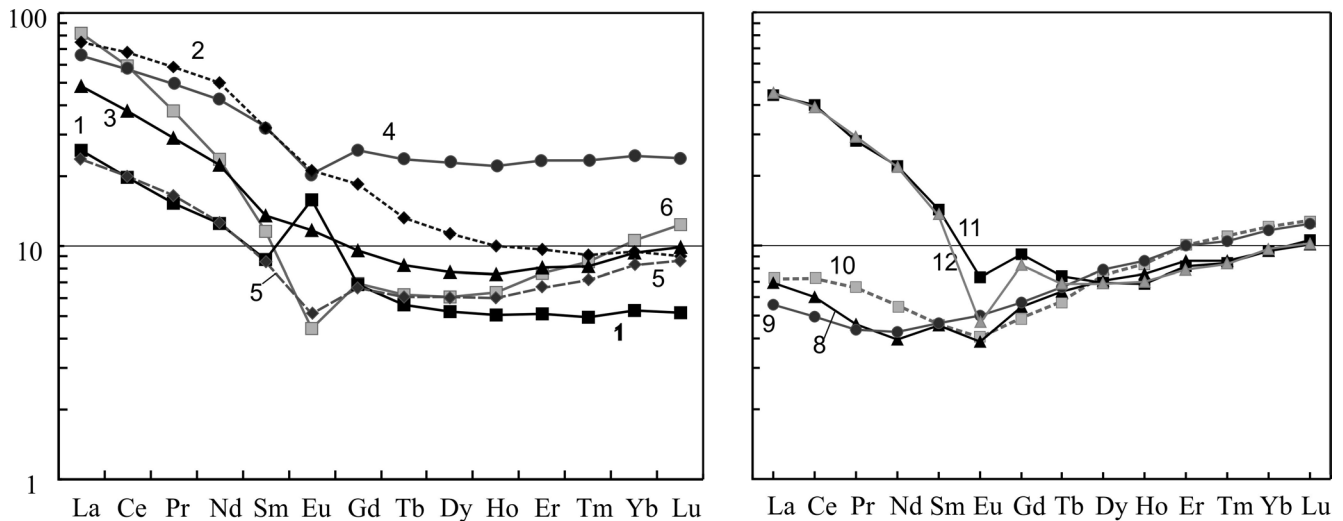


Рис. 2. Спектры РЗЭ пород Ялуниногорского массива (1–6) и Шатинского участка (8–12).

1–6 – характеристику пород см. в табл. 1, 2; 8–12 – сильно деанортитизированные субвулканические породы, см. табл. 3: 8 – сильно альбитизированный диоритовый порфирит, 9–11 – плагиодацит-порфир, 12 – риолитовый порфир, сильно серицитизированный.

Fig. 2. REE spectra of the rocks from Yaluninogorsky massif (1–6) and the Shatin area (8–12).

1–6 – characteristics of the rocks see in Table 1, 2; 8–12 – strongly deanortitized subvolcanic rocks, see Table 3: 8 – strongly albitized diorite-porphyrity; 9–11 – plagiocadite-porphyrity; 12 – strongly sericitized rhyolite-porphyrity.

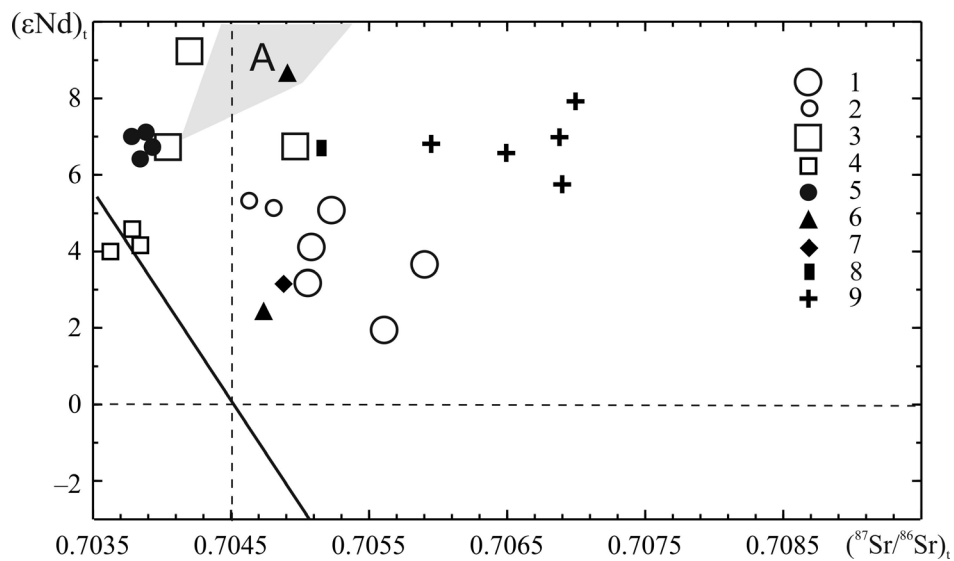


Рис. 3. Соотношения $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t - (\epsilon\text{Nd})_t$ в гранитоидах некоторых медно-порфировых месторождений Урала.

