

К.М.Мурадян

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД СРЕДНЕЗОННОГО
РУДНОСНЫХ ВУЛКАНОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ШАМШАДТНОГО
РУДНОГО РАЙОНА АРМЯНСКОЙ ССР

В проблеме изучения рудовосности вулканогенных (и интрузивных) формаций, комплексов и фаций островных дуг киммерийского и альпийского этапов Малого Кавказа вопросы геохимии являются менее разработанными и представляют собой первоочередную актуальную задачу. Путем изучения геохимических особенностей геологических, магматических формаций, применяя методы математической статистики и теории вероятности в целом, могут быть: выработаны критерии о связи с ними процессов рудообразования; определены данные об источниках рудного вещества; оценены закономерности коррелятивного распределения элементов в различных комплексах и фациях пород; выявлены геохимическая и металлогеническая специализации в процессе эволюции первичных магматогенно-рудно-метасоматических систем — зависимости от типов очагов и извержений вулканов в ходе направленной дифференциации или ликвации исходных магм и т.д. Если в области исследования интрузивных пород Армянской ССР и Малого Кавказа в целом, они были начаты в ранних этапах (С.И.Баласания, Б.М.Меликсетян, Г.А.Казарян, Г.М.Мкртчян, Р.Л. Мелконян, В.О.Пароникян, Г.В.Мустафаев и др.), то в вулканогенных комплексах, фациях они были детально разработаны в последние годы Г.А.Казаряном, В.О.Пароникяном, Л.В.Оганесяном, А.И.Карапетяном, А.Х.Мнацаканяном, Р.Т.Джрбашяном, К.М.Мурадяном и др.

Первые попытки в этом направлении были сделаны автором /1/ в 1966 г., изучившим геохимические и акцессорно-минералогические особенности среднезональных пород и установившим на примере Базумского рудного района Армянской ССР обеднение рудогенными элементами (Cu, Zn, Pb, Ag) продуктив-

ных на колчеданное оруденение дифференцированных вулканогенных комплексов. В Алавердском рудном районе детальные исследования (Р.Л.Мелконян, Г.Г.Мирзоян и др.) кислых интрузивных и вулканогенных формаций, комплексов и фаций, при эволюции магматических очагов (J_2 и $J-K_1$ этапов) также привели к выводу об "отсутствии" геохимической специализации, обеднение одних — медью, цинком и обогащение других — свинцом, рудогенными элементами, продуктивных на медноколчеданное, колчеданно-баритно-полиметаллическое оруденение, по сравнению с основными и средними их разновидностями.

Материалом для изучения геохимических особенностей пород среднеюрских вулканогенных комплексов и фаций Шампадинского рудного района послужили результаты количественных спектральных анализов пород из фаций и комплексов отдельных рудных полей. При этом нами ставились задачи проанализировать изменение концентраций Cu , Zn , Pb , Ag , Ni , Co в дифференцированных (см. табл. I) вулканогенных и интрузивных породах/от Б-АБ-А до РД-Р, Г-ЛГ) с целью выявления поведения рудообразующих элементов в процессе ретроспективной гомодромной эволюции вулканизма (при смене метаматматической сульфуризации толеитовых пород к известково-щелочной серии) рассматриваемого рудного района. Для выяснения характера распределения элементов-примесей в породах и минералах отдельных фаций и комплексов, и для сравнения вулканогенных и интрузивных комплексов, было использовано 600 анализов коренных пород (точечных и площадных проб) и 115 анализов акцессорных, породообразующих и рудных минералов, а также основной массы. Результаты анализов пород и минералов сравнивались с кларками этих элементов в соответствующих типах пород по А.П.Виноградову (табл. I).

В настоящее время при металлогенических исследованиях выдвигается на передний план определение местного геохимического фона для выявления и сопоставления специализированных потенциально рудоносных магматических комплексов. С этой целью нами с помощью обработки геохимического материала вероятностно-статистическими математическими методами был высчитан местный геохимический фон (кларк) наиболее характерных для металлогении исследуемого района эле-

Таблица I

Оценки параметров распределения основных металлических элементов в породах мезозойских-среднеюрских вулканогенных и интрузивных комплексов и фаций Камчатского рудного района.

