

## ПОВЕДЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СКАРНИРОВАНИИ И РЕТРОГРАДНЫХ ПРОЦЕССАХ НА ГУМШЕВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (СРЕДНИЙ УРАЛ) ПО ДАННЫМ ICP-MS

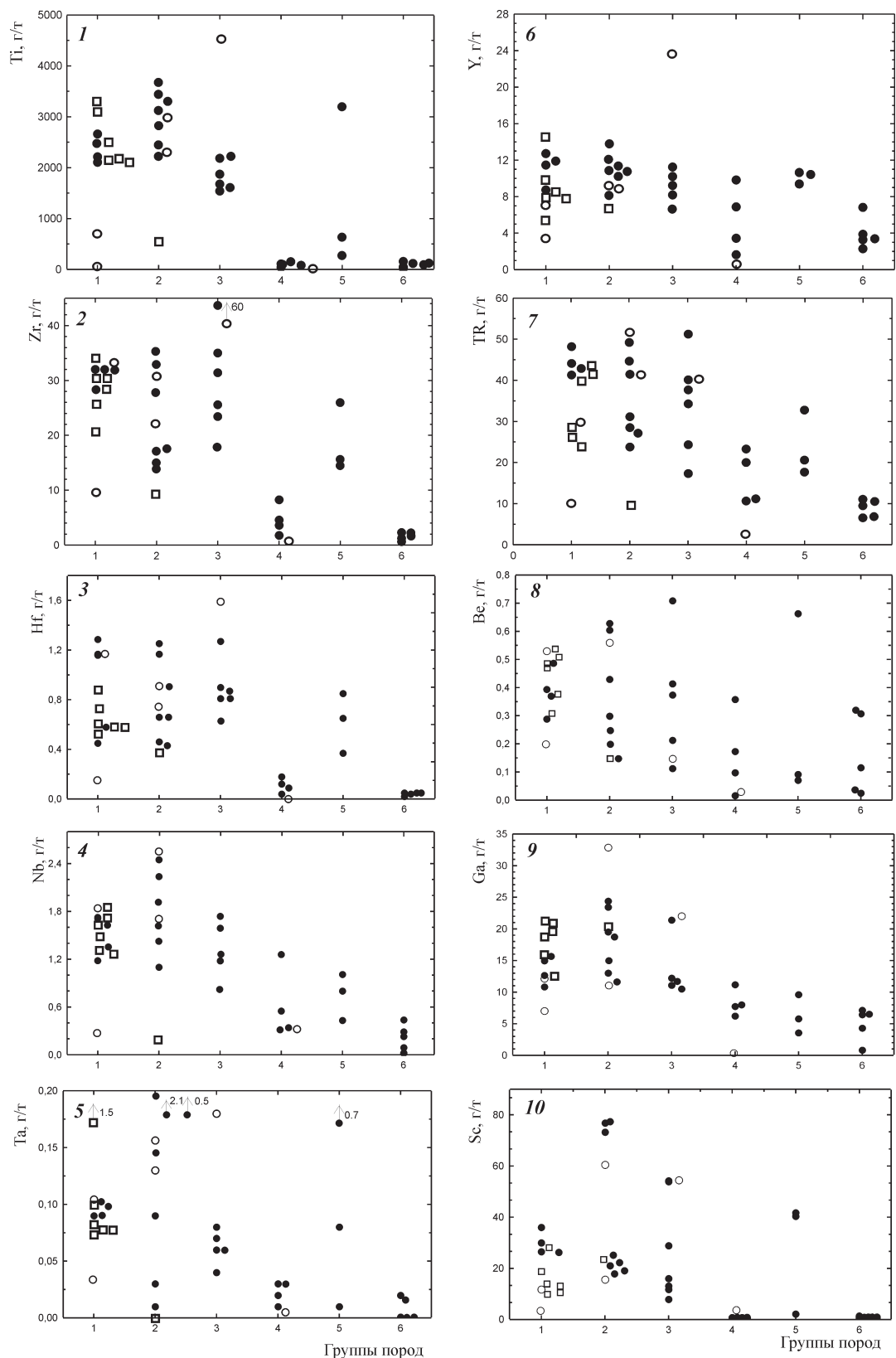
А. И. Грабежев, Н. В. Чердниченко

Совместное рассмотрение геохимии большой группы малых элементов в различных метасоматитах крупного гидротермального месторождения может представлять известный интерес для анализа специфики эволюции гидротермального процесса. Гумшевское месторождение является достаточно крупным скарново-медно-порфировым объектом (более 1.5 млн. т отработанных и подсчитанных запасов меди) с повсеместным развитием метасоматических изменений в перемежающихся диоритоидах, мраморах, а также серпентинитах и сланцах. Характеристика месторождения и метасоматитов дана в [1], в сильно упрощенном виде она изложена ниже. Исходные диоритоиды Гумшевской дайки (преимущественно кварцевые диориты и их порфировые фации) всегда в той или иной степени пропилитизированы. Пропилитизированные гранитоиды рассматриваются нами как внешняя зона зональных эндоскарновых тел (эпидозит – эпидот-гранатовый скарн). Обычны и самостоятельные тела эпидозитов, а также апомраморных