

Оценка перспективности аномалий, выделенных дистанционными методами, проводится по комплексу вышеуказанных признаков, по балльной системе. Применяется следующая система баллов:

1. Зональность ГМС: прогнозируемые проявления кислого и субщелочного метасоматоза — 1 балл.

2. Продуктивность комплексных аномалий (здесь приводятся значения параметров при прогнозе только золоторудных объектов): а) наиболее перспективные аномалии: продуктивности нанохимических аномалий золота ($P_{\text{НА}}$) и ореолов метасоматически измененных пород ($P_{\text{МО}}$) ≥ 20 у.е. — 2 балла; б) перспективные аномалии: продуктивность нанохимических аномалий золота ≥ 10 , продуктивность ореолов метасоматически измененных пород ≥ 40 — 1 балл.

3. Прогнозные ресурсы аномалий, соответствующие крупному месторождению, — 3 балла, среднему — 2 балла, мелкому — 1 балл.

4. Минеральный состав оруденения: прогнозируемые ареалы распространения минералов-спутников золотого оруденения — 1 балл.

По сумме баллов Σ комплексные аномалии дифференцируются на три категории перспективности:

$\Sigma \geq 5$ — высокоперспективные аномалии 1-й очереди изучения;

$\Sigma = 3-4$ — перспективные аномалии 2-й очереди изучения;

$\Sigma < 3$ — малоперспективные аномалии и аномалии с неясными перспективами.

По результатам апробации рассматриваемой технологии в пределах Пионер-Покровского золоторудного района геометризованы 20 минералого-геохимических аномалий (рис. 3), дифференцированных на высокоперспективные и перспективные на выявление золоторудных полей. По результатам опытно-методических работ (технология МАСФ), целевым назначением которых являлась оценка природы аномалий, выделенных дистанционными методами, попутно расширены перспективы ближних флангов месторождений Покровское и Пионер. Уровень локализации в Пионер-Покровском районе дистанционными методами для дальнейших поисков составляет 20 %, что позволяет сократить, в данном случае в разы, трудозатраты и асигнования на проведение наземных геохимических работ с использованием эффективных на закрытых территориях, но дорогостоящих методов, ориентированных на выявление наложенных сорбционно-солевых вторичных ореолов (МАСФ).

В логическом развитии созданных методических основ геохимического картирования представляется актуальным продолжение исследований по усовершенствованию и внедрению на стадии регионального геологического изучения технологии оперативной прогнозной оценки закрытых территорий по комплексу дистанционных и наземных геохимических методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полузакрытых территориях / С.В. Соколов, А.Г. Марченко, С.С. Шевченко и др. — СПб: Изд. ВСЕГЕИ, 2005.
2. Кирсанов А.А., Липияйнен К.Л., Смирнов М.Ю. Опыт применения аэро- и космических гиперспектральных данных при решении геолого-

разведочных задач / Новые технологии обработки и использования данных дистанционного зондирования Земли в геологоразведочных работах и при ведении мониторинга опасных геологических процессов: Материалы 2-й междунар. конф. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. — С. 25–28.

3. Морозов А.Ф., Приходько Е.Ф., Володько С.А. Поиск месторождений полезных ископаемых на основе выявления нанопылевых аномалий // Региональная геология и металлогения. — 2011. — № 48. — С. 70–78.

4. Патент РФ № 2330259 от 07.08.2006. Геохимический способ поисков месторождений полезных ископаемых / О.В. Петров, С.С. Шевченко, С.В. Соколов и др.

5. Соколов С.В. Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения. — СПб.: Наука, 1998.

6. Соколов С.В. Методика прогноза и оценки ресурсного потенциала рудных полей, узлов и районов по потокам рассеяния на стадиях регионального изучения недр и прогнозно-поисковых работ / Прикладная геохимия. Вып. 5: Компьютерные технологии. — М.: ИМГРЭ, 2004. — С. 5–44.

7. Соколов С.В., Амантов В.А., Петров Е.О., Халенев В.О. Шлихогеохимический метод прогноза потенциально золотосных площадей в платформенных структурах России (на примере Северо-Запада Русской платформы) // Сучасні економічні можливості розвитку та реалізації мінерально-сировинної бази України і Росії в умовах глобалізації ринку мінеральної сировини. — Киев, 2005. — С. 252–255.

8. Соколов С.В., Шевченко С.С. Задачи повышения эффективности геохимических работ поисковой геохимии / Прикладная геохимия. Вып. 8: Проблемы поисковой геохимии. Т. 2. — М.: ИМГРЭ, 2008. — С. 3–15.

9. Соловов А.П., Матвеев А.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. — М.: Изд-во МГУ, 1985.

10. Требования к геохимической основе Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (новая редакция). — М.: ИМГРЭ, 2005.