№ пп	Наименование комплексов пород и фаций	Индекс	М е д ь			Ц и н к		
			N	χ^2	E	N	χ^2	E
I	Риодацит-риолитовый (РР-Р)	I	70	$\frac{8.10^{-3}}{2.10^{-3}}$	1,45	69	$\frac{2.8.10^{-3}}{6.10^{-3}}$	1,41
	Поверхностная фация (П)	I-I	20	$\frac{7.7.10^{-3}}{2.10^{-3}}$	1,51	19	$\frac{2.8.10^{-3}}{6.10^{-3}}$	1,38
	Жерловая фация (Ж)	I-2	20	$\frac{7.5.10^{-3}}{2.10^{-3}}$	1,26	20	$\frac{2.8.10^{-3}}{6.10^{-3}}$	1,37
	Субвулканическая фация (С)	I-3	30	$\frac{8.2.10^{-3}}{2.10^{-3}}$	1,36	30	$\frac{2.8.10^{-3}}{6.10^{-3}}$	1,48
I. I	Гидротермально-измененные риодацит-риолитовые породы:	II	39	$\frac{6.8.10^{-3}}{2.10^{-3}}$	1,26	40	$\frac{2.7.10^{-3}}{6.10^{-3}}$	1,85
	Поверхностная, промежуточная фация	II-I	24	$\frac{5.5.10^{-3}}{2.10^{-3}}$	1,38	24	$\frac{2.2.10^{-3}}{6.10^{-3}}$	1,39
	Жерловая фация	II-2	15	$\frac{7.2.10^{-3}}{2.10^{-3}}$	1,23	16	$\frac{2.9.10^{-3}}{6.10^{-3}}$	2,46
2	Базальт, андезитобазальт, андезитовый (Б-АБ-А)	III	48	$\frac{15.10^{-3}}{5.5.10^{-3}}$	1,85	47	$\frac{4.3.10^{-3}}{7.2.10^{-3}}$	1,49
	Поверхностная фация (П)	III-I	14	$\frac{12.10^{-3}}{5.5.10^{-3}}$	1,95	14	$\frac{4.3.10^{-3}}{7.2.10^{-3}}$	1,66
	Жерловая фация (Ж)	III-2	18	$\frac{15.10^{-3}}{5.5.10^{-3}}$	1,77	17	$\frac{5.2.10^{-3}}{7.2.10^{-3}}$	1,29
	Субвулканическая фация (С)	III-3	16	$\frac{12.10^{-3}}{5.5.10^{-3}}$	2,20	16	$\frac{3.7.10^{-3}}{7.2.10^{-3}}$	1,24
3.	Гранит-лейкогранитовый (Г-ЛГ)	IV	19	$\frac{12.10^{-3}}{2.10^{-3}}$	2,20	19	$\frac{3.10^{-3}}{6.10^{-3}}$	1,51

Продолжение таблицы I

Свинец			Серебро			Никель			Кобальт		
N	Xф	Е	N	Xф	Е	N	Xф	Е	N	Xф	Е
70	$\frac{1.6 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}}$	1,57	70	$\frac{4 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}}$	1,48	68	$\frac{23 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-4}}$	1,60	68	$\frac{2.5 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}}$	1,67
20	$\frac{1.9 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}}$	1,51	20	$\frac{4 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}}$	1,52	20	$\frac{24 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-4}}$	1,60	20	$\frac{2.3 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}}$	1,48
20	$\frac{1.5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}}$	1,47	20	$\frac{4 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}}$	1,49	18	$\frac{25 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-4}}$	1,59	18	$\frac{2.6 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}}$	1,86
30	$\frac{1.8 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}}$	1,58	30	$\frac{4 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}}$	1,43	30	$\frac{22 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-4}}$	1,65	30	$\frac{2.3 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}}$	1,67
41	$\frac{1.5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}}$	1,50	43	$\frac{4 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}}$	2,95	43	$\frac{16 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-4}}$	1,85	38	$\frac{1.4 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}}$	1,65
26	$\frac{1.5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}}$	1,45	27	$\frac{4 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}}$	2,82	27	$\frac{16 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-4}}$	1,94	22	$\frac{1.4 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}}$	1,73
15	$\frac{1.6 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}}$	1,58	16	$\frac{4 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}}$	3,28	16	$\frac{15 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-4}}$	1,71	16	$\frac{1.3 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}}$	1,51
48	$\frac{1.9 \cdot 10^{-3}}{1.5 \cdot 10^{-3}}$	1,88	48	$\frac{7 \cdot 10^{-6}}{7 \cdot 10^{-6}}$	1,68	49	$\frac{8.0 \cdot 10^{-3}}{5.5 \cdot 10^{-3}}$	2,03	49	$\frac{0.8 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}}$	3,38
15	$\frac{1.8 \cdot 10^{-3}}{1.5 \cdot 10^{-3}}$	2,02	15	$\frac{6 \cdot 10^{-6}}{7 \cdot 10^{-6}}$	1,30	15	$\frac{7.4 \cdot 10^{-3}}{5.5 \cdot 10^{-3}}$	2,22	15	$\frac{0.7 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}}$	2,41
18	$\frac{2.2 \cdot 10^{-3}}{1.5 \cdot 10^{-3}}$	2,14	18	$\frac{8 \cdot 10^{-6}}{7 \cdot 10^{-6}}$	1,94	18	$\frac{8.3 \cdot 10^{-3}}{5.5 \cdot 10^{-3}}$	1,86	18	$\frac{1.1 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}}$	2,51
15	$\frac{1.7 \cdot 10^{-3}}{1.5 \cdot 10^{-3}}$	1,39	15	$\frac{8 \cdot 10^{-6}}{7 \cdot 10^{-6}}$	1,88	16	$\frac{8.4 \cdot 10^{-3}}{5.5 \cdot 10^{-3}}$	1,87	16	$\frac{0.7 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}}$	3,61
19	$\frac{1.6 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}}$	1,43	18	$\frac{6 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}}$	1,19	16	$\frac{33 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-4}}$	1,94	19	$\frac{2.4 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}}$	1,64

N - Количество проб, по которым определялась величина геохимического фона; Xф(Мк) - Местное значение геохимического фона (в числителе кларк) в весовых %; Е (s) - Стандартный множитель (стандартное или среднеквадратическое отклонение).

