

УДК 550.4 : 494

© Д. чл. УАГН Н.А. Григорьев

МИНЕРАЛЫ КАК НОСИТЕЛИ ТИТАНА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Институт геологии и геохимии УНЦ РАН,
620151, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7, Россия,
Факс (3432) 71-52-52,

E-mail: Grigor'ev @ igg. uran. ru; root @ igg. e-burg. su

© N.A. Grigor'ev

MINERALS AS CARRIERS OF TITANIUM IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST'S

Автореферат

Распределение массы Ti в минералах континентальной коры определено по модели А.Б. Ронова и др. (1990). Расчет выполнен на базе более чем 2000 количественных минералогических анализов важнейших горных пород, опубликованных преимущественно в СССР и США. Установлено следующее распределение массы Ti в породообразующих минералах: рассеяно 5,5%, слабо сконцентрировано 51%. Главный породообразующий минерал-концентратор – биотит. В титановых минералах сконцентрировано 36,5% массы Ti. Важнейший из них – ильменит.

Abstract

The distribution of masses Ti in the minerals of continental crust's has been calculated by the model of A. B. Ronov et al.(1990). Calculation has been made by the base more than 2000 quantitative mineralogical analyses of important rocks, published mainly in the USSR and USA. It was established distribution of masses Ti in the rock-forming minerals: 5.5% dispersion, 51% low-concentrate. Major rock-forming mineral-concentrator – biotite. In titanic minerals -concentrate 36.5% masses Ti. Major titanic mineral – ilmenite.

Требования к содержанию промышленных минералов в минеральном сырье последовательно уменьшаются, а требования к величине запасов увеличиваются. Альтернативы постепенному переходу от эксплуатации руд к использованию горных пород в качестве минерального сырья нет. Для определения перспектив этой тенденции необходимо определение резерва химических элементов, сконцентрированного в потенциально

промышленных минералах горных пород (Григорьев, 1999). Особенно это актуально для верхней части континентальной коры, подверженной наибольшему антропогенному воздействию. Настоящая работа – это оперативная информация по Ti.

Среднее содержание Ti в верхней части континентальной коры – 0,34 мас. % (Григорьев, 2002). Все коэффициенты концентрации (Кк) рассчитаны по отношению к нему. В титановых минералах содержание Ti теоретическое или приближающееся к вероятному среднему. В не титановых минералах оно определено приблизительно для верхней части континентальной коры в целом. Для этого использованы данные из минералогических справочников. Отдельно для минералов каждой горной породы среднее содержание Ti не рассчитано. Этим в частности определяются широкие вариации сумм долей масс Ti, учтенных в горных породах. В осадочном слое в целом учтено только 3/4 массы Ti, а в глинах и глинистых сланцах – около половины. Наиболее вероятные причины отмеченного: недостаток данных о содержании Ti в экзогенных не титановых минералах и не учет при минералогических анализах микрочастиц титановых минералов. В большинстве горных пород гранитно-метаморфического слоя эти суммы близки к 100%. Это свидетельствует об относительно высокой корректности большинства данных. Но содержания Ti-магнетита здесь вероятно преувеличены за счет преуменьшения содержаний ильменита. Под названием «Ti-магнетит» или даже просто «Магнетит» в литературе часто учитывали магнетит с микровключениями ильменита. Отмеченное будем иметь ввиду при обсуждении полученных данных.

Установлено, что в минералого-геохимическом отношении Ti – типичный малый химический элемент. Интервал нехарактерной концентрации 2 – 11 мас. % (Кк 6-32). Он разграничивает не титановые и титановые минералы. Не титановые – являются миниминералами и кларкминералами, титановые – максиминералами. Пока мы вынуждены считать существенным исключением Ti-магнетит, относящийся к максиминералам. В верхней части континентальной коры в целом в миниминералах находится всего 5,47% массы Ti (табл. Ti-1). Половина его массы слабо сконцентрирована в кларкминералах. Это в основном листовые и цепочечные силикаты. Главный кларкминерал –

биотит. Его роль больше суммарной роли всех остальных кларк-минералов. **В максиминералах сконцентрировано 36,49% массы Ti.** Главный из них ильменит. Его роль соизмерима с суммарной ролью остальных титановых минералов.