1–7 – гранитоиды кварц-диоритового состава массивов: Михеевского (1), Гумешевского (2), Томинского (3), Вознесенского (4), Восточно-Артемовского (5), Артемовского и Алтынайского (6), Ялуниногорского (7); 8 – плагиориодацит-порфиры Шатинского участка; 9 – диоритовые порфиры скв. № 1 (северная окраина г. Сухой Лог). Поле А – среднедевонские вулканы колчеданоносной карамалыташской серии Магнитогорской зоны (Spadea, D'Antonio, 2006).

Fig. 3. The relations $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t - (\epsilon\text{Nd})_t$ in granitoids of some copper-porphyrity deposits of the Urals.

1–7 – quartz-diorite granitoids from massifs: Mikheevsky (1), Gumeshevsky (2), Tominsky (3), Voznesensky (4), East-Artemovskiy (5), Artemovskiy and Altynayskiy (6), Yaluninogorskiy (7); 8 – porphyry plagiocadite of Shatin area; 9 – diorite-porphyrity from well No. 1 (northern outskirts of Sukhoi Log town). Field A – Middle-Devonian volcanic rocks of pyrite-bearing Karamalytash series of Magnitogorsk zone (Spadea, D'Antonio, 2006).

Таблица 4. Абсолютный возраст цирконов из гранитоидов медно-порфировых проявлений Алапаевско-Сухоложской зоны**Table 4.** Absolute age of zircons from granitoids of Cu-porphyry occurrences of Alapaevsk-Sukhoy Log area

| № п.п. | Рудопоявление, характеристика пробы | Возраст, млн лет | СКВО | ВСК |
|--------|---|------------------|-------|------|
| 1 | Ялуниногорский массив, кварцевый диорит слабо пропицитизированный (г. Алапаевск, напротив старого завода) | 411.6 ± 1.5 | 0.99 | |
| 2 | Алтынайский массив, амфиболовый кварцевый диорит (скв. 240, инт. 16.5–39.5 м) | 405.9 ± 4.8 | 0.012 | 0.91 |
| 3 | Алтынайский массив, амфиболовый кварцевый диорит заметно хлоритизированный (скв. 239, инт. 25 м) | 405.7 ± 2.5 | 0.011 | 0.92 |
| 4 | Артемковский массив, порфириновый гранит – лейкогранит (окрестности г. Артемовск) | 404.2 ± 2.4 | 0.15 | 0.70 |
| 5 | Хомутинский массив, гранодиорит | 405 ± 8 | | |
| 6 | Оруденель Лог, субвулканический риодацит сильно альбитизированный (р. Пышма, напротив устья р. Шата). | 397.3 ± 3.8 | 0.74 | 0.39 |
| 7 | Восточно-Артемковский массив, диоритовые порфириды серицитизированные (скв. 1013, около г. Реж). | 369 ± 39 | | |
| 8 | Некрасовский массив, кварцевый диорит | 352 ± 12 | | |
| 9 | Кульмяковский массив, лейкократовый плагиогранит, касаргино-тептяргинский комплекс | 392 ± 4.0 | 0.22 | 0.64 |

Примечание. Методы датирования: 1 – U-Pb LA ICP-MS (лаборатория Университета Иоганна Вольфганга Гете, Франкфурт-на-Майне, Германия); 2–4, 6, 9 – U-Pb SHRIMP-II (Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ). В анализе № 4 кроме возраста указанной главной генерации присутствует два кристалла возрастом 361 ± 3.4 млн лет (СКВО = 0.087, ВСК = 0.77) и 322 ± 3.1 млн лет (СКВО = 0.0084, ВСК = 0.93). Анализы № 2–4 взяты из (Грабежев, Смирнов, 2012); анализ № 9 – материалы Б.А. Пужакова и Н.С. Кузнецова, проба взята в 1 км юго-восточнее д. Кульмяково; 7 – Rb-Sr возраст, эрохрона, определения Ю.Л. Ронкина; 5, 8 – Pb-Pb метод (Ферштатер, 2013).