Примечание - кларки приведены для кислых, средних и основных пород по данным А.П.Виноградова (1962).

ментов-индикаторов: меди, цинка, свинца, серебра, никеля, кобальта и др.

Определение местного геохимического фона химических элементов в различных горных породах является одной из основных задач при металлогенических исследованиях, так как каждый анализ горной породы характеризуется случайным значением содержания в нем тех или иных элементов. При объективной оценке местного клира методом математической статистики становится возможным выявление геохимических особенностей вулканогенных пород (комплексов, фаций) исследуемого района. Обработка полученных аналитических данных методами математической статистики дает также возможность определить вероятностный закон их распределения, позволяет установить наиболее вероятное значение измеряемых величин ($\bar{x}_f, \bar{y}_f$) и пределы их колебаний $\pm s, \pm \epsilon$ (стандартное отклонение при нормальном распределении, стандартный множитель при логнормальном распределении).

Из вышесказанного вытекает, что применение математических методов обработки геохимических информации, значительно повышает достоверность полученных результатов и позволяет осуществить объективную их интерпретацию с петрографическими и петрохимическими данными.

Ниже рассматриваются геохимические особенности пород, составляющих магматические (вулканогенные, вулканогенно-интрузивные) формации, комплексы и фации Шамшидинского рудного района (табл. I).

Содержание элементов, как было констатировано, в пробах из коренных относительно свежих и гидротермально измененных породах определялось методом количественного спектрального анализа. Исходя из металлогенической специализации исследуемого рудного района, нами был определен местный геохимический фон; рассмотрены оценки параметров, закономерности распределения основных металлических элементов (меди, цинка, свинца, серебра, никеля и кобальта) в вышеуказанных породах (см. табл. I). Отдельные фации и комплексы пород охарактеризованы фоновым содержанием и стандартным отклонением отмеченных элементов. Последний показатель имеет важный геохимический смысл, т.к. характеризует степень неравномерности распределения элемента в данной среде. В настоящее время на примере палеозойской колчеданоносной провинции Урала, Рудного Алтая установлено, что степень неравномер-

ности распределения элементов в породах возрастает под воздействием процессов анатексиса и метаматматической сульфуризации. (Овчинников, Баранов, Еабин, Гладких и др.) Степень неравномерности распределения элементов при этом является также показателем условий формирования пород. В частности, в хорошо дифференцированных магматических комплексах отдельные элементы распределены более неравномерно, чем в слабо дифференцированных породах (см. табл. I).

Наблюдаемые средние (фоновые) содержания элементов в породах и степень неравномерности их распределения (величина стандартного отклонения) являются величинами интегральными, т.е. отражают конечный результат формирования пород и дальнейших их изменений, обусловленных различными эндогенными факторами и в том числе процессами рудообразования.

Методика обработки результатов наблюдений

Содержание любого химического элемента в породе может быть рассмотрено как значение случайной величины, т.к. до анализа пробы предугадать результат невозможно. В лучшем случае можно на числовой оси указать некоторый интервал, в пределах которого окажется содержание данного элемента в исследуемой пробе.

Многочисленные исследования последних лет показали, что содержание элементов в горных породах могут быть аппроксимировано нормальным или логарифмически нормальным (логнормальным) функциями распределения случайных величин (Н.К.Разумовский, Д.А.Родионов, В.Н.Бондаренко, Р.Шторм и др.). Различие между двумя отмеченными функциями распределений заключается только в том, что в первом случае нормальным распределением аппроксимируется натуральное значение изучаемого свойства (в данном случае содержание какого-либо элемента в определенных горных породах), а во втором случае этой же функцией удовлетворительно описываются логарифмы значений натуральных величин. Причем логнормальное распределение является более общим.

Нормальное (логнормальное) распределение определяется двумя параметрами: α - математическим ожиданием и σ - среднеквадратическим отклонением. Поскольку значения α и σ в большинстве случаев не могут быть вычислены без погрешностей, то на практике ограничиваются вычислением этих оценок-параметров, каковыми соответственно являются $\bar{x}$ (или $\tilde{x}$) - среднеарифметичес-

ное (среднегеометрическое) значением изучаемых величин и S (или E) - стандартное (или среднее квадратическое) отклонение (стандартный множитель) эмпирического ряда распределения. S^2 - дисперсия.

