

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.078

С. Кекелія, д-р геол.-мінерал. наук, глав. науч. сотр.
 E-mail: sergokekelia@yahoo.com, тел: +995 592082390,
 М. Кекелія, д-р геол.-мінерал. наук, зав. отделом
 E-mail: kekelia33@yahoo.com, тел: +995 599716984,
 Н. Попхадзе, академ., д-р по геології, науч. сотрудник
 E-mail: nino_popkhadze@yahoo.com, тел: +995 599 161694,
 Н. Гагнідзе, академ., д-р по геології, науч. сотр.
 E-mail: nonagagnidze@gmail.com, тел: +995 595 515286
 Тбілісський державний університет ім. І. Джавахишвили
 Геологічний інститут, ул. Палітковської, 31, г. Тбілісі, 0186, Грузія

ВУЛКАНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПАЛЕООСТРОВОДУЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕЗИСА РУД (на примере рудных объектов Грузии, Армении и Турции)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінерал. наук, проф. В.М. Загнітком)

Цель: изучение окорудного пространства вулканогенных месторождений цветных металлов палеостроводужных сооружений (на примере Маднеульского месторождения) и определение условий их формирования с использованием geoхимических и термобарогеохимических исследований.

Методы: выполнено картирование карьера Маднеульского месторождения, определены содержания редких и рассеянных элементов на приборе ICP-MS, в Геологической службе США и Кавказском институте минерального сырья проведены термобарогеохимические исследования и определён изотопный состав кислорода и водорода в рудах.

Результаты: выявлены структурные особенности месторождения, характер окорудного пространства, определён минеральный состав метасоматитов и доказана многоэтапность формирования месторождений.

Научная новизна: высказаны соображения о генезисе вулканогенных месторождений альпийских палеостроводужных сооружений с учётом выполненных авторами термобарогеохимических исследований, а также с привлечением существующих в научном мире представлений о генезисе месторождений.

Практическая значимость: описанные особенности окорудного пространства могут быть с успехом использованы в других регионах в процессе поисков месторождений вулканогенного класса.

Ключевые слова: Кавказ, вулканогенные месторождения, структура, цветные металлы, метасоматические изменения.

Введение. В центральной части Альпийско-Гималайского горного пояса сохранились фрагменты палеостровных дуг и прилегающих к ним структур – задувовых и внутридуговых морских палеобассейнов. Одной из таких палеодуг является Понтийско-Южнокавказская (на рис. 1 фрагменты палеодуги выделены серым цветом). Именно в её вулканоструктурах сосредоточены наиболее крупные по масштабам месторождения цветных металлов колчеданного семейства. В альпийскую эпоху максимум вулканической активности приходился: на востоке палеоструктуры – на байос-позднюю юру, а на западе (в Турции и Грузии) – на мел. К числу важнейших тектонических событий, предопределивших геологический облик альпид этого сегмента горно-складчатого сооружения, относятся: 1) отторжение Иранской микроплиты от края Гондваны в перми-триасе и ее присоединение к активной Евразиатской окраине Восточно-Тихоокеанского типа; 2) раскрытие в конце триаса – начале юры рифта, преобразованного в одну из ветвей океана Неотетис; 3) обдукация в сеноне океанических комплексов – по образному выражению А. Книппера, обозначающая "смерть" океана [19]. Здесь взаимодействовали в течение альпийского цикла Скифская и Южнокавказско-Понтийская (активная палеоокраина Евразиатского континента) с Гондванскими блоками (Киршеширским, Анатолийским, Таврским, Даралагезским и другими). В настоящее время эти подвижные блоки земной коры (террейны) разделены шовными зонами (сутурами), большая часть которых маркируется ультрабазитовым меланжем. Здесь, на активной окраине Евразиатского континента возникали термоаномалии, размещение которых было избирательным и совпадало с областями, испытавшими наибольшие напряжения – зонами влияния трансформных разломов. Именно в этих местах, в условиях конвергентного взаимодействия микроплит, проявлялась вулканическая активность, а также гидротермальная деятельность.

Результаты. На турецкой территории промышленными месторождениями колчеданного семейства являются Ашикей, Лаханос, Кутлупар, Чаели, Мургул, Черратепе. Здесь же размещено медно-молибденопорфировое месторождение Гузеляйла. Следует подчеркнуть, что Восточные Понтиды являются тем единственным регионом Понтийско-Южнокавказской островной палеодуги, где выявлены гидротермально-осадочные скопления руд цветных металлов. Их примерами служат месторождения Ашикей и Чаели (Маденкой). На месторождении Чаели руды (запасы меди более 800 тыс. т) сосредоточены в одной залежи, которая прослежена по простирианию на 920 м, ее максимальная мощность 100 м [28]. Здесь вулканоструктура слагается надрудными базальтами (пиллоу-лавами), чередующимися с известняками и "пурпурными" туфами, а также пропилитизированными дакитами. На последних и залегают массивные сульфидные руды, под которыми проявлены кварц-хлорит (с серицитом), метасоматиты с прожилками и вкрашенностью сульфидов. Внутри тела выделены, как и на месторождениях типа Куроко, желтые (обогащенные халькопиритом) и чёрные (обогащенные сфалеритом) руды. Рудная залежь, которая сохранилась в позднемеловых вулканитах, подвергалась неоднократному брекчированию под воздействием взрывных явлений в процессе функционирования гидросистемы. Массивные руды залегают на гиалокластитах, состоящих в основном из ориентированных "бломков" фельзитов. Гиалокластиты интенсивно изменены: пиритизированы и каолинизированы. Под гиалокластитами размещены фельзиты с редкими порфировыми выделениями кварца и полевого шпата. На отмеченные породы наложен кварц-пирит-халькопиритовый штокверк. Отмечается [27], что для кластических руд Чаели характерна хорошо выраженная слоистость; руды состоят в основном из угловатых и полуокатанных обломков сульфидов (сфалерита, пирита и халькопирита).