Notes. Dating methods: 1 – U-Pb LA ICP-MS (Laboratory of Johann Wolfgang Goethe University, Frankfurt-on-Maine, Germany); 2–4, 6, 9 – U-Pb SHRIMP-II (Centre of Isotopic Researches, FSUE RGR1). In analysis of No. 4, in addition to the age of the main generation, there are two crystals with the age of 361 ± 3.4 Ma (SQUAW = 0.087, FAC = 0.77) and 322 ± 3.1 Ma (SQUAW = 0.0084, FAC = 0.93). Analyses No. 2–4 are taken from (Грабежев, Смирнов, 2012). Analysis No. 9 – by data of B.A. Puzhakov and N.S. Kuznetsov, the sample was taken at 1 km southeast of Kulmyakovo village; 7 – Rb-Sr age, erohrona, definitions by Yu.L. Ronkin; 5, 8 – Pb-Pb method (Ферштатер, 2013).

минимальными значениями величины ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), составляющими 0.7038–0.7040 (рис. 3). Несколько большие значения установлены для минимально измененных диорита и гранита Артемовско-Алтынайской интрузии (0.7044, 0.7049) и диорита Ялуниногорского массива (0.7049). Значения (ϵNd), составляют соответственно 6.6–7.0, 7.5–8.7 и 3.0. Большие значения ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), выявлены для субвулкаников южной части зоны (0.7051–0.7070, 6 ан.), величина (ϵNd), составляет 6.8–8.0. Величина $\delta^{34}\text{S}$ в пирите весьма стабильна и отвечает метеоритному значению – (+0.1...+1.8, до +3.1) ‰. Полученные данные свидетельствуют о формировании гранитоидов зоны в условиях островодужной обстановки за счет глубокой кристаллизационной дифференциации базальтоидного расплава мантийной природы. Рассматриваемые порфиновые ореолы необходимо отнести к “гранодиоритовой” и “диоритовой” моделям (соответственно Артемовско-Алтынайский и остальные ареалы) медно-порфировой системы. Гранодиоритовая модель не характерна для порфировых объектов других районов Урала. Последние ассоциируют исключительно с островодужными малыми интрузиями кварцдиоритового состава или очень редко

с позднеостроводужными и раннеколлизийными интрузиями монзонитоидного состава.

Результаты U-Pb SHRIMP-II и LA ICP-MS датирования цирконов из гранитоидов (табл. 4) указывают на значительную продолжительность продуктивного магматизма в пределах Алапаевско-Сухоложской зоны. Установлено омоложение гранитоидного магматизма с севера на юг (млн лет): от 412 (Ялуниногорский массив) до 404–406 (Алтынайско-Артемовская интрузия) и далее до 397 (плагиориодацит-порфиры участка Шата). Вероятно, это омоложение свидетельствует о формировании комплексов I–III гранитоидов в результате миграции магмообразующего очага в указанном меридиональном направлении в течение примерно 12 млн лет. Комплексы I–III отнесены нами к **первому этапу гранитоидного магматизма**. Цирконы из серицитизированных кварцевых диоритов Восточно-Артемовского массива выделить не удалось. Ориентировочный, но стабильный по двум выборкам Rb-Sr возраст (369 ± 39 млн лет) этих гранитоидов предполагает вероятность образования массива во **второй этап гранитоидного магматизма**. Возможно, к этому же этапу относится и гранитоидный комплекс Некрасовского

массива (352 ± 12 млн лет) (Ферштатер, 2013), находящийся к западу от Алапаевско-Челябинского разлома. Приведенные выше материалы по петрохимии и абсолютному возрасту гранитоидов подтверждают правильность выделения по результатам производственных работ D_{1-2} ялунинской и D_2 гостьковской вулканоплутонических островодужных ассоциаций соответственно в северной и южной частях Алапаевско-Сухоложской зоны (Коровко и др., 2004¹).

ХАРАКТЕРИСТИКА РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Общие положения

Породы Алапаевско-Сухоложской зоны почти повсеместно, в той или иной мере, хлоритизированы и серицитизированы, содержат прожилки и вкрапленность пирита (\pm халькопирит, редко, молибденит). Выявлено много точек минерализации, рудопоявлений, мелких месторождений, часть которых разрабатывалась в XVIII–XX вв. Максимальная концентрация участков с Cu минерализацией приурочена к районам выхода на поверхность гранитоидных массивов (см. рис. 1). По мере удаления от массивов и в субвулканических телах возрастает роль Zn. Ранее А.В. Коровко с коллегами (2004)¹ в пределах отдельных вулканоплутонических построек, разделенных субширотными разломами третьего порядка (глубинного заложения), были выделены вероятные рудные узлы (с севера на юг): Нижнесинячихинский, Алапаевско-Раскатихинский, Шогринский и Артемовско-Сухоложский. Ниже, по данным производственных работ, выполненных под руководством многих геологов (Б.С. Бирюков, М.А. Бровин, Л.Г. Бурасов, З.П. Волк, М.И. Долгаль, И.А. Каблинов, Е.С. Контарь, В.Н. Лагутенко, В.П. Олерский, Р.Е. Остроумов, В.И. Панов, Б.М. Седов, М.Н. Столпнер и др.), приведены очень краткие сведения о некоторых участках $Cu \pm (Au, Zn, Mo)$ сульфидной минерализации, находящихся в вулканогенных или интрузивных породах $D_1^3 - D_2^1$ возраста (интервал конкордантных возрастов циркона гранитоидов составляет 397–414 млн лет, т.е. соответствует преимущественно эмсу). Детальнее участки охарактеризованы в отчете А.В. Коровко с коллегами (2004). Тесная связь участков минерализации с порфировыми гранитоидами, объемный прожилково-вкрапленный характер распределения сульфидов не оставляют сомнений в необходимости отнесения минерализации к меднопорфировому типу. Многие поисковики рассматривали данный тип минерализации как колчеданный, и это, на наш взгляд, содействовало отрицательной оценке площадей на промышленное освоение. Необходимо еще отметить, что на данной территории находятся рудопоявления и ме-