11. Abrams M.J., Brown D. Silver Bell, Arizona, porphyry copper test site / The Joint NASA-Geosat test case study. Section 4. American Association of Petroleum Geologists. — Tulsa, 1985.

12. Sabins F.F. Remote Sensing. Principles and Interpretation. — New York, 1997.

© Коллектив авторов, 2015

Соколов Сергей Валерьевич // sergey_sokolov@vsegei.ru
Володько Сергей Алексеевич // volodko1947@yandex.ru
Юрченко Юрий Юльевич // Yuri_Yurchenko@vsegei.ru
Приходько Евгений Филиппович // gantimureu@gmail.com

УДК 550.4:552.31

Гущин А.В., Гусев Г.С. (ФГУП «ИМГРЭ»)

ПРОБЛЕМЫ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЭТАЛОННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК

Предлагается помимо критериев литофильной, халькофильной и сидерофильной специализации ввести в практику региональных геохимических работ анализ факторов геодинамической, щелочной, ультрамагнезиальной, калиевой, агпаитовой и плюмазитовой специализации, влияющих на концентрации элементов-примесей, оценки фоновых содержаний, интерпретацию АГХП, критерии диагностики тектонических (геодинамических) обстановок. Рассмотрены возможные разновидности и ранги категорий геохимической специализации, примеры влияния отмеченных факторов на содержания крупноионных, высокозарядных, радиоактивных, редкоземельных, сидерофильных и халькофильных элементов. Выводы основаны на сравнении петрогеохимических типов вулканических пород несубдукционных и субдукционных геодинамических обстановок. **Ключевые слова:** вулканы, факторы гео-

химической специализации, щелочной, калиевой, ультрамагнезиальный, агпаитовый, плюмазитовый, геодинамические обстановки, минерогения.

Gushchin A.V., Gusev G.S. (IMGRE)

PROBLEMS OF VOLCANIC COMPLEXES GEOCHEMICAL SPECIALIZATION IN CONNECTION WITH REFERENCE GEODYNAMIC SETTINGS

*In addition to the lithophile, chalcophile and siderophile specialization it is offered to put into practice of regional geochemical work the factors of geodynamic, alkaline, ultramagnesian, potassic, agpaite and plumbite specialization. Influence of these factors on trace elements concentrations, appreciation of background contents, interpretation of anomalous geochemical fields, diagnostic criteria of tectonic (geodynamic) environments becomes obvious. The possible varieties and grades of geochemical specialization categories, examples of positive and negative effects of these factors on the LILE, HFSE, REE, radioactive, siderophile and chalcophile elements are considered. The conclusions are based on a comparison of volcanic rocks petrogeochemical types from nonsubduction and subduction geodynamic environments. **Key words:** volcanic, geochemical specialization factors, alkaline, potassic, ultramagnesian, agpaite, plumbite, geodynamic settings, minerogeny.*

Проблема геохимической специализации вызывает необходимость определения объектов исследования. В предыдущих публикациях авторов данной статьи было показано, что таким объектом должен быть петрогеохимический тип как единица или элементарная ячейка пространства химических составов с однозначно определенными границами по параметрам, не допускающим двойственных толкований [4, 5]. Очевидно, что «вулканическая порода» не является однозначным понятием, поскольку она определена параметрами содержаний породообразующих минералов и вулканического стекла. Границы конкретных пород подлежат согласованию и не совпадают в России и в международной систематике. Известно, что одноименные породы разных обстановок нередко различаются по границам и объемам понятий. В российском петрографическом кодексе заявлено о необходимости разработки систематики, пригодной для компьютерной обработки анализов [9].

В качестве параметров типизации вулканитов нами выбраны содержания петрогенных элементов. На основе анализа зависимостей содержаний микроэлементов от кремнекислотности и серийной принадлежности пород выявлены главные параметры специализации обстановок — первичного звена современных исследований и прогнозирования ресурсов полезных ископаемых [1–3, 6, 7]. Задачи определения фоновых содержаний для конкретных типов пород, их сравнения решаются на основе петрогеохимической систематики вулканитов, охарактеризованной в предыдущих публикациях [4, 5]. Далее будут рассмотрены предлагаемые дополнительные факторы геохимической специализации вулканических пород эталонных геодинамических обстановок.

1. Фактор кремнекислотности

Влияние этого фактора на концентрации микроэлементов прослеживается методом сопоставления петрогеохимических типов, выделяемых в соответствии с комплексной типизацией вулканитов [4, 5]. Примером могут быть любые серии. Рассмотрим тренды величин средних содержаний химических элементов в наиболее распространенных вулканических породах миаскитовой умереннокалиевой нещелочной неультрамагнезиальной серии в диапазоне составов от 42,5 до 77,5 % SiO_2 . Этой серии соответствует ряд петрогеохимических типов: базальтоидов (тип 21), базальтов (22), андезибазальтов (23), андезитов (24), дацитов (25), риодацитов (26), риолитов (тип 27).