Учитывая, что распределение элементов лучше аппроксимируется логнормальным законом (что подтверждается критерием согласия χ^2 Пирсона, при уровне значимости $\alpha = 0,05$) все расчеты велись в логарифмах с последующим антилогарифмированием полученных значений $\lg \bar{x}$ и $\lg S$. В результате были получены среднегеометрические (фоновые χ_{ϕ}) значения содержания элементов в пробах $\bar{x} = \chi_{\phi}$ и величина стандартных множителей E .

Нами принималось во внимание правило трех сигм, которое гласит, что практически все значения (точнее 99,73%) нормально распределенной случайной величины должны укладываться в интервале $\bar{x} \pm 3S$ (для логнормального распределения в интервале $\bar{x} \cdot E^{\pm 3}$).

В случае несоблюдения этого правила из выборок были последовательно исключены выходящие за пределы указанного интервала значения и заново определены χ_{ϕ} и E . Это продолжалось до тех пор, пока не было достигнуто выполнение правила трех сигм. Поскольку содержание элемента в пробе является случайной величиной, то оценки параметров эмпирического распределения (χ_{ϕ} и E) тоже являются величинами случайными. Следовательно, сравнение соответствующих оценок, полученных для различных выборок может быть осуществлено методами проверки статистических гипотез (Е.С.Вентцель, Н.В.Смирнов, И.В.Дунин-Барковский, Р.Л.Миллер, Дж.С.Кан, Р.Шторм и др.).

Для сравнения дисперсий нами использован критерий Фишера

$$(F): F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

где S_1^2 - большая из двух (S_1^2, S_2^2) сравниваемых значений оценок дисперсий. В случае подтверждения однородности (равенства) сравниваемых дисперсий проверка гипотезы о равенстве средних содержаний (фоновых значений) элементов осуществлялась при помощи критерия Стьюдента (t):

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}}$$

где: $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ сравниваемые фоновые значения элементов;
 N_1 и N_2 - объем сравниваемых выборок. В тех случаях, когда гипотеза о равенстве дисперсии при помощи критерия Фишера опровергалась, для сравнения фоновых значений был использован критерий, предложенный А.Д.Родионовым. В вышеприведенных выражениях: $\bar{x}_1 = 1/g \bar{x}_1$; $\bar{x}_2 = 1/g \bar{x}_2$; $S_1^2 = 1/g S_1^2$; $S_2^2 = 1/g S_2^2$. Полученные наблюдаемые значения t_H и F_H сравнивались с их соответствующими табличными значениями t_T и F_T (Н.В.Смирнов, И.В.Дунин-Барковский, Митрапольский, Р.Шторм и др.) при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Таким образом осуществлялась проверка нулевых гипотез:

$$H_0 : S_1^2 = S_2^2$$

$$H_0 : \chi_{\Phi}^{(1)} = \chi_{\Phi}^{(2)}$$

Нулевая гипотеза принималась, если $t_H < t_T$ (при сравнении фоновых значений) или $F_H < F_T$ (при сравнении дисперсий). В противном случае нулевая гипотеза опровергалась. Функции распределения элемента в сравниваемых выборках применялись равными в случае совместного подтверждения гипотез о равенстве дисперсий и средних значений.

Закономерности распределения элементов

Ниже рассмотрим геохимическое поведение отдельных металлических элементов:

М е дь. Результаты анализа данных таблицы I (рис. I, 2) позволяют заключить, что содержание (местный кларк) меди во всех комплексах пород значительно превышает кларковые значения, причем наиболее высокими концентрациями отличаются породы риодацит-риолитового комплекса и их гиповулканические-гипабиссальные интрузивные разности (гранит-лейкограниты, таблица I). Заметных аномальных значений показателя степени неравномерности распределения меди в различных комплексах пород и фациях не наблюдается. Чувствительность спектрального анализа на медь составляет 0,0001%. Наличие меди установлено почти во всех пробах. Примесь меди характерна для всех породообразующих и акцессорных минералов рассматриваемых комплексов и фаций. О формах нахождения этого элемента мы можем судить по дан-

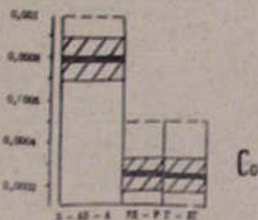
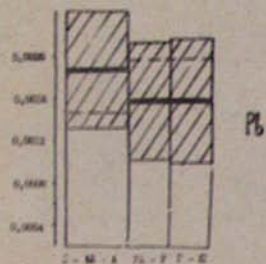
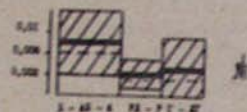
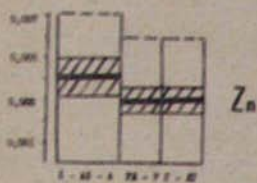
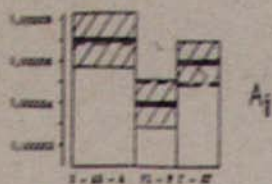
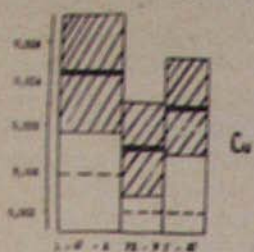
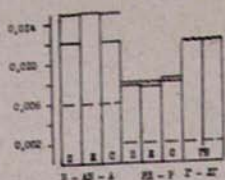
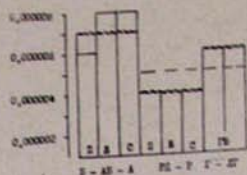


