

- Ангари-Витимского батолита // Доклады РАН. — 1995. — Т. 344. — № 3. — С. 377–380.
17. Русинов В.Л. Условия проявления вертикальной метасоматической зональности // Метасоматизм и рудообразование. — М.: Наука, 1984. — С. 247–256.
 18. Кучеренко И.В. Геохимические аномалии благородных металлов как составная часть окколорудных метасоматических ореолов в мезотермальных месторождениях золота // Известия Томского политехнического университета. — 2005. — Т. 308. — № 4. — С. 25–32.
 19. Кучеренко И.В. К методике формирования выборок для расчета статистических параметров распределения и баланса химических элементов в окколорудном пространстве гидротермальных месторождений золота // Известия Томского политехнического университета. — 2005. — Т. 308. — № 2. — С. 23–30.
 20. Кучеренко И.В. Об источниках кремнезема в образовании мезотермальных кварцево-жильных золотых месторождений // Горно-геологическое образование в Сибири: 100 лет на службе науки и производства: Матер. Междунар. научно-техн. конф., г. Томск, сентябрь 2001 г. Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых. — Томск: Изд-во ТПУ, 2001. — С. 249–255.
 21. Кучеренко И.В. Окколорудный метасоматизм как критерий генетической однородности мезотермальных золотых месторождений, образованных в черносланцевом и несланцевом субстрате // Известия Томского политехнического университета. — 2005. — Т. 308. — № 1. — С. 9–15.
 22. Кучеренко И.В. Теоретические и прикладные аспекты изучения геохимии титана, фосфора, магния в мезотермальных золотых месторождениях. Ч. 1 // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — Т. 307. — № 2. — С. 49–55.

УДК 550.422

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ НЕОДНОРОДНОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКОГО СПЕКТРА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ

Р.Ю. Гаврилов, А.А. Поцелуев

Томский политехнический университет

E-mail: gavrilovroman9@mail.ru

Приводится методика оценки и использования комплексных геохимических показателей при изучении степени неоднородности геологических образований. Изложены рекомендации по использованию химических элементов с различным уровнем накопления при расчете комплексных показателей. Показано значительное влияние таких элементов как магний, углерод, сера, скандий, ванадий, хром, кобальт, никель, медь, бор, азот, самарий, гадолиний, мышьяк, сурьма, палладий, европий, тербий, гольмий на неоднородность геохимического спектра.

Введение

В практике поисков и разведки месторождений полезных ископаемых применяются различные комплексные геохимические показатели. Важнейшими из них являются характеристики неоднородности геологических образований.

В работах В.В. Ляховича [1–3] обращено внимание на неоднородное распределение рудных и редких элементов в гранитоидах СССР. Колебания содержания отдельных элементов в измененных гранитоидах изменяются в пределах до 1400 раз.

На важное значение дисперсии концентраций элементов для оценки потенциальной рудоносности обратили внимание Л.В. Таусон и др. [4]. В этой работе отмечается, что дисперсия концентраций многих редких элементов в массивах изверженных горных пород существенно изменяется в зависимости от особенностей становления, кристаллизации и дифференциации интрузий, а также от их постмагматической истории развития.

Для оценки неоднородности геохимического спектра геологических образований используют показатели дисперсии и вариации.

Подобные подходы к обработке геохимической информации были предложены ранее Н.И. Сафроновым [5] и С.Г. Выборовым [6]. В первом случае

было предложено оценивать энергию рудообразования для характеристики руд сложного состава и комплексных ореолов по формуле:

$$E_n = \sum_{i=1}^n K_i \cdot \ln K_i,$$

где K_i — коэффициент концентрации i -ого элемента, n — число элементов.

В другом случае авторы [6] предложили оценивать нарушенность геохимического поля для локализации участков, перспективных на обнаружение рудных тел.

Для оценки степени нарушенности геохимического поля было предложено использовать комплексный показатель (КП), который рассчитывается для каждой пробы в следующей последовательности: 1) Коэффициенты концентрации (K_c) всех элементов пробы по формуле $K_c = C_i / C_{fi}$, где K_c — коэффициент концентрации i -ого элемента, C_{fi} — фоновое содержание i -ого элемента, рассчитанное для определенного типа пород; 2) среднее арифметическое значение коэффициента концентрации в пределах пробы: $K_c = \sum_{i=1}^n \frac{K_{ci}}{n}$, где n — число включенных в расчет элементов пробы; 3) на основе среднего K_c и K_{ci} всех элементов вычисляется комплексный показатель нарушенности геохимического поля (K_d) для каждой пробы по формуле:

$$K\partial = \frac{\sum_{i=1}^n (Kc_i - \overline{Kc})}{n-1}.$$

В последующем было показано, что применение этих подходов позволяет оценить степень неоднородности геохимического спектра геологических образований по показателям дисперсии геохимического спектра (ДГС) и вариации геохимического спектра (ВГС). Данные КП были использованы для оценки геохимической неоднородности геологических образований при поисках месторождений полезных ископаемых [7–9]. На примере нефтяных, урановых и редкометалльных месторождений показано увеличение степени неоднородности геохимического спектра от вмещающих пород – к рудным телам.