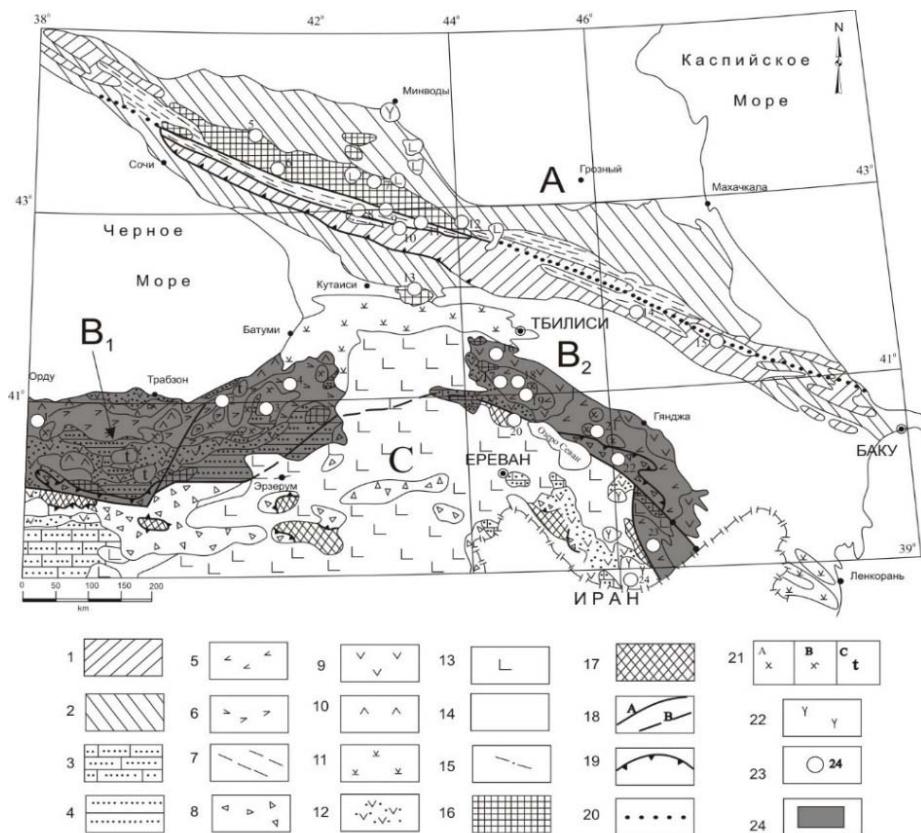


Рис. 1. Распределение основных рудных месторождений в пределах Восточной Турции и Кавказа:

1 – склон и поднятие Южнокавказского микроконтинента (юра – ранний мел, Большой Кавказ); 2 – шельфовая зона Скифского и Южно-Кавказского микроконтинентов (юра – палеоген, Большой Кавказ); 3 – шельфовая зона Анатолийского и Даралагезского микроконтинентов (мел – палеоген); 4 – шельфовая зона Понтийского микроконтинента (ранняя юра, Восточные Понтиды); 5 – малокавказская энсиалическая островная дуга (байос – ранний мел); 6 – Понтийская энсиалическая островная дуга (мел); 7 – глубоководные бассейны краевого палеоморя (ранняя – средняя юра); 8 – океанические зоны в аллохтонном залегании; 9 – Малокавказская задуговая вулканодепрессия (поздний мел); 10 – Понтийская задуговая вулканодепрессия (поздний мел); 11 – внутриплитные рифтогенные вулканоструктуры (эоцен – олигоцен, Малый Кавказ); 12 – эоценовые вулканодепрессии, наложенные на доколлизионные структуры (Понтиды, Малый Кавказ, Анатолиды); 13 – молодые вулканические плато (олигоцен – четвертичный); 14 – орогенные троги (олигоцен – четвертичный); 15 – терригенно-вулканические породы (дизская серия, девон – триас), интрудированные среднеюрскими гранитоидами; 16 – доальпийский фундамент Скифской и Южнокавказской микроплит (докембрий – палеозой); 17 – доальпийский фундамент Анатолид и Даралагеза (Североиракская микроплита, докембрий – палеозой); 18 – тектонические швы, разделяющие основные геоблоки (взбросы и сдвиги, А – установленные, В – предполагаемые); 19 – надвиги; 20 – предполагаемая граница между Скифской и Южнокавказской микроплитами (перекрыты надвигами); 21 – гранитоиды (а – ранний мел, в – поздний мел, с – эоцен – олигоцен); 22 – монzonиты, сиениты (олигоцен – миоцен); 23 – месторождения полезных ископаемых; 24 – фрагменты палеостровной дуги.
Наиболее значительные рудные месторождения Восточных Понтидов и Кавказа: 1 – Ашикай (Cu); 2 – Лаханос (Cu,Zn,Pb); 3 – Чаели-Мадденкой (Cu,Zn); 4 – Мургул (Cu,Zn); 5 – Уруп (Cu); 6 – Кти-Теберда (W); 7 – Тырны-Ауз (W); 8 – Лухра (Au); 9 – Цана (As,Au); 10 – Лухуми (As); 11 – Зопхито (Au, Sb); 12 – Садон (Pb,Zn); 13 – Чиатура (Mn); 14 – Филизчай (Zn,Pb,Cu); 15 – Кизил-Дере (Cu); 16 – Маднеули (Cu,Au, Zn,Pb); 17 – Алаверди (Cu); 18 – Шамлуг (Cu); 19 – Техут (Cu); 20 – Меградзор (Au); 21 – Дащесан (Fe, Co); 22 – Зод (Au); 23 – Кафан (Cu); 24 – Каджаран (Cu,Mo).
Микроплиты: Евроазиатского палеоконтинента: А – Скифская, В – Понтийско-Южнокавказская (B₁ – Восточные Понтиды, B₂ – Южный Кавказ); Афро-Аравийского палеоконтинента: С – Северо-Иранская

Другой тип гидротермально-осадочной минерализации (Ашикай) был обнаружен в аллохтоне, по-видимому, перемещенном в палеостровную структуру из окраинного морского бассейна Палеотетиса. По данным [41], в местах проявления рудной минерализации наблюдается геологическая картина, сходная с Кипрской. Следует согласиться с М. Гюнером [31], который отнес "облагороженные" медью серноколчеданные залежи к кипрскому типу VMS. Было выяснено, что в районе Кюре, на месторождении Ашикай-Тайконду [29], базальты офиолитового комплекса по химическим характеристикам относятся к образованиям зон спрединга. Допускается, что в триасе – ранней юре спрединговая зона располагалась в задуговом бассейне.

Примерами прожилково-вкрашенных руд в Понтидах являются месторождения Мургул, Кутулар, Черратаре и Лаханос. На Лаханосе штокверк сфалерит-пирит-халькопиритового состава проявлен в дакитовом штоке. Прожилково-вкрашенная минерализация сосредоточена в ареале

развития кварц-серцицит-хлоритовых метасоматитов. Сходную с Лаханосом геологическую позицию занимает месторождение Мургул. Здесь штокверк пирит-халькопиритовых руд ограничен сверху кварцево-железистыми (яшмовидными) образованиями, на уровне которых были размещены гипсовые линзы. Рудовмещающие лавы дакитов эродированы и несогласно перекрыты кампан-маастрихтскими вулканитами. Вблизи Мургула, на участке Кизилкая [37], были известны гидротермально-осадочные залежи с "черными" и "желтыми" рудами, для которых характерны колломорфные полосчатые и фрамбоидальные текстуры.