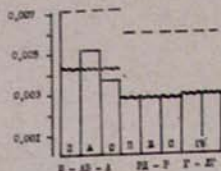
Рис. 1. Распределение рудных элементов (и некоторых элементов группы железа) в средневерских вулканогенных (Б-АБ-А - ГД-Р) и интрузивных (Г-Д) комплексах. Условные обозначения: сплошной линией (извилистой на рис. 2) показаны средние содержания ("местный кларк"); пунктирной линией показаны величины кларков элементов для кислых, средних и основных пород (по А.П.Виноградову, 1962). Штриховкой указаны доверительные границы.



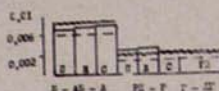
Cu



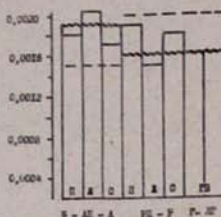
Ag



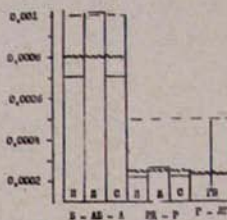
Zn



Li



Pb



Co

Рис. 2. Распределение рудных элементов (и некоторых элементов группы железа) в отдельных фациях (покровной - П, зерновой - З, субвулканической - С, гнейзовулканической - ГВ, табл. I) пород оранжеевских вулканогенных (Б-АБ-А - РИ-Р) и интрузивных (Т-П) комплексов. Условные обозначения те же, что на рис. I.

ним изучении искусственных проб и количественных спектральных анализов ряда акцессорных и породообразующих минералов. В искусственных пробах медь присутствует в виде халькопирита и самородной меди. Главная же масса меди в породах риодацит-риолитового комплекса содержится: в титаномагнетитах (магнетитах) 0,019-0,024%, в интрателлурических кварцах - 0,0001%, в плагиоклазах - 0,001% и в основной массе - 0,001% (поверхностная фация); в титаномагнетитах (магнетитах) - 0,01-0,065%, в кварцах 0,0001-0,01%, в плагиоклазах 0,0003-0,01% и в основной массе 0,0003-0,01% (жерловая фация); в титаномагнетитах (магнетитах) 0,01-0,07%, в кварцах 0,0006-0,0009%, в плагиоклазах 0,0002-0,0004% и в основной массе 0,0004-0,0006% (субвулканическая фация); а также в виде примесей титаномагнетитах-магнетитах 0,021-0,35%, в кварцах 0,0001-0,0011% гиповулканической-гипабиссальной фации. Такие закономерности распределения содержания меди (от более ранних минералов к более поздним), в магматическом очаге, породившем последовательно дифференцированные колчеданоносные вулканогенные комплексы ($B-AE-A=15 \cdot 10^{-3}$ до $PD-P=8 \cdot 10^{-3}$) свидетельствуют о том, что часть акцессорной меди была захвачена еще в магматическую стадию и, следовательно, исходная магма (известково-щелочная серия с толентовской тенденцией), из которой образовались породы отдельных фаций рассматриваемых комплексов, была обогащена медью (табл. I).

Ц и н к. Местный геохимический фон цинка почти во всех породах примерно в два раза ниже кларковых значений (по А.В. Виноградову, для кислых пород - 0,006%) и составляет 0,0028% (PD, P), 0,0043% (B-AE-A). Распределение этого элемента характеризуется высокой и очень близкой для различных фациальных типов пород равномерностью (табл. I, рис. 1, 2). Только жерловая фация гидротермально измененных риодацит-риолитовых пород отличается сравнительно более высокой степенью неравномерности распределения цинка. Геохимическая характеристика этого элемента тесно связана с поведением Mg^{2+} , Fe^{2+} , что приводит к накоплению цинка в минералах этих элементов. Например, в титаномагнетите (магнетите) содержится 0,042% (поверхностная фация), 0,1-0,32% (жерловая фация), 0,01-0,075% (субвулканическая фация) и 0,018-0,024% (гиповулканическая-гипабиссальная). А в кварцах, плагиоклазах и основной массе содержание цинка 0,005%

(почти во всех фациальных разновидностях; только в гипабиссальных фациях - 0,008% (в кварцах)). Результаты приведенных анализов, а также наличие акцессорного сфалерита, самородного цинка, говорят о наличии цинка в породах риодацит-риолитового комплекса еще в родоначальную магматическую стадию.

С в и н е ц и с е р е б р о. Фоновые значения этих элементов почти совпадают с кларками (см. табл. I). Распределение этих элементов достаточно равномерно во всех породах. Небольшим превышением степени неравномерности распределения серебра отличаются гидротермально измененные риодацит-риолитовые породы.

