

Богуслав Цамбел*

МЕТОДЫ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КЛАРКОВ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ АМФИБОЛОВЫХ ПОРОД¹

(Рисунки 1—13)

Резюме. В работе даются результаты петрохимического и геохимического исследования амфиболитов и других амфиболовых пород Малых Карпат. Геохимическая интерпретация кларков микроэлементов представлена в виде таблиц, графиков рассеяния, гистограмм отдельных элементов, графиков содержания микроэлементов в породе в зависимости от ее основности и количества магния. Указывается на возможность использовать кларки микроэлементов для решения стратиграфических, петрогенетических и металлогенетических вопросов.

Геохимическая интерпретация амфиболовых пород Малых Карпат была представлена нами совместно с профессором Купчо, который сделал спектрохимические анализы. Работа выйдет в 1965—1966 году на немецком языке в издательстве Академии наук Словакии как первый том новой серии „Наука о Земле“.

В настоящей работе мы хотим показать на примере амфиболовых пород Малых Карпат каким методом мы пользовались, чтобы дать геохимическую интерпретацию кларков микроэлементов. Мы считаем, что геохимикам следует рассмотреть этот вопрос и постараться найти правильный и по возможности общий прием разработки геохимической интерпретации кларков микроэлементов различных комплексов горных пород. Желательно, чтобы был найден такой метод геохимической интерпретации, который, в основном, могли бы применять в своих странах геохимики, объединенные в Карпато-Балканской геологической ассоциации. Это позволило бы сопоставлять результаты изучения кларков в разных областях.

Полевой геолог не всегда может дать геохимическую интерпретацию пород по установленным критериям, еще реже он бывает одновременно опытным химиком-аналитиком, способным провести точные спектрохимические или химические анализы. Поэтому если мы хотим, чтобы геохимическое исследование комплексов горных пород или минерального сырья могло быть всесторонне использовано, необходимо сотрудничество двух или трех научных работников — полевого геолога, геохимика и химика-аналитика.

Метабазиты кристаллических сланцев Малых Карпат представляют собой метаморфизованные продукты приуроченного к геосинклинали палеозойского офиолитового магматизма. Это преимущественно подводные экзрузивные или гипабиссальные тела основных изверженных пород, измененных при различных термодинамических условиях в амфиболиты, габбро-амфиболиты и амфиболитовые габбро, претерпевшие разную степень перекристаллизации. В Малых Карпатах метаморфизм палеозойского сланцевого плаща характеризуется тем, что более ранний региональный метаморфизм сочетается с более поздним периплутоническим контакт-метаморфизмом,

* Проф. докт. Б. Ц а м б е л, Геологическая лаборатория АН Словакии, Братислава, ул. Обранцов мисеру 41.

¹ Мы употребляем термин микроэлемент, противопоставляя его макроэлементу, т. е. элементу петрогенному, который содержится в количестве превышающем 1 %

вызванным гранитондной магмой, интродуцировавшей в варисское время в плащ сланцев.

Для геохимической интерпретации амфиболовых пород Малых Карпат во внимание принималась главным образом их основность (решающим тут является соотношение темных и светлых компонентов), менее важную роль играло их распределение по структурно-текстурным особенностям (экструзивные и интрузивные формы). Большое значение имеет их распределение по стратиграфическому положению и по степени метаморфизма. Чтобы можно было всесторонне использовать геохимические результаты, необходимо определить на основании указанных выше критериев к какой группе пород относится данный проанализированный образец. Буквенное обозначение, которое ему дается, уже заключает в себе его характеристику. Единственным указанием на стратиграфическое положение амфиболитов является то, что мы выделяем в особую группу, обозначаемую буквами HS (табл. 3), те амфиболовые породы, которые встречаются между селениями Модра и Часта в так называемых гармонских слоях. Эти слои представляют самый верхний горизонт палеозойских кристаллических сланцев; их стратиграфическое положение в настоящее время подробно изучается. Сопоставление содержания микроэлементов в этих, предположительно более молодых (девонских), амфиболитах с тем, которое установлено в амфиболитах других областей, дает возможность выявить разницу между химизмом более ранних и более поздних продуктов геосинклинального палеозойского вулканизма.

Первый критерий — выделение групп по соотношению темных и светлых компонентов — дается, в основном, распределением горных пород по степени дифференциации. К группе „B“ отнесены породы с максимальным содержанием амфибола (горнблендиты). В группу „AA“ помещены основные амфиболиты с отношением амфибола к полевым шпатам (включая энидот-цонзит) равным в среднем 62:32. Это наиболее распространенная в Малых Карпатах группа амфиболитов. Группа габбро-амфиболитов „GA“, для которой отношение амфиболита к полевым шпатам равно 56:37, имеет меньшее распространение. Затем идет группа амфиболитов „A“, которую характеризует отношение темных компонентов к светлым равное 52:43. Последняя группа — габбро (или пятнистые амфиболиты) „G“ включает в себя гипабиссальные интрузивы, возникшие в результате проявлений офиолитового магматизма и сравнительно слабо метаморфизованные; их внедрение в комплексы изверженных пород произошло несколько позднее. Под влиянием метаморфизма часть их претерпела сильную перекристаллизацию — до стадии пятнистых амфиболитов. Отношение амфибола к полевым шпатам в этой группе 48:47, см. таблицу 2 средних данных из анализов. Для каждой группы в отдельности нужно было составить таблицы химического состава, содержания макроэлементов в породах и привести их планиметрические анализы.

Чтобы иметь возможность изучать геохимическую миграцию элементов во время процессов метаморфизма, мы разделили все проанализированные образцы (31 химический анализ и 71 количественный спектральный) на 4 группы в порядке возрастающего метаморфизма. Группы обозначены буквами M₁, M₂, M₃, M₄. В группу M₁ вошли амфиболовые породы эпиметаморфизованные, в группу M₂ — мезометаморфизованные, в группу M₃ — катаметаморфизованные или контактово-периплутонически метаморфизованные. В группу M₄ включены породы, претерпевшие диафторез или измененные химически.

Мы рекомендуем представлять анализы пород в форме таблиц, выражая данные окислами, распределяя по отдельным группам и помещая под каждым химическим

анализом планиметрический анализ минерального состава. В качестве примера приводим составленную по этому принципу таблицу 1 для группы амфиболитов „АА“.

Средний химический и минеральный состав отдельной группы геохимически характеризует ее в целом. Средний химический состав, вычисленный по данным всех анализов, дает общую геохимическую характеристику геосинклинального магматизма. Эти средние данные необходимы для геохимической интерпретации между прочим потому, что дадут возможность произвести позднее сравнение со средними данными анализов подобных пород других областей. Поэтому мы рекомендуем составлять таблицы средних данных из анализов (см. табл. 2). Подчеркиваем, что вследствие разнообразия горных пород и возможных расхождений в результатах анализов, геохимические аналитические данные приведут к относительно правильному представлению только в том случае, если количество их значительное. Следовательно, для геохимической интерпретации средние данные из анализов имеют важное значение, а количество анализов, из которых они высчитаны, и статистический способ их обработки обыкновенно показывают степень точности геохимического определения. Поэтому при сравнении средних данных по отдельным группам следует принимать во внимание на основании скольких определений они получены. Если анализов немного, общих выводов делать нельзя. Когда разница в числе химических анализов по отдельным группам амфиболовых пород Малых Карпат значительная, результаты сравнений их между собой не могут считаться равноценными. Так обстоит, например, дело, когда мы сравниваем между собой результаты химических анализов пород групп HS и AA и групп M₂ и M₃.