Медно-свинцово-цинковая прожилково-вкрашенная минерализация – отличительная черта грузинских и армянских месторождений (запасы меди в каждом из них не превышали 400–450 тыс. т). Уникальным в рудно-геологическом смысле является грузинское месторождение Маднеули, в пределах которого пространственно сближены разноэтапные золотые, барит-сульфидные и мед-

ные руды (рис. 2). Меловая вулкано-тектоническая депрессия представляла собой часть задугового бассейна. Вулканоструктура слагается тремя комплексами, которые являются результатом функционирования в течение альба-кампана в начале вулканов трещинного типа, а затем и центральных [14]. Верхний комплекс – контрастный базальт-андезит-риодакитовый – завершает вулканическую деятельность. Рудоносными являются куполовидные "вздутия", образованные в местах выжимания риодакитовых экструзий среднего риодакитового комплекса (в состав которого входят игнимбриты, экструзии и лавы риолитов и риодакитов на склонах крупных вулканических построек). Последние слагаются андезитоидами нижнего вулканогенно-осадочного комплекса.

Рудоносные блоки ограничены разломами СЗ и СВ простираций, которые и являются магмо- и рудовыводящими. Под покровами лав риодакитов в результате гидротермального "коллапса" были сформированы эксплозивные брекции, преобразованные во вторичные кварциты, кварц-гидрослюдистые с хлоритом метасоматиты и пропилиты. Нашиими полевыми исследованиями было подтверждено, что Маднеульская вулкано-купольная постройка размещена на склоне Далидагского палеовулкана, сложенного, помимо пирокластолитов андезито-дацитов, также покровами игнимбритов и лав риодакитов.

Важными и обязательными элементами рудоносной вулканоструктуры являются поздние гипабиссальные тела гранодиорит-порфиров, являющиеся, по-видимому, коматитами кампанского андезито-базальтового комплекса. На рис. 2 (одном из горизонтальных срезов месторождения) показано взаимоотношение руд и окорудных метасоматитов. Под игнимбритами и лавами куполов установлена следующая метасоматическая колонна: на верхних горизонтах и центральных частях – монокварциты, которые на глубине и флангах сменяются кварц-серицит-хлоритовыми метасоматитами, а последние – пропилитизированными и огипсованными (часто с андалузитом) туфитами. На месторождении отчетливо выделяются два рудных уровня: верхний баритополиметаллический с золотом в кварцитах и нижний – в основном сложенный медными (с пиритом) прожилково-вкрапленными рудами.

Следует подчеркнуть, что баритовые, баритополиметаллические и медные руды разобщены в пространстве и, вероятно, являются разновозрастными. Золотое оруденение во "вторичных кварцитах" является наиболее ранним. Остается впечатление, что интенсивные преобразования пород с образованием метасоматической колонны внутри купольной маднеульской структуры предшествовали основному рудному процессу. Рудоносный блок ограничен разломами СЗ и СВ простираций, которые являлись магмо- и рудовыводящими. По нашим данным [36], базальты района ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.0704910$) могли быть продуктами дифференциации неистощенной мантии, а риолиты маднеульского месторождения – продуктами верхней коры ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710269$). О коровом источнике риолитов и игнимбритов свидетельствует и установленные в них европеевые отношения (для риолитов = $\text{Eu/Eu}^* = 0.65-0.68$; игнимбритов – 0.52–0.58), а также обогащение пород легкими РЗЭ и крупноионными литофильными элементами – K, Rb, Ba, Sr [8].

По данным Т.Ш. Гогишвили [14], метасоматическими изменениями была охвачена практически вся Болниssкая вулканодепрессия (рис. 3). В палеодепрессии уверенно картируются метасоматические формации кислотного выщелачивания. Так, на представленной схеме в зоне кислотного выщелачивания выделяются вторичные кварциты (опал-алунитовые, кварц-гидрослюдистые, реже андалузит, кварц-серицитовые и кварц-серицит-хлоритовые); в зоне щелочного метасоматоза – кварц-адуляр-сериицитовые; в зоне кремнешелочного метасоматоза (пропилитах) – альбит-хлорит-пиритовые; альбит-хлорит-эпидот-гематитовые и альбит-хлорит-ангидритовые; в фельшпатоидах – кварц-калишпат-альбитовые, кварц-альбит-калишпат-хлоритовые, альбит-хлорит-адуляр-цеолитовые.

Распределения типоморфных слоистых силикатов, как и данные определения температур методом гомогенизации [2], свидетельствуют о наиболее высокотемпературных условиях минералообразования на уровне развития медных руд, где распространены слабо гидратированные слюды с высокотемпературной 2М политипной модификацией. На уровне развития барит-полиметаллических руд установлены гидротермальные слюды с низкотемпературной модификацией 1М.

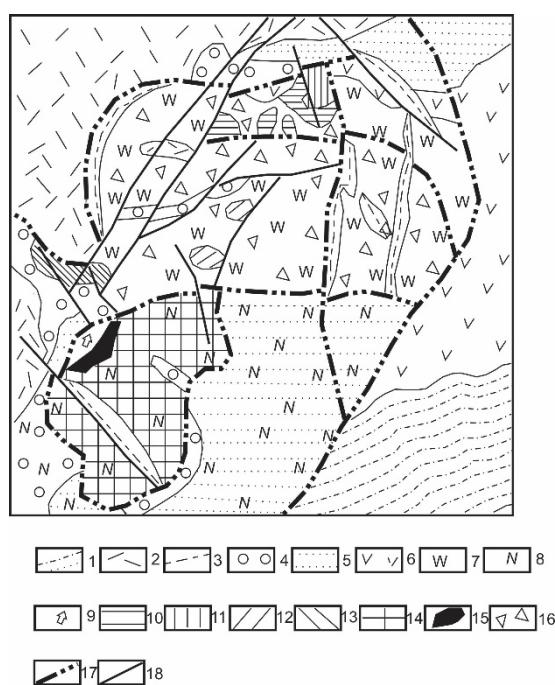


Рис. 2. Геолого-структурная карта карьера месторождения Маднеули:

- 1 – экструзия риодакитов;
- 2 – лавы риолитов;
- 3 – субвуликанические риолиты;
- 4 – витрокластические туфы;
- 5 – псаммо-псефитовые туффиты;
- 6 – агломератовые и псаммо-псефитовые ксенотуфы;
- 7 – вторичные кварциты;
- 8 – кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты;
- 9 – скопления гипса-ангидрита; руды:
- 10 – баритовые;
- 11 – массивные барит-свинцово-цинковые;
- 12 – прожилковые полиметаллические (с малой примесью барита или без него);
- 13 – прожилковые медно-цинковые;
- 14 – прожилково-вкрапленные медные;
- 15 – сплошные мелкозернистые колчеданные;
- 16 – эксплозивная брекция;
- 17 – пологие разрывы;
- 18 – близвертикальные разрывы

Нам представляется уместным привести геохимические данные по породам, вмещающим месторождение Рапу-Рапу (Филиппины), опубликованные в научной лите-