В связи с применением различных методов анализа геологических проб, различным количеством и перечнем анализируемых элементов возникает ряд методических вопросов в применении данных подходов при обработке прогнозно-поисковой геохимической информации. В данной статье обсуждается влияние различных групп и отдельных химических элементов на оценку неоднородности геохимического спектра и даются соответствующие рекомендации.

Результаты исследований и их обсуждение

Геохимический спектр геологических образований включает 92 элемента, от H до U. Из этого перечня достоверно известно о среднем содержании в верхней части Земной коры 70 элементов. Данные элементы по уровню накопления можно условно разделить на пять групп (в скобках показан условный номер элемента в группе; в I и II группах дана сквозная нумерация; элементы в пределах группы расположены в порядке увеличения атомной массы):

- I группа – элементы с содержанием от n до $0,1n$ % (O (2), Na (4), Mg (5), Al (6), Si (7), P (8), K (11), Ca (12), Ti (13), Fe (15));
- II группа – с содержанием $0,01n$ % (C (1), F (3), S (9), Cl (10), Mn (14), Rb (16), Sr (17), Zr (18), Ba (19));
- III группа – к ней отнесены элементы с содержанием $0,001n$ % (Li (1), B (2), N (3), Sc (4), V (5), Cr (6), Co (7), Ni (8), Cu (9), Zn (10), Ga (11), Y (12), Nb (13), La (14), Ce (15), Nd (16), Pb (17), Th (18));
- IV группа – элементы с содержанием $0,0001n$ % (Be (1), Ge (2), As (3), Br (4), Mo (5), Sn (6), Cs (7), Pr (8), Sm (9), Gd (10), Dy (11), Er (12), Yb (13), Hf (14), Ta (15), W (16), U (17));
- V группа – все оставшиеся элементы с содержанием $0,00001n$ % и менее (Se (1), Pd (2), Ag (3), Cd (4), In (5), Sb (6), I (7), Eu (8), Tb (9), Ho (10), Tm (11), Lu (12), Au (13), Hg (14), Tl (15), Bi (16)).

Почти во всех описанных группах преобладают литофильные элементы и только в V группе – 9 из 16 элементов представлены халькофилами.

Различные группы элементов вносят различный вклад в общую дисперсию и вариацию геохимического спектра (табл. 1). В I группе ДГС меняется от 0,06 ед. в кислых до 36 ед. в ультраосновных породах; во II группе дисперсия изменяется от 0,1 ед. в кислых до 240 ед. в осадочных породах; от 0,5 ед. в средних до 730 ед. в ультраосновных породах колеблется дисперсия в III группе; IV группа элементов характеризуется ростом дисперсии от 0,02 ед. в ультраосновных породах до 2,2 ед. в средних; в V группе значения показателя возрастают от 3,6 ед. в средних до 3580 ед. в ультраосновных разностях.

Вариация геохимического спектра в породах Земной коры в I группе колеблется от 30 % в кислых до 250 % в ультраосновных породах; во II группе показатель изменяется от 24 % в кислых до 220 % в осадочных образованиях; с 52 % в кислых до 260 % в ультраосновных увеличивается ВГС в III группе элементов; IV группа имеет крайне низкие значения: от 55 % в кислых до 110 % в ультраосновных породах; последняя V группа характеризуется минимальным значением вариации в средних породах – 100 % и максимальным в ультраосновных – 380 %.

Таблица 1. ДГС и ВГС в горных породах Земной коры по группам элементов

Показатель		Группы элементов				
Горные породы		I	II	III	IV	V
ДГС	Ультраосновные	36,5	0,6	730	0,02	3580
	Основные	1,1	0,8	5	0,2	84
	Средние	0,3	0,3	0,5	2,2	3,6
	Кислые	0,06	0,1	5	0,4	22
	Осадочные (глины и сланцы)	0,1	240	48	0,9	6
Горные породы		I	II	III	IV	V
ВГС	Ультраосновные	250	180	260	110	380
	Основные	66	100	104	63	230
	Средние	40	48	52	85	100
	Кислые	30	24	140	55	160
	Осадочные (глины и сланцы)	37	220	200	57	130

Для определения минимального количества элементов, используемых при расчете комплексных показателей были взяты средние содержания в магматических и осадочных породах [10]. Средние содержания химических элементов нормированы по кларку верхней части Земной коры [11]. На рис. 1 показано распределение ДГС в группах при начальном шаге в 3 элемента и последующем увеличении выборки на один элемент. Элементы в группах расположены в порядке увеличения атомной массы.