В осадочном и гранитно-метаморфическом слоях распределение массы Ti по разным категориям минералов-концентраторов похожее (табл. Ti-2). Существенно отличаются эти слои только по составу главных минералов-носителей. Так в гранитно-метаморфическом слое почти половина Ti слабо сконцентрирована в биотите, в осадочном слое роль биотита меньше. Зато существенна роль гидрослюд. Главный максиминерал в обоих слоях – ильменит. Но в гранитно-метаморфическом слое существенна роль титанита, а в осадочном - рутила.

Во всех осадочных породах (табл. Ti-3) роль миниминералов как носителей Ti мала. При обсуждении роли максиминералов необходимо иметь в виду, что средние содержания рутила в карбонатных породах и ильменита в кремнистых вероятно преувеличены. В целом в осадочных породах в титановых минералах вероятно сконцентрировано не меньше 20% массы Ti. Наибольший практический интерес очевидно представляют пески и песчаники, где больше 36% массы Ti сконцентрировано в титановых минералах.

В кислых вулканитах осадочного слоя (табл. Ti-4) учтено всего 70% массы Ti. Наиболее вероятная причина – уменьшение среднего содержания Ti в стекле. Последнее вероятно является аналогом не миниминералов, а кларк-минералов. В остальных вулканитах масса Ti несколько преувеличена. Роль миниминералов во всех вулканитах мала.

Доли массы Ti, сконцентрированные в максиминералах увеличиваются от кислых вулканитов (16,53%) к основным (70,15%). Главные максиминералы: ильменит и Ti-магнетит.

В гранитно-метаморфическом слое магматические и метаморфические породы заметно отличаются по минеральному балансу Ti (табл. Ti-5 - Ti-7). Роль миниминералов почти во всех случаях мала. Но роль максиминералов в магматических породах (51,6 – 70,03% массы Ti) больше, чем в метаморфических (2,52 – 64,27% массы Ti). В гранитах и гранодиоритах (табл. Ti-5) главный максиминерал – ильменит. В нем сконцен-

Глобальный минеральный баланс Ti
в верхней части континентальной коры

Категории минералов как концентраторов Ti	Кк	Минералы-носители Ti	Содержание минералов-носителей, мас. %	Содержание Ti, масс. %	Доли массы Ti, отн. %
Миниминералы	0,03	Кварц	23,91	0,0096	0,67
	0,03-0,09	Полевые шпаты	37,34	0,01-0,03	1,42
	0,14	Нонтронит	0,67	0,048	0,09
	0,35	Монтмориллонит	0,42	0,12	0,15
	0,38	Гиперстен	0,33	0,13	0,13
	0,38	Рипидолит	1,8	0,13	0,69
	0,41	Клинохлор	0,43	0,14	0,18
	0,41	Актинолит	0,39	0,14	0,16
	0,41	Куммингтонит	0,46	0,14	0,19
	0,62	Диопсид	0,48	0,21	0,3
	0,62	Альмандин	0,85	0,21	0,52
	0,76	Каолинит	0,41	0,26	0,31
	0,82	Бейделлит	0,16	0,28	0,13
		Прочие			0,53
		Всего			5,47
Кларкминералы	1,03	Мусковит	3,88	0,35	3,98
	1,03	Гидромусковит	1,83	0,35	2,15
	1,24	Ставролит	0,25	0,42	0,14
	1,53	Эгирин	0,09	0,52	0,14
	1,58	Гидробиотит	0,47	0,54	0,75
	1,65	Авгит	1,26	0,56	2,07
	1,65	Роговая обманка	3,45	0,56	5,67
	1,82	Рибекит	0,17	0,62	0,31
	2,21	Гастингсит	0,31	0,75	0,68
	4,56	Биотит	7,6	1,55	34,5
	5,35	Кроссит	0,051	1,82	0,27
	Прочие			0,18	
	Всего			51,01	
Максиминералы	34,4	Ti-магнетит	0,07	11,7	2,39
	71,2	Титанит	0,18	24,2	12,8
	71,2	Лейкоксен	0,015	24,2	1,07
	86,2	Ильменит	0,21	29,3	18
	174	Рутил	0,011	59,3	1,92
	174	Анаказ	0,0018	59,3	0,31
		Всего			36,49
Сумма долей массы Ti					92,97

Таблица Ti-2

Доли масс Ti (отн. %), находящиеся в минералах, слагающих слои континентальной коры