андрадитовых экзоскарнов. Иногда в этих образованиях наблюдается пироксен. На все эти породы в той или иной степени наложился метасоматоз ретроградного этапа, отвечающий магнетит-кварц-кальцит-актинолитовой ассоциации. Однако выдающейся особенностью месторождения является широчайшее проявление второй стадии ретроградного процесса – развитие апомраморных обычно тонкопелосчатых метасоматитов магнетит-силикатно (хлорит, тальк, реже тремолит-актинолит и др.)-кварц-карбонатного (кальцит, анкерит) состава. Их вероятными эквивалентами (по аналогии с другими месторождениями скарново-медно-порфирового типа) в зонах расланцевания гранитоидов является серицитизация (до хлорит-карбонат-серицит-кварцевых метасоматитов, иногда содержат парагонит). Наконец, на все метасоматиты накладывается интенсивная сульфидизация (пирит с подчиненным халькопиритом и редко с другими сульфидами) и послерудные карбонатные жилы.

Для рассмотрения поведения микрокомпонентов использовалось 43–45 проб, проанализированных в лаборатории ИГГ УрО РАН. Так как парагенезисы в чистом виде встречаются крайне редко, то характеристику поведения элементов при указанных процессах целесообразно рассматривать как ориентировочную. Геохимия РЗЭ приводилось в