Анализ рис. 1 показывает зависимость трендов и абсолютных значений геохимической специализации от диапазона кремнекислотности и геодинамической принадлежности пород. В диапазоне содержаний SiO_2 от 45 до 57 % специализированы на Nb и другие редкие металлы (Zr, Hf, Ta, Th, U, PЗЭ от La до Eu) все несубдукционные обстановки, кроме трапповой. Зависимость содержаний ниобия от SiO_2 в субдукционных вулканитах выражена слабо. Наиболее специализированы на Nb породы тыловых рифтов активных континентальных окраин (АОК) и коллизионных ареалов. Явно бедны перспективы редкометальности вулканитов юных островных дуг. По уровням содержаний Nb и других редких металлов (Ba, Sr, Zr, Ta, Y и PЗЭ), а также по тренду обратной зависимости Nb — SiO_2 (рис. 1Б)

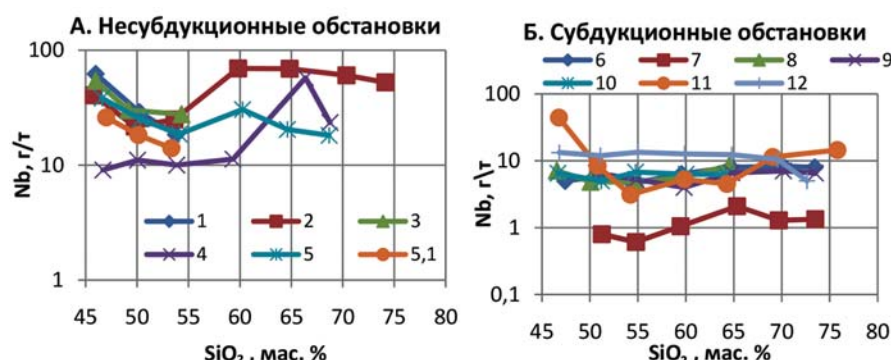


Рис. 1. Влияние фактора кремнекислотности на геохимическую специализацию. Средние содержания ниобия и SiO_2 в вулканических породах миаскитовой умереннокалиевой серии. А — несубдукционные обстановки: 1 — локального континентального внутриплитового магматизма; 2 — внутриплитовых океанических островов; 3 — континентальных рифтов; 4 — трапповых провинций; 5 — срединных океанических хребтов (СОХ); 5,1 — океанических плато. Б — субдукционные обстановки: 6 — глубоководных задуговых бассейнов; 7–9 — островных дуг: 7 — юных, 8 — развитых, 9 — зрелых; 10–11 — активных континентальных

окраин (АОК): 10 — вулканоплутонических поясов, 11 — тыловых рифтов; 12 — коллизионных ареалов. Средние содержания SiO_2 в петрогеохимических типах умереннокалиевых вулканитов: базальтоидов (тип 21) ~46 %; базальтов (тип 22) ~50 %; андезибазальтов (тип 23) ~54 %; андезитов (тип 24) ~60 %; дацитов (тип 25) ~65 %; риодацитов (тип 26) ~70 %; риолитов (тип 27) ~75 %

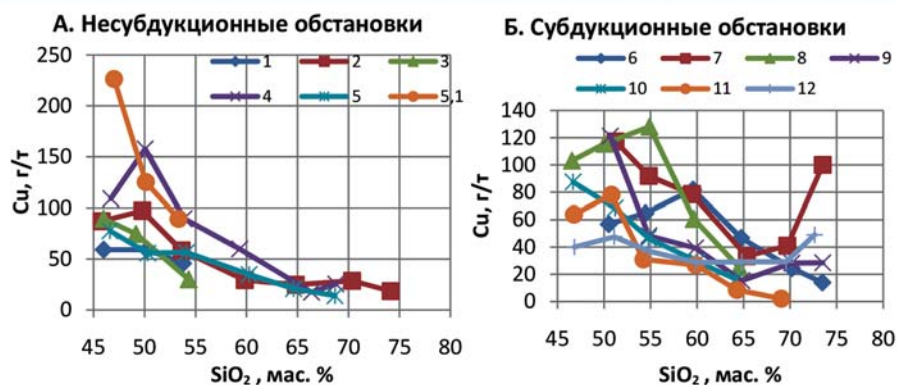


Рис. 2. Влияние фактора кремнекислотности на геохимическую специализацию. Средние содержания меди и SiO_2 в вулканических породах миаскитовой умеренно-калиевой серии. Усл. обозначения см. на рис. 1

вулканыты тыловых рифтов АОК близки к таковым большинства несубдукционных обстановок с их высокой редкометалльной геохимической и металлогенической специализацией.