Категории минералов как концентратов Ti	Минералы-носители Ti	Осадочный слой	Гранитно-метаморфический слой
Миниминералы	Кварц	0,44	0,76
	Полевые шпаты	0,89	1,63
	Монтмориллонит	0,52	Н.опр.
	Рипидолит	0,54	0,74
	Альмандин	0,01	0,72
	Диопсид	0,23	0,32
	Каолинит	1,13	Н.опр.
	Бейделлит	0,46	Н.опр.
	Прочие	1,12	1,05
Всего		5,34	5,22
Кларкминералы	Мусковит	2,56	4,53
	Гидромусковит	6,69	<0,01
	Гидробиотит	2,63	Н.опр.
	Авгит	2,13	2,03
	Роговая обманка	1,41	7,32
	Рибекит	0,01	0,42
	Стекло основное	2,04	Н.опр.
	Гастингсит	Н.опр.	0,93
	Биотит	17,7	41,1
	Прочие	0,45	0,64
	Всего	35,62	56,97
Максиминералы	Ti-магнетит	4,9	1,45
	Титанит	1,74	17,3
	Лейкоксен	2,39	0,58
	Ильменит	18,9	18,2
	Рутил	3,56	1,19
	Анатаз	0,79	0,13
	Всего	32,28	38,85
Суммы долей массы		73,24	101,04

Таблица Ti-3

Доли масс Ti (отн. %), находящиеся в минералах осадочных пород континентальной коры

Категории минералов как концентратов Ti	Минералы-носители Ti	Пески и песчаники	Глины и сланцы	Карбонатные породы	Кремнистые породы	Осадочные породы
Миниминералы	Кварц	0,91	0,4	<0,01	3,26	0,53
	Полевые шпаты	0,77	0,49	0,61	0,05	0,56
	Нонтронит	0,05	0,47	1,22	Н.опр.	0,43
	Глауконит	0,39	0,05	<0,01	3,12	0,15
	Рипидолит	0,74	0,69	Н.опр.	0,76	0,67
	Каолинит	0,52	1,68	2,96	Н.опр.	1,44
	Бейделлит	0,8	0,55	Н.опр.	Н.опр.	0,58
	Прочие	0,17	0,19	2,09	0,81	0,26
	Всего	4,35	4,52	6,88	8	4,62
Кларкминералы	Монтмориллонит	0,69	0,71	Н.опр.	0,21	0,67
	Мусковит	0,2	4,39	0,22	Н.опр.	3,18
	Вермикулит	0,15	0,53	Н.опр.	Н.опр.	0,39
	Гидромусковит	10	8,24	5,32	10,9	8,55
	Гидробиотит	4,63	3,18	Н.опр.	Н.опр.	3,36
	Роговая обманка	0,8	0,88	Н.опр.	Н.опр.	0,83
	Везувиан	Н.опр.	Н.опр.	1,23	1,14	
	Биотит	13,3	18,24	23,5	Н.опр.	17,12
	Прочие	0,04	<0,01	0,27	Н.опр.	0,34
	Всего	29,81	36,17	30,58	12,25	34,5
Максиминералы	Титанит	3,45	0,66	21,44	2,28	0,92
	Лейкоксен	10,35	0,76	Н.опр.	Н.опр.	1,28
	Ильменит	16,7	11,49	Н.опр.	22,4	12,54
	Рутил	2,2	2,79	45,03	20,92	4,44
	Анатаз	4,07	0,03	Н.опр.	Н.опр.	1
	Всего	36,77	15,73	66,47	45,6	20,18
Сумма долей массы Ti		70,93	56,42	103,93	65,85	59,3

трировано соответственно 39,1 и 38,6% массы Ti. На втором месте находится титанит (16,1 и 12,7% массы Ti). В щелочных гранитоидах роль ильменита и титанита соизмерима (соответственно 29,3 и 35,09 массы Ti). В ультрабазитах в миниминералах и кларкминералах находится около 36% массы Ti. Причем роль тех и других соизмеримая. Среди миниминералов преобладают пироксены. Среди кларкминералов главная роль принадлежит вторичным минералам: роговой обманке и флогопиту. В максиминералах (в основном вероятно в ильмените) сконцентрировано 64,28% массы Ti. Роль Ti-магнетита преувеличена из-за не достаточно полного учета микроворстков ильменита.

