

МИНЕРАЛЫ КАК КОНЦЕНТРАТОРЫ И НОСИТЕЛИ ЖЕЛЕЗА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Н.А. Григорьев

Постановка вопроса. Требования к содержанию промышленных минералов в минеральном сырье уменьшаются, а к величине запасов последнего увеличиваются. Альтернативы постепенному переходу от эксплуатации руд к использованию горных пород в качестве минерального сырья нет. Дополнительный стимул к этому – экологические последствия увеличения отвалов вскрышных пород. Поэтому необходимо определение резерва химических элементов, сконцентрированного в потенциально промышленных и опасных в экологическом от-

ношении минералах, входящих в состав горных пород. Это особенно актуально для верхней части континентальной коры, подверженной наибольшему антропогенному воздействию. И вместе с тем, распределение масс химических элементов в совокупностях минералов, слагающих земную кору и ее фрагменты – важнейшая характеристика среды, в которой мы живем. Знать ее необходимо вне зависимости от современных практических интересов. Первые данные, приближенные и неполные [Григорьев, 1999], нуждаются в уточнении и детализации.

Настоящая статья – оперативная информация о новых данных по Fe. Они представляют повышенный интерес в связи с практической значимостью и геохимическими особенностями Fe. Это один из немногих химических элементов, содержание которых в континентальных осадочных породах почти соответствует требованиям геохимического баланса. Среднее содержание Fe здесь всего на 0,22 мас.% – больше того, которое должно быть в остаточных продуктах выветривания гранитно-гнейсового слоя, соответствующего современному.

Базовые положения. Л.В. Таусон [1960] ввел в литературу представление о минералах как концентраторах и носителях химических элементов. В минералах-концентраторах химический элемент избирательно сконцентрирован. В минералах-носителях сосредоточена большая часть его массы. Автор поставил вопрос о зависимости ролей минералов в качестве концентраторов и в качестве носителей химических элементов. Зависимость оказалась близка к бимодальной [Григорьев, 1999]. На гистограммах, характеризующих эту зависимость, обычно выделяются две группировки минералов-носителей, разделенные интервалом нехарактерной концентрации. Первая представлена минералами с малыми и умеренными коэффициентами концентрации (Кк) данного элемента. Это миниминералы ($Kk < 1$) и кларкминералы ($Kk > 1$). Вторая группировка представлена минералами с концентрацией данного элемента, приближающейся к максимально возможной. Это максиминералы [Григорьев, 1999]. Здесь на примере Fe впервые показано, что механизм отмеченного разделения минералов-носителей на группировки – кристаллохимический. Наиболее важен вопрос о концентрации масс химических элементов в максиминералах. Это реальные и потенциальные источники химических элементов. И вместе с тем, многие максиминералы – первоисточники веществ, загрязняющих окружающую среду.

Исходные данные. Расчет выполнен на базе фрагмента модели химического строения земной коры А.Б. Ронова и др. [1990], несколько детализированного автором [Григорьев, 2003]. Верхняя часть континентальной коры рассматривается в составе двух слоев: осадочного и гранитно-гнейсового. Средние содержания Fe в верхней части континентальной коры и в слагающих ее горных породах даны, преимущественно, по А.Б. Ронову и др. [1990] с

поправками. Средние содержания минералов рассчитаны на основании более чем 2000 количественных минералогических анализов горных пород, опубликованных преимущественно в СССР и США. Средние содержания Fe в минералах приняты равными его содержанию в эталонах. Эталоны – разновидности минералов с химическим составом, приближающимся к модальному, взяты из справочников. Приводимые ниже коэффициенты концентрации (Кк) рассчитаны в отношении среднего содержания Fe в верхней части континентальной коры – 4,06 мас.%.