Возникает вопрос нужна ли для геохимической интерпретации комплексов горных пород петрохимическая характеристика, позволяющая произвести их классификацию по количеству макроэлементов. Ясно, что для геохимической интерпретации, имеющей иную цель, такая петрохимическая характеристика с соответствующими пересчетами и отнесением пород к различным классификационным группам не является необходимой. Геохимическое изучение горных пород имеет целью установить закономерность нахождения микроэлементов в породах. При этом, однако, необходимо располагать возможно большим числом данных о количестве, в котором представлены главные литофильные макроэлементы, так как последние являются носителями многих изоморфно примешанных микроэлементов. Петрохимическое определение, целью которого является петрохимическая классификация и минералого-химическая характеристика пород на основании вычислений, предложенных различными авторами (Ниггли, Заварицкий, Осанн и др.), не является обязательным для изучения микроэлементов в породах. Методов петрохимических пересчетов много, так что естественно задаться вопросом, каких следует придерживаться и какие выгоднее всего, чтобы сравнивать между собой результаты, полученные в разных странах Карпато-Балканской ассоциации. Рекомендуем употреблять одновременно два метода — пересчеты Заварицкого и пересчеты Ниггли. Некоторые числовые данные, полученные в результате пересчетов по Заварицкому и по Ниггли, могут быть с успехом использованы для геохимической интерпретации. Действительно, величину qz Ниггли и величину Q Заварицкого можно считать индикаторами степени дифференциации магматических пород или показателем их основности. Этими величинами хорошо воспользоваться для графического изображения колебания количеств микроэлементов — а иногда и макроэлементов — с увеличением или уменьшением основности пород (см. рис. 8—10).

Определение амфиболовых пород Малых Карпат показало, что, по классификации Ниггли, они относятся к габброидной и лейкогабброидной группам. Согласно класси-

Т а б л и ц а 1. Химические и планиметрические анализы основных амфиболов группы АА)

Основные амфиболиты	6 AA ₃	17 AA ₃	36 AA ₃	39 AA ₃ (2)	42 AA ₂	47 AA ₃	50 AA ₁ (1)	51 AA ₂	52 AA ₃	53 AA ₁ (3)	61—P AA
SiO ₂	45,57	46,78	47,70	47,48	51,65	48,84	47,79	47,94	46,59	48,97	47,93
TiO ₂	1,71	1,42	0,92	0,96	1,01	1,65	0,81	1,02	0,97	0,83	1,13
Al ₂ O ₃	16,06	16,63	18,65	16,71	16,20	15,58	16,39	18,65	18,47	17,23	17,06
Fe ₂ O ₃	2,50	1,38	1,37	1,60	1,79	4,32	3,48	2,82	3,42	2,36	2,50
FeO	8,94	7,54	5,25	7,68	9,20	3,70	7,47	7,76	5,63	8,08	7,13
MnO	0,18	0,22	0,16	0,20	0,17	0,19	0,16	0,24	0,16	0,21	0,19
CaO	11,42	8,97	9,24	10,33	7,85	13,82	10,35	9,12	11,93	10,68	10,37
MgO	9,19	10,94	10,78	11,37	8,14	7,33	8,10	6,75	6,34	6,09	8,50
Na ₂ O	3,31	3,87	2,53	2,68	1,94	3,36	3,30	3,86	3,10	3,29	3,12
K ₂ O	0,61	1,31	0,95	0,42	0,84	0,36	0,78	0,58	1,16	0,46	0,75
H ₂ O ⁻	0,10	0,19	0,16	0,13	0,10	0,16	0,21	0,11	0,09	0,09	0,13
H ₂ O ⁺	0,57	1,19	1,69	0,95	1,08	0,31	0,69	1,53	1,56	0,70	1,03
P ₂ O ₅	0,19	0,31	0,13	0,11	0,08	0,41	0,34	0,15	0,06	0,26	0,20
сумма	100,35	100,75	99,53	100,62	100,05	99,93	99,87	100,53	99,48	99,25	100,04

Амфибол	59,4	64,14	60,13	63,3	59,97	67,80	60,49	56,60	67,48	62,70	62,51
Плагноклаз неразлож.	25,3	11,72	21,9	25,36	7,1	22,20	15,91	16,22	10,10	26,63	17,46
Плагноклаз разлож.	9,1	15,55	15,8	3,26	20,50	3,00	10,58	18,07	10,00	3,66	11,15
Минералы группы эпидот-цинцит	1,3	—	1,84	0,76	4,53	6,05	5,9	8,00	8,85	+	4,50
Магнетит, Ti-магнетит, сульфиды	3,4	8,46	0,3	5,3	6,35	+	5,45	1,68	3,52	7,13	4,24
Циркон, апатит, лейкоксен	1,6	+	+	1,1(1)	0,5(1)	0,90(1)	+2,00(1)	+	+	+	0,60
Биотит	0,2	0,97	+ кварц	0,8	0,3(6) + кварц	—	+ кварц	—	—	—	0,50
Отношение амфибола к полевоому шпату	59:36	64:27	57:32	63:29	60:32	68:32	61:32	57:53	67:29	63:30	62:32
сумма точек	2500	4289	1954	3000	2234	374	2310	2650	453	3000	
сумма:	100,0	99,84	99,97	99,8	99,95	99,95	100,3	100,57	99,95	100,12	100,96

Пояснения:

Буквы в столбцах анализов означают группу, к которой относится порода, а именно: G — габбро, GA — габбро-амфиболиты, A — амфиболиты, AA — основные амфиболиты, HS — амфиболиты гармонской серии, B — горнблендиты. Верхняя цифра в столбце — порядковый номер анализа, нижняя (при буквенном обозначении) — степень метаморфизма породы (1 — совсем слабый метаморфизм до эпиметаморфизма, 2 — мезометаморфизм, 3 — катаметаморфизм или сильная приконтактная термальная перекристаллизация, 4 — диафорез или химическое изменение. Цифры в скобках означают степень метаморфизма до изменений, приведенных под цифрой 4.

В нижней части таблицы, где приведены планиметрические анализы минерального состава пород, знак „плюс“ означает, что минерал наблюдается в небольшом количестве, и его содержание в породе не поддается числовому выражению. Преобладающий минерал обозначается первой буквой его названия. Знак „минус“ показывает, что минерал не был обнаружен в шлифе. Величины, измерение которых было произведено на подвижном, снабженном винтом интеграторе, даны в миллиметрах (мм). Остальные цифры обозначают количество точек, установленных при помощи электрического интегратора Эльтинор Ратенов. В столбце 61-P/AA приведены средние данные из анализов всех групп основных амфиболитов.

Местонахождения и названия пород, химические анализы которых даны в таблице: 6 — уралитовый амфиболит, с. Пезинок, гора Кеберлинг; 17 — основная изверженная порода с литофизами, с. Гармония, к северу от высоты Долинковский; 36 — амфиболит, с. Пезинок, холм Старе Горы; 39 — габбро-амфиболит, месторождение антимонита Пезинок; 42 — уралитовый амфиболит, с. Гармония, высота Долинковский; 47 — амфиболит, с. Рача, к югу от холма Велька Бани; 50 — амфиболит, с. Дубравка, холм Главы-Брижитие; 51 — слабо пятнистый амфиболит, с. Дубравка, холм Главы; 52 — амфиболит, Братислава, каменоломня в долине Быстрица, 53 — актинолитовый сланец, с. Ламач, покинутая каменоломня.

фикации Заварицкого эти породы надо отнести преимущественно к классам V и VI, к группам 19 и 23, реже к группе 15. Это меланократовые породы, ненасыщенные или слабо насыщенные кремнием и чрезвычайно бедные щелочами.

Перейдем к методу, которым мы пользовались, чтобы дать геохимическую интерпретацию кларков амфиболовых пород Малых Карпат.

