

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВАНАДИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

© 2010 г. Н. А. Григорьев

Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7
E-mail: root@igg.E-burg.Su

Поступила в редакцию 20.07.2009 г.

Распределение V в верхней части континентальной коры определено по модели А.Б. Ронова и др. (1990). Среднее содержание V в верхней части континентальной коры – 0.0113%. Среднее содержание V в базитах и метабазитах 0.0245–0.0254%. В каждой из этих горных пород определено распределение масс V по участкам с его содержанием: низким (<0.01%), средним (0.01–0.02%), повышенным (0.02–0.04%), высоким (0.04–0.08%) и очень высоким (>0.08%). Распределение масс V в разных горных породах по таким участкам в % соответственно: 3.36–5.42; 11.45–19.63; 43.54–65.92; 17.59–28.38 и 1.36–6.97%. В V-богатом магнетите содержание V \geq 0.2%. В этой разности магнетита находится >3.4% массы V, имеющейся в верхней части континентальной коры.

Ключевые слова: ванадий, V-магнетит, содержание, массы, распределение, горные породы, верхняя часть континентальной коры.

Настоящая работа – развитие раздела 13.1 монографии автора “Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры”, Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 301 с.

СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ V В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Приведенные здесь средние содержания V в большинстве горных пород (табл. 1) соответствуют данным, опубликованным раньше [12]. Среднее содержание V в горных породах, являющихся его главными концентраторами и носителями рассчитано вновь. При расчете не учтены результаты целенаправленного изучения участков с повышенным содержанием V, а также данные из таких публикаций, где осадочные и магматические породы не разделены с продуктами их метаморфизма. Ниже приведены главные источники исходных данных. **Осадочные породы** [18, 35–38, 40, 54, 57, 61, 63, 67, 69]. **Основные вулканогенные породы осадочного слоя** [3, 19, 21, 23, 30, 31, 45, 47, 49, 65, 71, 73, 75, 77]. **Базиты и метабазиты гранитно-гнейсового слоя** [14–17, 20, 22, 24, 25, 28, 30–32, 46, 50, 52, 68]. **Ультрабазиты (включая метаультрабазиты)** [1, 2, 5, 10, 14, 16, 17, 22, 25, 27, 28, 32, 34, 42, 46, 47, 50]. **Метаморфические породы** [4, 7, 25–27, 33, 41, 43, 44, 58–60, 62, 64, 66, 70, 72, 78].

Новое значение среднего содержания V в верхней части континентальной коры – 0.0113%. Оно, как и прежде – 0.0121% [12], близкое к данным других исследователей: 0.0053–0.0107% [74]. При-

водимые здесь данные о среднем содержании V в горных породах подробнее полученных другими авторами. Максимальным средним содержанием V характеризуются основные магматические породы и продукты их метаморфизма, но в них сконцентрировано всего 15.21% его массы (табл. 1). Главные носители массы V – метаморфические породы. В них (включая метабазиты) находится 68.85% массы V. Среднее содержание V в осадочных породах – 0.00924%. Оно близко к тому, которое могло быть заимствовано при выветривании гранитно-гнейсового слоя современного состава – 0.00834% (по расчету изоалюминиевым методом).

ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ V В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Основа расчета – частота встреч проб горных пород с разным содержанием V. Главные источники данных перечислены выше. Использованы результаты анализов отдельных проб и средние из 2–10 определений. Обобщения результатов больше чем 10 анализов использовались только при наличии данных, позволяющих приблизительно определить количество проб с разным содержанием V. Установлено, что масса V наиболее неравномерно распределена в ультрабазитах и в учтенных совместно с ними метаультрабазитах (табл. 2). 64.81% массы этих горных пород характеризуется низким содержанием V, а повышенным, высоким и очень высоким содержанием V характеризуется всего 20.5% их массы. Но в разностях с повышенным, высоким и очень высоким содержанием V сконцентрировано

Таблица 1. Распределение массы V в совокупности горных пород верхней части континентальной коры

Горные породы	Масса пород, %	Содержание V, %	Доли массы V, %
Пески и песчаники	5.11	0.009	4.07
Глины и глинистые сланцы	10.4	0.0115	10.58
Карбонатные породы	3.85	0.0049	1.67
Кремнистые породы	0.33	Н. опр.	Н. опр.
Эвапориты	0.26	Н. опр.	Н. опр.
Кислые вулканы	0.44	0.006	0.23
Средние вулканы	1.13	0.0071	0.71
Основные вулканы	2.11	0.0254	4.74
Граниты	8.21	0.0038	2.76
Гранодиориты	3.38	0.0091	2.72
Базиты	1.5	0.0245	3.25
Сиениты	0.05	0.003	0.01
Ультрабазиты	0.05	0.014	0.06
Метапесчаники	2.92	0.009	2.33
Парагнейсы и парасланцы	30.56	0.015	40.57
Метаморфизованные карбонатные породы	1.13	0.0031	0.31
Железистые породы	0.38	0.0035	0.12
Гранито-гнейсы	23.21	0.0083	17.05
Метариолиты	0.66	0.0042	0.25
Метаандезиты	1.03	0.011	1
Метабазиты	3.29	0.0248	7.22
Верхняя часть континентальной коры	100	0.0113	99.65
Осадочные породы	19.95	0.00924	16.32
Вулканы осадочного слоя	3.68	0.0175	5.68
<i>Осадочный слой в целом</i>	23.63	0.0105	22.00
Магматиты гранитно-гнейсового слоя	13.19	0.0076	8.8
Параметаморфические породы	34.99	0.014	43.33
Ортометаморфические породы	28.19	0.0102	25.52
<i>Гранитно-гнейсовый слой в целом</i>	76.37	0.0114	77.65

70.14% той его массы, которая имеется в ультрабазитах и метаультрабазитах. В том числе, почти 20% массы V сконцентрировано в участках с очень высоким его содержанием. Несколько менее неравномерно распределен V в главных его концентраторах – основных магматических породах и продуктах их метаморфизма. Здесь в участках с повышенным, высоким и очень высоким содержанием V находится 71.01–85.78% тех его масс, которые имеются в отмеченных горных породах. В том числе, 1.36–6.37% масс V сконцентрировано в участках с очень высоким его содержанием.