Противоположны примеры рис. 2. Максимально обогащены медью обстановки траппов и океанических плато. Минимальные концентрации определены для остальных несубдукционных обстановок с характерной для них редкометалльной специализацией. Зависимость содержаний меди от кремнекислотности непостоянна. Она может быть прямой в интервалах 43–52 и 67–75 % SiO_2 . Низкие содержания отмечаются для вулканических тыловых рифтов АОК и коллизионных ареалов. Для них характерна редкометалльная специализация. Обогащены медью обстановки задуговых бассейнов и юных островных дуг, отличающиеся низкими перспективами редкометалльной специализации. Антагонизм редкометалльной и медной геохимических специализаций подтверждается для разных обстановок. Векторы кремнекислотности служат индикатором специализации локальных, рифтогенных и плюмовых, континентальных и океанических обстановок, различных по минерагенической перспективности.

2. Фактор щелочности

Влияние фактора щелочности, определяемой на диаграммах «щелочи — кремнезем», прослежено в петрогеохимических рядах нещелочных — щелочных пород. Щелочные вулканические породы во всех геодинамических обстановках распространены намного реже пород низкой и умеренной щелочности. Это ограничивает возможности оценки влияния фактора щелочности. Наиболее благоприятны для такого анализа обстановки локального континентального и океанического магматизма, континентальных рифтов и океанических плато. Среди субдукционных вулканических пород щелочные породы представлены достаточно широко в зрелоостроводужных, АОК и коллизионных ассоциациях. Они крайне редки в обстановках срединных океанических хребтов (СОХ), задуговых бассейнов и юных островных дуг.

В ультраосновной нефелинитовой подгруппе сравниваются пары петрогеохимических типов умеренно-калиевой (типы 20, 320) и высококалиевой (типы 30, 330) разновидностей. В группе основных пород доступны для сравнения базальтоиды и базальты типов 21, 31,

32, 42 с их щелочными аналогами — базанитами, нефелинитами, фанотейритами (типы 321, 331, 332, 342).

Вулканыты среднего состава представлены ультракалиевыми умеренно-щелочными трахиандезитобазальтами и трахиандезитами (типы 43, 44). Они также сравниваются с соответствующими им щелочными породами типов 343, 344 — фанолитами, трахифанолитами, трахиандезитами и трахитами. В большинстве геодинамических обстановок интервала 40–60 % SiO_2 ультраосновные — средние щелочные породы обогащены Al, P, Rb, Ba, Sr, высокочарными элементами (HFSE) от Zr до U, Pb, легкими РЗЭ (от La до Nd) и обеднены Ti, Fe, Ca, Mg, Sc, Yb и Lu.

Дацинты часто не имеют щелочных аналогов. Сравнение возможно для риодацитов и риолитов (типы 36, 37) с породами петрогеохимических типов 336, 337 — трахириолитами вулканоплутонических поясов, тыловых рифтов АОК и коллизионных ареалов. Геохимическая специализация в этих подгруппах кремнекислотности существенно иная. Нещелочные породы по сравнению со щелочными бывают обогащены Ca, Ba, Sr, Zr, Nb, La, Ce. Влияние фактора щелочности зависит от кремнекислотности пород, времени кристаллизации главных и акцессорных минералов. Различия геохимической специализации вулканических ультраосновных, основного, среднего и кислого составов зависят от обстановки магматизма и взаимодействия с векторами других факторов.

3. Фактор калиевой специализации

Эффект этого фактора выражен калиевым контролем поведения некогерентных элементов. Породы высококалиевых серий преобладают в комплексах горячих точек континентов и океанов, в континентальных рифтах, тыловых зонах АОК и коллизионных ареалов, т.е. в начальных и завершающих фазах цикла Вилсона. Низкокалиевые породы доминируют в комплексах океанского и задугового спрединга, юных островных дуг и океанических плато. В ассоциациях траппов, развитых и зрелых дуг, а также фронтальных поясов АОК чаще встречаются умереннокалиевые вулканыты (табл. 1).