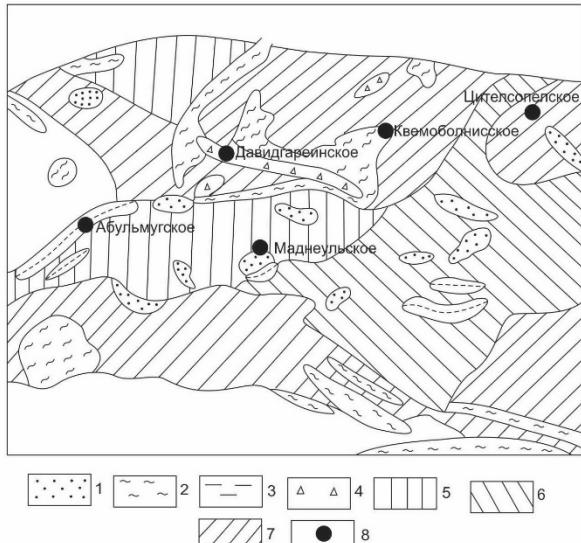
ратуре [38]. Массивные сульфидные залежи месторождения Рапу-Рапу пространственно ассоциируют с дациами, испытавшими зеленокаменное перерождение. Это месторождение относится к типу Куроко. В разрезе

юрской рудовмещающей толщи, помимо рудовмещающих дакитов, установлены мафические и кварц-полевошпатовые осадочные породы. Дакиты близки по своим химическим характеристикам к дакитам задугового бассейна Сумису; основные породы характеризуются низкими содержаниями TiO_2 ($\leq 0,9\%$) и Zr (40–50 ppm), низким отношением Zr/Y (2,5–3) и небольшим содержанием РЗЭ. Основные породы являются типичными представителями толеитов островных дуг и сопоставимы с миоценовыми андезито-базальтами месторождения Куроко и олигоценовыми базальтами дуги Фиджи. Исследователи полагают, что обогащенные РЗЭ вулканические породы месторождения Рапу-Рапу сформировались на стадии активного рифтогенеза океанической дуги или задугового юрского бассейна [38]. Любопытно, что на тех же Филиппинах известно месторождение Канатуан, которое сформировалось в обстановке незрелой дуги, что подтверждается резким уменьшением содержания легких РЗЭ в кислых и основных породах. Наши данные [36] свидетельствуют

о том, что отношения Zr/Y более высокие (для дакитов 9,5–11,2; для риолитов 2,7; для базальтов 3,7–4,1) и, вероятно, мы имеем дело с более зелой палеодугой.

В среднеюрских вулканитах Армении были размещены медные и барит-полиметаллические ныне отработанные месторождения – Алавердское, Шамлугское, Ахтальское, Кафанское. В Алавердском районе в разрезе среднеюрской толщи маломощные хемогенно-осадочные отложения сменяются сверху вниз гиалокластитами, скоплениями подводного коллювия, тефроидными турбидитами, лавами дакитов, андезитов и андезито-базальтов; рудовмещающая толща перекрыта позднеюрским вулканогенным комплексом [14].

Различия в характере руд отдельных сегментов палеостровной дуги проявляют прямую зависимость от геодинамических режимов функционирования вулканов. Отметим также, что на Малом Кавказе поиски гидротермально-осадочных залежей руд цветных металлов (подобных рудам месторождения Чаели, Турция) обречены на явную неудачу, поскольку здесь отсутствуют "геодинамические основания" для их накопления.



Заключение. В заключении обратим внимание на возможные условия формирования руд.

Представления о магматическом источнике флюидов вулканогенных месторождений в последние годы потеряли свою привлекательность из-за трудностей, связанных с необходимостью объяснения вовлечения в гидротермальный процесс значительных объемов воды. Сам механизм отделения флюидов из магматических камер мыслится как относительно кратковременное явление. "Следы" последнего в магматических (интрузивных) телах выражены автометасоматическими изменениями, равномерным распределением субмикроскопических индивидов окислов в межзерновом пространстве породообразующих минералов. Изотопно-geoхимические исследования склоняют исследователей к мысли о большой доле метеорных вод в гидросистемах вулканогенных месторождений [23, 25]. Экспериментальные работы [7, 34] по экстракции элементов из пород при РТ-условиях, соответствующих функционированию флюидов, допускают возможность рассмотрения магматических и осадочных образований в качестве источника металлов для вулканогенных месторождений.

На Малом Кавказе выполнен большой объем изотопно-geoхимических и термобарогеохимических исследований, на основании которых, а также литературных дан-

ных по другим регионам, мы можем утверждать, что вулканогенные (колчеданного типа) месторождения отличают следующие особенности:

1. Компонентный состав руд проявляет зависимость от петрохимических особенностей пород. Так, например, с андезито-базальтами и натриевыми риолитами ассоциирует медно-цинковая минерализация [17]. Было замечено, что рудоносные породы Срединно-океанических хребтов [21] включают сферические агрегаты окисно-рудных скоплений. В субшелочных эффузивах рифтовой долины Срединно-океанического хребта также обнаружены сульфиды в виде "капель" во вкрапленниках клинопироксена и полевого шпата [1]. Отсюда можно предположить, что некоторые из магматитов были изначально продуктивными.

2. В пределах рудных узлов пути миграции гидротерм обозначены изменениями минерального состава пород. В нисходящих ветвях проявлены аргиллизиты, а надинтрузивные и фланговые зоны масштабно пропилитизированы.

3. Барит-сульфидные руды во вторичных кварцитах проявляют (напр., на Маднеули) неярковыраженную вертикальную зональность. Штокверки медных и медно-цинковых руд часто перекрыты гипсоангидритовыми линзами, а перекрывающие их породы гематитизированы. Эта кар-

тина характерна и для гидротермально-осадочных залежей типа Куроко. Об этом писали еще в конце 60-х гг. прошлого столетия Т. Мацукаса и Е. Хорикоси [18].

4. По солености гидротермальные растворы близки к морской воде, но обогащены по сравнению с последней Fe, Ag, Pb, Cu и Zn [35]. Невысокая соленость – характерная особенность флюидов для зон современного рудообразования [3]. Этому не противоречат данные и по Малокавказским месторождениям [13, 14]. На Малокавказских месторождениях максимальная температура минералообразования установлена методом гомогенизации и равна 410–390 °C для медных, а для барит-полиметаллических – 280 °C [26]; давления соответствовали 150–200 барам (были использованы диаграммы, опубликованные в работе [39]). По данным Д. Аревадзе и В. Ярошевича [2, 26], выполнившим криометрические исследования газово-жидких включений в прозрачных минералах руд, на Маднеули соленость флюидов, отлагавших медные и барит-цинково-свинцовые руды, была низкой – менее 40 гр-экв NaCl на литр раствора. Растворы характеризовались хлоридно-сульфатным, калий-натриевым составом. Эти данные подтверждены и результатами химических анализов водных вытяжек из кварца, сульфидов и барита.