сторождения, в которых Zn (\pm Pb) абсолютно преобладает над Cu. Эти объекты локализованы в тектонических пластинах верхнекаменноугольных известняков, наиболее крупным является полиметаллическое стратиформное (телетермальное?) **Ермаковское месторождение** (эксплуатировалось с перерывами в 1930–1941 гг.), представленное зонами вкраплено-прожилковой минерализации (сфалерит, галенит, халькопирит, буланжерит, стибнит) в известняках протяженностью до 800 м при глубине более 160 м. Содержания рудных элементов составляют (мас. %): Pb – до 0.5, Zn – 0.5–1, Cu – до 0.5 при весьма значительных прогнозных ресурсах. Наличие рудообразования карбонового возраста предполагает возможность наложения полиметаллической минерализации на порфировые объекты D_{1-2} возраста. Так как Zn часто является характерным примесным элементом в порфириновых объектах (особенно на их периферии) рудной зоны, то оценить природу Zn минерализации в тех случаях, когда сфалерит присутствует в значительном количестве, на данной стадии изучения региона невозможно.

Краткое описание рудоносных участков порфирового типа

Значительная минерализация выявлена в протяженном субмеридиональном **Алапаевском** тектоническом блоке (см. рис. 1, А), сложенном преимущественно рудопродуктивными вулканогенными образованиями базальт-андезит-дацитовой формации эмса. В пределах плагиогранитного *Нижнесинячихинского* массива (6×1 км), небольшого габбро-диоритового *Ямовского* массива и вмещающих их пород находятся рудопоявления, представленные зонами прожилково-вкрапленной халькопирит-пиритовой минерализации (иногда с содержанием цинка до 0.1–0.7 мас. %). В отдельных скважинах в интервалах до 32 м содержания Cu составляют 0.2–1.1 мас. %. Вскрыты также зоны вторичных кварцитов с рассеянной неравномерной тонко-мелкозернистой вкрапленностью сульфидов. Наиболее крупные объекты приурочены к *Ялуниногорскому* габбро-диорит-плагиогранитовый массиву и его обрамлению. Выделяется **Северо-Алапаевский участок**, где в зоне карбонат-хлорит-серицит-кварцевых метасоматитов протяженностью более 2 км и мощностью до 50 м установлена прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация (до 3–5, иногда до 10 мас. % пирита и халькопирита). Иногда наблюдается вкрапленность сфалерита (0.1–0.8 мас. % Zn и 1 г/т Ag). Прогнозные ресурсы Cu в западном блоке Северо-Алапаевского участка весьма значительны. Южнее Северо-Алапаевского участка в приконтактной зоне Ялуниногорского массива расположен **Алапаевский медный рудник** (г. Алапаевск, правый берег р. Нейва,

напротив Алапаевского металлургического завода). Рудник обрабатывался в 1742–1744 гг. шахтами и штольнями. Руды представлены хлорит-кварц-карбонатными жилами с вкрапленностью пирита, халькопирита, сфалерита. Встречены также оруденелые гранат-эпидотовые скарны и эпидозиты. Южнее, в районе плохо изученного *Исаковского* диоритового массива наблюдается масштабное интенсивное развитие пирита, хлорита, карбоната, серицита, а также убогой вкрапленности халькопирита. Площадь *Гостьковского* габбро-диоритового массива и его обрамления наиболее насыщена, по сравнению с другими мелкими массивами, рудопроявлениями и ранее разрабатывавшимися мелкими месторождениями. При этом в некоторых из них наблюдается значимое присутствие сфалерита. Два ранее разрабатывавшихся месторождения находятся в нескольких километрах севернее массива (см. рис. 1). На **Кулигинском руднике** руды, представленные вкрапленностью халькопирита, пирита, ковеллина, халькозина в базальтоидах и серпентинитах, обрабатывались двумя шахтами (гл. 20–30 м). На небольшом **Воронинском руднике** в порфирировых андезитоидах известны сульфидно-кварцевые жилы мощностью до 1.6 м, содержащие 2–3 мас. % Cu. В диоритах и вмещающих породах массива выявлены крупные участки пирит-халькопиритовой вкрапленности (например, Мироновский участок). В некоторых из них присутствует значительное количество сфалерита. Так, на **Гостьковском месторождении**, находящемся в диоритах одноименного массива, штольной разрабатывалась кварцево-карбонатная жила с вкрапленностью пирита, сфалерита, галенита. Содержание Zn (мас. %) в рудах достигало 1.0, Pb – 0.3, W – 0.02–0.04, Mo – 0.0007. Возможно, данное месторождение, как и Ермаковское, сформировалось в карбоне.