Данные химических анализов 31 образца пород и количественные спектральные анализы 71 образца (для некоторых имеются и химические анализы) были пересчитаны из формы окислов в элементы. Эти величины приведены в миллионных долях — р. р. м, (иначе говоря в граммах на тонну) элемента и расположены согласно уже известным нам критериям в таблицах отдельных групп (G, GA, A, AA, HS, B) по степени дифференциации, по стратиграфическому положению и по интенсивности метаморфизма. В качестве примера дана таблица 3, составленная для амфиболитов из гармонских слоев. Эти амфиболиты обозначаются буквами HS. Средние величины, высчитанные по данным химических анализов пород всех групп, приведены в таблице 4. Количественные соотношения между микроэлементами и их изоморфными носителями — макроэлементами — показаны в таблице 5, причем принята форма, в которой они представлены в работах Нокольдса и Аллена 1953—1956 гг. Эти соотношения можно изобразить и графически, см. рис. 1.

Интерпретируя кларковские числа, необходимо проследить закономерность распределения отдельных элементов в разных типах амфиболовых пород. Наглядное представление о рассеянии (распределении) элементов дают графики и гistogramмы (рис. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9).

Гistogramмы могут быть составлены по логарифмам чисел, выражающих содержание элементов, или просто по величинам, данным в р. р. м (г/т). Мы придерживаемся второго способа, так как он достаточно нагляден. В качестве примера дана гistogramма

Таблица 2. Средний состав различных групп амфиболовых пород Малых Карпат по данным химических и планиметрических анализов

	58—P G	59—P GA	60—P A	61—P AA	PP 62	63—P HS	64—P B
SiO ₂	47,13	47,55	47,25	47,93	47,46	49,46	46,83
TiO ₂	1,03	1,35	1,28	1,13	1,20	1,29	1,23
Al ₂ O ₃	20,75	17,23	17,95	17,06	18,25	16,51	16,95
Fe ₂ O ₃	1,74	2,59	2,66	2,50	2,37	1,37	2,04
FeO	6,56	8,85	7,94	7,13	7,62	8,76	7,73
MnO	0,09	0,17	0,14	0,19	0,15	0,19	1,90
MgO	11,43	9,44	9,43	10,37	10,17	9,07	10,11
CaO	6,20	7,51	6,97	8,50	7,30	8,53	9,75
Na ₂ O	3,74	2,80	3,54	3,12	3,30	2,80	3,07
K ₂ O	0,50	0,98	0,74	0,75	0,74	0,93	0,82
H ₂ O ⁻	0,05	0,16	0,28	0,13	0,16	0,16	0,14
H ₂ O ⁺	0,71	0,96	1,60	1,03	1,08	1,04	1,00
P ₂ O ₅	0,13	0,17	0,14	0,20	0,16	0,16	0,22
Сумма	100,06	99,76	99,92	100,04	99,96	100,25	100,11
Число анализов	7	7	7	10	31	4	5
Амфибол	48,75	56,59	51,59	62,51	54,86		
Плагиоклаз неразлож.	28,91	23,36	13,08	17,46	20,70		
Плагиоклаз разлож.	19,90	11,16	28,97	11,15	17,80		
Эпидот-цоизит	0,43	3,16	1,50	4,50	2,40		
Магнетит Ti-магнетит пирит	2,32	5,24	4,60	4,24	4,10		
Циркон, апатит, лейкоксен, титаниит	+	0,27	+	0,60	+		
Биотит	0,1	—	—	0,50	+		
Отношение амфибола к полевоому шпату	48:47	56:37,6	52:43	62:32	54,5:39,7		

Объяснение обозначений:

58—P/G Группа габброидных пород

59—P/GA Группа габбро-амфиболитов

60—P/A Группа-амфиболитов

61—P/AA Группа основных амфиболитов

62—P/P Средние данные из 31 химического анализа амфиболовых пород

63—P/HS Группа амфиболитов гармонской серии

64—P/B Группа самых основных амфиболитов до горнблендитов

Нижняя строчка — число анализов, по которым вычислены средние величины

Пояснения: r — радиус ионов по Аренсу (1952); $S/p.p.m.$ — предел чувствительности количественного спектрального анализа; значок „—“ в таблице показывает, что элемент не был обнаружен даже качественным спектральным анализом. Количество, в которых представлены элементы, обнаруженные только качественным анализом (Mo, Ag, Y, La), определены приблизительно в пределах одного порядка и обозначены числами, имеющими следующее значение: 1 — концентрация ионов от 10^{-4} до 10^{-3} ; 2 — концентрация ионов от 10^{-3} до 10^{-2} ; 3 — концентрация ионов от 10^{-2} до 10^{-1} . Химические анализы пересчитаны на весовые процентные количества элементов, выраженных в р.р.м. (г/т).

В основу таблицы легла стратиграфическая принадлежность пород, образцы которых были проанализированы.

Местонахождения и наименования пород: 7 — Амфиболит, селение Гармония, высота Долинковский; 17 — Основная порода с литофизами, с. Гармония, к северу от высоты Долинковский; 41 — Габбро-амфиболит с. Гармония, к северу от высоты Долинковский; 42 — Уралит-амфиболит, с. Гармония, к северу от высоты Долинковский; 63 — P/HS. Средние данные из 4 анализов амфиболитов гармонской серии в р.р.м. элемента; 8 — Грубозернистый амфиболит с. Гармония, высота Долинковский. Амфибол 60 %, плагиоклаз 10 %, магнетит 10 %; 15 — Габбро-амфиболит, с. Гармония, высота Долинковский. Амфибол 53 %, разложившийся полевой шпат 17 %, неразложившийся полевой шпат 18 %, магнетит 16 %; 19 — Метабазит с литофизами, с. Гармония, каменоломня близ высоты 313 м. Амфибол 70 %, частично разложившийся плагиоклаз, эпидот, серицит, карбонаты; 22 — Метаднабаз с литофизами, с. Дубова. Приблизительно 70 % амфибола, плагиоклазы довольно сильно разложившиеся, эпидот, цоизит, пироксен и биотит; 29 — Афанитовый амфиболит, с. Дубова, лесничество Фугелка. Приблизительно 70 % амфибола, много непрозрачных минералов (магнетит), 35 — Магнетит-амфиболит, с. Гармония. Около 70 % амфибола, неразложившийся плагиоклаз, серицит, много магнетита; 43 — Уралитовый амфиболит, севернее с. Дубова. Около 70 % амфибола, разложившиеся плагиоклазы, хлорит, много магнетита; 44 — Амфиболит, с. Гармония, холм Долинковский. Приблизительно 73 % актинолита-уралита, 35 % полевых шпатов, 13 % непрозрачных минералов, биотит; HS-Sp — Среднее содержание микроэлементов в образцах, для которых был сделан только спектральный анализ.

HS' — Среднее содержание микроэлементов, вычисленное на основании всех анализов, помещенных в таблице.

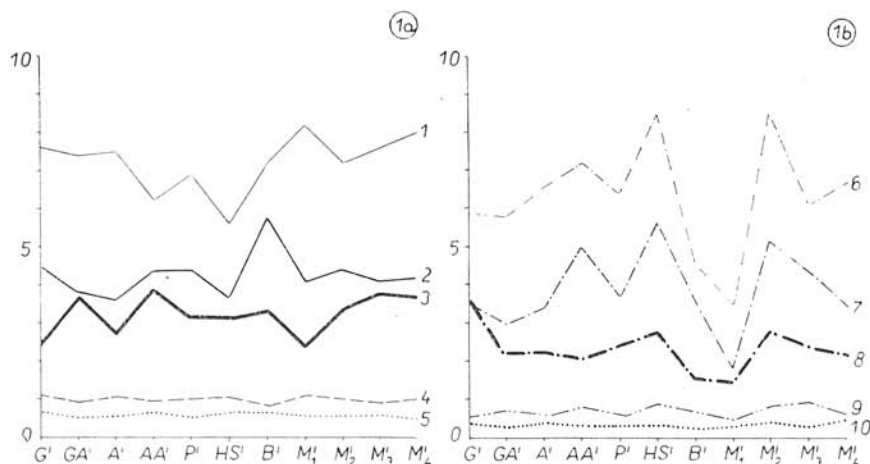


Рис. 1. Графическое изображение соотношений между микроэлементами и макроэлементами по средним данным анализов различных типов амфиболовых пород Малых Карпат 1 = V. 1000/Mg, 2 = V. 1000/Fe, 3 = Ni. 1000/Mg, 4 = Co. 1000/Mg, 5 = Co. 1000/Fe, 6 = Cr. 1000/Mg, 7 = Cr. 1000/Fe, 8 = Ba. 100/K, 9 = Ca. 1000/Al, 10 = Sr. 100/Ca.