Прямая зависимость средних содержаний некогерентных элементов от фактора калиевой щелочности базальтов отчетливо выражена для группы несубдукционных обстановок. В рядах от низко- к высоко- и ультракалиевым породам концентрации Zr, Nb и La закономерно возрастают в 3–10 раз. В группе субдукционных обстановок базальты по распространенности уступают вулканическим среднего состава — андезитобазальтам и андезитам. Высоко- и ультракалиевые базальты наиболее широко развиты в обстановках тыловых рифтов АОК и в коллизионных ареалах. Влияние фактора калиевой щелочности на составы базальтов группы субдукционных обстановок осложняется взаимодействием с векторами общей щелочности и выражено в этой

Таблица 1
Различия средних содержаний циркония, ниобия и лантана (г/т) в миаскитовых базальтах эталонных геодинамических обстановок (1-12)

Элемент	Петрогеохим. тип*	Обстановки**												
		несубдукционные						субдукционные						
		1	2	3	4	5	5,1	6	7	8	9	10	11	12
Zr	12	100	106	95,3	113	95,9	77,6	80,2	36,6	40,9	90,2	53,3	—	124
	22	163	185	174	146	137	175	86,5	47,8	74,5	98,3	102	110	183
	32	263	339	279	240	208	273	120	—	67,0	134	219	190	252
	42	409	330	409	325	360	435	—	—	56,3	194	—	289	358
Nb	12	6,8	8,7	5,5	5,5	6,8	4,7	2,0	0,82	1,2	5,34	3,63	—	6,30
	22	24,9	21,7	30,9	11,4	12,2	15,2	6,0	0,80	4,8	7,40	7,70	19,8	12,0
	32	45,4	58,9	69,6	29,9	—	31,6	10,7	—	6,6	8,76	17,9	17,6	26,9
	42	94,3	78,3	80,3	44,0	—	—	—	—	3,9	13,9	—	20,9	—
La	12	6,9	6,9	7,1	9,7	6,1	2,8	4,0	2,2	3,6	6,0	4,2	—	5,7
	22	18,3	21,7	27,3	17,2	11,4	11,0	8,5	3,9	10,0	23,4	11,6	23,9	22,0
	32	45,7	50,4	59,5	37,4	—	30,6	26,3	—	13,2	29,8	73,7	29,1	59,7
	42	73,2	72,1	87,0	—	—	—	—	—	10,7	55,0	—	42,7	183

*Петрогеохимические типы базальтов: 12 — низкокальциевые, 22 — умереннокальциевые, 32 — высококальциевые, 42 — ультракальциевые.
 **Цифрами 1–12 обозначены геодинамические обстановки в соответствии с рис. 1.
 Примечания. 1. Прочерк в ячейках означает отсутствие пород соответствующего типа. 2. Цветами выделены ячейки средних содержаний элементов: минимальные — синим, высокие — желтым, максимальные — оранжевым.

группе слабее, чем в несубдукционных. По уровням концентраций некогерентных элементов базальты несубдукционных обстановок заметно обогащены по сравнению с субдукционными (табл. 1).

Бимодальность распределения концентраций между обстановками выражается в обедненности некогерентными элементами вулканитов задуговых бассейнов, юных и развитых островных дуг. Ультракальциевые миаскитовые породы базальтовой подгруппы (тип 42) обогащены Al, Na, K, P, Li, Rb, Ba, Sr, Hf, Nb, Th, U, Zn, Pb, La, Ce, Nd. Их низкокальциевые аналоги (тип 12) отличаются от базальтов типов 22, 32, 42 высокими содержаниями Mg, Ca, Cu, Cr, Ni, Co. Умереннокальциевые (тип 22) обогащены Fe и V. Высококальциевые (тип 32) характеризуются повышенными содержаниями Ti, Mn, Zr, Y, средних и тяжелых РЗЭ.

4. Фактор ультрамагнезиальной специализации

Действие этого фактора выявляется при сравнении ультрамагнезиальных типов с их неультрамагнезиальными аналогами. Например, неультрамагнезиальной породе — базальтоиду типа 21 соответствует его ультрамагнезиальный аналог — пикрит (тип 421). Возможности нахождения таких пар существуют в несубдукционных обстановках, в юных и развитых островных дугах, тыловых рифтах АОК. Подобные пары нередки в умереннокремнеземистых основных породах — базальтах типа 22 и ультрамагнезиальных анкарамитах и пикритах типа 422 (рис. 3).

Точки средних содержаний ниобия, стронция и кремнезема соответствуют петрогеохимическим типам: 20 (нефелинитов), 30 (анкарамитов), 11, 12, 21, 22 (базальтов), 31 (анкарамитовых базальтов) и ультрамагнезиальным аналогам этих пород: ультраосновным вулканитам (типы 420, 430), толеитам (411, 412), пикритами, океанитам (421, 422) и пикритовым базальтам (тип 431). Ультрамагнезиальные породы заметно обеднены Nb и Sr (рис. 3).

В целом для обстановки внутриплитовых океанических островов и многих других обстановок влияние фактора ультрамагнезиальности выражено снижением содержаний кремнезема, Ti, Al, Fe, Ca, Na, K, P, других крупноионных литофильных элементов (Rb, Ba, Sr, Pb), элементов высокочargedных ионов (Zr, Hf, Th, U, Nb, Ta), большинства РЗЭ, Y. Ультрамагнезиальные вулканиты наряду с Mg и Cr обогащены Ni и, как правило, обеднены V и Sc.