При построении графиков, I и II группы были объединены (рис. 1), как из-за малого количества элементов, так и по схожему распределению показателей ДГС и ВГС в обеих группах. ДГС пород I и II групп элементов изменяется в небольших пределах, практически независимо от числа элементов, участвующих в расчете. Однако, наблюдается резкий скачок показателя при включении в расчет магния. Осадочные породы отличаются очень высокими значениями показателя, что определяется высоким кларком концентрации (КК) углерода и

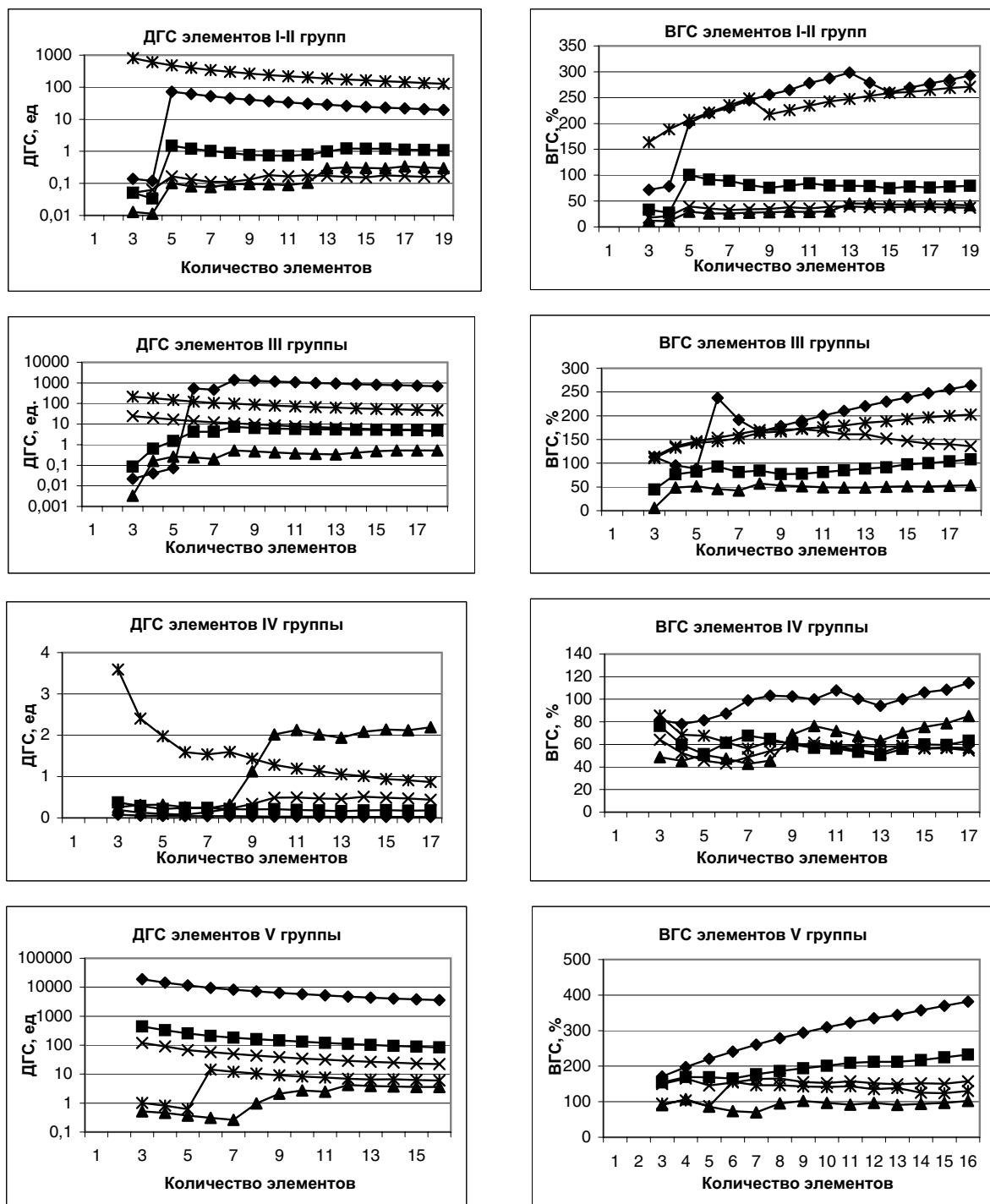


Рис. 1. Изменение показателей ДГС и ВГС по группам элементов в различных геологических образованиях Земной коры. Поро- ды: ♦ - ультраосновные, ■ - основные, ▲ - средние, × - кислые, * - осадочные

серы, и характеризуется плавным снижением значений при увеличении количества элементов, участвующих в расчете показателей.