Таблица Ti-4

Доли масс Ti (отн. %), находящиеся в минералах вулканогенных пород осадочного слоя континентальной коры

Категории минералов как концентраторов Ti	Минералы-носители Ti	Кислые	Средние	Основные	Вулканиды в целом
Миниминералы	Кварц	1,77	0,15	<0,01	0,1
	Полевые шпаты	7,58	2,23	1,79	2,06
	Энстатит	<0,01	0,11	0,1	0,1
	Гиперстен	0,01	0,14	0,55	0,43
	Диопсид	0,01	0,41	1,18	0,96
	Стекло кислое	20,6	Н.опр.	Н.опр.	0,69
	Пижонит		0,36	0,93	0,76
	Прочие	0,25	0,2	0,38	0,33
	Всего	30,22	3,6	4,93	5,43
Кларкминералы	Мусковит	7,22	0,38	Н.опр.	0,34
	Эгириин	0,1	0,01	0,73	0,53
	Авгит	0,07	4,87	11,8	9,71
	Роговая обманка	0,7	6,09	2,76	3,53
	Арфведсонит	0,44	0,02	0,01	0,03
	Стекло основное	Н.опр.	21,6	5,5	9,33
	Биотит	14,5	21,5	16,4	19,8
	Прочие	0,39	0,01	0,01	0,02
	Всего	23,42	54,48	37,21	43,29
Максиминералы	Ti-магнетит	6,58	17,8	24,7	22,7
	Титанит	0,15	0,03	0,01	0,02
	Лейкоксен	0,3	0,32	0,03	0,12
	Ильменит	9,16	31,8	45,4	40,8
	Рутил	0,3	0,03	0,01	0,03
	Анатаз	0,04	<0,01	Н.опр.	<0,01
	Всего	16,53	49,98	70,15	63,67
Сумма долей массы Ti		70,17	108,06	112,29	112,39

Доли масс Ti (отн. %), находящиеся в минералах магматических пород континентальной коры

Категории минералов как концентраторов Ti	Минералы-носители Ti	Граниты	Гранодиориты	Базиты	Сиениты	Ультрабазиты	Магматические породы
Миниминералы	Кварц	1,65	0,53	0,09	0,11	Н.опр.	0,85
	Полевые шпаты	2,88	2,09	1,62	1,75	0,37	2,26
	Энстатит	Н.опр.	Н.опр.	0,02	Н.опр.	2,63	0,02
	Оливин	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	<0,01	2,53	0,02
	Гиперстен	0,01	0,03	0,49	Н.опр.	Н.опр.	0,14
	Диопсид	Н.опр.	Н.опр.	2,55	Н.опр.	6,42	0,7
	Бронзит	Н.опр.	Н.опр.	0,53	Н.опр.	5,44	0,17
	Рипидолит	0,22	0,51	1,5	Н.опр.	Н.опр.	0,65
	Прочие	0,11	0,02	0,05	0,06	0,9	0,01
	Всего	4,87	3,18	6,85	1,92	18,29	4,82
Кларкминералы	Мусковит	0,58	2,3	<0,01	3,5	Н.опр.	1,02
	Салит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	1,33	0,01
	Эгириин	Н.опр.	Н.опр.	1,18	7,8	Н.опр.	0,34
	Авгит	0,31	2,21	6,96	11,9	Н.опр.	2,75
	Роговая обманка	1,56	4,42	5,52	0,7	6,22	3,59
	Рибекит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,47	Н.опр.	<0,01
	Арфведсонит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,52	Н.опр.	<0,01
	Флогопит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,15	10,1	0,04
	Биотит	38,8	38,8	12,4	5,81	Н.опр.	31,5
	Прочие	0,29	0,2		1,59	Н.опр.	0,19
	Всего	41,54	47,93	26,06	32,39	17,65	39,44
Максиминералы	Ti-магнетит	0,01	Н.опр.	35,5	0,38	58,5	9,34
	Эвксенит	0,01	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	<0,01
	Мурманит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	1,24	Н.опр.	<0,01
	Бломстрандин	<0,01	Н.опр.	Н.опр.	0,01	Н.опр.	<0,01
	Титанит	16,1	12,7	9,9	35,09	0,01	13,5
	Лейкоксен	0,21	0,04	<0,01	<0,01	Н.опр.	0,09
	Ильменит	39,1	38,6	22,2	29,3	5,7	34,7
	Рутил	0,16	0,25	2,43	<0,01	0,07	0,66
	Анатаз	0,16	0,05	Н.опр.	<0,01	Н.опр.	0,07
	Всего	55,75	51,6	70,03	66,02	64,28	58,36
Сумма долей массы Ti		102,16	102,71	102,94	100,33	100,22	102,62

Таблица Ti-6

Доли масс Ti (отн. %), находящиеся в минералах
параметаморфических пород континентальной коры