5. Фактор агпаитовой специализации

Действие этого фактора выявляется сравнением неагпаитовых петрогеохимических типов с их агпаито-

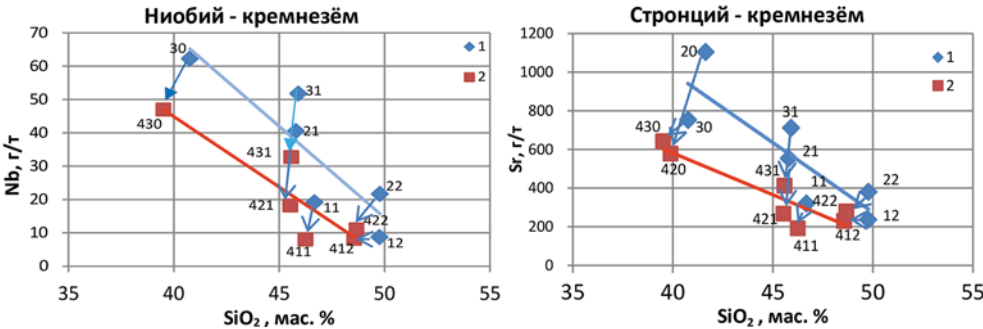


Рис. 3. Влияние фактора ультрамагнезиальности на концентрации Nb и Sr в вулканических породах внутриплитовых океанических островов: 1 — неультрамагнезиальные, 2 — ультрамагнезиальные породы. Цифрами возле точек обозначены петрогеохимические типы пород (см. пояснения в тексте и [4, 5])

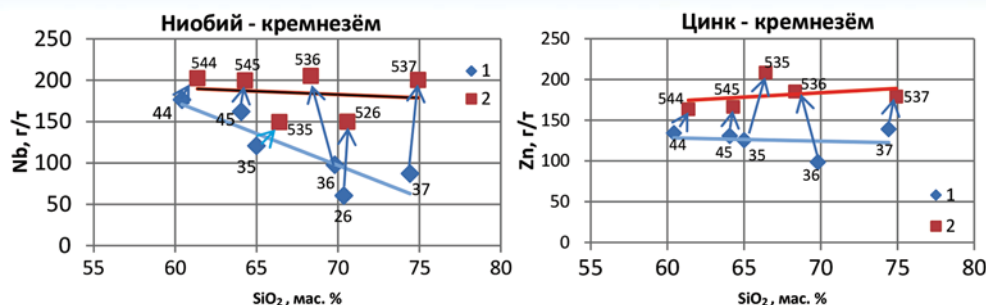


Рис. 4. Влияние фактора агапитовости на концентрации ниобия и цинка в трахиандезит-комендитовом интервале вулканических пород внутриплитовых океанических островов: 1 — миаскитовые, 2 — агапитовые породы

выми аналогами. Например, неагапитовому ультракалийевому трахибазальту типа 42 соответствует его агапитовый аналог, также ультракалийевый умереннокремнеземистый основной лампроит типа 542. Возможности нахождения таких пар ограничены редкостью вулканических пород агапитового ряда. Они наиболее распространены в ассоциациях несубдукционных обстановок. Большинство из них представлено лампроитами локального континентального внутриплитового магматизма. Среди них преобладают представители высоко- и ультракалийевых серий. Для сравнения с неагапитовыми аналогами пригодны семь типов этой геодинамической обстановки. Кремнекислые высококалийевые породы представлены типами 535 (трахиты и сиениты), 537 и 538 (комендиты). К ультракалийевому ряду относятся четыре типа: 542, 543, 544 (лампроиты) и 545 (бостониты и трахиты). Их высококалийевые неагапитовые аналоги получили названия бенморейтов, трахидацитов и трахитов (тип 35), риолитов и трахириолитов (тип 37), комендитов (тип 38). Ультракалийевые разности отнесены к щелочным базальтам или лимбургитам (тип 42), анортотлазовым фонолитам (тип 43), к трахиандезитам, трахитам, фонолитам (тип 44), также к фонолитам и трахитам (тип 45).

Агапитовые породы основного и среднего состава как правило обогащены некогерентными элементами по сравнению с их миаскитовыми аналогами. Более сложная картина характеризует распределение микроэлементов в парах неагапитовых — агапитовых кислых вулканитов. В частности, повышенные содержания бария и стронция отмечены в неагапитовых породах типов 35, 37 и 45.