Увеличение значений КП в III группе элементов в ультраосновных, основных и средних магматических породах обусловлено высокими значениями относительных концентраций скандия, ванадия, хрома, кобальта, никеля и меди. Основной вклад в высокую дисперсию элементов III группы в осадочных и кислых породах вносят литий, бор и азот, после чего ее значения стабилизируются.

В IV группе элементов значение ДГС в разных группах пород остаются приблизительно одинаковыми, независимо от количества элементов, участвующих в расчете КП. Лишь при включении в расчет показателя мышьяка в осадочных породах ДГС резко возрастает. За счет высоких КК самария и гадолиния происходит увеличение дисперсии в средних породах.

В ультраосновных, основных и кислых породах в V группе увеличение значений ДГС обусловлено, в первую очередь, высоким КК палладия, после чего значения показателя плавно снижаются. В средних породах наблюдается резкий скачок ДГС при включении в расчет показателя европия, тербия и гольмия. Резкий рост ДГС в осадочных породах при включении в расчет показателя сурьмы обусловлен ее высоким КК.

На рис. 1 также показано распределение ВГС в группах при начальном шаге в 3 элемента и последующем увеличении выборки на один элемент.

Вариация геохимического спектра пород I и II групп является стабильно низкой, исключая осадочные породы. Резкий рост показателя в ультраосновных и основных породах вызван высоким КК магния.

В ультраосновных, основных и средних породах III группы резкий рост значений вариации вызван отклонением от среднего КК скандия, ванадия и хрома. Значения ВГС плавно растут в кислых и осадочных породах.

В четвертой группе элементов распределение ВГС по породным разностям остается на одном уровне (40...60, 60...80, 80...120 %). В средних породах отмечается рост показателя при включении в расчеты самария и гадолиния.

Распределение ВГС в средних, кислых и осадочных породах приблизительно равномерно в V группе элементов. Лишь в осадочных породах рост показателя связан с высоким КК сурьмы. В ультраосновных и основных породах значения показателя плавно возрастают.

Распределение ДГС и ВГС I–II групп показано на рис. 1. Как следует из графиков, резко возрастают значения КП при включении в расчет магния. На рис. 2 показано распределение КП I–II групп элементов без магния. Дисперсия геохимического спектра магматических пород изменяется в пределах 0,01...0,14 ед. В осадочных породах высокие значения показателя вызваны высоким КК углерода.

Вариация геохимического спектра в магматических породах также распределена равномерно, независимо от количества элементов, задействованных в расчете показателя. В осадочных породах вариация геохимического спектра плавно растет, что также обусловлено высоким уровнем накопления углерода.

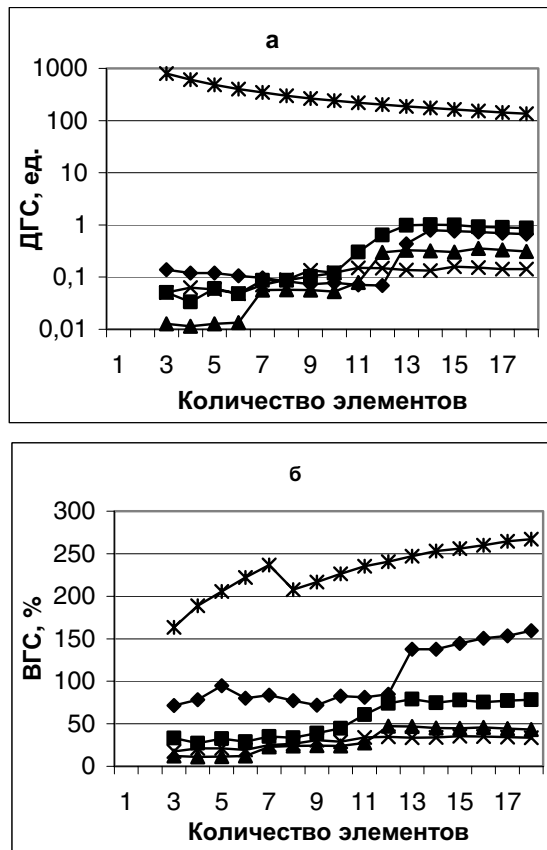


Рис. 2. Изменение ДГС (а) и ВГС (б) по I–II группам элементов в породных разностях, без Mg. Условные обозначения те же, см. рис. 1

При сравнении КП элементов I–II групп с магнием и без него (рис. 1, 2) можно сделать вывод о том, что при исключении высококаркасовых элементов ДГС и ВГС групп элементов распределены равномерно, независимо от количества элементов, участвующих в расчете.