Таблица 4. Средние кларки макро- и микроэлементов различных групп амфиболовых пород Малых Карпат

Пояснения буквенных обозначений к средним данным анализов даны в табл. 2 и 3. Апостроф за буквами означает, что средние данные высчитаны на основании всех анализов пород соответствующих групп. Числа в столбце 62-PP являются средними, вычисленными на основании 31 химического анализа образцов, для которых сделан и спектральный анализ.

В столбце PP' дано среднее содержание микроэлементов, высчитанное на основании 71 спектрального анализа амфиболовых пород Малых Карпат.

	58—P G	G'	59—P GA	Ga'	60—P A	A'	61—P AA	AA'	62 PP	PP'
Si ⁴⁺	220 000		222 000		221 000		222 000		221 000	
Al ³⁺	109 000		91 000		95 000		90 000		97 000	
Ti ⁴⁺	6 000		8 000		8 000		7 000		7 000	
Fe ³⁺	12 000		18 000		19 000		18 000		17 000	
Mg ²⁺	37 000		45 000		42 000		51 000		44 000	
Fe ²⁺	51 000		69 000		62 000		55 000		59 000	
Mn ²⁺	700		1343		1057		1 450		1 137	
Na ⁺	28 000		21 000		26 000		23 000		24 000	
Ca ²⁺	82 000		67 000		67 000		74 000		73 000	
K ⁺	4 000		8 000		6 000		6 000		6 000	
P ⁵⁺	500		700		600		900		700	
Ga ³⁺	5	5,5	8	6	6	6	8	7	6	6
Cr ³⁺	181	220	297	261	248	279	402	370	282	282
V ³⁺	214	281	308	332	300	292	344	319	291	306
Ni ²⁺	75	93	147	167	108	113	143	199	118	143
Co ²⁺	40	44	42	43	42	44	49	48	43	44
Cu ²⁺	36	50	43	50	58	49	39	42	44	47
Zr ⁴⁺	65	81	128	115	87	107	167	169	111	118
Sr ³⁺	42	36	33	32	28	34	30	32	33	33
Y ³⁺	26	30	33	33	26	31	29	30	28	31
Sr ²⁺	251	265	181	168	235	235	261	228	232	224
Ba ²⁺	142	144	196	181	136	136	83	126	139	146
N° анализов	7	7+5	7	7+10	7	7+8	10	10+16	31	31+39

ма равномерно рассеянного (рис. 2, 6, 8) и неравномерно рассеянного (рис. 4) элемента.

Способ рассеяния элементов в породах можно наглядно изобразить при помощи графиков распределения (рис. 3, 5, 7, 9), откладывая по вертикальной оси количество соответствующего элемента в столбик, представляющие различные типы амфиболовых пород. В своей совокупности эти столбики образуют площадь, на которой по положению точек можно определить закономерность рассеяния отдельных элементов не только в пределах соответствующих типов пород, но и в различных группах этих типов, например в группе дифференцированных и в группе метаморфизованных пород. На наших графиках столбики слева соответствуют породам, распределенным по степени дифференциации (увеличивающейся основности), справа — в порядке усиления метаморфизма. Если соединить проекции точек среднего содержания элементов в различных типах пород (они обозначены крестиками и кружками) группы дифференцированных или группы метаморфизованных, то ясно видна будет тенденция увели-

Буквой М в столбцах обозначены группы пород (спектральный анализ 71 образца, из которых 31 проанализированы и химически), распределенные по степени и характеру метаморфизма: М₁ — слабо метаморфизованные или эпиметаморфизованные амфиболовые габброидные породы, М₂ — мезометаморфизованные амфиболовые породы, М₃ — катаметаморфизованные (сильно перекристаллизованные под влиянием высокой температуры) амфиболиты, М₄ — амфиболовые породы, претерпевшие диафторез, или химически измененные.

Числа нижней строчки под столбцами — количество анализов, на основании которых было высчитано среднее содержание микроэлементов в породах различных групп.

63—P HS	HS'	64—P B	B'	M ₁	M' ₁	M ₂	M' ₂	M ₃	M' ₃	M ₄	M' ₄
31000		219000		221000		227000		221000		219000	
87000		89000		102000		93000		94000		94000	
8000		7000		7000		8000		7000		6000	
10000		14000		14000		18000		15000		21000	
51000		59000		39000		46000		49000		41000	
68000		60000		63000		58000		54000		57000	
1500		1450		994		1340		1205		1000	
21000		23000		25000		31000		23000		25000	
65000		72000		71000		61000		77000		42000	
8000		7000		7000		5000		6000		7000	
700		1000		608		600		802		783	
8	8	7	6	6	5	7	7	9	8	7	6
509	435	374	271	160	136	452	390	320	302	228	275
281	288	354	426	259	320	331	331	294	280	315	329
150	164	144	205	89	94	154	157	132	187	104	154
52	52	48	51	44	44	42	48	46	44	38	42
52	51	52	50	29	42	49	57	47	40	42	54
135	169	124	116	83	79	114	156	128	122	134	134
21	24	35	33	41	38	24	29	31	32	37	33
33	30	34	35	30	29	22	26	30	30	29	32
252	221	240	167	212	291	264	231	232	212	209	219
229	226	103	111	85	103	79	140	163	146	103	153
4	4+4	5	5+6	7	7+5	5	5+5	13	13+16	6	6+13

чения или уменьшения количественного содержания разных элементов в той и другой группах. В качестве примера мы даем графики рассеяния Co, Ba, Ni, Y.

По графикам рассеяния (рис. 3, 5, 7, 9) и особенно по графикам зависимости количества микроэлементов от основности пород или количества Mg в породе (рис. 10, 11, 12, 13) можно судить о равномерности или неравномерности распределения элементов. Незначительное рассеяние имеют Co, Cu, Sc, Y, Ga, F; большее, равномерное рассеяние — Ni, V, Sr, совершенно неравномерное — Cr, Zr, Ba.

Особого внимания заслуживает вопрос содержания элементов в горных породах в зависимости от количества магния и основности пород, измеряемой величиной Q Заварицкого или модифицированной величиной Ларсена (1/3 Si+K) — (Ca+Mg).