Категории минералов как концентраторов Ti	Минералы-носители Ti	Метапесчаники	Парасланцы	Карбонатные породы	Железистые породы	Параметаморфиты
Миниминералы	Кварц	1,54	0,77	0,96	1,65	0,83
	Полевые шпаты	1,11	1,26	0,77	0,92	1,25
	Оливин	Н.опр.	Н.опр.	2,38	Н.опр.	0,01
	Тремолит	Н.опр.	Н.опр.	2,44	Н.опр.	0,01
	Гиперстен	Н.опр.	0,02	Н.опр.	1,44	0,03
	Рипидолит	0,94	0,37	2,98	1,01	0,43
	Клинохлор	1,21	0,32	0,87	Н.опр.	0,39
	Куммингтонит	0,02	0,32	0,05	0,23	0,3
	Актинолит	0,12	0,22	1,17	0,93	0,22
	Альмандин	1,09	0,9	0,31	5,83	0,94
	Диопсид	0,07	0,3	6,56	0,06	0,31
	Прочие	0,87	0,35	2,4	0,9	0,36
	Всего	6,97	4,83	20,89	12,97	5,08
Кларкминералы	Мусковит	4,59	8,7	3,65	Н.опр.	8,33
	Салит	Н.опр.	Н.опр.	4	10,67	0,08
	Эгирин	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	7,22	0,04
	Авгит	0,58	0,8	Н.опр.	Н.опр.	0,77
	Роговая обманка	6,76	10,7	9,33	6,22	10,4
	Рибекит	0,64	0,89	Н.опр.	2,41	0,88
	Флогопит	Н.опр.	Н.опр.	17,65	Н.опр.	0,08
	Клиногумит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	12,58	0,07
	Биотит	24,6	39,9	48,44	4,31	38,6
	Прочие	0,01	1,1	Н.опр.	Н.опр.	1,1
	Всего	37,18	62,09	83,07	43,41	60,35
Максиминералы	Титанит	25	20,7	2,52	Н.опр.	21,1
	Ильменит	22,2	12,6	Н.опр.	Н.опр.	13,2
	Рутил	8,59	1,15	Н.опр.	Н.опр.	1,69
	Анаказ		0,25	Н.опр.	Н.опр.	0,23
	Всего	55,79	34,7	2,52	Н.опр.	36,22
Суммы долей массы Ti		99,94	101,62	106,48	56,38	101,65

Среди параметаморфических пород (табл. Ti-6) заметно выделяются метапесчаники. Здесь больше половины массы Ti сконцентрировано в максиминералах. Главные из них: титанит и ильменит. В кларкминералах (в основном в биотите) сконцентрировано только 37,18% массы Ti. В парасланцах роль кларкминералов (62,09% массы Ti) вдвое больше роли максиминералов (34,7% массы Ti). Среди кларкминералов резко выде-

деляется биотит. На втором месте – роговая обманка. Среди максиминералов на первом месте титанит, на втором – ильменит. Карбонатные и железистые метаморфические породы изучены слабо. Данных о содержании в них титановых минералов мало. Судя по имеющимся данным в карбонатных метаморфических породах около 83% массы Ti слабо сконцентрировано в кларкминералах – в основном в слюдах ряда флогопит-биотит. Остальная доля массы преимущественно рассеяна в миниминералах. Среди последних преобладают цепочечные и листовые силикаты. Данные по железистым породам неполны.

Таблица Ti-7

Доли масс Ti (отн. %) в минералах ортометаморфических пород континентальной коры

Категории минералов как концентраторов Ti	Минералы-носители Ti	Гранито-гнейсы	Метариолиты	Метандезиты	Метабазиты	Ортометаморфиты
Миниминералы	Кварц	0,79	1,46	0,33	0,1	0,65
	Полевые шпаты	2,02	2,26	1,57	1,5	1,9
	Гиперстен	0,13	0,06	0,2	0,81	0,27
	Рипидолит	1,26	1,13	1,02	0,93	1,18
	Куммингтонит	Н.опр.	Н.опр.	0,61	1,53	0,33
	Актинолит	Н.опр.	0,3	1,3	1,32	0,29
	Альмандин	0,94	0,46	0,05	0,2	0,74
	Диопсид	Н.опр.	Н.опр.	0,91	0,67	0,18
	Прочие	0,01	0,66	0,55	0,91	0,19
	Всего	5,15	6,33	6,57	7,97	5,73
Кларкминералы	Мусковит	1,09	9,89	3,04	0,13	1,16
	Салит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,82	0,16
	Эгирин	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,98	0,19
	Авгит	1,93	0,97	1,83	9,51	3,36
	Роговая обманка	4,06	2,43	5,84	8,45	3,1
	Гастингсит	2,59	Н.опр.	Н.опр.	2,83	2,46
	Биотит	61,5	16,8	9,44	17	48,3
	Кроссит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	5,15	1,01
	Прочие	Н.опр.	0,91	Н.опр.	0,23	0,05
	Всего	71,17	31,0	20,15	45,1	59,79
Максиминералы	Титанит	12,5	17,8	28,94	18,24	14,2
	Лейкоксен	0,01	10,52	8,95	4,56	1,51
	Ильменит	15,2	29,3	25,48	24,9	17,8
	Рутил	0,01	0,1	0,9	3,36	0,7
	Анаказ	0,04	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,03
	Всего	27,76	57,8	64,27	51,06	34,24
Суммы долей массы Ti		104,08	95,13	90,96	104,13	99,76