Таблица 2. Элементы, вносящие основной вклад в величину ДГС и ВГС в группах

Породы	Группа				
	I	II	III	IV	V
	Элементы				
Ультраосновные	Mg	–	Cr, Co, Ni	–	Pd
Основные	Mg	–	Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu	–	Pd
Средние	Mg	–	Sc	Sm, Gd	Eu, Tb, Ho
Кислые	Mg	–	N	–	Pd
Осадочные	–	C, S	B, N	As	Sb

В каждой группе обособились элементы, которые в различных породных разностях в десятки раз увеличивают значения комплексных показателей

(табл. 2). Высокая индикаторная роль этих элементов в решении вопросов рудогенеза, широкая возможность их использования при прогнозировании и поисках различных месторождений и, в первую очередь благородно- и редкометалльных, подчеркиваются во многих опубликованных работах.

Так в работах И.В. Кучеренко [12, 13] обращено внимание на аномальные содержания магния в ореолах мезотермальных золотых месторождений, связанных с зонами глубинных разломов. Ф.А. Летниковым [14] отмечается участие углерода, серы, бора во флюидных потоках, восходящих из ядра и мантии, а, следовательно, на их участие в образовании магматических, метаморфических и осадочных пород Земной коры. Сидеро-халькофильная группа элементов: хром, кобальт, никель, скандий, ванадий, медь являются индикаторами многих рудных месторождений, а также ведущими элементами ультраосновных и основных пород. С аномалиями мышьяка и сурьмы связываются аномалии золоторудных полей и комплексных редкометалльных месторождений [15, 16]. Высокая индикаторная роль редкоземельных элементов подчеркивается в работах [17 и др.]

На рис. 3 показано изменение дисперсии и вариации геохимического спектра при включении в расчет различных групп элементов. Начиная с I группы проводилось увеличение каждой последующей выборки на одну группу. В конечном итоге были получены КП в сумме по всем пяти группам. ДГС в ультраосновных породах возрастает с 36 ед. в первой группе до 994 ед. в пяти группах. В основных породах дисперсия изменяется с 1,1 ед. в первой группе до 21 ед. в полном геохимическом спектре. У средних пород ДГС увеличивается с 0,3 до 1,5 ед. в пяти группах. От 0,06 до 6,7 ед. возрастает дисперсия в кислых породах. В осадочных породах наблюдается резкий рост дисперсии в первой группе (0,13 ед.) к I–II группам (123 ед.), а затем плавное уменьшение значений дисперсии до 48 ед. в пяти группах.

Вариация геохимического спектра в ультраосновных породах изменяется от 250 % в I группе до 480 % в пяти группах. В основных породах показатель колеблется от 66 % в первой группе до 240 % при полном геохимическом спектре, состоящем из пяти групп. С 37 % в первой группе до 80 % в пяти группах возрастает дисперсия в средних породах. В кислых породах значения ВГС также растут с 37 % в первой группе до 150 % при полном геохимическом спектре. Только в осадочных породах вариация растет с первой группы (30 %) до I–II групп (280 %), после чего уменьшается до 240 % при полном геохимическом спектре.

Таким образом, за исключением осадочных пород, происходит увеличение ДГС и ВГС при увеличении выборки путем добавления групп с более низкокларковыми элементами. Из этого можно сделать вывод о том, что при решении отдельных геологических задач группы, включающие низкокларковые элементы, являются более информативными.

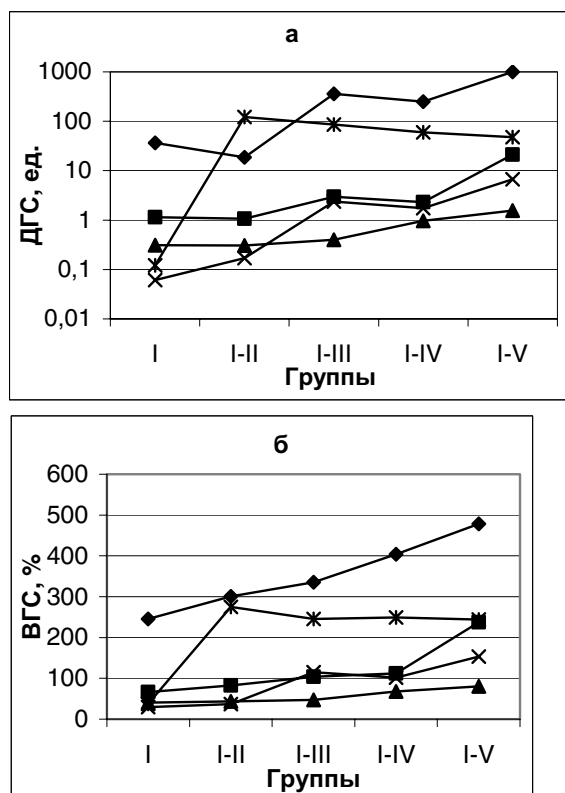


Рис. 3. ДГС (а) и ВГС (б) различных групп элементов в породах Земной коры. Условные обозначения те же, см. рис. 1