Местный кларк свинца в риодацит-риолитовых образованиях составляет 0,0016%, в поверхностной, жерловой, субвулканической фациях соответственно: 0,0019%, 0,0015%, 0,0018%, что соответствует кларку этого элемента - 0,002% для кислых пород.

Наличие свинца установлено в 90% всех проанализированных акцессорных и породообразующих минералов. Свинец присутствует в виде акцессорного галенита и самородного свинца. Свинец установлен в титаномagnetите (магнетите) риодацит-риолитового комплекса соответственно в фациях: поверхностной - 0,0018%, жерловой - 0,0013-0,0042%, субвулканической - 0,0024-0,0075%. Сравнительно небольшая концентрация свинца обнаружена в интрателлурическом кварце: 0,0006-0,001% (жерловая, субвулканическая фация), в основной массе: 0,0006-0,0012% (жерловая фация), 0,0006-0,0009% (субвулканическая фация). В гипабиссальном-интрузивном комплексе свинец установлен в титаномagnetите-магнетите: 0,001-0,002%.

Содержание серебра в породах различных фаций риодацит-риолитового комплекса в подавляющем большинстве случаев находится ниже и в пределах чувствительности анализа. В редких случаях оно превышает этот предел. В титаномagnetите-магнетите риодацит-риолитового комплекса установлено серебро в $56 \cdot 10^{-7}$ - $75 \cdot 10^{-7}\%$ (поверхностная-субвулканическая фация). В породах базальт, андезит-базальт, андезитового комплекса содержится: свинца $1,9 \cdot 10^{-3}\%$, серебра $7 \cdot 10^{-6}\%$.

Из вышеизложенного вытекает, что геохимическая специализация пород различных фаций риодацит-риолитового и др. комплексов выражается в существовании металлических элементов (медь, цинк, свинец, серебро) в виде собственных акцессорных минералов и в

присутствии их в виде примесей в первичных акцессорных и породообразующих минералах, что свидетельствует о богатстве исходной ("родоначальной") последовательно дифференцированной магмы этими элементами /3/.

Н и к е л ь. Из анализа вышеприведенной таблицы I и рис. 1, 2 вытекает, что во всех породах, кроме пород базальт, андезито-базальт-андезитового комплекса, содержание никеля заметно выше кларковых. Породы базальт, андезито-базальт-андезитового комплекса содержат никель в количествах, сопоставимых (или незначительно превышающих) с кларковыми значениями. Этот элемент распределен во всех породах достаточно равномерно.

К о б а л ь т. В отличие от никеля содержание кобальта в 2-3 раза ниже по сравнению с соответствующими кларковыми значениями (см. табл. I и рис. 1, 2). Здесь тоже выделяется базальт, андезито-базальт-андезитовый комплекс с близкларковыми значениями содержания элемента. Причем этот комплекс пород характеризуется также в некоторой степени повышенными значениями показателя неравномерности распределения кобальта.

Сравнительная характеристика распределения элементов

Представляет определенный интерес сопоставление особенностей распределения рассмотренных выше элементов в породах Шамшадинского рудного района (см. табл. I и рис. 1, 2). Породы рудного района характеризуются резко повышенным значением фонов меди и никеля. Обратная тенденция наблюдается для цинка и кобальта. В гидротермально измененных породах четких тенденций не обнаруживается. Здесь происходит заметное (1,5-2 раза) снижение содержания никеля, кобальта и лишь незначительное уменьшение содержания меди, отчасти свинца. При этом заметно выраженных изменений в степени неравномерности распределения этих элементов не наблюдается, за исключением никеля, который проявляет слабо заметную тенденцию к увеличению степени неравномерности распределения в гидротермально измененных разностях пород.

Содержание цинка и серебра фактически одинаково как в неизмененных, так и гидротермально измененных породах рассматрива-

емого рудного района, но степень неравномерности распределения этих элементов, естественно, больше в гидротермально измененных разностях пород.

Выявление закономерностей распределения элементов
методом проверки статистических гипотез.

Выше закономерности распределения элементов рассматривались путем простого сопоставления параметров распределения и кларковых значений. Поскольку полученные оценки параметров (χ^2 и ε), как и первичные фактографические данные, на основе которых они выведены, являются случайными величинами, то их сравнение в различных породах (комплексов и фаций) было осуществлено методами проверки статистических гипотез. Такая проверка позволяет ответить на вопрос о том, насколько существенны наблюдаемые различия значений параметров распределения, носят ли они закономерный характер или же являются случайными, обусловленными природными колебаниями (флуктуациями) распределения элементов в изучаемой среде и погрешностями применяемых методов изучения данной среды.

Результаты сравнения χ^2 и ε методом проверки статистических гипотез при помощи t критерия Стюдента и F критерия Фишера не приведены. В связи с этим здесь коротко остановимся на тех выводах, которые можно сделать на основе этого сравнения.