Большинство данных о содержании V в песчаных и глинистых породах, в продуктах их метаморфизма и в ортогнейсах опубликовано в слишком обобщенном виде. Это препятствовало их использованию при решении поставленного вопроса. Согласно ограниченному количеству учтенных исходных данных, в отмеченных горных породах больше половины масс V находится в участках со средним и низким его содержанием. Заметим, что в осадочных породах известны значительные участки с содержанием $V \geq 0.1\%$ [29]. Учет их пока невозможен. Нет данных, количественно характеризующих роль таких участков в общей массе осадочных пород.

МИНЕРАЛЬНЫЙ БАЛАНС V В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Имеются лишь эпизодические данные по некоторым магматическим породам и метабазитам.

Гранитоиды. Изучен Верхисетский массив на Среднем Урале [8]. Главный концентратор V в гранитоидах – магнетит. Содержание V в нем 0.0025–0.24% (36 проб). Средний коэффициент концентрации 15.6. На втором месте – ильменит. Содержание V в нем 0.0044–0.016% (8 проб). Средний коэффициент концентрации 12.5. Кроме того, главные минералы-концентраторы: биотит, роговая обманка и эпидот. Средние коэффициенты концентрации V в них, соответственно, 2.1, 1.7 и 1.5. Рассчитаны три неполных минеральных баланса V. Причем два из них с учетом всех важнейших минералов-концентраторов. Главные минералы носители V: биотит, роговая обманка и полевые шпаты (табл. 3).

Базиты гранитно-гнейсового слоя. Определен минеральный баланс V в пробе оливинового норита из Южно-Калифорнийского батолита [76] и в 10 пробах габброидов из Медведевского массива на Урале [53]. Главный минерал-концентратор – магнетит. Магнетит Медведевско-

Таблица 2. Соотношение масс горных пород с разным содержанием V и распределение масс V в этих горных породах

Горные породы	Количество проб	Доли масс горных пород (%) с содержанием V:			Доли масс V (%) в горных породах с его содержанием:						
		низким (< 0.01%)	средним (0.01–0.02%)	повышенным (0.02–0.04%)	высоким (0.04–0.08%)	очень высоким (> 0.08%)	низким (< 0.01%)	средним (0.01–0.02%)	повышенным (0.02–0.04%)	высоким (0.04–0.08)	очень высоким (> 0.08%)
Ультрабазиты	2356	64.81	14.69	11.93	6.66	1.91	14.2	15.66	23.74	26.53	19.87
Базиты гранитно-гнейсового слоя	1823	21.78	26	37.14	13.27	1.81	5.42	15.69	43.54	28.38	6.97
Основные вулканы осадочного слоя	854	12.76	18.03	59.14	9.48	0.59	2.77	11.45	65.92	17.59	2.27
Метабазиты	356	10.67	30.62	47.19	11.24	0.28	3.36	19.63	53.82	21.83	1.36
Пески, песчаники	816	58.7	35.29	2.7	3.31	не обн.	24.79	52.17	6.24	16.8	не обн.
Глины и глинистые сланцы	685	48.03	36.34	11.53	4.1	не обн.	18.98	45.23	22.4	13.39	не обн.
Парасланцы	565	39.65	38.94	19.82	1.59	не обн.	17.43	37.46	39	6.11	не обн.
Ортогнейсы	291	69.76	24.06	6.18	не обн.	не обн.	43.59	37.86	18.55	не обн.	не обн.

Таблица 3. Минеральный баланс V в гранитоидах Верхисегского массива [8]

Минералы	Гранит 552			Плагиогранодиорит 7031		
	1	2	3	1	2	3
Магнетит	0.32	0.1	10.7	0.89	0.13	16.5
Ильменит	0.06	0.044	0.9	0.92	0.096	12.6
Эпидот	0.42	0.006	0.8	6.5	0.01	9.3
Роговая обманка	не обн.	не опр.	не опр.	6.7	0.011	10.5
Биотит	4.8	0.009	14.4	12.6	0.013	23.4
Плагиоклазы	30.4	0.0009	9.1	60.5	0.003	25.9
Микроклин	30	0.006	60	не обн.	не опр.	не обн.
В породе	66*	0.003	95.9	88.11*	0.007	98.2

Примечание. Здесь и в следующих таблицах: 1 – минеральный состав, %; 2 – содержание V в минералах и горных породах, %; 3 – доли массы V в минералах и их сумма, %; не обн. – не обнаружен; не опр. – не определяли; * – не учтен кварц.

Таблица 4. Минеральный баланс V в базитах

Минералы	Габбро 3			Габбро 11			Оливиновый норит		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Магнетит	1.9	0.39	21.8	4.6	0.34	40.1	1	0.6	75
Шпинель	не обн.	не опр.	не опр.	не обн.	не опр.	не опр.	1.5	0.04	8
Ильменит	не обн.	не опр.	не опр.	3.3	0.13	11	не обн.	не опр.	не опр.
Оливин	не обн.	не опр.	не опр.	не обн.	не опр.	не опр.	18	не обн.	0
Амфиболы	52.8	0.028	43.5	17.5	0.044	19.7	10	0.009	11
Пироксены	не обн.	не опр.	не опр.	24.5	0.017	10.7	2	0.004	1
Серпентинит	не обн.	не опр.	не опр.	не обн.	не опр.	не опр.	не обн.	не опр.	не опр.
Плагиоклазы	45.3	0.028	37.3	50.1	0.022	28.3	67	0.001	8
В породе	100	0.034	102.6	100	0.039	109.8	99.5	0.008	103

Примечание. Габбро Медведевского массива на Урале [53], оливиновый норит из Южно-Калифорнийского батолита [76].