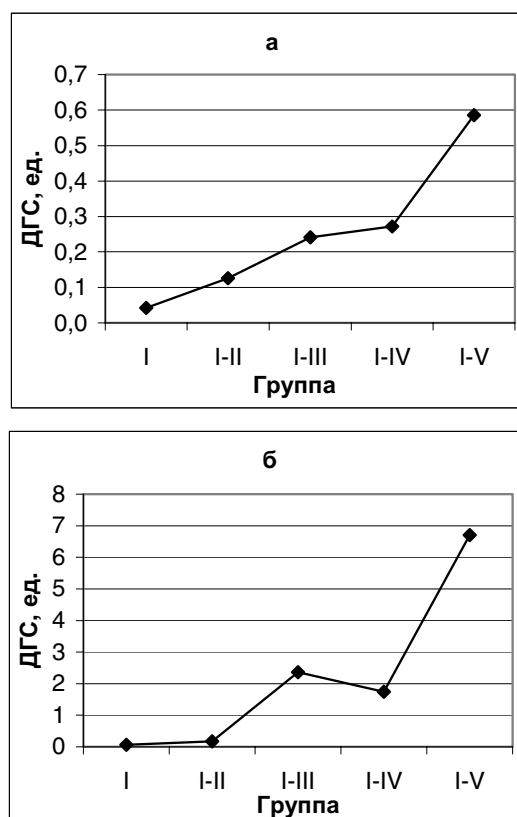


Рис. 4. Дисперсия геохимического спектра кислых пород Земной коры: а) по элементам Калгутинского рудного поля (35 эл.); б) при полном геохимическом спектре (70 эл.)

Изменение комплексных показателей рассмотрено на примере геологических образований Калгутинского рудного поля. В связи со значительными концентрациями основных рудных элементов они были исключены при сравнительной оценке неоднородности геохимического спектра.

На рис. 4 построены графики распределения ДГС в кислых породах Земной коры в группах элементов по геохимическому спектру Калгутинского рудного поля (35 эл.) и полному геохимическому спектру (70 эл.). На обоих графиках ДГС пород повышается при вовлечении в расчет групп с низкокларковыми элементами. Но значения, полученные для кислых пород Земной коры по исследованной части геохимического спектра (35 элементов) геологических образований Калгутинского рудного поля и по полному геохимическому спектру (70 элементов) кислых пород Земной коры, значительно отличаются. Общая же тенденция роста прослеживается на обоих графиках. ДГС растет и в породах Калгутинского рудного поля (рис. 5). Особенно сильно она возрастает в калгутитах, грейзенах Мо штока и апогранитах. При расчете полного геохимического спектра в I–V группах, происходит некоторое снижение значений показателя. Это, по-видимому, обусловлено как малым количеством включенных в расчет элементов (3), так и геохимической спецификой образований.

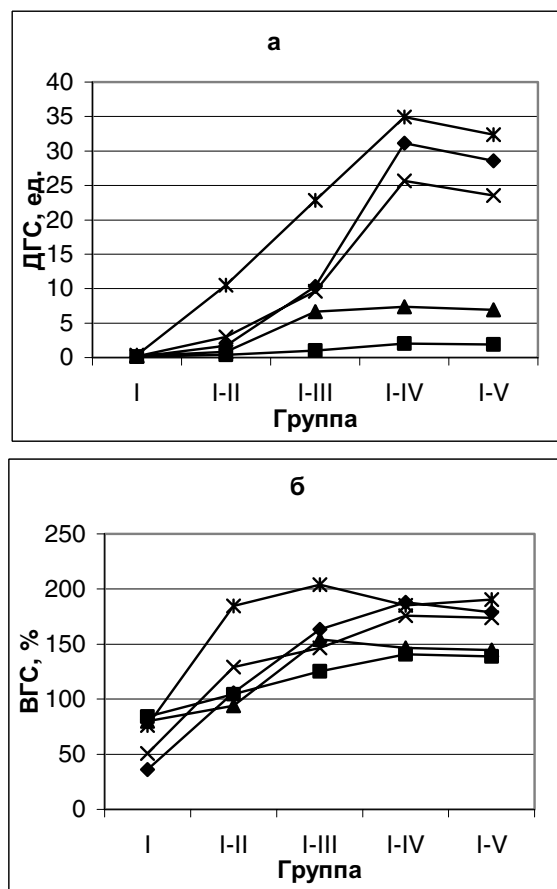


Рис. 5. ДГС (а) и ВГС (б) пород Калгутинского рудного поля в группах элементов. Условные обозначения: ◆ – околосильные грейзены, ■ – грейзены молибденового штока, ▲ – жилы, × – апограниты, * – калгутиты