5. Как известно из научной литературы [4, 40], наиболее благоприятные условия для стабильного накопления руд гидротермально-осадочных залежей создавались на дне морских бассейнов, глубины которых колебались в пределах 2–3 км.

6. Данные по изотопному составу водорода и кислорода флюидных включений в кварце, барите и кальците вулканогенных барит-полиметаллических руд интерпретируются в пользу высокой доли участия метеорных вод в рудообразовательном процессе. В то же время метеорная вода для некоторых медных месторождений могла уступать магматогенной [17, 25, 26].

По материалам, собранным в Мировом океане [6, 10–12, 22], можно заключить, что масштабный рудогенез осуществляется в случае протекания последовательных процессов: 1) кристаллизации магм; 2) взаимодействия приобретших "агрессивность" нагретых поверхностных вод с магматитами (причем тепловым источником являются внедрившиеся в вулканогенно-осадочные комплексы интрузии); 3) стабильного функционирования физико-химического барьера в области разгрузки гидротерм (впадины морского дна или закрытые структуры приповерхностных зон земной коры).

Развитие и функционирование гидросистем в вулканических комплексах можно представить следующим образом: в начале в задуговых и интрандуговых палеобассейнах – в локальных депрессиях отлагались вулканогенно-осадочные образования (причем, как правило, вулканогенные породы были известково-щелочными); вслед за спадом вулканической деятельности (в период инверсии вулканоструктур) внедрялись интрузии, кристаллизация которых происходила на глубинах около 2 км от поверхности или 1 км от морского дна. Гидротермально-осадочные залежи сходны по минеральному составу и структуре с современными потухшими "черными курильщиками". В них минеральная зональность объясняется перераспределением рудообразующих компонентов в результате разрушения "рудных холмов" и их диффузии с нижних на верхние уровни [9, 32].

На Кармадегской островной дуге в вулканитах известны гидротермально-осадочные залежи типа Куроко [30]. По данным термогеохимических исследований солёность гидротермального раствора варьировала от 2,2 до 3,9 вес. % NaCl-экв. Температура гомогенизации колебалась от 175 до 322 °C. Мы привели этот пример, чтобы подчеркнуть стандартность физико-химических

условий формирования руд цветных металлов независимо от способа их отложения – эпигенетического или гидротермально-осадочного.

В условиях морского дна дестабилизация флюида происходит в связи с падением температуры и его окислением. Здесь допускается, с учетом состава взвесей, выбрасываемых "черными курильщиками" (пирит, пирротин, сфалерит), что металлы транспортировались в форме гидросульфитных комплексов. Уровни минералообразования эпигенетических месторождений в общих чертах сравнимы с зонами труб "черных курильщиков", граничные аномальные физико-химические параметры которых обусловили одновременную кристаллизацию ангидрита и сульфидов железа. Этим условиям отвечают зоны гидросистем с минимальными активностями кислорода, совпадающими с нижней границей устойчивости барита при равных активностях $H_2S-SO_4^{2-}$ [24, 25, 36].

Зональность в эпигенетических барит-сульфидных залежах вулканогенных месторождений объясняется комплексом причин: 1) большей зависимостью растворимости медных минералов от температуры по сравнению с растворимостью сфалерита и галенита или различной устойчивостью комплексных соединений [20, 25]; 2) зависимостью осаждения металла от концентрации S^{2-} : так, при равных концентрациях металлов в растворе для выпадения меди и цинка требуется более высокая концентрация H_2S , чем для свинца [5]. Следует учитывать и действие сероводородного барьера, эффективность которого определяется малыми концентрациями S^{2-} [15].

Несколько слов и об образовании золотоносных кварцевых прожилков на Маднеули. Как нам представляется, они были образованы одновременно с формированием эксплозивных брекчий (начальный период гидротермального коллапса). Выпадение золота, кварца и малых количеств сульфидов во вторичных кварцитах на Маднеули, видимо, происходило в период дестабилизации флюида магматогенной природы. Ч. Хеинрих [33], который изучал Cu-Au порфировые месторождения, отметил, что в условиях высоких температур магматические воды с невысокой соленостью способны транспортировать золото. А также то, что одним из главных условий транспортировки золота является достаточное количество H_2S . Магматические флюиды в условиях высоких давлений "сжижаются" в жидкость без гетерогенного фазового перехода, и их влияние на окружающую среду выражается калиевыми и пропилитовыми изменениями.

Список использованных источников

- Акимцев В.А. "Рудные" эфузивы борта рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта / В.А. Акимцев, В.Н. Шарапов // Докл. РАН. – 1993. – 331, № 3. – С. 329–331.
- Аревадзе В.А. Физико-химические условия формирования эндогенных месторождений Закавказья : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / В.А. Аревадзе. – Тбилиси : Мецниреба, 1989. – 54 с.
- Бортников Н.С. Современное сульфидное полиметаллическое минералообразование в мировом океане / Н.С. Бортников, И.В. Викентьев // Геология рудных месторождений. – 2005. – Т. 47, № 1. – С. 16–50.
- Габлина И.Ф. Ассоциации сульфидов меди в современных океанских рудах гидротермального поля Логачёв (Срединно-Атлантический хребет, 140451) / И.Ф. Габлина, Н.Н. Мозговая, Ю.С. Бородав, Т.В. Степанова, Г.А. Черкашев, М.И. Ильин // Геология рудных месторождений. – 2000. – Т. 42, № 4. – С. 329–349.
- Ганеев И.Г. Перенос вещества гидротермальными растворами / И.Г. Ганеев // Зап. Всесоюз. Минерал. об-ва. – 1989. – Вып. 1. – С. 3–16.
- Гринберг Г.А. Гидротермальное сульфидное оруденение в океане / Г.А. Гринберг, С.Г. Краснов, А.И. Айнемер, И.М. Порошина, Т.В. Степанова // Сов. геология. – 1990. – № 12. – С. 81–91.
- Гричук Д.В. Термодинамическая модель гидротермальной системы в океанической коре: оценки эволюции раствора / Д.В. Гричук, М.В. Борисов, Г.Л. Мельникова // Геология рудных месторождений. – 1984. – № 4. – С. 3–24.
- Гугушвили В.И. Коровы и мантийные источники мелового вулканизма и сульфидного рудообразования в Болниssком рудном районе / В.И. Гугушвили, М.А. Кекелия, Ч. Мун, М.П. Нацвалишивили // Тр. ГИН АН Грузии. – 2002. – Вып. 117. – С. 412–419.