Таблица 5. Минеральный баланс V в ультрабазитах

Минералы	Пироксеновый дунит С-237 [51]			Оливиновый пироксенит 127 [Абдуллаев, 1991]			Пироксенит 9 [53]		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Магнетит	не обн.	не опр.	не опр.	3	0.056	5	2.7	0.42	25
Хромит	2	0.093	93	не обн.	не опр.	не опр.	не обн.	не опр.	не опр.
Ильменит	не обн.	не опр.	не опр.	не обн.	не опр.	не опр.	0.3	0.78	5
Оливин	89	не обн.	0	16	не обн.	0	не обн.	не опр.	не опр.
Амфиболы	не обн.	не опр.	не опр.	не обн.	не опр.	не опр.	17	0.045	17
Энстатит	9	0.0034	15	22	0.023	14	не обн.	не опр.	не опр.
Диопсид	не обн.	не опр.	не опр.	48	0.05	69	80	0.028	50
Серпентинит	не обн.	не опр.	не опр.	11	0.016	5	не обн.	не опр.	не опр.
В породе	100	0.002	108	100	0.035	93	100	0.045	97

Примечание. Пироксеновый дунит С-237 из Восточных Саян; оливиновый пироксенит 127 из Азербайджана; пироксенит 9 из Качканарского массива на Урале [53].

го массива содержит микровключения ильменита. В большинстве изученных проб магнетит – главный минерал-носитель V. Кроме него главными минералами-носителями V являются амфиболы и пироксены (табл. 4).

Ультрабазиты. Изучены почти исключительно неметаморфизованные ультрабазиты. Здесь главные минералы-концентраты V: **магнетит и хромит.** Иногда они являются и главными минералами-носителями V. Но в большинстве случаев главные минералы-носители V: амфиболы и пироксены (табл. 5).

Метабазиты. Изучены на примере метагаббро Восточного Саяна [39]. По характеру минерального баланса V эти горные породы похожи на базиты. Но роль магнетита и плагиоклазов, как носителей V, здесь меньше (табл. 6).

Таблица 6. Минеральный баланс V в метагаббро Восточного Саяна [39]

Минералы	78-112			79-300а		
	1	2	3	1	2	3
Магнетит	2.2	0.34	25	1.8	0.5	18
Ильменит	8.6	0.035	10	5.3	0.2	21
Гранат	19.7	0.053	1	16.6	0.015	5
Амфиболы	30.8	0.028	29	38.2	0.05	38
Пироксены	16.8	0.012	7	19.9	0.05	20
Плагиоклазы	21.9	0.001	1	18.2	0.005	2
В породе	100	0.03	94	100	0.05	104

**V-БОГАТЫЙ МАГНЕТИТ –
ГЛАВНЫЙ МИНЕРАЛ-КОНЦЕНТРАТОР V**

Данные о содержании ванадиевых минералов в распространенных горных породах автору не известны.

Предполагалось, что содержание V – минимальное для ванадиевых максиминералов – 0.2%. Новый расчет, выполненный тем же способом, что и раньше [11], показал, что это содержание –

0.49%. Повышенные значения содержания V в минералах-концентраторах, почти всегда меньше минимального для максиминералов. Разности минералов с таким уровнем повышенного содержания V назовем V-богатыми. Главный минерал-концентрат V – **магнетит.** В любых горных породах он, если есть, то как правило, характеризуется максимальным содержанием V. **Повышенное содержание V особенно характерно для магнетитов с повышенным содержанием Ti.** Их часто называют титаномагнетитами (Ti-магнетитами). Однако при количественных минералогических анализах горных пород этот термин использовали (или не использовали) весьма произвольно. Поэтому в данном случае не рационально выделение ванадиевых разностей Ti-магнетита. **Правильнее выделение V-богатого магнетита, вне зависимости от содержания в нем Ti или других компонентов, кроме V.** Эталон для такого выделения пока могут быть только базиты гранитно-гнейсового слоя. Это наиболее изученные горные породы и частично уже использующиеся как источники V.

Минимальное для V-богатого магнетита содержание V принято по результатам изучения габброидов Медведевского массива [53]. Это единственный случай, когда достоверность данных о распределении V в ассоциациях минералов, представляющих 10 проб базитов, подтверждена расчетом минеральных балансов V. **Здесь учтены результаты изучения проб габброидов с содержанием магнетита 0.5–4.9% и свободных частиц ильменита 0–7.2%. Содержание Ti в частицах магнетита крупностью 30–100 мкм – 1.06–7.55%. Главная форма нахождения Ti в магнетите – микроворстки ильменита. Содержание V, отделяющее почти весь магнетит от остальных минералов – 0.2% (табл. 7). Похожая ситуация установлена в ультрабазитах и метаультрабазитах Качканарского массива. Поэтому содержание V – 0.2% и было принято в качестве минимального для V-богатого магнетита.**

Таблица 7. Вариации содержания V в важнейших минералах-концентраторах из 10 проб базитов, а также из 10 проб ультрабазитов и метаультрабазитов по данным [53]

Объекты	Содержание V, %	Количество проб			
		клинопироксены	амфиболы	магнетит	ильменит
Габброиды Медведевского массива	>0.2	0	0	9	1
	0.1–0.2	0	2	1	5
	<0.1	6	6	0	2
Ультрабазиты и метаультрабазиты Качканарского массива	>0.2	0	0	10	1
	0.1–0.2	0	0	0	8
	<0.1	10	9	0	1

О ВЕРОЯТНОЙ РОЛИ V-БОГАТОГО МАГНЕТИТА КАК НОСИТЕЛЯ V

Известно о наличии V-богатого магнетита в большинстве горных пород. Но данные о вариациях его содержания в горных породах преимущественно эпизодичные. Причем они, как правило, не сопровождаются достаточно подробной характеристикой проб горных пород, из которых выделен V-богатый магнетит, в частности данными о содержании в них V. Отметим наиболее значительные данные.