Среди ортометаморфических пород (табл. Ti-7) выделяются гранитогнейсы. Здесь 71,17% массы Ti слабо сконцентрировано в кларкминералах. Среди последних резко выделяется биотит. В максиминералах сконцентрировано всего 27,76% массы Ti. Роль титанита и ильменита соизмеримая. Все метавулканиды по распределению Ti похожи. Больше половины его массы сконцентрировано в максиминералах. Главные среди них титанит и ильменит. Но существенна также роль лейкоксена. Среди кларкминералов первое место принадлежит биотиту. В метариолитах второе место занимает мусковит. С увеличением основности метавулканидов роль его уменьшается. Параллельно увеличивается роль амфиболов и пироксенов.

Корректные определения минеральных балансов Ti в конкретных осадочных и вулканогенных породах автору не известны. К осадочным породам относительно близки по минеральному составу изученные коры выветривания Светлинского золоторудного месторождения. В изученных пробах валовое содержание Ti 0,66-1,17 мас. %. В рутиле, титаните, ильмените сконцентрировано от нуля до 38% массы Ti (Григорьев, 1999). Есть тенденция прямой зависимости доли массы Ti, сконцентрированной в этих минералах от его валового содержания (табл. Ti-8) и обратной - от суммарного содержания слюды и гидрослюды в породе. Эти результаты близки к тем, которые получены расчетом для осадочных пород в целом.

Имеются немногочисленные результаты определения минеральных балансов Ti в конкретных магматических и ортометаморфических породах, а также в околорудных метасоматитах. В гранитоидах Верхисетского массива (табл. Ti-9) распределение Ti по минералам зависит в основном от его валового содержания. Но даже при валовом содержании меньшем чем кларковое роль титанита и ильменита в качестве носителей Ti значительна. При содержании Ti близком к кларковому в этих минералах сконцентрировано 35-60% его массы. Эти данные соответствуют приведенным выше результатам расчетов, выполненных для гранитоидов в целом.

Немногочисленные минеральные балансы Ti в ультрабазитах не вполне корректны. Главный недостаток большинства из них – отсутствие количественного учета включений ильменита в магнетите. В перидотитах Малого Кавказа содержание Ti в

несколько раз меньше кларкового. Максиминералы Ti здесь не установлены (табл. Ti-10). В рудных пироксенитах Качканарского массива на Среднем Урале важнейшим квазиконцентратом и квазиносителем Ti является магнетит с включениями ильменита. Роль относительно крупных частиц ильменита – второстепенная. Есть прямая зависимость роли этого квазиносителя от валового содержания Ti в породе.

Таблица Ti-8

Минеральные балансы Ti в коре выветривания золотоносных метасоматитов Светлинского месторождения на Южном Урале (Григорьев, 1999)

Минералы	Проба 191			Проба 214			Проба 158		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Пирит	6	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.
Кварц	34	0,00	0	45	0,1	7	37	0,02	1
Гетит	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	3	0,02	0
Каолинит	0	Н. опр.	Н. опр.	25	0,14	5	33	0,36	17
Тальк	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	7	0,00	0
Хлорит	2	1,6	5	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.
Мусковит	22	1,01	34	3	0,00	0	1	2,75	4
Биотит	13	1,00	20	2	2,78	8			
Гидрослюды	14	0,91	19	21	1,77	55	18	1,51	38
Монтмориллонит	8	1,3	16	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.
Титанит	0,3	24	11	0,5	24	18	0,1	25	4
Рутил	0,00	Н. опр.	0	0,01	60	1	0,4	60	34
В породе	93,32	0,66	105	99,52	0,67	94	99,5	0,71	98

- Примечание. Здесь и в последующих таблицах: 1 – содержание минерала, мас. %; 2 – содержание Ti в минерале и горной породе, мас. %; 3 – доли массы Ti и их сумма, отн. %.