Результаты. Установлено, что в верхней части континентальной коры 90,7 % массы Fe сконцентрировано в его собственных минералах. В чужих минералах рассеяно всего 5,47 % массы Fe (табл. 1). Последними представлены главные миниминералы. Интервал нехарактерной концентрации – 25-35 мас.% Fe (Kk 5,94 – 8,86) делит всю совокупность концентраторов-носителей на две неравные части (табл. 1). Первая представлена миниминералами и кларкминералами, вторая – максиминералами. Кларкминералы – это в основном комплексные соединения, образованные Fe совместно с Mg, Ca, Al, K. Это преимущественно листовые и цепочечные силикаты. В них слабо сконцентрировано 70,31 % массы Fe. Главный кларкминерал – биотит. Его роль как носителя Fe (30,89 % массы) соизмерима с суммарной ролью всех остальных, взятых вместе. Максиминералы – это самородное железо и соединения, где все катионы представляет только Fe. Это в основном не силикаты: оксиды, сульфиды, гидроксиды, сидерит. Наиболее важные исключения – тюрингит и фаялит. В максиминералах сконцентрировано 20,34 % массы Fe. Главный максиминерал – магнетит. Его роль (12,2 % массы Fe) соизмерима с суммарной ролью всех остальных. К интервалу нехарактерной концентрации относятся: Mg-сидерит и некоторые минералы Fe (халькопирит, плеонаст). Роль их в качестве носителей Fe ничтожна (0,05% массы).

В осадочном и гранитно-гнейсовом слоях распределение массы Fe по разным категориям минералов-концентраторов в целом практически аналогично отмеченному выше (табл.2). Существенно отличаются эти слои только по составу главных минералов-носителей. Так наиболее важными максиминералами являются: в осадочном слое – гетит, в гранитно-гнейсовом – магнетит. Но в пределах оса-

Средний минеральный баланс Fe в верхней части континентальной коры

Категории минералов как концентраторов Fe	Кк	Минералы-носители Fe	Содержание минералов-носителей, мас. %	Содержание Fe, масс. %	Доли массы Fe, отн. %
Миниминералы	0,02 – 1	Полевые шпаты	33,94	0,1-0,9	3,16
		Гидромусковит	1,83	2	0,9
		Диопсид	0,48	2,3	0,27
		Пеннин	0,28	3,92	0,27
		Прочие			0,87
		Всего			5,47
Кларкминералы	1 – 5,94	Гидробиотит	0,47	4,98	0,58
		Роговая обманка	3,45	6,14	5,22
		Авгит	1,26	6,57	2,04
		Ставролит	0,25	10,45	0,64
		Клинохлор	0,43	12,2	1,29
		Эпидот	1,16	12,4	3,54
		Рипидолит	1,8	12,79	5,67
		Актинолит	0,39	13,64	1,31
		Гастингсит	0,31	15,23	1,16
		Биотит	7,6	16,5	30,89
		Альмандин	0,85	18,7	3,92
		Куммингтонит	0,46	19,75	2,24
		Глаукоцит	0,13	20,9	0,67
		Гиперстен	0,33	21,07	1,71
		Рибекит	0,17	24,31	1,02
		Нонтронит	0,67	24,12	3,98
		Септехлориты	0,55	24,1	3,26
		Прочие			2,46
		Всего			71,31
Минералы ИНК	5,94 – 8,86	Mg-сидерит	0,0059	30,58	0,04
Максиминералы	8,86 – 17,64	Тюрингит	0,11	35,59	0,96
		Ильменит	0,21	37,6	1,94
		Сидерит	0,11	45,7	1,24
		Пирит	0,066	46,5	0,76
		Марказит	0,0012	46,5	0,01
		Фаялит	0,0039	53,99	0,05
		Ti-магнетит	0,07	56,1	0,97
		Пирротин	0,029	61,57	0,44
		Гетит	0,1	62,7	1,54
		Гематит	0,086	69,6	1,47
		Магнетит	0,69	71,6	12,2
		Всего			20,34
Сумма долей массы Fe					96,16

дочного слоя собственно осадочные и вулканогенные породы резко отличаются по минеральному балансу Fe. В осадочных породах роль максиминералов относительно мала. Только в песках, песчаниках и кремнистых породах она близка к средней. В вулканогенных породах (особенно в кислых) роль максиминералов по расчету оказалась неожиданно большой. В этом отношении вулканогенные породы похожи на интрузивные породы: граниты, базиты и ультрабазиты.