Вариации химического состава магнетита из гранитоидов относительно хорошо изучены на примере Урала [8, 55] и Алтае-Саянской области [9]. Акцессорный магнетит обнаружен во всех 150 изученных пробах **гранитов. V-богатый магнетит** встречен в 5% проб. Среднее содержание V в V-богатом магнетите 0.4%. Изучено 93 пробы **гранодиоритов** (включая прочие гранитоиды повышенной основности). Акцессорный магнетит обнаружен во всех пробах. **V-богатый магнетит** обнаружен в 37% проб. Среднее содержание V в V-богатом магнетите 0.3%. **Гранито-гнейсы** по химическому и минеральному составу близки к гранодиоритам. Поэтому предполагалось, что и по составу магнетитов эти горные породы не отличаются.

Магнетиты из магматических пород основного состава наиболее детально изучил Д.С. Штейнберг [56]. Здесь учтены результаты анализов концентратов магнетита (“титаномагнетита”) из проб, отобранных вне рудных полей титаномагнетитовых месторождений. Содержание Ti в изученных магнетитах (титаномагнетитах) 0.46–17.34% – результат наличия микрочастиц ильменита и других титановых минералов. Здесь учтены анализы наиболее чистых концентратов, не содержащих примеси свободных частиц ильменита. **Основные вулканы осадочного слоя.** Учтены 6 проб нижнемезозойских и третичных базальтов с Урала, Украины и из Армении; 2 пробы пермско-триасовых долеритов из Западной Сибири, 2 пробы траппов Сибирской платформы. Содержание магнетита в пробах – 0.1–5.1%. Содержание V в магнетитах 0.17–0.43%. V-богатым магнетитом представлено 9 концентратов. Содержа-

ание V-богатого магнетита в пробах – 0.5–5.1%. Содержание магнетита в единственной пробе, где он не представлен V-богатым магнетитом, – 0.1%. С учетом этого пока есть основания считать, что в основных вулканиках осадочного слоя практически весь магнетит представлен V-богатым магнетитом. Средневзвешенное (с учетом выхода концентратов) содержание V в V-богатом магнетите – 0.41%. **Базиты гранитно-гнейсового слоя.** Учтены результаты анализов 33 проб диабазов, габбро-диабазов и габбро с Урала, из Карелии и Сибири [56]. Содержание магнетита в пробах – 0.1–11.3%. Содержание V в магнетите 0.04–0.63%. V-богатый магнетит представляет 76% массы акцессорного магнетита. Средневзвешенное содержание V в V-богатом магнетите здесь то же, что и в отмеченных выше вулканиках – 0.41%. Несколько иные результаты получены при более детальном изучении габброидов, из рудного поля Медведевского титаномагнетитового месторождения на Южном Урале [53]. Содержание V в пробах (0.034–0.068%) несколько выше среднего для базитов. Содержание магнетита в базитах – 0.6–4.9%. С V-богатым магнетитом оказались 9 проб из 10. Содержание V в V-богатом магнетите 0.22–0.4%, средневзвешенное – 0.33%. В основу дальнейших расчетов положены средние величины по отмеченным двум источникам: доля V-богатого магнетита в массе магнетита – 67.5%, среднее содержание V в V-богатом – магнетите – 0.37%.

В **метабазитах**, судя по немногочисленным данным [10, 39], роль V-богатого магнетита, в составе магнетита, вероятно, такая же, как в базитах.

Сведений о вариациях содержания V-богатого магнетита в группе горных пород, названных **ультрабазитами** недостаточно для расчета его среднего содержания. А.Б. Роновым и его коллегами [48] в составе этой (незначительной по массе) группы горных пород, кроме собственно ультрабазитов, были учтены метаультрабазиты. Последние преобладают, и содержание магнетита в них больше, чем в собственно ультрабазитах. Подробно же был изучен в основном магнетит из собственно ультрабазитов. Отметим наиболее существенные данные. Изучено 28 проб “титаномагнетитов” (содержание

Таблица 8. Среднее содержание и распределение массы V-богатого магнетита в верхней части континентальной коры

Горные породы	Среднее содержание, %		Доли содержания V-богатого магнетита и их сумма, %	Распределение V-богатого магнетита, %
	Всего магнетита	V-богатого магнетита		
Пески и песчаники	0.18	(0.065)	(0.0033)	(1.3)
Глины и аргиллиты	0.05	(0.018)	(0.0019)	(0.8)
Основные вулканиды осадочного слоя	2.02	2.02	0.0426	17
Граниты	0.85	0.04	0.0033	1.3
Гранодиориты	0.95	0.35	0.0118	4.7
Базиты гранитно-гнейсового слоя	4.7	3.17	0.0476	18.9
Ультрабазиты	7.9	(0.79)	(0.0004)	(0.2)
Метапесчаники	0.73	(0.26)	(0.0076)	(3)
Парагнейсы	0.8	(0.29)	(0.089)	(35.4)
Гранито-гнейсы	0.42	(0.155)	(0.036)	(14.3)
Метабазиты	0.35	(0.24)	(0.0079)	(3.1)
Верхняя часть континентальной коры	0.716	0.2514	(0.2514)	100

Примечание. Здесь и в табл. 9 в скобках – предполагаемые величины.