ВГС кислых пород Земной коры по спектру Калгутинского рудного поля, как и дисперсия, имеет устойчивую тенденцию роста (рис. 6). Значения показателя по полному перечню элементов также имеют тенденцию роста, но более значительную. ВГС образований Калгутинского рудного поля (рис. 5) возрастает от I к I–III группам. От I–III к I–V группам ВГС жил и калгутитов снижается, а у околосильных грейзенов, грейзенов Мо-штока и апогранитов продолжает возрастать. А при полном геохимическом спектре в образованиях Калгутинского рудного поля происходит некоторое снижение значений показателя в околосильных грейзенах, жилах, грейзенах Мо-штока и его увеличение в апогранитах и калгутитах.

В связи с тем, что разные элементы при оценке неоднородности геохимического спектра дают разную величину КП, предлагается нормировать ДГС и ВГС конкретных геологических образований на ДГС и ВГС тех же пород Земной коры, оцененных по тому же перечню элементов. На рис. 7 показано распределение нормированной ДГС от I группы к полному геохимическому спектру пород Калгутинского месторождения. КП неуклонно возрастает для многих разностей более чем в 10 раз. Дисперсия по пяти группам несколько снижается.

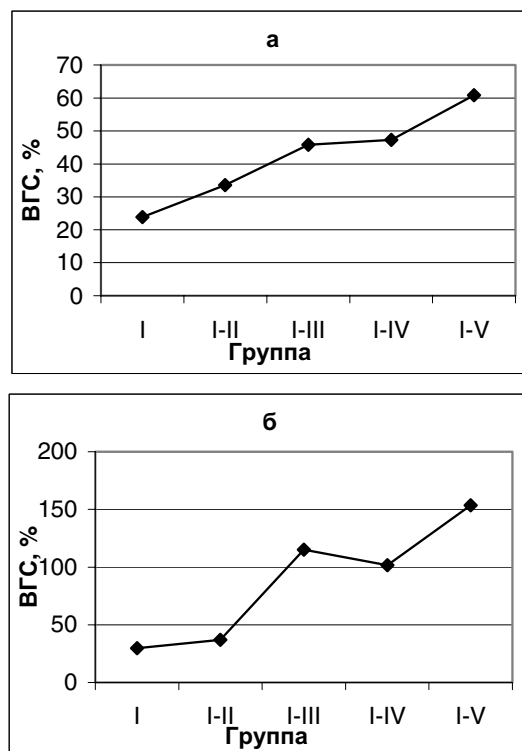


Рис. 6. Вариация геохимического спектра кислых пород Земной коры: а) по элементам Калгутинского рудного поля (35 эл.); б) при полном геохимическом спектре (70 эл.)

Нормированная ВГС изменяется в гораздо меньших пределах: от 1,5 ед. в околосильных грейзенах до 5,5 ед. в калгутитах. А в целом, распределение нормированной вариации в породных разностях крайне неравномерно, но наблюдается общая тенденция уменьшения значений от четырех групп – к пяти.

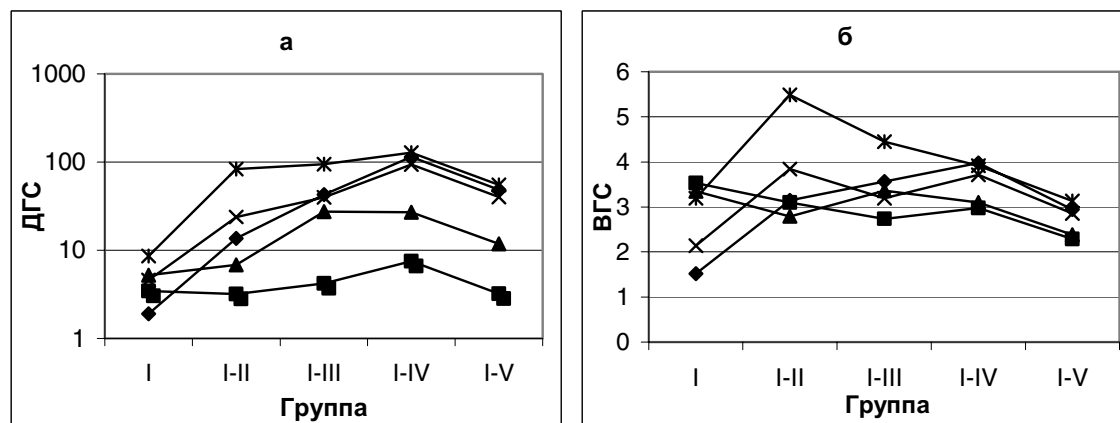


Рис. 7. Нормированные кривые ДГС (а) и ВГС (б) пород Калгутинского рудного поля. Условные обозначения см. рис. 5