В литературе также есть несколько минеральных балансов Ti в метагаббро из Восточных Саян и Урала (табл. Ti-11). Валовое содержание Ti здесь несколько больше кларкового. Из его максиминералов учтен только ильменит. Причем его со-

содержание преуменьшено. Не учтены включения в магнетите. Роль ильменита прямо зависит от валового содержания Ti. Она соответствует той, которая рассчитана для метабазитов в целом.

Таблица Ti-9

Неполные минеральные балансы Ti в гранитоидах Верхисетского массива. Урал (Бушляков, Соболев, 1976)

Минералы	Лейкократовый гранит. Обр. 522			Биотитовый гранит. Обр. 523		
	1	2	3	1	2	3*
Микроклин	30,0	0,006	1,7	42,7	0,03	4,9
Плагиоклазы	30,4	0,03	8,4	19,1	0,009	0,7
Эпидот	0,42	0,23	0,9	0,47	0,42	0,8
Магнетит	0,32	0,82	2,4	0,13	0,35	0,2
Рог. обм.	Н.опр	Н.опр	Н.опр	Н.опр	Н.опр	Н.опр
Биотит	4,8	1,48	65,2	10,3	1,47	58,2
Титанит	0,02	24	4,4	0,07	24	6,5
Ильменит	0,06	30	16,5	0,24	30	27,7
В породе	66,02	0,109	99,5	73,1	0,26	99,0

Продолжение таблицы 9

Минералы	Гранодиорит. Обр. 553а			Плагиогранодиорит. Обр. 7031		
	1	2	3	1	2	3
Микроклин	< 0,01	Н.опр	Н.опр	< 0,01	Н.опр.	Н.опр.
Плагиоклазы	44,8	0,2	20	60,5	0,06	7,9
Эпидот	1,17	0,15	0,4	< 0,01	Н.опр.	Н.опр.
Магнетит	< 0,01	Н.опр	Н.опр	0,89	0,29	4,7
Рог. обм.	9,3	0,54	11,2	6,7	0,32	4,7
Биотит	13,5	0,86	26	12,6	0,96	26,5
Титанит	0,79	24	42,4	< 0,01	Н.опр.	Н.опр.
Ильменит	< 0,01	Н.опр	Н.опр	0,92	30	60,4
В породе	69,56	0,447	100,0	81,61	0,457	100,1

Таблица Ti-10

Минеральные балансы Ti в перидотите Малого Кавказа (Абдуллаев, 1992), оливиновых пироксенитах из Качканарского массива (Урал) и в ассоциирующей с последними вкрапленной титаномагнетитовой руде (Фоминых, 1991)

Минералы	Перидотит. Обр.129.			Оливиновый пироксенит. Проба 1		
	1	2	3	1	2	3*
Оливин	44	0,00	0	26	0,018	1
Серпентин	18	0,036	22	3	0,072	0
Энстатит	13	0,048	22	0	Н.опр	Н.опр
Клинопироксены	22	0,061	46	50	0,33	34
Амфиболы	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	15	0,96	30
Магнетит+ильменит	2,3	0,066	5	5,8	1,86	22
Ильменит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,2	29,35	12
В породе	99,3	0,029	95	100	0,48	99

Продолжение таблицы 10

Минералы	Оливиновый пироксенит. Проба 2.			Руда. Проба 5.		
	1	2	3	1	2	3
Оливин	14	0,048	1	8	0,012	0
Серпентин	1	0,072	0	10	0,072	0
Энстатит	0	Н.опр	Н.опр	0	Н.опр	Н.опр
Клинопироксены	65	0,21	23	10	0,41	2
Амфиболы	5	1,12	9	2	0,91	1
Магнетит+ильменит	14,8	2,07	51	69,5	2,60	87
Ильменит	0,2	29,35	10	0,5	29,35	7
В породе	100	0,6	94	100	2,7	97

Таблица Ti-11

Минеральные балансы Ti в метагаббро и в ассоциирующей с ними вкрапленной титано-магнетитовой руде