Ti – 0.43–11.34%) из дунитов Кольского полуострова [6]. Из этих проб только одна оказалась представлена V-богатым магнетитом с содержанием V 0.26%. В пироксенитах, вмещающих руды Качканарского месторождения на Урале [53], и в продуктах их метаморфизма весь магнетит представлен V-богатым магнетитом. Здесь учтены 10 проб этих горных пород с содержанием V от 0.034 до 0.082%. Содержание V-богатого магнетита в этих пробах 2.7–12.9%; содержание V в V-богатом магнетите 0.25–0.42%, в среднем – 0.32%. Участками с содержанием V \geq 0.034% представлено около 10% всей массы ультрабазитов и метаультрабазитов (табл. 2). С учетом всего отмеченного выше предполагалось, что V-богатый магнетит представляет около 10% всего магнетита, имеющегося в ультрабазитах (включая метаультрабазиты). Допущенные при этом погрешности не могут оказать большого влияния на оценку роли V-богатого магнетита как носителя V в верхней части континентальной коры, поскольку ультрабазиты и продукты их метаморфизма не относятся к главным носителям V.

Дальнейший расчет выполнен с учетом соотношения масс магматических пород (табл. 1) и среднего содержания в них магнетита [13]. Он показал, что во всей ассоциации магматических пород гранитно-гнейсового слоя V-богатый магнетит составляет 36% от общей массы аксессуарного магнетита (включая Ti-магнетит). Среднее содержание V в V-богатом магнетите – 0.37%. Предполагалось, что такой состав магнетита сохраняется при образовании песчаных и глинистых пород, а также при последующем их метаморфизме.

На основании всех приведенных выше данных

рассчитаны две величины среднего содержания V-богатого магнетита в верхней части континентальной коры: 0.1052% и 0.2514% (табл. 8). Первая величина учитывает только реальные данные о содержании V-богатого магнетита в гранитоидах и базитах. Вторая величина учитывает также и предполагаемые средние содержания V-богатого магнетита в осадочных и метаморфических породах. Соответственно, в верхней части континентальной коры в V-богатом магнетите сконцентрировано от 3.4 до 8.2% массы V (табл. 9).

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Новое значение среднего содержания V в верхней части континентальной коры близко к тем значениям, которые публиковались другими исследователями. Это дает основания считать, что приводимые величины средних содержаний V в большинстве горных пород достаточно корректны. Соответственно корректны и данные о распределении массы V в ассоциации горных пород, представляющих верхнюю часть континентальной коры. Распределение масс V в базитах и ультрабазитах в зависимости от вариаций содержания V в этих горных породах определено на основе обширного фактического материала. Эта часть данных, в рамках настоящего этапа исследований, представляется корректной. Все остальные приводимые здесь данные – это лишь первое приближение к истине. Особенно это относится вопросу о вероятной роли V-богатого магнетита в осадочных и метаморфических породах. Но решение подобных вопросов возможно лишь при специальных и достаточно трудоемких исследованиях.

Таблица 9. Роль V-богатого магнетита как носителя V в горных породах и в верхней части континентальной коры в целом

Горные породы	Содержание V в горной породе, %	Содержание V-богатого магнетита, %	Содержание V в V-богатом магнетите, %	Доли масс V, сконцентрированные в V-богатом магнетите, %
Пески и песчаники	0.009	(0.065)	(0.37)	(2,7)*
Глины и аргиллиты	0.0115	(0.018)	(0.37)	(0.6)*
Основные вулканы осадочного слоя	0.0254	2.02	0.41	32.6*
Граниты	0.0038	0.04	0.4	4.2*
Гранодиориты	0.0091	0.35	0.3	11.5*
Базиты гранитно-гнейсового слоя	0.0245	3.17	0,37	47.9*
Ультрабазиты	0.014	(0.79)	(0.32)	(18.1)*
Метапесчаники	0.009	(0.26)	(0.37)	(10.7)*
Парагнейсы	0.015	(0.29)	(0.37)	(7.2)*
Гранито-гнейсы	0.0083	(0.155)	(0.3)	(5.6)*
Метабазиты	0.0248	(0.24)	(0.37)	(3.6)*
Верхняя часть континентальной коры	0.0113	(0.25)	(0.37)	3.4 (8.2)**

Примечание. * – в % от массы V, имеющейся в данной горной породе, ** – в % от массы V, имеющейся в верхней части континентальной коры.