Сравнение измененных пород риодацит-риолитового комплекса со своими неизмененными аналогами показывает, что фоновые значения только никеля и кобальта заметно повышены в измененных разностях пород. Вместе с тем распределение меди, цинка и никеля в измененных породах характеризуется значительной неравномерностью, а серебро более неравномерно распределено в измененных разновидностях пород. Степень неравномерности распределения свинца и кобальта одинаковы как в неизмененных, так и в гидротермально измененных породах риодацито-риолитового комплекса (табл. I).

Статистическое сравнение оценок параметров распределения элементов в различных фациях риодацито-риолитового комплекса показывает достаточную их близость. Заметные, не случайные различия отмечаются только для меди, свинца и кобальта. Эти отличия выражаются в следующем. Фоновое значение свинца и степень неравномерности распределения меди в поверхностной фации значительно выше

по сравнению с жерловой, а кобальт распределен более неравномерно в жерловой фации по сравнению с поверхностной фацией (см. табл. I).

Покровные и жерловые фации гидротермально каменных пород риодацит-риодитового комплекса тоже достаточно близки по геохимическому спектру рассматриваемых элементов. Различия заключаются только в том, что фоновое значение меди в породах жерловой фации значительно больше по сравнению с фоновым значением этого элемента в породах покровной фации. Медь и цинк более неравномерно распределены в породах поверхностной фации (табл. I, рис. 2).

Сравнение распределения элементов в поверхностной, жерловой и субвулканической фациях базальт, андезитобазальт, андезитового комплекса (см. табл. I, рис. 2) позволяет установить, что фоновые значения рассмотренных элементов в большинстве случаев не зависят от фации пород. Отличия наблюдаются только для цинка, фоновые значения которого в жерловой фации значительно выше по сравнению с субвулканической фацией.

Более значительные отличия наблюдаются при рассмотрении степени неравномерности распределения элементов. Поверхностная фация базальт, андезитобазальт, андезитового комплекса характеризуется значительно неравномерным распределением цинка по сравнению с жерловой и субвулканической фациями. Последнее характерно также для пород жерловой фации (см. табл. I, рис. 2).

Изучение фонового содержания и оценки параметров распределения основных металлических элементов (Cu , Zn , Pb , Ag , Ni , Co) в породах среднервских комплексов и фаций Шамшадинского рудного района позволяет сделать следующие выводы:

I. Путем применения методов математической статистики определен местный геохимический фон, что является одной из основных задач при металлогенетических и геохимических исследованиях. При этом, применение вероятностно-статистического метода позволило первичную фактографическую-геохимическую информацию представить в компактной форме, что создало возможность использовать эту информацию в комплексе с петрохимическими и минералого-геохимическими данными для обоснования некоторых генетических выводов по прогнозу рудоносности вулканогенной формации, комплексов и фаций. В качестве харак-

теристик, описывающих распределение элементов в породах были приняты фоновые значения (X_{ϕ}) и стандартный множитель (ε - показатель степени неравномерности распределения элементов). Отличие между двумя соответствующими показателями в различных комплексах пород, устанавливалось при помощи t - критерия Стюдента и F - критерия Фишера, при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

2. Установлено, что распределение металлических элементов в неизмененных породах и их гидротермально измененных разностях вулканогенных (и интрузивных) комплексах и фациях Шамшадинского рудного района приближенно подчиняется логарифмически нормальному закону.

3. Определен натуральный геохимический фон (местный кларк) металлических элементов: меди, цинка, свинца, серебра, а также некоторых элементов группы железа - никеля, кобальта в комплексах и фациях дифференцированных пород среднерусской рудоносной вулканогенной формации и вулканоплутонических ассоциаций, которые соответственно составляют: а/ в базальт, андезитобазальт, андезитовом комплексе: для меди - $\frac{0,02\%}{0,01\%}$ (0,012% - поверхностная фация, 0,015% - жерловая фация, 0,012% - субвулканическая фация); для цинка - $\frac{0,004\%}{0,007\%}$ (0,0043% - поверхностная фация, 0,0052% - жерловая фация, 0,0037% - субвулканическая фация); для свинца - $\frac{0,002\%}{0,002\%}$ (0,0018% - поверхностная фация, 0,0022% - жерловая фация, 0,0017% - субвулканическая фация); для серебра - $\frac{0,00001\%}{0,00001\%}$ (0,000006% - поверхностная фация, 0,000008% - жерловая и субвулканическая фации); для никеля - $\frac{0,01\%}{0,01\%}$ (0,0074% - поверхностная фация, 0,0063% - жерловая фация, 0,0084% - субвулканическая фация); для кобальта - $\frac{0,001\%}{0,001\%}$ (0,0007% - поверхностная фация, 0,0011% - жерловая фация, 0,0007% - субвулканическая фация); б/ в риодацит-риолитовом комплексе: для меди - $\frac{0,006\%}{0,002\%}$ (четыре раза превышает кларковые, 0,0077% - поверхностная фация, 0,0075% - жерловая фация, 0,0082% - субвулканическая фация); для цинка - $\frac{0,003\%}{0,006\%}$ (0,0028% - нижекларковые содержания (в два раза) во всех породах поверхностной, жерловой и субвулканической фаций); для свинца - $\frac{0,002\%}{0,002\%}$ (0,0019% - поверхностная фация,

