Литосфера, 2005, № 1, с. 143-149

УДК 550.423:546.831/.832

ЦИРКОН КАК НОСИТЕЛЬ ЦИРКОНИЯ И ГАФНИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Н.А. Григорьев

Институт геологии и геохимии Уральского Отделения РАН

620151, Екатеринбург, Почтовый переулок, 7

E-mail: root@igg.e-burg.su

Поступила в редакцию 12 февраля 2004 г.

Роль циркона как носителя Zr и Hf в верхней части континентальной коры рассчитана по модели А.Б. Ронова и др. [1990]. Расчет выполнен на основе более чем 2480 количественных минералогических анализов важнейших горных пород, опубликованных преимущественно в СССР Установлено, что в цирконе сконцентрировано 28.4% массы Zr и 24% массы Hf. Эти цифры -минимально возможные.

Ключевые слова: *циркон, носитель, цирконий, гафний, верхняя часть континентальной коры.*

ZIRCON AS CARRIERS OF ZIRCONIUM AND HAFNIUM IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST'S

N.A. Grigor'ev

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

The role of zircons as carriers of Zr and Hf in the 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 2480 quantitative mineralogical analyses of important rocks, published mainly in the USSR. It was established, that in the zircon concentration 28.4% of masses Zr and 24% of masses Hf. These figures a minimal from possible.

Key words: *zircon, carrier, zirconium, hafnium, upper continental crast.*

Введение

Данные, позволяющие определить роль циркона как носителя Zr и Hf, представляют три направления исследований. Первое – косвенное определение вероятной роли циркона, исходя из содержаний Zr в породообразующих минералах. Х. Дегенхардт [Дегенхардт, 1959] показал, что в полевых шпатах, кварце, мусковите, кальците, доломите, флюорите, гипсе содержание Zr преимущественно меньше его кларкового содержания в земной коре. В пироксенах, амфиболах, биотите, каолините, галлуазите, монтмориллоните, иллите, глауконите и в некоторых рудных минералах оно преимущественно соизмеримо с кларковым или больше последнего. Поэтому он утверждал, что циркон – главный носитель Zr только в горных породах, содержащих мало темноцветных и глинистых минералов. В.В. Ляхович [Ляхович, 1968] пришел к заключению, что в гранитоидах в породообразующих минералах может находится до половины массы Zr. Последнее обобщение имеющихся данных выполнил В.В. Иванов [Иванов, 1997]. Он подтвердил отмеченные закономерности и показал, что они распространяются на Hf.

Второе направление – определение среднего содержания циркона в массивах горных пород. Отметим наиболее значительные и достоверные данные. По А.Б. Ронову с коллегами [Ронов и др., 1963], среднее содержание циркона в песках Русской платформы – 0.011 мас.%. Это соответствует доле массы Zr в цирконе – 22%). При различных комбинациях данных В.В. Ляховича [Ляхович, 1967], среднее для гранитов СССР содержание циркона 0.011-0.019 мас.%). Это соответствует доле массы циркония, сконцентрированной в цир-

коне (30-51 %). На основе этих и других подобных данных автор приблизительно определил среднее содержание циркона в верхней части земной коры – 0.024 мас.% [Григорьев, 1996]. Оно соответствует доле массы Zr, сконцентрированной в цирконе – 70%. К сожалению, эти цифры преувеличены из-за не вполне удачного выбора исходных данных.

Третье направление – наиболее корректное, но трудоемкое. Это определение минеральных балансов Zr в конкретных горных породах. Первые два баланса (один неполный) рассчитал Х. Дегенхардт [Дегенхардт 1959]. В трахидолеритовом базальте из Браккенберга 13% массы Zr рассеяно в полевых шпатах, 46% – в пироксене и оливине, 42% – сконцентрировано в титаномагнетите. Циркон не обнаружен. В вюрмбергском граните 22% массы Zr рассеяно в кварце и полевых шпатах и 30% – сконцентрировано в биотите, содержащем микровключения циркона. Х. Дегенхардт предполагал, что остальные 48% массы Zr сконцентрированы в свободных частицах циркона. И.Н. Егоровым с коллегами [Егоров и др., 1966] изучены кварце-во-микроклиновые граниты и сиениты Улканс-кого массива. Здесь в цирконе сконцентрировано 82-96% массы Zr. Близкие данные получены В.А. Чащухиной [1991] для некоторых уральских гранитов и граносиенитов. Автором [Григорьев, 1999а] установлено, что в существенно слюдистых метасоматитах Светлинс-кого золоторудного месторождения и в продуктах их выветривания доли массы Zr, сконцентрированные в цирконе, 26-50%. В андрадитовом скарне Южно-Песчанского железорудного месторождения вся масса Zr находится в породообразующих минералах. Анализ дащшх, полученных на этом направлении, показал, что доли массы Zr, сконцентрированные в цирконе, зависят от валового содержания Zr в горных породах и от минерального состава последних [Григорьев, 1999а].