ВЫВОДЫ

Среднее содержание V в верхней части континентальной коры – 0.0113%. Наибольшее среднее содержание установлено в базитах и продуктах их метаморфизма: 0.0245–0.0254%. В них сконцентрировано 15.21% той массы V, которая имеется в верхней части континентальной коры. Максимальными вариациями содержания V характеризуются ультрабазиты и учтенные совместно с ними метаультрабазиты. В них находится 0.06% той массы V, которая имеется в верхней части континентальной коры. Главные носители V – метаморфические породы (включая мета-базиты). В них находится 68.85% его массы. Для ультрабазитов, базитов, мета-базитов гранитно-гнейсового слоя и для основных вулкани-тов осадочного слоя определено распределение масс V по участкам с его содержанием: низким (<0.01%), средним (0.01–0.02%), повышенным (0.02–0.04%), высоким (0.04–0.08%) и очень высоким (>0.08%). Распределение масс V по таким участкам в %, соответственно: 12.76–64.81, 14.69–26, 11.93–59.14 и 2.27–19.87. В верхней части континентальной коры в V-богатом магнетите, содержащем $\geq 0.2\%$ V, сконцентрировано от 3.4 до 8.2% его массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллаев З.Б., Гуссейнова С.Ф. Геохимия гипербазитов Малого Кавказа. Баку: Элм, 1987. 170 с.
2. Балла З. Доверхнекаменуугольные базиты и ультрабазиты Венгрии // Рифейско-нижнепалеозойские офиолиты Северной Евразии. Новосибирск: Наука, 1985. С. 136–148.
3. Белоусов В.В., Герасимовский В.И., Горячев А.В. и др. Восточно-Африканская рифтовая система. Т. 3. М.: Наука, 1974. 288 с.
4. Болотов В.И., Иванов А.А. Метаосадочные породы железисто-кремнистых формаций Приимандровского и Аллареченского районов // Геохимия и условия формирования осадочных толщ докембрия Кольского полуострова. Апатиты: ГИ КНЦ АН СССР, 1980. С. 10–20.
5. Борисенко Л.Ф. Редкие и малые элементы в гипер-базитах Урала. М.: Наука, 1966. 224 с.
6. Бородин Л.С., Золотарев Б.П., Сердобова Л.И. Особенности химического состава и распределение титаномагнетита в комплексных массивах ультраба-зитов, щелочных пород и карбонатитов // Известия АН СССР. Сер. геол. 1966. № 5. С. 32–48.
7. Буданова К.Т. Метаморфические формации Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1991. 336 с.
8. Бушляков И.Н., Соболев И.Д. Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского мас-сива. М.: Наука. 1976. 339 с.
9. Вахрушев В.А. Минералогия, геохимия и генетиче-ские группы контактово-метасоматических железорудных месторождений Алтае-Саянской области. М.: Наука, 1965. 292 с.
10. Геохимия элементов группы железа в эндогенном процессе. Новосибирск: Наука, 1985. 200 с.
11. Григорьев Н.А. Введение в минералогическую гео-химию. Екатеринбург. УрО РАН. 1999. 302 с.
12. Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элемен-тов в горных породах, слагающих верхнюю часть конти-нентальной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.
13. Григорьев Н.А. Средний состав верхней части кон-тинентальной коры и масштабы максимальной кон-центрации химических элементов // Геология Ура-ла и сопредельных территорий. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 219–228.

14. *Грудинин М.И.* Базит-гипербазитовый магматизм Байкальской горной области // Новосибирск: Наука, 1979. 156 с.
15. Дифференцированные габбровые интрузии каледонид Восточного Саяна // Г.В. Поляков, А.П. Кривенко, П.А. Балыкин и др. Новосибирск: Наука, 1974. 132 с.
16. *Добрецов Н.Л., Конников Э.Г., Медведев В.Н., Склярков Е.В.* Офиолиты и олистростромы Восточного Саяна // Рифейско-нижнепалеозойские офиолиты Северной Евразии. Новосибирск: Наука, 1985. С. 34–57.
17. *Ефимов А.А., Ефимова Л.П.* Кытлымский платиноносный массив. М.: Недра, 1967. 336 с.
18. *Захарова М.А., Воронова В.А.* Малые элементы в кайнозойских отложениях Южной части Сахалина // Геохимия осадочных образований Юга Сахалина. Владивосток: СахКНИИ, 1976. С. 149–171.
19. *Золотухин В.В.* Петрохимические и минералогические особенности магнезиальных траппов бассейна р. Фатъянхи (западная часть Сибирской платформы) // Вопросы генетической петрологии. Новосибирск: Наука, 1981. С. 132–162.
20. *Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Томуртоого О., Коптева В.В.* Офиолиты Западной Монголии // Рифейско-нижнепалеозойские офиолиты Северной Евразии. Новосибирск: Наука, 1985. С. 7–18.
21. *Иванов К.П., Иванов К.С., Федоров Ю.Н.* Геохимия триасовых вулканитов Западно-Сибирской плиты (На примере Туринской серии) // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 767–790.
22. *Иванов О.К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала (Минералогия, петрология, генезис). Екатеринбург: Уральский госуниверситет, 1997. 488 с.
23. *Кабанова Л.Я.* Особенности вещественного состава и геохимии среднепалеозойских вулканогенных комплексов восточной зоны Южного Урала // Геохимия вулканических и осадочных пород Южного Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1987. С. 13–27.
24. *Козлов Е.К., Юдин Б.А., Докучаева В.С.* Основной и ультраосновной комплексы Монче-Волчьих-Лосевых Тундр. Л.: Наука, 1967. 166 с.
25. *Конников Э.Г., Цыганков А.А., Врублевская Т.Т.* Байкало-Муйский вулcano-плутонический пояс: структурно-вещественные комплексы и геодинамика. Москва: ГЕОС, 1999. 164 с.
26. *Кременецкий А.А., Липидус А.В., Скрябин В.Ю.* Геолого-геохимические методы глубинного прогноза полезных ископаемых. М.: Наука, 1990. 223 с.
27. *Кременецкий А.А., Овчинников Л.Н.* Геохимия глубинных пород. М.: Наука, 1986. 262 с.
28. *Лавров М.М.* Гипербазиты и расслоенные перидотит-габбро-норитовые интрузии докембрия Северной Карелии. Л.: Наука, 1979. 135 с.
29. *Лурье А.М.* Некоторые закономерности распределения химических элементов в осадочных породах Северо-Баялдырского района Центрального Каратау // Геохимия. 1957. № 5. С. 401–407.
30. *Лутц Б.Г.* Геохимия океанического и континентального магматизма. М.: Недра, 1980. 247 с.
31. Магматические горные породы. Основные породы / Е.Д. Андреева, О.А. Богатиков, А.М. Борсук и др. М.: Наука, 1985. 488 с.
32. *Маегов В.И.* Петрология дунит-пироксенит-габбровой ассоциации Денежкинского массива, Платиноносный пояс Урала. Екатеринбург: ОАО Уральская геолого-съемочная экспедиция, 2008. 76 с.
33. *Макрыгина В.А., Петрова З.И., Конева А.А.* Геохимия основных кристаллических сланцев Приольхонья и о-ва Ольхон (Западное Прибайкалье) // Геохимия. 1992. № 6. С. 771–786.
34. *Малахов И.А.* Петрохимия ультрабазитов Урала. Свердловск: УФАН СССР, 1966. 236 с.
35. *Маслов А.В.* Безгодовская свита западного склона Среднего Урала: некоторые геохимические характеристики тонкозернистых терригенных пород // Ежегодник-2008. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 156. 2009. С. 150–153.
36. *Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Ронкин Ю.Л. и др.* Пепловые туфы в отложениях сълвицкой серии верхнего венда (Кваркушко-Каменогорский мегантиклинорий, Средний Урал) // Литосфера. 2006. № 3. С. 45–70.
37. *Маслов А.В., Ишерская М.В., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П.* Тонкозернистые терригенные породы рифея и венда Камско-Бельского прогиба: сопоставление основных геохимических характеристик // Литосфера. 2008. № 3. С. 36–49.
38. *Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. и др.* Нижнерифейские тонкозернистые алумосиликокластические осадочные образования Башкирского мегантиклинория на Южном Урале: состав и эволюция источников сноса // Геохимия. 2004. № 6. С. 648–669.
39. *Механошин А.С., Глазунов А.М., Бурмакина Г.В.* Геохимия и рудоносность метагабброидов Восточного Саяна. Новосибирск: Наука, 1986. 102 с.
40. *Мизенс Г.А.* Редкие элементы и особенности источников обломочного материала осадочных формаций девона и карбона в восточных зонах юга Урала // Геохимия. 2009. № 12. С. 1259–1278.
41. *Миловский А.В., Матвеева С.С., Леоненко Е.И.* Гранитизация горных пород. М.: МГУ, 1985. 213 с.
42. *Павленко А.С., Геворкян Р.Г., Асланян Р.Т. и др.* К вопросу об алмазности гипербазитовых поясов Армении // Геохимия. 1974. № 3. С. 366–379.
43. *Петрова З.И., Левицкий В.И.* Петрология и геохимия гранулитовых комплексов Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1984. 200 с.
44. *Петрова З.И., Макрыгина В.А.* Геохимия гранатбиотитовых и биотитовых плагиогнейсов Приольхонья и о-ва Ольхон (Западное Прибайкалье) // Геохимия. 1994. № 5. С. 659–670.
45. *Пополитов Э.И., Вольнец О.Н.* Геохимические особенности четвертичного вулканизма Курило-Камчатской островной дуги и некоторые вопросы петрогенезиса Новосибирск: Наука, 1981. 182 с.
46. *Пушкарев Е.В.* Петрология Уктусского дунит-клинопироксенит-габбрового массива (Средний Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. 298 с.
47. Редкие элементы в формациях изверженных пород. М.: Недра, 1975. 248 с.
48. *Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А.* Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 182 с.
49. *Сараев С.В., Батурина Т.П., Пономарчук В.А., Травин Л.В.* Пермо-триасовые вулканиты Колтогорско-