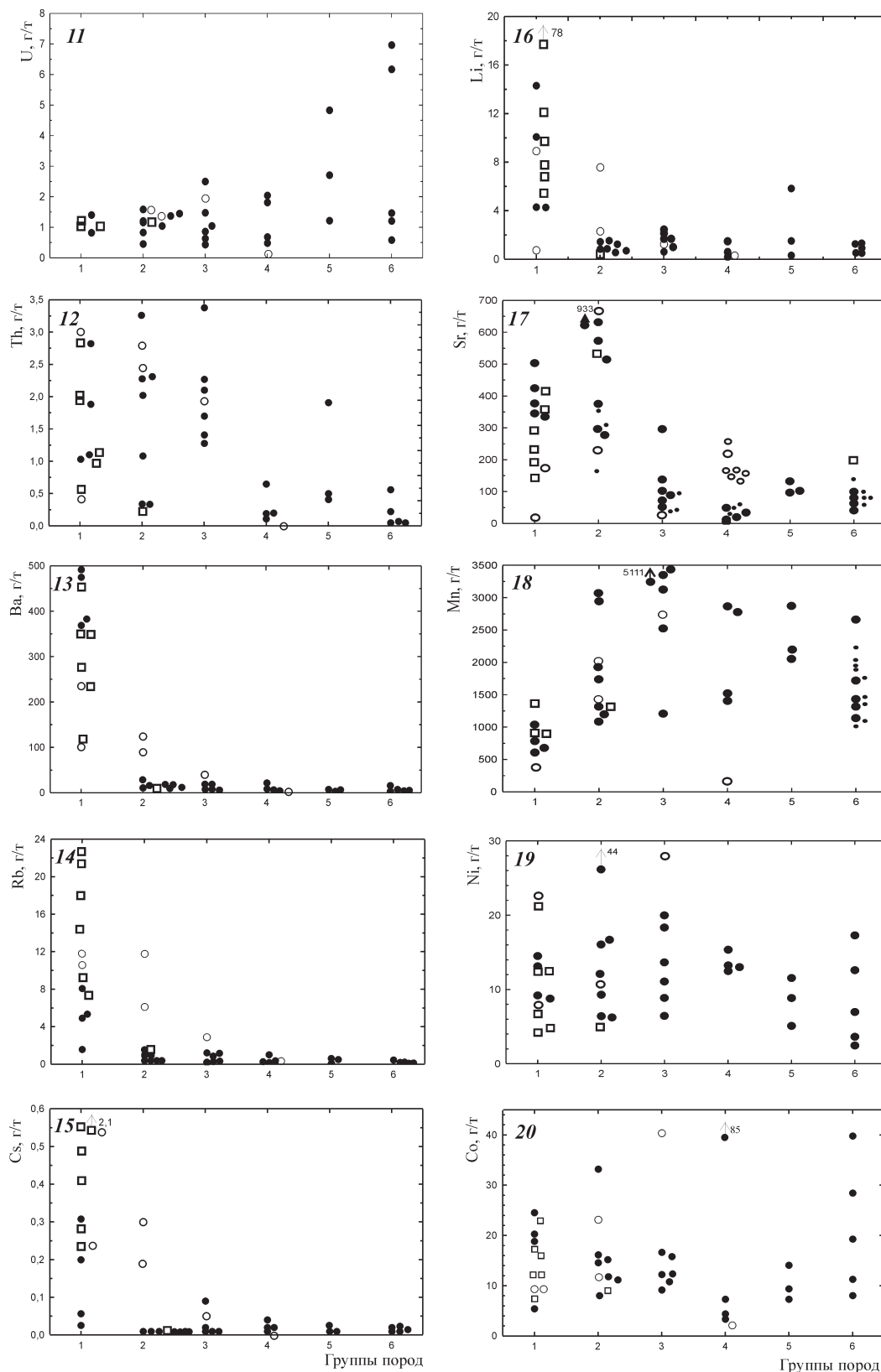
других статьях [2]. Учет объемных весов не приводит к существенной коррекции выводов. Микроэлементам соответствуют номера 1–30 на рис. 1 и в тексте (в скобках). По петрохимическим и изотопным данным, положенным на диаграммах Ta–Yb и Rb–(Y + Nb) рудоносные гранитоиды отвечают калиево-натриево-диоритовому островодужному геохимическому типу.

Серицитизация диоритоидов не сопровождается радикальной миграцией большинства нерудных микроэлементов. Можно отметить тенденцию привноса Ga (9) и выноса Sc (10). Гораздо сильнее выносятся РЗЭ (7), Ba (13), Sr (17), Li (16) и привносятся Rb (14), Cs (15). Привнос Rb и Cs обусловлен привносом калия, а вынос Sr – выносом кальция, что достаточно типично для кислотного выщелачивания и связано с образованием или растворением минералов концентраторов-носителей. Формирование аподиоритовых эпидозитов нередко сопровождается значительным увеличением дисперсии содержаний многих элементов без существенной миграции. Минимальное изменение содержания (по сравнению с диоритоидами) характерно в первую очередь для Ti, Zr, Hf, Y, РЗЭ, Be, Ga, U, Th, Ni, Co, Cr, V. В некоторых случаях вероятен небольшой привнос Nb (4), Ta (5), Sc (10), Mn (18). Sr (17) ведет себя двояко. В слабо перекристаллизованных эпидозитах он не мобилен (такие же содержания свойственны послерудным кварц-карбонатным жилам выполнения). В сильно перекристаллизованных эпидозитах количество стронция значительно выше. Возможно, в некоторых случаях это связано с перераспределением стронция – выносом из эндоскарнов в эпидозит. Очень сильный вынос наблюдается для Ba (13), Rb (14), Cs (15), Li (16). При формировании эпидот-гранатовых эндоскарнов многие микроэлементы также сохраняют немобильность при значительной дисперсии, как и в сопровождающих их внешних частях колонок (эпидозитах). К их числу относятся Zr, Hf, Y, РЗЭ, Be, Ga, U, Th, Ni, Co, Cr, V. По сравнению с диоритами и эпидозитами наблюдается сильный вынос Ti (1) и Sr (17). Как и в эпидозитах, значительно выносятся (по сравнению с диоритами) Ba (13), Rb (14), Cs (15), Li (16). В экзоскарны по сравнению с мраморами имеет место привнос почти всех микроэлементов, особенно, если учитывать разницу в объемных весах. Количество привносимых элемен-