0,0018% - жерловая фация, 0,0018% - субвулканическая фация); для серебра - $\frac{0,000004\%}{0,000008\%}$ (одинаковое близкларковое содержание во всех фациях пород); для никеля - $\frac{0,002\%}{0,001\%}$

(два раза превышает кларковое значение, 0,0024% - поверхностная фация, 0,0025% - жерловая фация, 0,0022% - субвулканическая фация); для кобальта - $\frac{0,0003\%}{0,0005\%}$ (0,00023% - поверхностная фация, 0,00025% - жерловая фация, 0,00023% - субвулканическая фация); в/ в гиповулканическом-гипабиссальном гранит-диоритовом комплексе: для меди - $\frac{0,01\%}{0,002\%}$; для цинка - $\frac{0,003\%}{0,005\%}$; для свинца - $\frac{0,002\%}{0,002\%}$; для серебра - $\frac{0,00001\%}{0,00001\%}$; для никеля - $\frac{0,003\%}{0,001\%}$; для кобальта - $\frac{0,002\%}{0,0003\%}$.

В ходе эволюции мезозойского-среднекрасного магматического процесса от дифференцированных основных-средних к кислым сериям наблюдается следующая сравнительная геохимическая специализация: а/ уменьшается местный геохимический фон меди, цинка; б/ остается неизменным натуральный геохимический фон свинца, серебра; в/ уменьшается также местный геохимический фон никеля и кобальта, но устанавливается общая тенденция преобладания никеля над кобальтом.

4. Наиболее конкретным индикатором геохимической специализации рудоносных вулканогенных комплексов является не только достоверная металлогеническая специализация, но и первичная минеральная специализация, выражающаяся наличием акцессорных рудных минералов: пирита, халькопирита, сфалерита, галенита, моцита, титаномagnetита, магнетита, самородной меди, цинка, свинца, серебра, железа и др., а также высоким содержанием меди, цинка, свинца, серебра и др. элементов в акцессорных и породообразующих минералах, что свидетельствует о накоплении этих металлических элементов в эволюционировавших остаточных расплавах.

5. Существование рудообразующих элементов в виде собственных акцессорных минералов, повышенное содержание металлических элементов в первичных акцессорных и породообразующих минералах пород материнских вулканогенных (и интрузивного) комплексов и относительно пониженное - "отрицательное" и кларковое содержание

этих же элементов в длительно формировавшихся дифференциатах является их специфичной геохимической специализацией. Такая особенность, вероятно, вызвана дифференциацией рудогенерирующей исходной магмы во вторичных магматических камерах верхней части земной коры, с конечными вулканогенными продуктами которой тесно связана во времени и в пространстве колчеданная минерализация.

На основе комплексных петрологических, геохимических и металлогенических данных по мезозойской колчеданосной провинции Малого Кавказа (Шамшадинский сегмент Сомхето-Карабахской, Кафанской вулканогенно-металлогенической зоны или Понтийско-Малокавказско - Эльбурской островной дуги) подтверждаются основные положения гипотезы Д.С. Коржинского о метаматматической сульфуризации при одновременной дегазификации родоначальных толентовых магм. Предполагается, что рудоносные родоначальные толентовые (известковые) известково-щелочные расплавы на глубине взаимодействуют с серосодержащими трансмагматическими и дегидратирующими метеорными флюидами (образовавшимися) путем фракционного плавления континентальной и океанической коры с морскими осадками, затянутыми в Малокавказскую зону субдукции. Южночерноморский - Рионо-Курийский - Южнокаспийский глубоководный желоб Вадати - Завазского - Беньофа /2/. Вследствие этого происходит анатексис и экстракция рудобразующих металлов (медь, цинк, свинец, серебро, молибден и др., а также элементы группы железа: никель, кобальт, хром, титан, ванадий, марганец, скандий и др.) в процессе глубинной эволюции магматических расплавов Малокавказского мезозойского вулканизма (и плутонизма) островных дуг с образованием последовательно дифференцированных вулканогенных комплексов толентовых → известково-щелочных серий и колчеданных (серно-медьколчеданных, колчеданно-барито-полиметаллических с серебром и золотом), железорудных и других месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мурадян К.М. Геохимические особенности пород субвулканического комплекса Бавумского рудного района Армянской ССР. Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, XIX, с.74-83, 6, 1968.

2. Мурадян К.М. Геодинамическая модель Малого Кавказа и ее

прикладное значение в металлогении Армянской ССР. Тезисы докладов V Всес. палеовулк. симпозиума. "Проблемы палеовулканогенных реконструкций и картирования в связи с вулканогенным рудообразованием". Часть I, Научова думка, с. 122-123, Киев, 1981.

3. Мурадян К.М. Петрологические критерии рудоносности мезозойских вулканогенных комплексов Емшадинского рудного района. Тезисы докладов IX Рег. петр. сов. по Кавказу, Крыму и Кавказу, с. 94-95, г. Нахичевань, 1983.