- Уренгойского рифта Западно-Сибирской геосинеклизы // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 1. С. 4–20.
50. Семенов И.В. Палео-океанический спредегновый вулканизм Урала и реконструкция параметров Уральского палеозойского океана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 362 с.
 51. Сутурин А.Н. Геохимия гипербазитов Восточного Саяна. Новосибирск: Наука, 1978. 141 с.
 52. Таусон Л.В., Захаров М.Н. Геохимические особенности калиевых щелочных базальтоидов Приаргунья // Геохимия. 1974. № 3. С. 380–391.
 53. Фоминых В.Г. Минеральный баланс железа, титана и ванадия в некоторых базальтоидных породах Урала // Минеральный баланс химических элементов в горных породах и рудах Урала. Вып. 2. Свердловск: ИГГ УрО АН СССР, 1991. С. 30–53.
 54. Шор Г.М., Спиридонов А.А., Касперкевич Е.П. и др. Некоторые особенности геохимии ассоциаций химических элементов в мезозойско-кайнозойских отложениях южной окраины Западно-Сибирской плиты // Геохимия платформенных и геосинклинальных осадочных пород и руд. М.: Наука, 1983. С. 62–75.
 55. Штейнберг Д.С., Малахов И.А., Фоминых В.Г. Генетическое значение закономерностей распределения элементов семейства железа в магматических горных породах Урала // Записки ВМО. 1964. Ч. 92, № 5. С. 591–605.
 56. Штейнберг Д.С., Фоминых В.Г., Еремина М.В. и др. Состав титаномагнетита в базитах и ультрабазитах Урала. Труды Института Геологии УФАИ СССР. Вып. 78. Свердловск. 1965. 99 с.
 57. Armstrong-Altrin J.S., Lee Y.H., Verma S.P., Ramasamy S. Geochemistry of Sandstones from the upper Miocene Kudankulam Formation, Southern India: implications for provenance, weathering, and tectonic setting // J. Sediment. Res. 2004. V. 74, № 2. P. 285–297.
 58. Bolhar R., Kamber B.S., Moorbath S. et al. Chemical characterization of Earth's most ancient clastic metasediments from the Isua Greenstone Belt, southern West Greenland // Geochim. Cosmochim. Acta. 2005. V. 69, № 6. P. 1555–1573.
 59. Condie K.C., Lee D., Farmer G.L. Tectonic setting and provenance of the Neoproterozoic Uinta Mountain and Big Cottonwood groups, northern Utah: constraints from geochemistry, Nd isotopes, and detrital modes // Sediment. Geol. 2001. V. 141–142. P. 443–464.
 60. Condie K.C., Wilks M., Rosen D.M., Zlobin V.L. Geochemistry of metasediments from the Precambrian Harschan Series, eastern Anabar Shield, Siberia // Precambrian Res. 1991. V. 50. P. 37–47.
 61. Di Leo P., Dinelli E., Mondelli G., Schiattarella M. Geology and geochemistry of Jurassic pelagic sediments, *Scisti silicei* Formation, southern Apennines, Italy // Sediment. Geol. 2002. V. 150. P. 229–246.
 62. Fedo C.M., Eriksson K.A., Kroostad E.J. Geochemistry of shales from the Archean (~3.0 Ga) Buhwa Greenstone Belt, Zimbabwe: Implications for provenance and source-area weathering // Geochim. Cosmochim. Acta. 1996. V. 60, № 10. P. 1751–1763.
 63. Gallet S., Jahn B., Van Vliet Lanoe B. et al. Loess geochemistry and its implications for particle origin and composition of the upper continental crust // Earth Planet. Sci. Lett. 1998. V. 156. P. 157–172.
 64. Gao S., Ling W., Oiu Y. et al. Contrasting geochemical and Sm-Nd isotopic composition of Archean metasediments from the Kongling high-grade terrain of the Yangtze craton: Evidence for cratonic evolution and redistribution of REE during crustal anatexis // Geochim. Cosmochim. Acta. 1999. V. 63, № 13/14. P. 2071–2088.
 65. Gao Y., Wei R., Hou Z. et al. Eocene high-MgO volcanism in southern Tibet: New constraints for mantle source characteristics and deep processes // Lithos. 2008. V. 105. № 1–2. P. 63–72.
 66. Genier F., Bussy F., Epard J.-L., Baumgartner L. Water-assisted migmatization of metagraywackes in a Variscan Shear Zone, Aiguilles-Rouges massif Western Alps // Lithos. 2008. V. 102, № 3–4. P. 575–597.
 67. Hayashi K.-I., Fujisawa H., Holland H.D., Ohmoto H. Geochemistry of ~1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada // Geochim. Cosmochim. Acta. 1997. V. 61, № 19. P. 4115–4137.
 68. Hofmann A., Bolhar R., Dirks P., Jelsma H. The geochemistry of Archean shales derived from mafic volcanic sequence, Belingwe greenstone belt, Zimbabwe: Provenance, source area unroofing and submarine versus subaerial weathering // Geochim. Cosmochim. Acta. 2003. V. 67, № 3. P. 421–440.
 69. Huber H., Koeberl C., McDonald I., Reimold W.U. Geochemistry and Petrology of Witwatersrand and Dwyka diamictites from South Africa: Search for an extraterrestrial component // Geochim. Cosmochim. Acta. 2001. V. 65, № 12. P. 2007–2016.
 70. Jahn B.-M., Condie K.C. Evolution of the Kaapvaal Craton as viewed from geochemical and Sm-Nd isotopic analyses of intracratonic pelites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1995. V. 59, № 11. P. 2239–2258.
 71. Manikyamba C., Kerrich R., Khanna T.C. et al. Geochemical systematics of komatiite-tholeiite and adakitic-arc basalt associations: The role of a mantle plume and convergent margin in formation of the Sandur superterrane, Dharwar craton, India // Lithos. 2008. V. 106. № 1–2. P. 155–172.
 72. McLennan S.M., Taylor S.R., Eriksson K.A. Geochemistry of Archean shales from the Pilbara Supergroup, Western Australia // Geochim. Cosmochim. Acta. 1983. V. 47. P. 1211–1222.
 73. Qi L., Wang Ch.Y., Mei-Fu Zhou. Controls on the PGE distribution of permianemeishan alkaline and peralkaline volcanic rocks in Longzhoushan, Sichuan province, SW China // Lithos. 2008. V. 106, № 3–4. P. 222–236.
 74. Rudnik R. L., Gao S. Composition of the continental crust. University of Maryland, College Park, MD, USA. 2004. Electronic version.
 75. Sano T., Fujii T., Deshmukh S.S. et al. Differentiation processes of Deccan Trap basalts: Contribution from geochemistry and experimental petrology // Lithos. 2001. V. 42. № 12. P. 222–236.
 76. Sen N., Nockolds S.R., Allen R. Trace elements in minerals from rocks of the S. California Batholith // Geochim. Cosmochim. Acta. 1959. V. 16, № 1/3. P. 58–78.