9. Ельянова Е.А. Формирование состава и строения руд при современном и древнем колчеданообразовании / Е.А. Ельянова // Сов. геология. – 1989. – № 12. – С. 17–26.
10. Ельянова Е.А. Формирование современных и древних субмаринных колчеданых хруд: состав и строение / Е.А. Ельянова // Модели вулканогенно-осадочных рудообразующих систем: тез. докл. междунар. конф.; под ред. В.Е. Попова. – СПб., 1999. – С. 26–27.
11. Ельянова Е.А. Океанский рудогенез / Е.А. Ельянова, Е.Г. Мирлин // Сов. геология. – 1990. – № 6. – С. 47–55.
12. Зоненшайн А.П. Новая глобальная тектоника (тектоника плит) / А.П. Зоненшайн, А.А. Ковалёв (ред.). – М. : Мир, 1974. – 471 с.
13. Кекелия С.А. Геолого-генетические модели алпийских вулканогенных месторождений цветных металлов Средиземноморского металлогенического пояса / С.А. Кекелия, В.З. Ярошевич, И.П. Ратман // Геология и геофизика. – 1991. – № 8. – С. 71–79.
14. Кекелия С.А. Вулканогенные месторождения цветных металлов палеоостроводужных сооружений и методика их прогнозирования / С.А. Кекелия, А.Н. Амбокадзе, И.П. Ратман. – Тбилиси : Мецниереба, 1993. – 96 с.
15. Крайнов С.П. Геохимические условия осаждения цинка и свинца из рассолов седиментационных бассейнов на сульфидном барьере / С.П. Крайнов, Л.И. Матвеев, Г.А. Соломин // Геохимия. – 1988. – С. 1708–1719.
16. Кривцов А.И. Прикладная металлогенетика / А.И. Кривцов. – М. : Недра. – 1989. – 288 с.
17. Меднорудные месторождения – типы и условия образования / под ред. А.И. Кривцова, Ю.В. Богданова, М.Б. Бородаевской, А.Д. Геникина, Н.К. Курбанова, А.П. Лихачева, И.Ф. Мигачева. – М. : Недра, 1987. – 197 с.
18. Мацукама Т. Обзор месторождений Куроко в Японии / Т. Мацукама, Е. Хорикоси; под ред. Т. Тацуки // Вулканизм и рудообразование. – М. : Мир, 1973. – С. 129–151.
19. Монин А.С. История океана Тетис / под ред. А.С. Монина, Л.П. Зоненшайна. – М. : Ин-т океанологии, 1987. – 155 с.
20. Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений / Л.Н. Овчинников. – М. : Недра, 1988. – 255 с.
21. Прокопцев Г.Н. Образование металлоносных гидротерм на дне океана / Г.Н. Прокопцев, Н.Г. Прокопцев // Изв. Акад. наук СССР. Сер. геологическая. – 1990. – № 4. – С. 34–44.
22. Рона П. Гидротермальная минерализация областей спрединга в океане / П. Рона. – М. : Мир, 1986. – 160 с.
23. Синяков В.И. Общие рудогенетические модели эндогенных рудных формаций / В.И. Синяков. – Новосибирск : Наука, 1986. – 243 с.
24. Твалчрелидзе А.Г. Геохимические условия формирования месторождений массивных сульфидных руд / А.Г. Твалчрелидзе. – М. : Недра, 1987. – 188 с.
25. Франклайн Дж.М. Колчеданные месторождения вулканической ассоциации / Дж.М. Франклайн, Дж.У. Лайдон, Д.Ф. Сангстер; под ред. Б.С. Скиннера // Генезис рудных месторождений. – М. : Мир, 1984. – Т. 2. – С. 39–252.
26. Ярошевич В.С. Генетические особенности рудных формаций Кавказа по данным изотопных исследований : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / В.С. Ярошевич. – Тбилиси : Мецниереба, 1985. – 52 с.
27. Akçay M. Geology, mineralogy and geochemistry of the Çayeli massive sulfide ore deposit, Rize, NE Turkey / M. Akçay, M. Arar // In: A. Stanley (ed.), Mineral Deposits: Processes to processing, Balkema, Rotterdam. – 1999. – P. 459–462.
28. Altun Y. Geology of the Çayeli-Madenköy copper-zinc deposit and the problems related to mineralization / Y. Altun // Mineral Res. Expl. Bull., Ankara. – 1977. – V. 89. – P. 10–24.
29. Çakır Ü. Geological characteristics of the Aşıköy-Toykondu (Küre-Kastamonu) massive sulfide deposits / Ü Çakır // Mineral. Res. Expl. Bull., Ankara. – 1995. – V. 117. – P. 29–40.
30. De Ronde C.E.J. Hydrothermal fluids associated with seafloor mineralization at two southern Kermadec arc volcanoes, offshore New Zealand / C.E.J. de Ronde, K. Faure, C.J. Bray, D.A. Chappell, I.C. Wright // Mineralium Deposita. – 2003. – V. 38. – P. 217–233.
31. Güner M. Sulphide ores and geology of the Küre area Pontid in N Turkey / M.Güner // Mineral Research and Exploration Bulletin. – 1980. – V. 94. – P. 65–109.
32. Hannington M.D. Gold in sea-floor polymetallic sulfide deposits / M.D. Hannington, J.M. Peter, S.D Scott // Econ. Geol. – 1986. – V. 81. – P. 1867–1883.
33. Heinrich Ch.A. The physical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: a thermodynamic study / Ch.A. Heinrich // Mineralium Deposita. – 2005. – V. 39. – P. 864–889.
34. Hodgson C.L. The geological setting of the volcanicogenic massive sulfide deposits and active hydrothermal systems: some implications for explorations / C.L. Hodgson, S.M. Lyndon // Canadian Mining Metallurgical Bull. – 1977. – V. 70. – P. 95–106.
35. Mottl M.J. Chemical exchange during hydrothermal alteration of basalts seawater. Experimental results for Fe, Mn and sulfur species. / M.J. Mottl, H.D. Holland, R.F. Corr // Geochim. et acta. – 1979. – V. 43. – P. 869–884.
36. Kekelia S. Ore-forming systems in volcanicogenic-sedimentary sequences by the example of non-ferrous metal deposits of the Caucasus and Eastern Pontides, Ankara (Turkey) / S. Kekelia, M. Kekelia, Z. Otkhmezuri, Ch. Moon, N. Ozgür // Mineral. Res. Expl. Bull. – 2004 – V. 129 – P. 1–16.
37. Lethch Graig H.B. Mineralogy and textures of the Lakhnos and Kizilkaya massive sulphide deposits, Northeastern Turkey, and their similarity to Kuroko ores / H.B. Lethch Graig // Mineralium deposita. – 1981. – V. 16. – P. 241–257.
38. Sherlock R.L. Geological setting of the Rapu Rapu gold-rich volcanicogenic massive sulfide deposits, Albay Province, Philippines / R.L. Sherlock, T.I. Barret, P.D. Lewis // Mineralium deposita. – 2003. – V. 38. – P. 813–830.
39. Shepherd T.J. A practical guide to fluid inclusion studies / T.J. Shepherd, A.H. Rankin, D.H.M. Alderton. – Blaske, Glasgow and London, 1985. – 239 p.
40. Stackelberg I. Van and the shipboard scientific party. Hydrothermal sulfide deposits in backarc spreading centers in the Southwest Pacific / I.Stackelberg // BGC Circulaire. – 1985. – V. 27. – P. 3–14.
41. Ustaömer T. Late Paleozoic-Early Mesozoic marginal basins along the active southern continental margin of Eurasia: evidence from the Central Pontides (Turkey) and adjacent regions / T. Ustaömer, A.H.F.Robertson // Geological Journal. – 1993. – V. 120. – P. 1–20.