Опыт показывает, что при составлении графиков слабо дифференцированных пород удобно пользоваться величиной qz Ниггли, при более значительных расхождениях в химическом составе — величиной Q Заварицкого; при ряде дифференциатов от

Таблица 5. Среднее соотношение макро- и микроэлементов в различных группах амфиболовых пород Малых Карпат

Пояснения к обозначениям столбцов см. таблицы 2 и 4.
 Способ выражения соотношений заимствован из работ Нокольдса и Аллена 1953—1956.
 В предпоследней строчке таблицы даны величины видоизмененного Нокольдсом

	G	G'	GA	GA'	A	A'	AA	AA'	P	P'
Ga . 1000/Al	0,04	0,06	0,08	0,07	0,06	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06
Cr . 1000/Mg	4,83	5,94	6,55	5,80	5,90	6,64	7,83	7,25	6,4	6,41
V . 1000/Mg	5,72	7,59	6,79	7,38	7,14	7,95	6,70	6,25	6,6	6,95
Ni . 1000/Mg	2,00	2,51	3,24	3,71	2,57	2,69	2,78	3,90	2,7	3,25
Co . 1000/Mg	1,06	1,19	0,92	0,96	1,00	1,05	0,95	0,94	0,98	1,00
Sc . 1000/Mg	1,14	1,00	0,71	0,71	0,70	0,81	0,60	0,60	0,62	0,71
Cr . 1000/Fe	2,86	3,49	3,41	3,00	3,08	3,44	5,50	5,07	3,7	3,71
V . 1000/Fe	3,39	4,46	3,54	3,82	3,73	3,6	4,71	4,37	3,8	4,03
Co . 1000/Fe	0,63	0,70	0,48	0,49	0,52	0,54	0,67	0,66	0,6	0,58
Sc . 1000/Fe	0,70	0,60	0,40	0,40	0,35	0,42	0,41	0,41	0,43	0,43
Sr . 100/Ca	0,30	0,32	0,26	0,25	0,34	0,35	0,35	0,31	0,3	0,33
Sr . 100/Ca + K	0,29	0,31	0,23	0,22	0,31	0,32	0,32	0,28	0,3	0,31
Ba . 100/K	3,46	3,6	2,41	2,26	2,22	2,27	1,93	2,10	2,3	2,43
Fe/Mg	1,7	—	1,9	—	1,9	—	1,4	—	1,7	—
Co/Ni	1,1	0,8	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5
$(\frac{1}{3} \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$	—42	—	—306	—	—30	—	—45	—	—38	—
Q	—44,70	—	—10,56	—	—13,05	—	—12,23	—	—12,60	—

основных до кислых можно воспользоваться коэффициентов Ларсена, как это делают в своих работах 1953—1956 гг. Нокольдс и Аллен. Примеры таких зависимостей дают графики 10, 11, 12, 13. Они показывают, что уже на участке небольшой разницы в величинах Q (от —5 до —20), отлагаемых на горизонтальную ось, содержание некоторых элементов (V, Ni, Cr) возрастает с увеличением основности пород, других (Sr, Cu, Y, Sc) — не изменяется, третьих (Zr, Ba) — уменьшается. Интересно проследить зависимость между количеством стронция и количеством кальция в породах. Многочисленные данные об этом приводят К. К. Турекян и И. Л. Кульп (1956). Необходимо подчеркнуть, что графики для группы пород, сравнительно мало отличающихся друг от друга своей основностью (степенью дифференциации), — амфиболитовые породы Малых Карпат именно таковы — менее четки и ясны, чем графики ряда более дифференцированных пород.

Вычисленные нами кларки различных элементов требуют сравнения с приводимыми в литературе данными о химическом и минеральном составе подобных пород. В таблице 6 дано сравнение среднего химического состава пород Малых Карпат со средними кларковскими числами элементов других основных пород.

Сравнительное изучение амфиболовых пород Малых Карпат показывает, что содержание большинства представленных в них элементов находится в пределах обычных для основных пород. Наибольшие отклонения по сравнению с обычным средним содержанием в подобных породах наблюдаются у Cu, кларк которого более чем вдвое

и Алленом коэффициента Ларсен ($\frac{1}{3} \text{Si} + \text{K}$) — $(\text{Ca} + \text{Mg})$, обозначающего перенасыщенность или недостаточную насыщенность породы кремнекислотой. В последней строчке таблицы помещены величины Q , вычисленные по формуле Заварицкого $Q = S - (3a + 2c + b)$. Графическое изображение величин таблицы 5 представлено на рис. 1.

HS	HS'	B	B'	M ₁	M ₁ '	M ₂	M ₂ '	M ₃	M ₃ '	M ₄	M ₄ '
0,09	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,08	0,08	0,09	0,09	0,07	0,06
9,9	8,53	6,3	4,59	4,1	3,5	9,8	8,5	6,5	6,1	5,6	6,7
5,4	5,65	6,0	7,22	6,6	8,2	7,2	7,2	6,0	5,7	7,7	8,0
2,9	3,22	2,4	3,47	2,3	2,4	3,3	3,4	2,7	3,8	2,5	3,7
1,00	1,02	0,8	0,86	1,1	1,1	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0
0,40	0,46	0,59	0,56	1,05	0,97	0,52	0,63	0,63	0,63	0,90	0,80
6,5	5,58	5,1	3,66	2,1	1,8	5,9	5,1	4,6	4,4	2,9	3,5
3,6	3,69	4,8	5,76	3,4	4,1	4,4	4,4	4,3	4,1	4,0	4,2
0,67	0,67	0,6	0,69	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5
0,27	0,31	0,47	0,44	0,53	0,49	0,32	0,38	0,45	0,46	0,47	0,42
0,30	0,34	0,3	0,23	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0,5
0,30	0,30	0,3	0,21	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4
2,9	2,83	1,5	1,59	1,2	1,5	1,6	2,8	2,7	2,4	1,5	2,2
1,5	—	1,2	—	1,9	—	1,6	—	1,4	—	1,9	—
0,4	0,4	0,5	0,4	0,8	0,8	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,3
—31	—	—51	—	—30	—	—27	—	—47	—	—3	—
—7,76	—	—16,38	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ниже установленного В и н о г р а д о в ы м (1962) табл. 6. В меньшей степени это относится к меди и барию. Кларки хрома и ванадия выше средних. В связи с этим следует отметить, что в литературе приводится немало данных о содержании, соответствующем нашему определению и отличающемся от принятой средней величины кларка. Так например содержание галлия в амфиболовых породах Малых Карпат значительно ниже обычного кларка этого элемента в основных породах. Подобные нашим средние величины (7, 4 р.р.м.) приводят для габбро Г о л ь д ш м и д т.

Как уже было сказано выше, миграцию микроэлементов во время процессов метаморфизма можно установить, располагая анализы по группам в соответствии со степенью дифференциации и метаморфизма, как это видно на графиках рассеяния элементов (рис. 2, 5, 7, 9). Числовые данные и графические изображения показывают, что метаморфизм не вызвал сколько-нибудь значительной миграции микроэлементов. Некоторые признаки повышения содержания бария наблюдаются в породах по соседству с гранитом, что вызвано сильным контактовым метаморфизмом (см. рис. 5) и находится, по-видимому, в связи с увеличением содержания калия и развитием биотита в сильно метаморфизованных амфиболитах. В общем же в Малых Карпатах метаморфизм не вызвал сколько-нибудь значительных изменений амфиболовых пород: химический состав амфиболов почти тот же, что неметаморфизованных габбро, диабазов и базальтов. Этот факт представляет интерес, так как в литературе сравнительно мало данных, относящихся к определению кларков амфиболов и ме-

табазитов. Недостаточно внимания уделялось и вопросу миграции элементов в условиях не очень интенсивного регионального метаморфизма и периплутонического контакт-метаморфизма, подобного тому, который имел место в Малых Карпатах.