В гранитно-гнейсовом слое роль миниминералов во всех горных породах мала. Роль максиминералов в магматических породах в целом больше, чем в метаморфических (особенно в ортометаморфических). В гранитах, базитах и ультрабазитах в максиминералах сконцентрировано около половины массы Fe. Причем главная роль принадлежит магнетиту (включая Ti-магнетит). В гранодиоритах и сиенитах в максиминералах сконцентрировано всего 22,5 и 14,65 % массы Fe. Средние минераль-

Распределение масс Fe (отн. %) по главным группам минералов-концентраторов в горных породах и слоях, слагающих верхнюю часть континентальной коры

Горные породы, слои	Миниминералы	Кларкминералы	Максиминералы	Всего
Пески и песчаники	11,34	67,29	20,95	99,58
Глины и сланцы	8,81	81,73	13,42	103,96
Карбонатные породы	7,49	79,83	17,79	105,11
Кремнистые породы	5,75	73,18	22,29	101,22
Осадочные породы в целом	9,3	78,51	15,93	103,74
Кислые вулканыты	9,89	21,52	68,83	100,21
Средние вулканыты	6,37	47,82	49,27	103,46
Основные вулканыты	3,41	53,34	40,44	97,19
Вулканыты в целом	4,31	51,08	43,48	98,87
ОСАДОЧНЫЙ СЛОЙ	7,56	72,48	22,87	102,91
Граниты	8,07	45,33	43,48	97,78
Гранодиориты	9,06	63,44	22,50	95,00
Базиты	4,92	48,38	43,31	96,61
Сиениты	7,32	73,20	14,65	95,17
Ультрабазиты	4,94	39,37	51,84	96,21*
Магматыты в целом	7,5	51,77	36,17	95,44
Метапесчаники	3,18	64,34	27,71	95,23
Парасланцы	4,3	72,61	18,79	95,7
Метакарбонатные породы	13,41	54,53	29,43	97,37
Железистые породы	0,57	15,21	84,21	99,99
Параметаморфиты в целом	4,19	68,62	23,31	96,12
Гранитогнейсы	4,93	83,79	12,44	101,16
Метариолиты	5,13	42,14	53,81	101,08
Метаандезиты	5,26	48,13	49,02	102,41
Метабазиты	3,11	85,7	9,91	98,72
Ортометаморфиты в целом	4,67	81,06	14,28	100,01
ГРАНИТНО-ГНЕЙСОВЫЙ СЛОЙ	4,62	71,33	21,6	97,51

Примечание. * – в ультрабазитах 0,06% массы Fe находится в плеонасте, относящемся к интервалу нехарактерной концентрации.

ные балансы Fe в параметаморфических породах варьируют. Неравномерность распределения Fe минимальная в парасланцах и максимальная в железистых породах. Доли массы Fe, сконцентрированные в максиминералах соответственно: 18,79 и 84,21 %. Во всех параметаморфических породах, кроме карбонатных, главный максиминерал – магнетит. В карбонатных породах – сидерит. Вариации средних минеральных балансов Fe в ортометаморфических породах меньше, но тоже существенны. В гранитогнейсах в максиминералах сконцентрировано всего 12,44 % массы Fe. Причем наиболее значительна роль магнетита. В метавулканитах роль максиминералов увеличивается от основных к кислым.

Обсуждение новых данных. Новые данные о распределении массы Fe в верхней части континентальной коры значительно подробнее опубликованных раньше. Но в отношении гранитно-гнейсового слоя они принципиально близки. Роль максиминералов в осадочном слое по новым данным меньше, чем по старым. Новые результаты расчетов в целом соответствуют немногочисленным корректным минеральным балансам Fe, определенным для уральских габброидов и ультрабазитов, а также для железистых пород Кривого Рога [Григорьев, 1999]. Степень корректности остальных новых данных пока неопределенная. Причина – отсутствие литературных данных, необходимых для сопоставлений. Доля Fe, сконцентрированная в тью-

рингите кислых вулканитов (45,1 %), вероятно преувеличена.

Заключение. В верхней части континентальной коры 90,7 % массы Fe сконцентрировано в его собственных минералах и только 5,5 % рассеяно в чужих минералах. В максиминералах сконцентрировано 20,3 % массы Fe, из них 12,2 % в магнетите. Наибольшая концентрация массы Fe в максиминералах имеет место в железистых породах гранитно-гнейсового слоя (84,2 %), и в ультрабазитах (51,84 %).

Список литературы

Григорьев Н.А. Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург: УрО РАН. 1999. 302 с.

Григорьев Н.А. О кларковом содержании химических элементов в верхней части континентальной коры. Литосфера. № 1. 2002. С. 38-60.

Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 182 с.

Таусон Л.В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. М.: Издательство Академии наук СССР. 1961. 231 с.