Много рудопроявлений, в том числе крупных, сосредоточено в южной части **Мостовского тектонического блока** (см. рис. 1, Б), сложенного островодужной кремнисто-вулканогенной, базальт-дацитовой толщей и коагматичными ей интрузивными породами D₁₋₂ возраста. Во многих местах они гидротермально изменены и содержат сульфидную минерализацию. Исключительный интерес представляет *Восточно-Артемовский* массив базокварцевых диоритовых порфиритов площадью около 10 км², детально охарактеризованный нами ранее (Коровко и др., 2006; Грабежев, Коровко, 2010; Грабежев и др., 2010). Гранитоиды массива повсеместно (в том числе и до глубины не менее 100 м, пробурено две скважины) сильно серицитизированы, хлоритизированы и сульфидизированы (3–12 мас. % пирита), представляют единое минерализованное тело. Среднее содержание элементов в рудных интервалах (при бортовом содержании 0.25 мас. % Cu) составляет: Cu – 0.35 мас. %, S – 4.7 мас. %, Au – 0.1–0.2 г/т, Ag – 0.5–1.4 г/т, Mo – 30–50, до 200 г/т.

В молибдените наблюдается эпигенетическая концентрация рения до 0.1–0.4 мас. % (Грабежев, Шагалов, 2010). По геофизическим данным аномальные субмеридиональные крутопадающие зоны высокой проводимости протягиваются через весь массив (до 12 км) и фиксируются до глубин 200–700 м. Прогнозные ресурсы рудоносной зоны могут быть весьма значительными. Как указывалось выше, массив может иметь верхнедевонский абсолютный возраст и должен являться первостепенным объектом при проведении поисковых работ. В пределах палеодепрессии, примыкающей к северо-восточной части массива, в туфоалевропелитах верхней части разреза базальт-дацитовой толщи очень широко распространена серицитизация-хлоритизация и пылевидная вкрапленность фрамбоидального, глобулярного и тонкозернистого пирита (до 20–30 мас. %). Породы ореола характеризуются повышенными содержаниями (мас. %): Cu – до 0.07, Zn – до 0.05, Ag – до 0.0002, а также Mo, W, Cd, As, Sb. По геофизическим данным, пиритизация прослеживается до глубины свыше 500–1000 м. Данный ореол отвечает, скорее всего, субвулканическому срезу медно-порфирировой колонны, хотя нельзя исключать и другие варианты его интерпретации.

Самая южная часть Алапаевско-Сухоложской зоны представлена **Артемовско-Сухоложским тектоническим блоком** (см. рис. 1, Г). В его северной части находится район наиболее изученной и опоискованной *Артемовско-Алтынайской* диорит-гранодиорит-гранитной интрузии, сопровождающейся многочисленными медно-порфирировыми рудопроявлениями и участками минерализации (Грабежев, Смирнов, 2012). Максимальная их концентрация установлена в южном и западном контактах Алтынайского массива (в районе сел Рудянское, Глядены и др.) и в контактовых зонах Артемовского массива. Мощности субмеридиональных прожилково-вкрапленных зон превышают десятки метров, а протяженность – сотни метров. Содержание меди нередко достигает 0.5 мас. % и более. В одной из скважин выявлен метровый интервал густовкрапленных сульфидов, содержащих (мас. %): Cu – 4.3, Zn – 0.05, Mo – <0.007, As – 0.18, Sb – 0.007. По мере продвижения на юг от Алтынайского массива (до г. Сухой Лог) наблюдается смена характера минерализации: от Mo-Cu-порфирировой (южный эндоконтакт Алтынайского массива – рудопроявление Каменское и др.) до молибденоносной Cu-порфирировой (в экзоконтакте массива) и далее Zn-Cu-Pb-Zn (рудопроявления Шатинское, Сухоложское и другие около г. Сухой Лог). В результате многочисленных поисковых работ, сопровождавшихся глубоким бурением, установлено, что оруденение имеет обычно крутое падение, прерывистое локальное положение и не прослеживается по простиранию и падению. К сожалению, поиски не имели системного, комплексного характера.