Влияние фактора агапитовости на концентрации микроэлементов рассматривается ниже на примере вулканитов океанических островов. Миаскитовые породы среднего состава представлены ультракалийевыми фонолитами (тип 44). Их агапитовый аналог — ультракалийевые трахифонолиты (тип 544). Миаскитовым трахитам (типы 35, 45) соответствуют агапитовые аналоги — трахиты типов 535, 545. Миаскитовые риодациты (типы 26, 36) сравниваются с агапитовыми пантеллеритами (типы 526, 536). Высококалийевым риолитам типа 37 равноценны по параметрам калиевости и кремнекислотности комендиты типа 537 (рис. 4).

Анализ рис. 4 и средних составов вулканических пород этой обстановки и других показывает, что агапитовые породы по сравнению с их миаскитовыми аналога-

ми обогащены Fe, Zr, Nb, Zn, РЗЭ и обеднены Al, Mg, Ca, Ba, Sr, Pb. Различия концентраций Nb (рис. 4) и Zr наиболее существенны в вулканитах кислого (трахидацитового и комендитового) состава.

6. Фактор плюмазитовой специализации

Действие этого фактора выявляется путем сравнения миаскитовых типов с их плюмазитовыми аналогами.

Возможности нахождения таких пар ограничены редкостью основных вулканических пород плюмазитового ряда. Они наиболее распространены в ассоциациях субдукционных обстановок. Большинство из них представлено базальтами, андезибазальтами и риолитами глубоководных задуговых бассейнов. В их числе преобладают породы низко- и умереннокалийевых серий.

Анализ средних составов вулканитов показывает, что плюмазитовые породы по сравнению с их миаскитовыми аналогами наряду с Al обогащены Ti, Mg, Na, K, Cr, Co, V и обеднены SiO₂, Fe, Ca, Rb, Sr, Zr, Nb, Ni, Sc, Y, La. Различия концентраций Rb и Nb наиболее существенны в вулканитах основного состава. Отчетливо проявлены зависимости концентраций микроэлементов от фактора калиевой щелочности. Ориентировка вектора плюмазитовости в отдельных сравниваемых типах нередко зависит от их кремнекислотности и может меняться на противоположную. Отклонения от основных тенденций могут быть связаны с влиянием других факторов.

Поиски связей геохимической и металлогенической специализации

Проблема приобрела новое освещение в связи с тектонохимическими исследованиями [4–7]. Они позволяют говорить о геохимической и металлогенической специализации геодинамических обстановок, о связи геологических и рудных формаций. Редкометалльная специализация типична для континентальных обстановок локального и рифтового магматизма, а также для тыловых зон АОК (табл. 2).

Опыт составления геохимических основ Гостеолкарты 1000/3 показывает, что анализ геохимической специализации геологических комплексов является одним из важнейших инструментов геодинамической диагностики. Она служит основанием для выделения прогнозируемых, ранее не известных на исследуемой территории рудных формаций. По геохимической специализации производится количественная оценка прогнозных ресурсов полезных ископаемых, исследуются геохимическая зональность, история формирования и закономерности размещения месторождений на площадях разноранговых металлогенических таксонов, выявляется вклад природной составляющей геоэкологии территорий.

Корреляционные связи геохимической специализации вулканизма и металлогенических особенностей эталонных геодинамических обстановок подтверждают

Таблица 2

Геохимическая и металлогеническая специализация магматических пород геодинамических обстановок [2-5, 8]

Геодинамические обстановки	Геохимическая специализация		Металлогеническая специализация обстановок в целом
	обстановок в целом	отдельных типов пород*	
Континентальные горячие точки	Nb Zr Ce Zn	44: Nb Ta Hf Zr Ce Th U Zn	Nb Ta Zr Y Ce P Fe Ti Pt U Mo Cu Pb Zn F Sr, алмазы
Океанические горячие точки	Nb Ta Ce Zr Hf Zn Th	32: Nb Hf Ce Ta Zr Sr Th Y Zn Ba	—
Континентальные рифты	Nb Th Ce Ta Ba Hf Zr Zn Pb	32: Nb Ta Ce Zr Ba Pb Zn. 12: Co Ni Cu Zn	Ba Pb Zn F Ta Nb Zr Ce Y Cu Ni Co
Траппы	Cu Zn Co	12: Cu Co Zn Ni	Cu Ni Co Fe Pt Se Au Zn
СОХ	Co Ni	12: Ni Co Cu Zn	Cu Zn
Задуговые котловины	Co Ni	412: Co Ni Cu Zn	Cu Zn Pb
Островные дуги	юные	Cr Sc Co Ni Cu	13: Sc Ni Cu V Co
	развитые	Cu Zn Pb	23: Cu Zn Co Pb
	зрелые	Cu Pb Ba Th Zn	43: Sr Cu Ba Zr Hf Pb Zn
Фронтальные зоны АОК	—	23: Cu Zn Sr 35: Ba Cu Zn Pb	Fe Cu Mo Sn Pb Ag Au As Hg
Тыловые зоны АОК	Nb Ba	637: Nb Ta Pb	Li Be Ta Nb F U W Mo Sn Bi Pb Zn Sb Hg Au Ag
Коллизионные ареалы	Nb Pb Zr Zn Ba	33: Ce Nb Pb Sr Zr Ba Zn	Sn W Pb Mo Zn Au Ag Pt Sb Hg U