References

1. Akimtsev, V.A., Sharapov, V.N. (1993). "Ore" effusives of the rift valley of the Mid-Atlantic Ridge. Reports of the Russian Academy of Sciences, 331, 3, 329–331. [In Russian].
2. Arevaladze, V.A. (1989). Physico-chemical conditions of formation of endogenous deposits of Transcaucasus. Abstract for the doctoral thesis. – Tbilisi : Metsniereba, 54 p. [In Russian].
3. Bortnikov, N.C., Vikehtiev, I.V. (2005). Modern Polymetallic sulphide mineralization in the World's ocean. Geology of Ore deposits, 47, 1, 16–50. [In Russian].
4. Fablina, I.F., Mozgova, N.N., Borodaev, U.S., Stelanova, T.V., Cherkashew, G.A., Ilin, M.I. (2000). Association of copper sulfide ores in the modern ocean ore zones in hydrothermal field. Logachev (Mid-Atlantic Ridge, 140651). Geology of Ore deposits, 42, 4, 329–349. [In Russian].
5. Ganeev, I.G. (1989). Transfer of substance by hydrothermal solutions. Notes of Mineralogical Society of SSSR, 1, 3–16. [In Russian].
6. Grinberg, G.A., Krasnov, S.G., Ainemer, A.I., Poroshina, I.M., Stepanova, T.B. (1990). Hydrothermal sulfide mineralization in the ocean. Soviet Geology, 12, 881–891. [In Russian].
7. Grichuk, D.V., Borisov, M.V., Melnikova, G.L. (1984). Termodynamic model of hydrothermal system in the oceanic crust: assessment of the evolution of the solution. Geology of Ore deposits, 4, 3–24. [In Russian].
8. Gugushvili, V.I., Kekelia, M.A., Mun, Ch., Natvlishvili, M.P. (2002). The crust and mantle source of Cretaceous volcanism and sulfide mineralization in Bolnisi District. Trudi GIN AN of Georgia. New episode, 117, 412–419. [In Russian].
9. Elianova, E.A. (1989). Formation of composition and structure of the ore at the modern and ancient VMS system. Soviet geology, 12, 17–26. [In Russian].
10. Elianova, E.A. (1999). Formation in modern and ancient submarine VMS ore: composition and structure. Model volcano-sedimentary ore-forming system: abstracts to the International conference.Popov, V.E. (Ed.). Sant Peterburg, 26–27. [In Russian].
11. Elianova, E.A., Mirlin, E.G. (1990). Ocean ore-forming system. Soviet geology, 6, 47–55. [In Russian].
12. Zonenshain, A.P., Kovaliov, A.A. (1974).New global tectonic (paleo pectonic). M: Mir, 471 p. [In Russian].
13. Kekelia, S.A., Iaroshevikh, V.Z., Patman, I.P. (1974). Geological genetic model of Alpine nonferrous metals of the Mediterranean metallogenic belt. Geology and Geophysics, 8, 71–79. [In Russian].
14. Kekelia, C.A., Ambokadze, A.N., Ratman, I.P. (1984). Paleoisland olcanic deposits of nonferrous metals and methods of their prospecting. – Tbilisi : Mtsniereba, 96 p. [In Russian].
15. Krainov, C.P., Matveev, L.I., Solomin, G.A. (1988). Geochemical conditions of deposition of zinc and lead from brines of sedimentary basins on sulfide barrier. Geochemistry, 1704–1719. [In Russian].
16. Krivtsov, A.I. (1989). Applied metallogeny. – M. : Nedra, 288 p. [In Russian].
17. Krivtsov, A.I., Nogdanov, U.V., Borodavskaya, M.B., Genkin, A.D., Kurbanov, N.K., Likhachev, A.P., Migachev, I.F. (1987). Madneuli ore deposit – the type and depositional environment. – M. : Nedra, 197 p. [In Russian].
18. Matsukama, T., Khorikosi, E. (1973). Overview of Kuroko ore deposit in Japan. Tatsumi (Ed.) / Volcanism and ore formation. – M. : Mir, 129–151. [In Russian].
19. Monin, A.C., Zonenshain, L.P. (Ed.). (1987). History of ocean of Tethys. Moskov, Institute of Oceanology, 155 p. [In Russian].
20. Ovchinnikov, L.N. (1988). The formation of ore deposits. – M. : Nedra, 255 p. [In Russian].
21. Prokoptsev, G.N. (1990). The formation of metalliferous fluids on the ocean floor. Proceedings of the SSR Academy of Sciences, Geological series, 4, 34–44. [In Russian].
22. Rona, P. (1986). Hydrothermal mineralization in the spreading areas of the ocean. (1986). – M. : Mir, 160p. [In Russian].
23. Siniakov, V.I. (1986). General ore genetic model of endogenous ore formations. Novosibirsk: Nauka, 243 p. [In Russian].
24. Tvalchrelidze, A.G. (1987). The hydrothermal conditions of formation of massive sulfide ores. – M. : Nedra, 188 p. [In Russian].
25. Franklin, Dj.M., Laidon, Dj.U., Gangster, D.F. (1984). Volcanogenic massive sulfide deposits. Genesis of ore deposits. Skinner, B.S. (Ed.). – M.: Mir, 2, 39–252. [In Russian].