**Рис. 1.** Содержание микроэлементов в породах Гумешевского месторождения, г/т.

Группы пород: 1 – гранитоиды кварц-диоритового состава, нередко пропилитизированные (зачерненные кружки) и слабо-умеренно серицитизированные (квадраты), хлорит-(парагонит)-серицит-кварцевые метасоматиты представлены открытыми кружками; 2 – амфиболовые эпидозиты по гранитоидам (зачерненные кружки), в том числе с остатками серицита (открытые кружки) и эпидот из эпидозита (квадрат); 3 – эпидот-гранатовые эндоскарны (открытый кружок отвечает



пироксен-гранат-везувиановому скарну); 4 – андрадитовые экзоскарны (открытый кружок представляет мрамор для всех апомраморных метасоматитов); 5 – преимущественно сульфидно-магнетит-кварц-карбонатные метасоматиты по силикатным породам; 6 – магнетит-сульфидно-кварц-карбонатные метасоматиты (руды) по мраморам и экзоскарнам. В верхнем левом углу указан номер элемента в тексте (№ 1–30). Маленькими затемненными кружками на диаграммах Sr и Mn приведены эмиссионно-спектральные анализы.

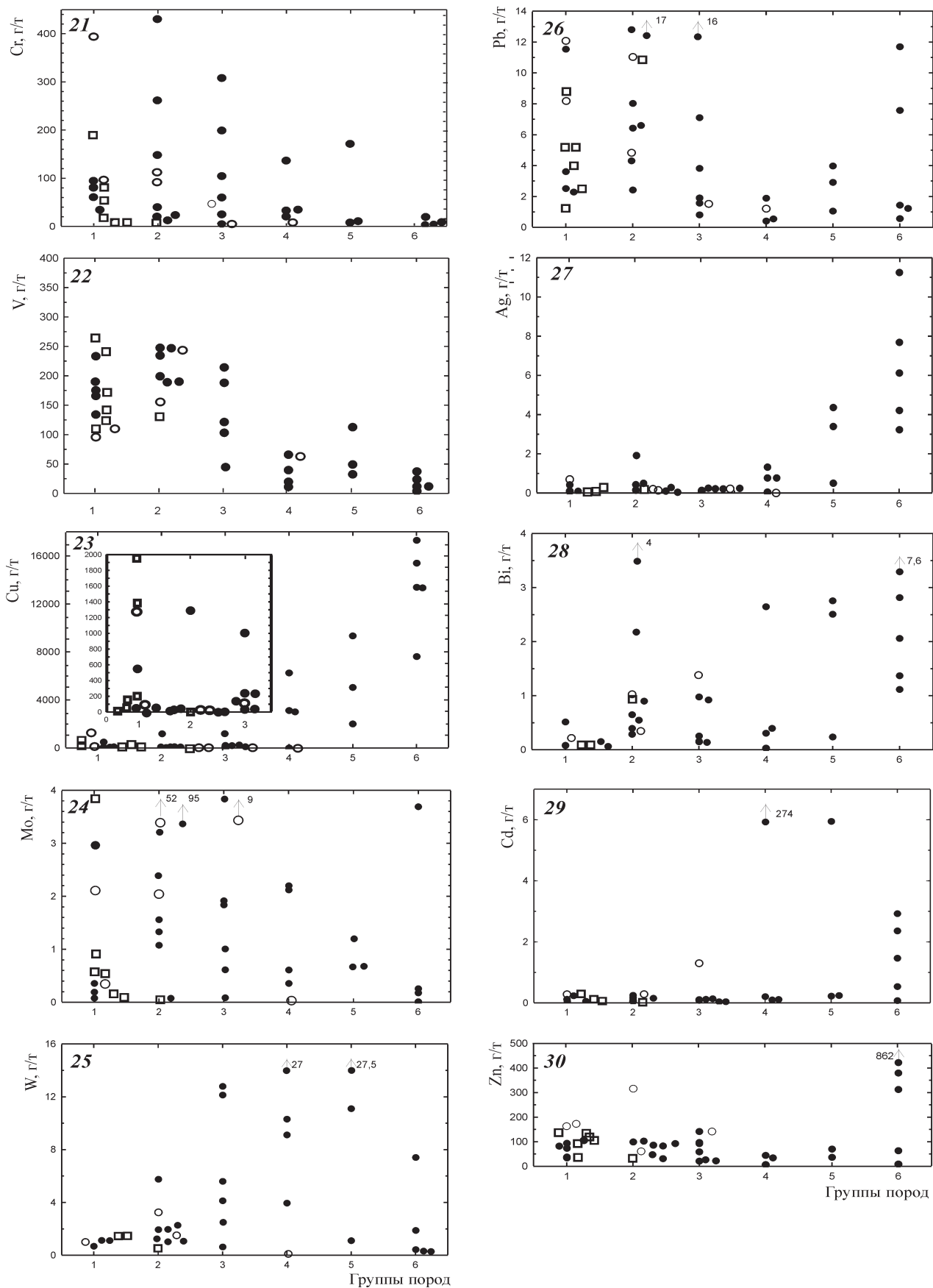


Рис. 1. Окончание.

тов сильно варьирует, иногда достигая их минимальных содержаний в силикатных породах. Очень сильный привнос фиксируется для Mn (18), Y (6), PЗЭ (7), а также Ga (9). Сильный вынос фиксируется для Sr (17), Sc (10). Для апомраморных магнетит-силикатно-кварц-карбонатных метасоматитов, которые обычно в той или иной мере сульфидизированы, характерно примерно такая же миграция микроэлементов относительно мрамора, как и при образовании экзоскарнов. Однако, может резко увеличиваться привнос урана (11) и кобальта (20).

Кратко остановимся на поведении рудных элементов. Диоритоиды и эндоскарны в половине образцов содержат вышекларковые наложенные при сульфидизации количества меди (23), превышающие 100 г/т (обычно до 200 г/т, в отдельных случаях до 0.6–2.0 мас. %). Эпидозиты наименее восприимчивы к осаждению меди, содержания которой обычно не превышают 50 г/т. Наиболее благоприятны для осаждения меди (халькопирита) богатые железом магнетитсодержащие апомраморные ретроградные метасоматиты и андрадитовые экзоскарны. Содержание меди в них составляет 0.3–2 и более мас. %. Пока рентабельны для подземной отработки руды с содержанием меди более 1 мас. %. Примерно аналогичным поведением характеризуются Ag, Bi, Cd и Zn (27–30), сопровождающие медь. Что касается Mo (24) и W (25), то их слабый привнос начинается еще при скарнообразовании, завершаясь при сульфидизации. Характерно отсутствие привноса Pb (26).