*Цифрами обозначены петрогеохимические типы вулканических пород: 12, 13 — низкокальциевые базальты (12) и андезитобазальты (13); 23 — умереннокальциевые андезитобазальты; 32, 33, 35 — высококальциевые: базальты (32), андезитобазальты (33) и дациты (35); 43, 44 — ультракальциевые: трахиандезитобазальты (43), трахиты, фонолиты, бенморейты и др. (44); 412 — ультрамагнезиальные низкокальциевые базальты и микрогаббро; 637 — плюмазитовые высококальциевые риолиты.

целесообразность применения комплексной типизации для обоснования металлогенических выводов. По ряду некогерентных элементов устанавливается связь аномально обогащенных литофилами вулканитов с рудными объектами. Апробирована целесообразность выделения агпаитовых и плюмазитовых, щелочных, ультракальциевых и ультрамагнезиальных типов [1–3, 5, 7, 8].

Геохимическое картирование территории России постепенно будет переходить к работам все более крупного масштаба. При этом возрастет потребность в детализации эталонов и оценок фоновых содержаний. Новые критерии геохимической специализации призваны, в частности, внедрить в практику геохимических исследований использование данных анализов петрогенных химических элементов. Без этой основы повисают в воздухе многие выводы о геохимической специализации, аномалиях и т.д. Представляется полезным распространение петрогеохимической типизации вулканитов также на plutonic, метаморфические и осадочные породы. Это особенно важно для прикладных геохимических исследований.

Общая характеристика геохимической специализации содержится в номенклатуре петрогеохимических типов вулканитов [4, 5]. Выбор фоновых содержаний (породных кларков) определяется относительной распространенностью пород [6]. В частности, для базальтов эталоном следует признать умереннокальциевую микситу породу (петрогеохимический тип 22), которая отмечена во всех несубдукционных и субдукционных геодинамических обстановках [4, 6, 10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Головин А.А., Гуцин А.В., Загубный Д.Г., Межеловский А.Д. Выявление новых перспективных площадей с использованием коэффициентов геохимической зональности // Разведка и охрана недр. — 2007. — № 2–3. — С. 63–68.
2. Гусев Г.С., Гуцин А.В., Межеловский Н.В., Киликко В.А. Два типа редкометалльного оруденения на территории России: геодинамические модели формирования // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 2. — С. 38–43.
3. Гусев Г.С., Гуцин А.В., Перевалова А.А., Сироткина О.Н. Геохимическая специализация геологических комплексов: значение для геологических и прогнозно-металлогенических исследований // Разведка и охрана недр. — 2010. — № 5. — С. 27–31.
4. Гуцин А.В. Петрогеохимическая типизация вулканических пород для целей распознавания тектонических (геодинамических) обстановок // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 12. — С. 66–72.
5. Гуцин А.В., Гусев Г.С. Геохимические особенности магматических пород и металлогеническая характеристика геодинамических обстановок / Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов. — М., 1999. — С. 23–158.
6. Гуцин А.В., Гусев Г.С. Распространенность петрогеохимических типов и серий вулканических пород как критерий распознавания тектонических (геодинамических) обстановок // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 12. — С. 72–76.
7. Гуцин А.В., Гусев Г.С., Межеловская С.В. Петрогеохимические критерии распознавания тектонических (геодинамических) обстановок по составам вулканических пород // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 12. — С. 76–81.
8. Гуцин А.В., Гусев Г.С., Межеловский Н.В., Киликко В.А. Редкоземельные рудные формации: распространенность и геодинамическая принадлежность // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 6. — С. 55–61.
9. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. 3-е изд. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009.
10. Gushchin A.V., Gusev G. S. Geochemical Types of Igneous Rocks in Various Geodynamic Environments / Geodynamics and Metallogeny: Theory and Implications for Applied Geology. — М., 2000. — P. 469–516.

© Гуцин А.В., Гусев Г.С., 2015

Гуцин Анатолий Васильевич // gusev@imgre.ru
Гусев Григорий Степанович // gusev@imgre.ru

551.243:550.4.01:553.3

Григоров С.А. (ООО «Хужир Энтепрайз»)

О РОЛИ СТРУКТУРНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Эффективность поисков рудных месторождений может быть увеличена за счет структурно-геохимического моделирования иерархической рудообразующей (ореолообразующей) системы. Взаимобусловленные таксоны системы отражены концентрически-зональными и полярно-