77. *Viccaro M., Cristofolini R.* Nature of mantle heterogeneity and its role in the short-term geochemical and volcanological evolution of Mt. Etna (Italy) // *Lithos*. 2008. V. 105. № 3-4. P. 272–288.
78. *Yamachita K., Creaser R.A.* Geochemistry and Nd isotopic constraints for the origin of the Late Archean turbidites from the Yellowknife area, Northwest Territories, Canada // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1999. V. 63. P. 2579–2598.

Рецензент А.А. Кременецкий

Distribution of vanadium in the upper continental crust

N. A. Grigor'ev

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Vanadium distribution in the upper continental crust has been defined using the A.B. Ronov's et al. model [48]. V average content in upper continental crust is 0.0113%. V average content in basic and meta-basic rocks is 0.0245–0.0254%. In each of these rocks V mass distribution is determined by V content sections: low (<0.01%), average (0.01–0.02%), enriched (0.02–0.04%), high (0.04–0.08%) and very high (>0.08%). V mass distribution in such sections corresponds: 3.36–5.42; 11.45–19.63; 43.54–65.92; 17.59–28.38 and 1.36–6.97%. V content in the V-rich magnetite is $\geq 0.2\%$. V-rich magnetite presents around >3.4% of total V of the upper parts of the continental crust.

Key words: *vanadium, V-magnetite, content, masses, distribution, rocks, upper continental crust.*