Не обращаясь к детальному обсуждению генетических вопросов, отметим только следующее. Несмотря на вероятность наложения поздних минеральных ассоциаций на ранние, для многих нерудных микроэлементов фиксируется довольно слабая мобильность при скарнообразовании и кислотном выщелачивании диоритоидов. Явно распростране-

но и перераспределение некоторых микрокомпонентов в пределах скарновых колонок и в более широком масштабе, как это наблюдается для Si, Ca, Al, в скарновых колонках и системе скарн-диорит [1]. Так, по сравнению с диоритоидами, некоторый привнос Sr (17), Nb (4) и Ta (5) в перекристаллизованные эпидозиты может быть обусловлен их частичным выносом из эндоскарнов. Отметим также, что вынос Ba (13) при образовании эпидозитов, а также Ti (1) при образовании эндоскарнов не сопровождается их привносом в другие метасоматиты, т.е. эти элементы в значительной мере рассеиваются. Привнос почти всех микроэлементов, и особенно в больших количествах Y (6), PЗЭ (7) в метасоматиты, образовавшиеся по мраморам, может быть следствием их извлечения из силикатных пород при преобразовании последних. Возможен также их привнос ювенильным флюидом, что, безусловно, характерно для Mn (18) и всех рудных элементов. То же можно сказать и о Rb, Cs, наиболее благоприятным для отложения которых является только кислотное выщелачивание в диоритоидах. Магматическая природа флюида продемонстрирована нами ранее на основе изотопно-геохимического изучения Sr и Nd [2].

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 06-05-64053).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабежев А.И. Скарны Гумешевского скарново-медно-порфинового месторождения (Средний Урал) // Петрология. 2004. № 2. С. 176–190.
2. Грабежев А.И., Шардакова Г.Ю., Ронкин Ю.Л. Изотопы Sr, Nd и редкие земли в породах и минералах медно-порфиновых систем главной вулканогенной зоны Урала // Геология Урала и сопредельных территорий. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2007. С. 330–343.