Сопоставление анализов амфиболовых пород гармонской серии с анализами других амфиболитов в области Малых Карпат сделано с целью использовать кларки для решения стратиграфических вопросов. Результаты оказались положительными — они показали, что амфиболиты гармонской серии отличаются некоторыми специфическими чертами. Так как они представляют собой очень основные типы, их лучше всего сравнивать с самыми основными амфиболитами и горноблендитами (тип „В“) Малых Карпат. Амфиболиты гармонской серии отличаются исключительно высоким содержанием хрома — 435 р. р. м.; у других наиболее основных пород Малых Карпат оно составляет 271 р. р. м. Интересно отметить, что амфиболиты гармонской серии содержат значительно меньше скандия (24 р. р. м.), чем, в среднем, остальные амфиболовые породы Малых Карпат (33 р. р. м.), несмотря на то, что отличаются высоким содержанием магния. Содержание бария в амфиболитах гармонской серии (226 р. р. м.) намного выше среднего, вычисленного из данных 71 анализа, которое выра-

Т а б л и ц а 6. Сопоставление содержания элементов в основных породах в р. р. м. (г/т)

	1	2		
Si	221 000	240 000	3	4
Al	97 000	87 600		
Ti	7 000	9 000		
Fe ⁺³	17 000	85 600 (+Fe ⁺²)		
Mg	44 000	45 000		
Fe ⁺²	59 000			
Mn	1 137	2 100		
Na	24 000	19 400		
K	73 000	67 200		
Ca	6 000	8 300		
P	700	1 400		
Ga	6	18		
Cr	282	200		
V	306	200		
Ni	143	160		
Co	44	45		
Cu	47	100		
Zr	118	100		
Sc	33	24		
Y	31	20		
Sr	224	440		
Ba	146	300		
Rb		45		

Пояснения: 1 — Амфиболовые породы Малых Карпат по Цамбелу — Купчо (настоящая работа) 2 — Средние величины содержания элементов в основных породах по Виноградову в р. р. м. (г/т). Средние из данных, опубликованных до 1962 г. 3 — Содержание микроэлементов диабазового стандарта W₁ (Э. Стивенс и др. 1960). 4 — Содержание элементов в диабазах Онтарио, средние из данных 57 анализов (Ферберн и др. 1953)

жается цифрой 146 р.р.м., или среднего самых основных пород — 111 р.р.м. Микроэлементы также свидетельствуют о некоторой специфичности основных магматических пород гармонской серии, о чем не дает такого ясного представления изучение макроэлементов проанализированных химических пород. Недостаточностью проведенного сравнения является то, что число имевшихся в нашем распоряжении анализов амфиболитов гармонской серии было значительно меньше анализов пород остальной части Малых Карпат. Несмотря на это, приведенные данные показывают, что имеются широкие возможности использовать геохимию для стратиграфии, что особенно важно, когда нет окаменелостей.

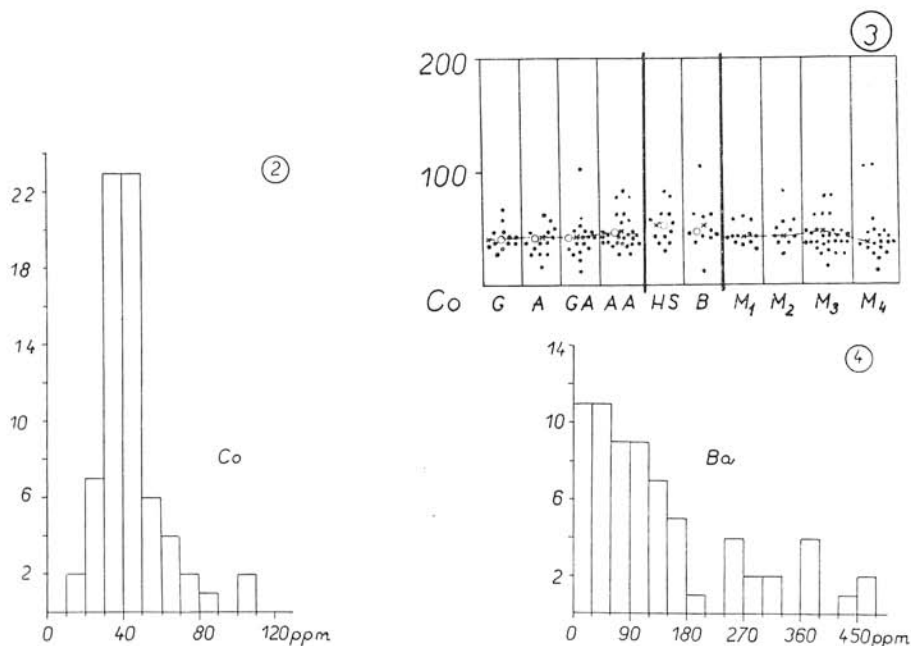


Рис. 2. Гистограмма содержания кобальта в амфиболовых породах Малых Карпат. Пояснение: На горизонтальную ось нанесено содержание элемента в р. р. м., на вертикальную — количество случаев.

Рис. 3. График рассеяния кобальта в амфиболовых породах Малых Карпат. Пояснение: Крестики и кружки среди точек — средние величины из анализов по отдельным группам. Соединяющая их линия показывает тенденцию увеличения или уменьшения содержания элемента в различных типах пород, образовавшихся в результате дифференциации и метаморфизма. Крестики обозначают среднее содержание в тех группах амфиболовых пород, в столбцах которых на табл. 4 за буквами стоит апостроф. Интересно сопоставить кривые группы пород — продуктов дифференциации левой части графика, где основность возрастает от группы G к группе AA, с кривыми группы метаморфизованных пород правой части графика, где отдельные типы размещены в порядке усиления метаморфизма (возрастание степени метаморфизма от M_1 к M_4). На вертикальную ось откладывают кларки различных элементов в р. р. м., на горизонтальной размещают столбцы различных типов амфиболовых пород Малых Карпат в порядке возрастающей основности или степени метаморфизма.

Рис. 4. Гистограмма содержания бария в амфиболовых породах Малых Карпат. Пояснение см. рис. 2. Видно, что рассеяние бария в породах довольно неравномерное.