Минералы	Восточные Саяны (Механошин и др., 1986)					
	Обр. 78-111			Обр. 78-112		
	1	2	3	1	2	3
Плагиоклазы	19	0,078	2	21,9	0,022	0
Хлорит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Пироксены	10,6	0,34	4	16,8	0,18	2
Амфиболы	41	1,41	65	30,8	1,5	23
Гранат	28	0,1	3	19,7	0,053	1
Магнетит	0,3	3,89	1	2,2	3,89	4
Ильменит+ ильменит	1,1	14,5	18	8,6	14,5	62
В породе (руде)	100	0,89	93	100	2,01	92

Продолжение таблицы 11

Минералы	Медведевский массив на Урале (Фоминых, 1991)					
	Проба 11			Проба 15		
	1	2	3	1	2	3
Плагиоклазы	50,1	0,13	4	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Хлорит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	5,4	0,54	1
Пироксены	24,5	0,4	7			
Амфиболы	17,5	0,73	9	30,5	0,66	4
Гранат	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Магнетит	4,6	3,57	11	57,8	5,69	60
Ильменит+ ильменит	3,3	29,41	65	6,3	29,2	34
В породе (руде)	100	1,5	96	100	5,48	99

Таблица Ti-12

Минеральные балансы Ti в скарнах и медной руде из месторождений Турьинской группы на Северном Урале (Григорьев, 1999)

Минералы	Ново-Песчанское. Проба НП-8804		
	1	2	3
Халькопирит	0,00	Н.опр.	0
Кварц	1,8	Н.опр.	Н.опр.
Магнетит	7,8	0,01	8
Кальцит	47	0,006	28
Анрадит	40	0,012	48
Хлорит	2,1	0,056	12
Пироксен	0,00	Н.опр.	0
В породе, руде	98,7	0,01	96

Продолжение таблицы 12

Минералы	Башмаковское. Проба Бш-8816			Южно-Песчанское. Проба В-8606		
	1	2	3	1	2	3
Халькопирит	0,92	0,031	1	0,00	Н.опр.	0
Кварц	1,4	Н.опр.	Н.опр.	0,00	Н.опр.	0
Магнетит	0,00	Н.опр.	0	0,08	0,00	0
Кальцит	6,2	0,013	2	4,0	0,02	1
Анрадит	73	0,031	65	92	0,065	98
Хлорит	1,1	Н.опр.	Н.опр.	2,4	0,07	3
Пироксен	17	0,068	33	0,00	Н.опр.	0
В породе, руде	99,62	0,035	101	98,48	0,061	102

Представляют интерес также минеральные балансы Ti в скарнах и рудах Турьинских месторождений на Северном Урале (Ti-12). Здесь валовое его содержание на порядок меньше кларкового. Титановые минералы не обнаружены.

Итак, в верхней части континентальной коры в целом в миниминералах находится всего 5,47% массы Ti (табл. Ti-1). Половина его массы слабо сконцентрирована в кларкминералах.

Это в основном листовые и цепочечные силикаты. Главный кларкминерал – биотит. Его роль больше суммарной роли всех остальных кларкминералов. **В титановых минералах (максиминералах) сконцентрировано 36,49% массы Ti.** Главный из них ильменит. Его роль соизмерима с суммарной ролью остальных титановых минералов. Роль титановых минералов в качестве носителей Ti прямо зависит от его валового содержания. Несколько меньшее значение имеет обратная зависимость этой роли от содержания железо-магниевого цепочечных и листовых силикатов. Даже при кларковом содержании Ti в большинстве случаев роль его минералов существенная. Отсутствием или незначительной ролью последних характеризуются в основном горные породы с валовым содержанием Ti <0,1 мас.%. Большинство континентальных горных пород в отношении Ti относится к минерализованным. Естественными титановыми рудами вероятно являются преимущественно породы с валовым содержанием Ti, превосходящим кларковое не меньше чем на порядок.

Литература

1. **Абдуллаев З.Б.** Базит-гипербазитовый комплекс офиолитовой ассоциации Малого Кавказа: Дис. Докт. геол.-мин. наук. Баку. 1992.
2. **Бушляков И.Н., Соболев И.Д.** Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского массива. М. Наука. 1976. 339 с.
3. **Григорьев Н.А.** Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург. 1999. 302с.
4. **Григорьев Н.А.** О кларковом содержании химических элементов в верхней части континентальной коры. Литолсфера. 2002, № 1. С. 38-60.
5. **Механошин А.С., Глазунов А.М., Бурмакина Г.В.** Геохимия и рудоносность метагабброидов Восточного Саяна. Новосибирск: Наука, 1986. 102 с.
6. **Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А.** Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М. Наука. 1990. 182 с.
7. **Фоминих 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, 1991 г. С. 30-53.