Заключение

1. В различных группах химических элементов ДГС и ВГС стабильно увеличиваются при включении в расчет более низкокларковых элементов. Исключение составляют осадочные породы. При этом в различных группах химических элементов динамика изменения этих показателей отличается.
2. На изменение величины ДГС и ВГС в различных породах значительно влияют отдельные элементы. В ультраосновных породах — Mg, Co, Cr, Ni; в основных — Mg, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Pd; в средних — Mg, Sm, Gd, Eu, Tb, Ho; в кислых —

Mg, N, Pd; в осадочных — C, S, B, N, As, Sb. При этом количество проанализированных элементов существенно не влияет на величину КП.

3. В различных группах пород неоднородность геохимического спектра значительно отличается друг от друга. Поэтому при сравнении различных по составу геологических образований рекомендуется проводить нормирование ДГС и ВГС по показателям неоднородности соответствующих образований Земной коры.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов УР № 09.01.415 и гранта РФФИ № 05–05–64356.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ляхович В.В. О признаках рудогенерирующей способности гранитоидов // Геология рудных месторождений. — 1969. — № 2. — С. 30–41.
2. Ляхович В.В. Коэффициент накопления как индикатор рудогенерирующей способности гранитоидов // Геология рудных месторождений. — 1974. — № 6. — С. 18–26.
3. Ляхович В.В. Об одной особенности рудоносных гранитоидов // Геология рудных месторождений. — 1964. — № 2. — С. 70–84.
4. Таусон Л.В., Дубов Р.И., Козлов В.Д., Кузьмин М.И. Геохимическое значение дисперсии концентраций редких элементов в гранитоидах // Вопросы геохимии изверженных горных пород и рудных месторождений Восточной Сибири. — М.: Наука, 1965. — 154 с.
5. Сафронов Н.И., Мещеряков С.С., Иванов Н.П. Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых / Под ред. Н.И. Марочкина. — Л.: Недра, 1978. — 215 с.
6. Выборов С.Г., Быстров И.И. Опыт использования комплексного показателя нарушенности геохимического поля для прогнозирования оруденения // Известия вузов. Геология и разведка. — 1990. — № 4. — С. 102–110.
7. Гаврилов Р.Ю. Комплексные показатели дисперсии и вариации геохимического поля как поисковые критерии уранового оруденения // Проблемы геологии и освоения недр: Матер. Второй Междунар. научн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых им. ак. М.А. Усова. — Томск: Изд-во НТЛ, 1998. — С. 160–162.
8. Гаврилов Р.Ю. Литогеохимические поисковые критерии залежей углеводородов на Западно-Полуденной площади // Проблемы геологии и освоения недр: Труды Третьего Междунар. симп. студен-

тов, аспирантов и молодых ученых им. ак. М.А. Усова в рамках российской научно-социальной программы для молодежи и школьников «Шаг в будущее», посвященного 100-летию со дня рождения ак. К.И. Сапгаева. — Томск: Изд-во НТЛ, 1999. — С. 168–169.

9. Поцелуев А.А., Быстров И.И., Гаврилов Р.Ю. Показатели дисперсии и вариации геохимического спектра как критерии неоднородности геохимического поля // Прикладная геохимия. Вып. 3. Прогноз и поиски / Гл. ред. Э.К. Буренков, А.А. Кременецкий. Сб. статей. — М.: ИМГРЭ, 2002. — С. 419–428.
10. Справочник по геохимии / Под ред. Г.В. Войткевич и др. — М.: Недра, 1990. — 480 с.
11. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 384 с.
12. Кучеренко И.В. Теоретические и прикладные аспекты изучения геохимии титана, фосфора, магния в мезотермальных золотых месторождениях. Ч. 1 // Известия Томского политехнического университета — 2004. — Т. 307. — № 2. — С. 49–55.
13. Кучеренко И.В. Теоретические и прикладные аспекты изучения геохимии титана, фосфора, магния в мезотермальных золотых месторождениях. Ч. 2 // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — Т. 307. — № 3. — С. 35–42.
14. Летников Ф.А. Полигенные флюидные потоки в литосфере // Флюидные потоки в Земной коре: Матер. Всеросс. симп. — 26–28 февраля 2002 г. — М.: ИГЕМ, 2002. — С. 17–22.
15. Коробейников А.Ф. Условия концентрации золота в палеозойских орогенах. — Новосибирск: Недра, 1987. — 177 с.
16. Щербаков Ю.Г. Геохимия золоторудных месторождений в Кузнецком Алатау и Горном Алтае. — Новосибирск: Наука, 1974. — 278 с.
17. Минеев Д.А. Лантаноиды в рудах. — М.: Наука, 1974. — 240 с.