На площади, находящейся несколько севернее г. Сухой Лог, были выявлены комплексные геофизические аномалии и пройдены скважины глубиной 80–367 м, вскрывшие интенсивно катаклазированные и измененные (хлорит, серицит, кварц, вкрапленность пирита, \pm карбонат, эпидот) андезитовиды базальт-дацитовый толщи. Обнаружены единичные интервалы крутозалегающих зон прожилково-вкрапленной сфалерит-пиритовой минерализации мощностью до 2 м, содержащие до 1.6 мас. % цинка. В интервалах 355–362 и 266–276 м двух наклонных скважин встречены зоны обильной прожилково-вкрапленной пиритовой минерализации с содержаниями Cu до 0.3 мас. %. Для всех проявлений характерны повышенные концентрации Zn (0.1–0.3, иногда до 3 мас. %) и Pb (до 0.2–0.7 мас. %) при невысоких содержаниях Si (0.1–0.3, редко до 0.9 мас. %). На **Сухоложском рудопроявлении**, находящемся в пределах западной части г. Сухой Лог, глубокие скважины вскрыли интенсивно пиритизированные (до 10–50 мас. % пирита) кварц-карбонат-хлорит-серицитовые метасоматиты по вулканитам кислого и среднего состава. Установлены только единичные маломощные рудные интервалы. Особенно впечатляет скв. Пл-1, на всю глубину которой (602.4 м) наблюдается очень высокая степень метасоматического преобразования и пиритизации (3–20 мас. % пирита) брекчий субвулканитов кварц-диоритового и дацитового состава (Грабежев, Коровко, 2009). Несмотря на это, установлены лишь незначительные признаки полиметаллической минерализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные данные свидетельствуют об очень широком распространении минерализации медно-порфиорового типа в пределах Алапаевско-Сухоложской зоны. Вместе с тем промышленные месторождения до сих пор не обнаружены, если не учитывать мелкие месторождения, разрабатывавшиеся в прошлые века. В пределах южноуральской части Восточно-Уральской вулканогенной мегазоны также фиксируются многочисленные медно-порфиоровые проявления. Однако их гораздо меньше, чем в рассмотренной зоне. Зато открыты крупные рудопроявления и промышленные рудные поля (Михеевское, Томинско-Калиновское), подсчитанные запасы Cu в каждом из которых превышают 1.7 млн т (Шаргородский и др., 2005; и др.). Возникает вопрос, почему в пределах одной мегазоны на Южном Урале сформировались крупные порфиоровые месторождения, а на Среднем Урале мы наблюдаем очень рассеянное распространение Cu. Может быть, причина заключается в слабой изученности практически не обнаженной Среднеуральской части мегазоны? Вероятно, частично это так:

несмотря на многочисленные разрозненные поисковые работы (проводившиеся преимущественно до 1990-х гг.), системного комплексного научно-производственного изучения медно-порфиоровой минерализации здесь не проводилось. Отметим, что промышленная значимость первично небольших Михеевского и Томинского рудопроявлений была установлена только после проведения детальных крупномасштабных геолого-геохимических и геофизических работ. Надо также подчеркнуть следующее. Принятое сейчас при отработке порфиоровых месторождений бортовое содержание меди (0.2 мас. % вместо предшествующего 0.3 мас. %) может способствовать переводу ранее изученных крупных порфиоровых рудопроявлений в категорию промышленных месторождений.

В геологическом плане наблюдаются заметные черты различия порфиоровых рудно-магматических систем Алапаевско-Сухоложской зоны и Михеевского месторождения (Ново-Николаевского рудного поля). Продуктивные гранитоиды сравниваемых объектов имеют различный абсолютный возраст – соответственно $D_{1e}-D_2^1$ (за исключением Восточно-Артемовского рудопроявления) и D_3f-C_1t . Заметно различается и петрохимия гранитоидного магматизма. В обоих объектах преобладают гранитоиды кварц-диоритового и диоритового состава. Однако их формирование на Михеевском месторождении завершается внедрением после-позднерудных жильных калиевых ($K_2O - 2.1-3.5$ мас. %) биотитовых плагиогранитов, в то время как в массивах северной части Алапаевско-Сухоложской зоны – натриевых плагиогранитов ($K_2O - 0.5-1.5$ мас. %). Кроме того, кварцевые диориты рудоносного комплекса Михеевского месторождения содержат заметно больше K_2O (соответственно 1.2–1.6 и 0.4–0.7 мас. %). На этом фоне резко выделяется Артемовско-Алтынайская интрузия, для кислых гранитоидов которой характерен калишпат. Это единственная на Урале интрузия, соответствующая мировому стандарту известково-щелочного медно-порфиорового магматизма. Тем не менее пока значительного оруденения в связи с ней не обнаружено, хотя известно очень много рудопроявлений. Необходимо также отметить, что для гранитоидов Алапаевско-Сухоложской зоны мало характерны порфиоровые структуры, представляющие собой важнейший элемент эволюции порфиорового магматизма во всех регионах мира. Отсутствие таких структур является отрицательным моментом при прогнозировании порфиорового оруденения, свидетельствуя об ограниченном развитии наиболее рудоносных гипабиссальных фаций. Тем не менее классические резко выраженные порфиоровые структуры не очень характерны и для промышленных медно-порфиоровых месторождений Урала. Гранитоидам Алапаевско-Сухоложской зоны свойственны очень низкие, по сравнению с Ми-