26. Iaroshevich, B.Z. (1985). Genetic features of ore formations of the Caucasus according to the isotope studies. Abstract of Candidate thesis. – Tbilisi : Metsniereba, 52 p. [In Russian].
27. Akçay, M., Arar, M. (1999). Geology, mineralogy and geochemistry of the Çayeli massive sulfide ore deposit, Rize, NE Turkey. In: A. Stanley (ed.), Mineral Deposits: Processes to processing. Balkema. – Rotterdam, 459–462.
28. Altun, Y. (1977). Geology of the Çayeli-Madenköy copper-zinc deposit and the problems related to mineralization. Ankara, Mineral Res. Expl. Bull., 89, 10–24.
29. Çakir, Ü. (1995) Geological characteristics of the Aşkıköy-Toykondu (Küre-Kastamonu) massive sulfide deposits, Mineral. Res. Expl. Bull., 117, Ankara, 29–40.
30. De Ronde, C.E.J., Faure, K., Bray, C.J., Chappell, D.A., Ian, C. Wright, I.C. (2003). Hydrothermal fluids associated with seafloor mineralization at two southern Kermadec arc volcanoes, offshore New Zealand. Mineralium Deposita, 38, 217–233.
31. Güner, M. (1980). Sulphide ores and geology of the Küre area Pontid in N Turkey. Mineral Research and Exploration Bulletin, 65–109.
32. Hannington, M.D., Peter, J.M., Scott, S.D. (1986). Gold in sea-floor polymetallic sulfide deposits. Econ. Geol, 81, 1867–1883.
33. Heinrich, Ch.A. (2005). The physical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: a thermodynamic study. Mineralium Deposita, 39, 864–889.
34. Hodgson, C.L., Lyndon, S.M. (1977). The geological setting of the volcanic massive sulfide deposits and active hydrothermal systems: some implications for explorations. Canadian Mining Metallurgical Bull, 70, 95–106.
35. Mottl, M.J., Holland, H.D., Corr, R.F. (1979). Chemical exchange during hydrothermal alteration of basalts seawater. Experimental results for Fe, Mn and sulfur species. Geochim et acta, 43, 869–884.
36. Kekelia, S., Kekelia, M., Otkhmezuri, Z., Moon, Ch., Ozgür, N. (2004). Ore-forming systems in volcanogenic-sedimentary sequences by the example of non-ferrous metal deposits of the Caucasus and Eastern Pontides, Ankara (Turkey), Mineral. Res. Expl. Bull, 129, 1–16.
37. Lethch Graig, H.B. (1981). Mineralogy and textures of the Lakhanas and Kizilkaya massive sulphide deposits, Northeastern Turkey, and their similarity to Kuroko ores. Mineral deposita, 16, 241–257.
38. Sherlock, R.L., Barret, T.I., Lewis, P.D. (2003). Geological setting of the Rapu Rapu gold-rich volcanogenic massive sulfide deposits, Albay Province, Philippines. Mineralium deposita, 38, 813–830.
39. Shepherd, T.J., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M. (1985). A practical guide to fluid inclusion studies. Blaske, Glasgow and London, 239 p.
40. Stackelberg, I., Van and the shipboard scientific party. (1985). Hydrothermal sulfide deposits in backarc spreading centers in the Southwest Pacific. BGC Circulair, 27, 3–14.
41. Ustaömer, T., Robertson, A.H.F. (1993). Late Paleozoic-Early Mesozoic marginal basins along the active southern continental margin of Eurasia: evidence from the Central Pontides (Turkey) and adjacent regions. Geological Journal, 120, 1–20.

Надійшла до редколегії 29.05.17

S. Kekelia, Dr Sci (Geol.-Min.), Chief scientific researcher

Email: sergokekelia@yahoo.com, tel: +995 592 082390,

M. Kekelia, Dr Sci (Geol.-Min.), Head of department

Email: kekelia33@yahoo.com, tel: +995 599716984,

N. Popkhadze, PhD (Geol.), Scientific researcher

Email: nino_popkhadze@yahoo.com, tel: +995 599161694,

N. Gagnidze, PhD (Geol.), Scientific researcher

Email: nonagagnidze@gmail.com, tel: +995 595515286

Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

Al. Janelidze Institute of Geology, 31, Politkovskia Str., Tbilisi, 0186, Georgia

**THE VOLCANOGENIC DEPOSITS OF NON-FERROUS METALS
OF PALEOISLAND ARC ENVIRONMENT ASSOCIATED WITH WALL ROCK ALTERATIONS OF HOST ROCKS
AND PROBLEMS OF ORE GENESIS
(on the example of ore districts in Georgia, Armenia and Turkey)**

The goal of our work is the study of ore wall rock zones of the volcanogenic deposits of non-ferrous metals of paleo-island arc environment (on the example of Madneuli ore deposit) and determination of the conditions of their formations using geochemical and geothermobarometric investigations. Methods: the mapping of the open pit of Madneuli deposit, determination of the content of trace elements by ICP-MS, in the US Geological Survey and Caucasian Institute of Mineral Resources chemical geothermobarometry investigations were held and the isotopic composition of oxygen and hydrogen in the ore was determined. The results: the structural features of ore deposits, character of ore wall rock zones were identified, mineral composition of metasomatic rocks was defined and the multistage formation of deposits was proved. Scientific novelty: at the end the conclusion (including some scientific ideas about the genesis of ore deposits) about genesis of volcanogenic deposits of Alpian paleo-island arc environment taking into account the studies of geothermobarometry investigations by the authors was given. Practical significance: described features of ore wall rock zones can be successfully used in other regions of the world in order to find new volcanogenic ore deposits.

Keywords: Caucasus, Volcanogenic deposits, structure, non-ferrous metals, metasomatic alterations.

С. Кекелія, д-р геол.-мінерал. наук, голов. наук. співроб.

E-mail: sergokekelia@yahoo.com, тел: +995 592082390,

М. Кекелія, д-р геол.-мінерал. наук, зав. Відділом

E-mail: kekelia33@yahoo.com, тел: +995 599716984,

Н. Попхадзе, аkad., д-р з геології, наук. співроб.

E-mail: nino_popkhadze@yahoo.com, тел: +995 599 161694,

Н. Гагнідзе, аkad., д-р з геології, наук. співроб.

E-mail: nonagagnidze@gmail.com, тел: +995 595 515286

Тбіліський державний університет ім. І. Джавахішвілі

Геологічний інститут, вул. Паліковської, 31, м. Тбілісі, 0186, Грузія

**ВУЛКАНОГЕННІ РОДОВИЩА КОЛЬРОВИХ МЕТАЛІВ ПАЛЕООСТРОВОДУЖНИХ СПОРУД
І ПРОБЛЕМИ ГЕНЕЗИСУ РУД
(на прикладіrudних об'єктів Грузії, Вірменії та Туреччини)**

Мета: вивчення окорудного простору вулканогенних родовищ кольорових металів палеоостроводужних споруд (на прикладі Маднеульського родовища) і визначення умов їхнього формування з використанням геохімічних і термобарогеохімічних досліджень.

Методи: виконано картування кар'єру Маднеульського родовища, визначено вміст рідкісних і розсіяних елементів на пристрії ICP-MS, у Геологічній службі США і Кавказькому інституту мінеральної сировини проведено термобарогеохімічні дослідження та визначено ізотопний склад кисню і водню в рудах.

Результати: виявлено структурні особливості родовища, характер окорудного простору, визначено мінеральний склад метасоматитів і доведено багатоетапність формування родовищ.

Наукова новизна: висловлено міркування про генезис вулканогенних родовищ алпійських палеоостроводужних споруд з урахуванням виконаних авторами термобарогеохімічних досліджень, а також із застеженням існуючих у науковому світі уявлень про генезис родовищ.

Практична значимість: описані особливості окорудного простору можуть бути з успіхом використані в інших регіонах світу для пошуку родовищ вулканогенного класу.

Ключові слова: Кавказ, вулканогенні родовища, структура, кольорові метали, метасоматичні зміни.