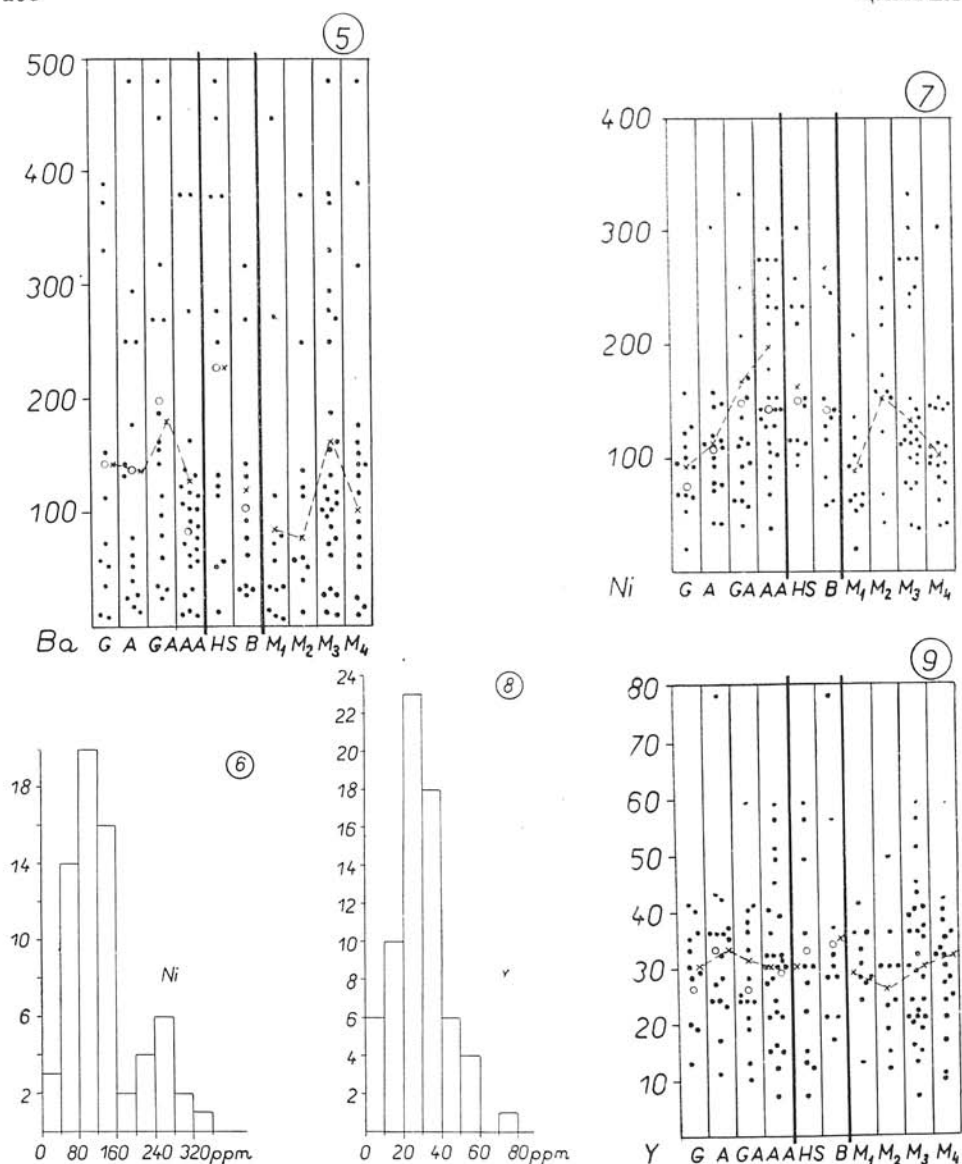


Рис. 5. График рассеяния бария в амфиболовых породах Малых Карпат. Пояснение см. рис. 3. Видно, что кларки бария увеличиваются с усилением степени метаморфизма амфиболовых пород.

Рис. 6. Гистограмма содержания никеля в амфиболовых породах Малых Карпат. Пояснение см. рис. 2. Видны два пика, соответствующих группам пород богатых амфиболом или оксидами железа и особенно пиритом.

Рис. 7. График рассеяния никеля в амфиболовых породах Малых Карпат. Пояснения см. рис. 3.

Рис. 8. Гистограмма содержания иттрия в амфиболовых породах Малых Карпат. Пояснения см. рис. 2.

Рис. 9. График рассеяния иттрия в амфиболовых породах Малых Карпат. Пояснение см. рис. 2.

Что касается колчеданного (сингенетического) оруденения Малых Карпат, которое находится в генетической связи с исследованными нами амфиболовыми породами, интересно отметить, что кларк меди в них в два раза меньше, чем в подобных основных породах (см. табл. 6). Этим объясняется почему пиритовое оруденение Малых Карпат не имеет характера меденосного, хотя у подобного типа — сингенетического, претерпевшего метаморфизм — обогащение колчеданов медью можно было бы ожидать.

Изучение никеля и кобальта, содержащихся в амфиболитах и пиритах таких колчеданных месторождений, ясно показывает, что геохимические исследования и определение кларков имеют важное значение для решения вопросов генетической связи оруденения с магматизмом.

С металлогенетической точки зрения интересно также проследить содержание никеля в амфиболовых породах. Гегеман считает (и мы можем это подтвердить), что по количеству никеля и кобальта можно судить о генетических условиях пиритового оруденения. Изучение никеля и кобальта, которые в пиритах Малых Карпат являются

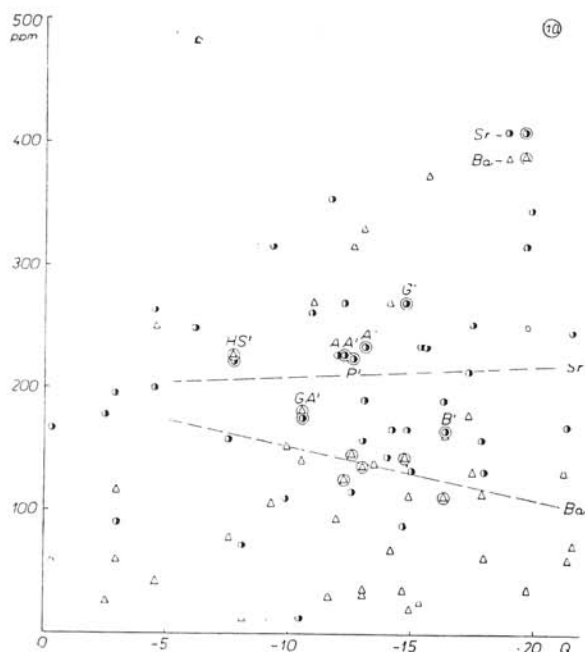


Рис. 10. График содержания стронция и бария в зависимости от основности породы, выраженной величиной Заварицкого. Видно, что содержание бария возрастает с уменьшением основности. Стронций не проявляет такой тенденции в интервалах $Q = -5$ и $Q = -20$. Пояснение: Числа в кружках — средние данные анализов различных типов пород (G' , A' , AA' , и т. д.), которые фигурируют в таблице 4 в столбцах с апострофом. В графике дано содержание микроэлементов только для тех образцов, для которых имеется полный химический анализ, вследствие чего точки величин G' , GA' , A' , AA' , которые представляют собой средние, вычисленные на основании большого количества анализов, не всегда находятся в центральной части поля точек, изображающих данные анализов различных образцов.

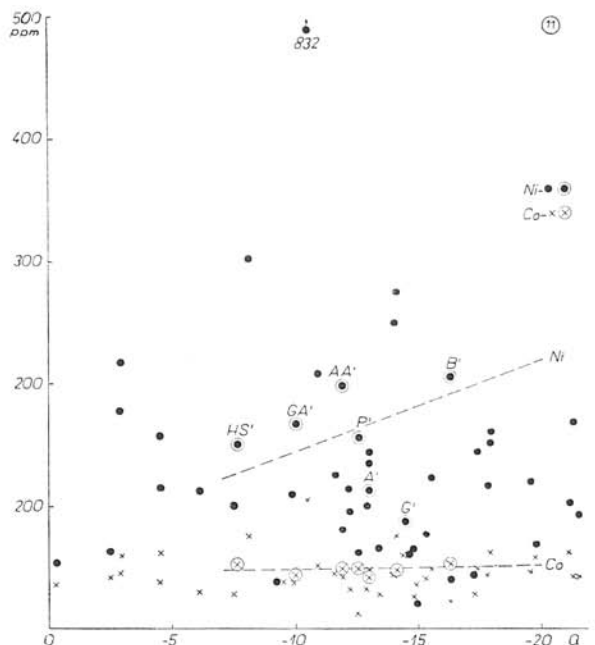


Рис. 11. График содержания никеля и кобальта в зависимости от основности породы, выраженной величиной Q Заварицкого. Пояснение см. рис. 10. Точки отдельных анализов сравнительно мало рассеяны, особенно у кобальта. Содержание никеля имеет тенденцию возрастать при увеличении основности породы, содержание кобальта почти не изменяется.

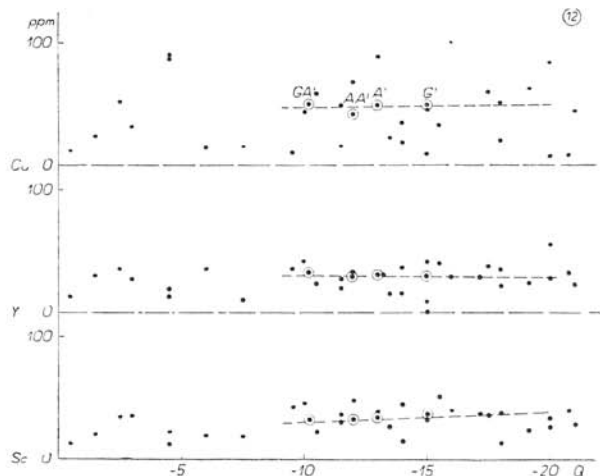


Рис. 12. График содержания Cu, Y и Sc в зависимости от основности породы, выраженной величиной Q Заварицкого. Пояснение см. рис. 10. Так как рассеяние точек содержания данных элементов незначительное, оказалось возможным расположить один над другим три самостоятельных графика с одной общей горизонтальной осью. Точки содержания всех трех элементов имеют весьма похожее расположение, и в данном интервале Q тенденции повышения или понижения их содержания не наблюдается.