хеевским месторождением, значения ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_t – соответственно 0.7044–0.7049 и 0.7050–0.7059. Эти данные указывают на преобладание в гранитоидах мантийного компонента при резко подчиненной роли корового субстрата, которого в гранитоидах Михеевского месторождения несколько больше. Соответственно, значение (ϵNd)_t составляет 3.0–7.0 и 1.7–5.4. Вероятно, верхнемантийный базальтоидный источник первичного расплава (возможно генерируемый системой слэб–мантийный клин, согласно плейт-тектонике) потенциально был зациклен в течение продолжительного периода времени на селективное выплавление существенно андезитового (кварцдиоритового) расплава, геохимически специализированного на Cu. Обычно дальнейшей значительной дифференциации (эманационно-кристаллизационной) этого расплава не происходило, о чем свидетельствует слабое распространение жильных кислых плагиигранитоидов. Не совсем понятно, почему они имеют исключительно натриевый состав (исключая Артемовско-Алтынайскую интрузию). Подчеркнем, что расплав наиболее калиевых молибденоносных диоритоидов (Михеевское месторождение) испытал, судя по изотопным данным, максимальное корово-мантийное взаимодействие.

В свете всего сказанного можно полагать, что системное, комплексное геолого-геофизическое обследование Алапаевско-Сухоложской зоны приведет к открытию промышленных крупномасштабных медно-порфировых месторождений. При подсчете запасов целесообразно понизить бортовое содержание меди рудных тел до современного уровня – 0.15–0.20 мас. %. Наиболее благоприятен для выявления объемных штокверков сульфидно минерализованный Восточно-Артемовский массив как наиболее близкий аналог Михеевского месторождения. Значительный практический интерес представляют также Артемовско-Алтынайский и Гостьковский тектонические блоки. Обычно по мере удаления от массивов в составе сульфидной ассоциации возрастает роль сфалерита, что в порфировых системах наблюдается при уменьшении эрозионного среза. Сфалеритовая минерализация и даже оруденение установлены и в пределах некоторых массивов кварцевых диоритов (Гостьковское рудопроявление). Все это свидетельствует о небольшом эрозионном срезе массивов, а соответственно, о вероятности наличия значительного оруденения на глубине. В настоящей работе не рассмотрены рудно-магматические системы южного продолжения Алапаевско-Сухоложской зоны, которые представляются, на наш взгляд, исключительно перспективными на выявление промышленного эпитермально-порфирового оруденения.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 12-05-00103), а также по

программе Президиума РАН № 27 (проект 12-П-5-2015 УрО РАН). Авторы признательны Ю.Л. Ронкину, В.Г. Крживицкой, Н.В. Чередниченко, Д.В. Киселевой, О.П. Лепихиной, Н.Н. Адамович и многим другим коллегам за помощь в работе. Критические замечания рецензента были очень полезны при доработке рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волчек Е.Н., Червяковский В.С. (2011) Геохимические особенности андезитов восточной зоны Среднего Урала. *Ежегодник-2010. Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 158*, 86-90.
- Грабежев А.И. (2009.) **Sr-Nd-C-O-H-S** изотопная характеристика медно-порфировых флюидно-магматических систем Южного Урала: вероятные источники вещества. *Литосфера*. (6), 66-89.
- Грабежев А.И. (2012.) Рениеносные медно-порфировые рудно-магматические системы Урала: геологическое положение, изотопно-петрогеохимическая и возрастная латеральная зональность. *Литосфера*. (4), 190-207.
- Грабежев А.И., Белгородский Е.А. (1992) Продуктивные гранитоиды и метасоматиты медно-порфировых месторождений (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 199 с.
- Грабежев А.И., Коровко А.В. (2009) Петрохимия метасоматитов Сухоложского проявления (Средний Урал). *Ежегодник-2008. Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 156*, 142-145.
- Грабежев А.И., Коровко А.В. (2010) Гидротермалиты Восточно-Артемовского медно-порфирового массива (Средний Урал). *Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 157*, 214-217.
- Грабежев А.И., Ронкин Ю.Л., Коровко А.В., Чередниченко Н.В. (2010) Петрогеохимия диоритоидов Восточно-Артемовского медно-порфирового массива (Средний Урал) *Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 157*, 121-124.
- Грабежев А.И., Смирнов В.Н. (2012) Артемовско-Алтынайский рудно-магматический ареал медно-порфирового типа (Средний Урал): **U-Pb SHRIMP-II** возраст, петрогеохимия гранитоидов и генетическая специфика. *Литосфера*. (6), 78-89.
- Грабежев А.И. Шагалов Е.С. (2010) Распределение рения в молибдените по результатам микронзондового сканирования (медно-порфировые месторождения, Урал). *Докл. АН*. **431**(2), 233-237.
- Коровко А.В., Грабежев А.И., Молошаг В.П. (2006) Восточно-Артемовский гранитоидный массив и его медно-порфировое оруденение (Средний Урал). *Ежегодник-2005*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 355-360.
- Огородников В.Н., Поленов Ю.А., Сазонов В.Н. и др. (2002) Геологические маршруты по Сухоложскому и Каменскому полигонам. Екатеринбург: УГГА, 295 с.
- Смирнов В.Н., Ведерников В.В., Грабежев А.И. (1988) Особенности среднедевонских вулcano-плутонических ассоциаций Среднего Урала, сопровождающихся минерализацией медно-порфирового типа. *Рудноносные и рудные формации Урала*. Свердловск: ИГГ УрО АН СССР, 13-22.

- Федорова И.Б., Григорьева Г.Г., Компанец С.Н. (1971) Условия размещения медно-порфирового оруденения на Урале. *Геология медно-порфировых месторождений*. Алма-Ата : ИГН Каз. АН, 12-14.
- Ферштатер Г.Б. (2013) Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 365 с.
- Шаргородский Б.М., Новиков И.М., Аксенов С.А. (2005) Михеевское месторождение медно-порфировых руд на Южном Урале. *Отчет геология*.(2), 57-61.
- Plotinskaya O.Yu., Grabezhev A.I. (2014) Porphyry deposits of the Urals. *Mineral deposit research for a high-tech world. Proc. 12th Biennial SGA Meeting*, Sweden. SGA: Uppsala. **79**, 1516-1518. ISBN 978-91-7403-207-9.
- Spadea P., D'Antonio M. (2006) Initiation and evolution of intra-oceanic subduction in the Uralides: geochemical and isotopic constraints from Devonian oceanic rocks of the Southern Urals, Russia // *Island Arc*. **15**, 7-25.

Рецензент В.Н. Смирнов

Potentially commercial Alapayevsk-Sukhoy Log porphyry copper zone (the Middle Urals)

A. I. Grabezhev*, A. V. Korovko**, O. B. Azovskova*, S. V. Pribavkin*

*Institute of Geology and Geochemistry Urals Branch of RAS
Sredneural'skaya geology-research expedition*

NS-trending Alapayevsk-Sukhoy Log zone of porphyry-copper mineralisation in the Middle Urals is located 75 km to the east of Yekaterinburg and extends for 100 km from Alapayevsk to Sukhoy Log towns. Sulphide inclusions in rocks are pervasive, and there are numerous ore manifestations and small deposits. Like the commercial Mikheyevskoye porphyry copper deposit (over 1.7 million tonnes of Cu) in the Southern Urals, the zone is associated with the eastern part of East Urals volcanic megazone. It consists of several ore-producing NS-trending volcano-plutonic belts which represent the tectonic blocks. Rejuvenation from north to south of granitoid magmatism has been identified (U-Pb SHRIMP-II and LA ICP-MS zircon dating) in First magmatic stage (million years): from 412 (diorite-plagiogranodiorite-plagiogranite of Yaluninogorsk massif) to 404–406 (diorite-granodiorite-granite of Altynai-Artyomovsk intrusion), and then to 397 (plagiorthodacite-porphyre of Shata area). Volumetrically sericitized and sulphidized quartz diorite of East-Artyomovsk massif was probably established during Second magmatic stage (369 ± 39 million years, Rb-Sr dating). All granitoids are of arc-island geochemical type, and have feature near-mantle isotopic signatures: $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7038\text{--}0.7049$, $(\epsilon\text{Nd})_i = 6.6\text{--}8.7$. Systemic and comprehensive study of Alapayevsk-Sukhoy Log zone should result in discovery of commercial large scale porphyry copper deposits (assuming current cut-off grade of Cu 0.15–0.20 wt %). The most attractive in terms of potential for high capacity stockworks is the East Artyomovsk massif which is similar in many respects to ore-magmatic system of Mikheyevsk deposit.

Key words: *porphyry-copper deposits, ore-bearing granitoids, Urals.*