ся микроэлементами, показывает, что уровень (фон) никеля в этих пиритах значительно выше, чем в других месторождениях Западных Карпат (Гелпа, Смолиник) и вообще в седиментогенных колчеданных залежах всего мира. Этот факт объясняется сравнительно высоким (143 р.р.м) кларком никеля амфиболовых пород Малых Карпат; и если этот кларк несколько ниже того, который приводит Виноградов для основных пород (160 р. р. м.), то он значительно выше содержания никеля в базальте W_1 (82 р.р.м) и диабазах Онтарио (110 р.р.м.). Если принять во внимание, что самыми распространенными амфиболовыми породами Малых Карпат являются породы типа АА, т. е. основные амфиболиты, кларк которых равен 199 р.р.м., то станет ясным, что эти породы и породивший их геосинклинальный офиолитовый магматизм, могли быть источником никеля, содержащегося в довольно значительном количестве в пиритах Малых Карпат. Среднее содержание никеля в пиритах 0,168 %, т. е.

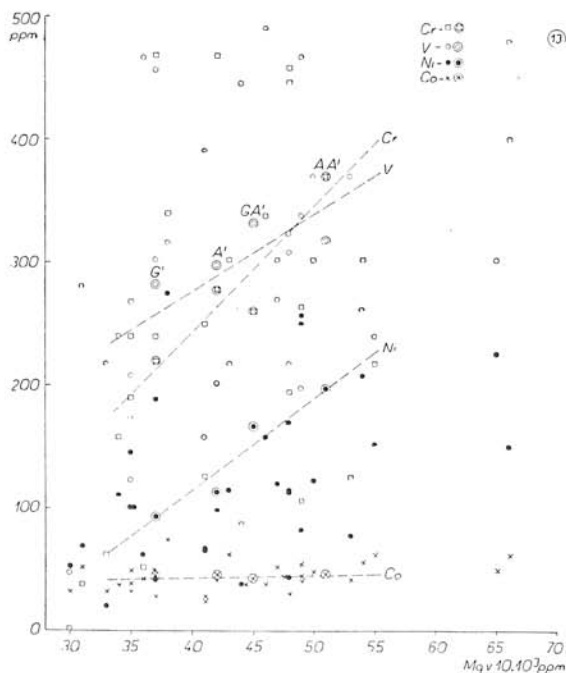


Рис. 13. График содержания Sr, V, Ni и Co в зависимости от количества Mg, выраженного в $10 \cdot 10^3$ р.р.м. Пояснение: на горизонтальную ось откладывается количество Mg в $10 \cdot 10^3$ р.р.м., на вертикальную — количественное содержание данных элементов в р.р.м. Числа в кружках — средние данные анализов таблицы 4. Видно, что проходящие через центральное поле линии, которые соединяют точки среднего содержания рассматриваемых элементов, быстро восходят — за исключением кобальта — при увеличении количества Mg. Для составления графика взяты данные, относящиеся только к тем образцам, которые проанализированы химически. Из средних величин, фигурирующих в таблице 4, использованы только те, которые находятся в столбцах отдельных типов пород, обозначенных апострофом (C' , AA' и т. д.). Максимальное рассеяние являет хром, точки которого без какого бы то не было порядка разбросаны по всей таблице, так что трудно найти центральное поле.

1680 р.р.м. Генетическая связь пиритов с основным геосинклинальным вулканизмом подтверждается, следовательно, и этим фактом.

Перевод со словацкого В. С. Андрусовой.

Литература

Ahrens L. H., 1952: The use of ionisation potentials — I. Ionic radii of the elements. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 2. — Amstutz G. C., 1953: *Geochemistry of swiss lavas*. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 3. — Borisenko L. F., Ščerbina V. V., 1959: Zakonomernosti rospredelenija skandija i vanadija v izveržennych gornych porodach v slagujuščich ich mineralach. *Geochimija redkich elementov v svjazi s problemoj petrogenezisa* (Symposium 1957), Moskva. — Burri C., Niggli P., 1945: Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens. Zürich. — Cambel B., 1952: Amphibolgesteine der Kleinen Karpathen. *Geologické práce* 29, Bratislava (немецкое резюме). — Cambel B., 1954: Geologisch-petrographische Probleme im nördlichen Teile des Kristallinikums der Kleinen Karpathen. *Geologické práce* 36, Bratislava (немецкое резюме). — Cambel B., 1960: Hydrothermale Lagerstätten in den Kleinen Karpathen, die Mineralogie und Geochemie ihrer Erze. *Acta Geologica et Geographica Univerzitatatis Comenianae, Geologica* 3, Bratislava (немецкое резюме). — Cambel B., Valach J., 1956: Die granitoiden Gesteine in den Kleinen Karpathen und ihre Geologie. *Geologické práce* 42, Bratislava (немецкое резюме). — Cambel B., Kupčo G., Petrochemie und Geochemie der metamorphen Hornblendegesteine aus der Kleinkarpathenregion. SAV, Bratislava (в печати). Degehardt H., 1957: Untersuchungen zur geochemischen Verteilung des Zirkoniums in der Lithosphäre. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 11, 4 (russ. Übersetzung, Moskva 1959). — Engelhardt W., 1936: Die Geochemie des Bariums. *Chem. Erde* 10. — Fairbairn H. W., Ahrens L. H., Lorraine G., Gorfinkle, 1953: Minor element content of Ontario diabase. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 3. — Fryklund V. C., Fleischer M., 1963: The abundance of scandium in volcanic rocks a preliminary estimate. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 27.

Goldschmidt V. M., 1954: *Geochemistry*. Edited by Muir A., Oxford University Press. — Goldschmidt V. N., Peters C., 1931: Zur Geochemie des Galliums. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl.* 1. — Goldschmidt V. N., Peters C., 1931: Zur Geochemie des Scandiums. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math. phys. Kl.* 1. — Hevesy G., Würstlin K., 1934: Über die Häufigkeit des Strontiums. *Z. anorg. allgem. Chem.* 216, 312. — Kupčo G., 1959: Die Bestimmung der Spurenelemente in den Gesteinen. *Geologica et Geographica Acta Universitatis Comenianae, Geologica* 6, Bratislava. — Majluga D. P., 1952: Rasprostranenie kobalta v zemnoj kore. *Mikroelementy v žizni rastenij i životnych*. Moskva. — Niggli P., 1936: Die Magnietyphen. *Schweiz. Min. u. Petr. Mitt.* 16. — Niggli P., Burri C., 1945: Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens. Zürich. — Nockolds S. R., Allen R., 1954: The geochemistry of some igneous rocks series I. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 4. — Patterson E. M., Swaine D. J., 1955: A petrochemical study of Tertiary tholeiitic basalts. The Middle Lavas of the Autim Plateau. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 8. — Rankama K., Sahama T. G., 1950: *Geochemistry*. University of Chicago Press. — Sahama T. G., 1945: Spurenelemente der Gesteine im südlichen finnisch-Lappland. *Bull. de la commission géologique de Finlande* 135. Helsinki (русский перевод, Moskva 1952). — Sandell E. B., Goldich S. S., 1943: The rarer metallic constituents of some American igneous rocks. I. *Jour. Geol.* 51, 99; *ibid* II, 167. — Taylor S. R., 1955: The origin of some New Zealand metamorphic rocks as shown by their major and trace element composition.

Рецензия Я. Каменецкого.