Данные отмеченных направлений исследований совпадают только в качественном отношении. Количественные оценки роли циркона существенно отличаются. Но в литературе (в основном советской) рассеяны результаты тысяч количественных определений содержания циркона и других циркониевых минералов в горных породах. Они могут быть основой очередного приближения к пониманию действительной ситуации.

Исходные данные и методика расчетов

Расчет выполнен на базе фрагмента модели химического строения земной коры А.Б. Ро-нова и др. [Ронов и др., 1990], несколько детализированного автором. Верхняя часть континентальной коры рассматривается в составе двух слоев: осадочного и гранитно-гнейсового. Средние содержания Zr и Hf: в магматических породах гранитно-гнейсового слоя - по Л.Н. Овчинникову [Овчинников, 1990], остальные-авторские [Григорьев, 2002]. Средние содержания Zr в циркониевых минералах и Hf в цирконе (1.1 мас.%) определены приблизительно, по литературным данным. Средние содержания циркониевых минералов в горных породах рассчитаны по опубликованным результатам количественных минералогических анализов более чем 2480 проб горных пород. Наиболее изучены: пески и песчаники осадочного слоя (> 1100 проб), граниты (> 350 проб), гранодиориты и прочие гранитоиды повышенной основности (350 проб), сиениты (> 325 проб), базиты (106 проб), метабазиты (> 71 пробы), парагнейсы и прочие парасланцы (66 проб). Количество изученных проб по каждой из остальных горных пород или неизвестно, или меньше 50. Ниже перечислены главные источники исходных данных.

Пески, песчаники Русской платформы, Северного Приуралья и Южного Урала от четвертичных до нижне-рифейских [Карякин, 1951; Ронов и др., 1963; Челышев и др., 1965; Ильин, Сыромятина, 1972; Сергеева, 1989; Кузнецов, 1992], Восточной Камчатки [Малиновский, 1990], палеозойские Центрального Таджикистана [Бабкин, 1986]. **Глины, сланцы** Русской платформы от триасовых до плиоценовых [Челышев, 1965; Кузнецов, 1992]. Западной Сибири юрские и четвертичные [Плуман, 1975; Шумилова, 1971]. **Карбонатные породы.** Известняки Русской платформы от меловых до докембрийских [Тимофеев, 1960]. **Вулканиты осадочного слоя.** Кавказские липариты, андезиты, базальты, порфириты: липарит-дацито-вые, андезитовые, долеритовые, диабазовые [Ляхович, Чирвинская, 1961; Ляхович, 1963; Држбашян, 1965; Мнацаканян, 1965]. **Граниты и гранодиориты.** Гранитоиды СССР [Ляхович, 1967; Бартикян, 1968; Туровский, Кокарев, 1968; Чернышев, 1971; Вигорова, Покровский, 1973; Щербаков, 1975; Бушляков, Соболев, 1976; Ча-

щухина, 1991] и докембрийские Венесуэлы [Kalliokoski, 1965]. **Сиениты** СССР [Батиева, Бельков, 1984,1985; Бельков и др., 1988; Еськова и др., 1964; Кузнецов, 1976; Леонова, Погиб-лова, 1961; Поляков, Кот, 1965; Туровский, Кокарев, 1968; Фишман и др., 1968] и Нью-Джерси [Yung, 1971]. **Базиты.** Докембрийские габброиды Украинского щита [Чернышов, 1971], уральские габброиды, габбро-диабазы, диабазы и порфириты [Соболев, 1965,1968; Фишман и др., 1968,]. **Ультрабазиты.** Уральские дуниты [Соболев, 1968] и перидотиты [Фишман и др., 1968]. Докембрийские дуниты, перидотиты, серпентиниты Украинского щита [Чернышов, 1971]. **Метапесчаники.** Докембрийские мета-песчаники, конгломераты, кварциты Приполярного Урала [Фишман и др., 1966; Вигорова, Покровский, 1973]. Докембрийские кварциты Киргизии [Кокарев и др, 1986]. **Парагнейсы.** Рифейские парасланцы Рудных Гор [Ермолаев и др., 1976]. Докембрийские парасланцы Приполярного Урала [Вигрова, Покровский, 1973]. Метаосадочные сланцы предкарельского комплекса (Кейвская и Стрельнинская серии) Балтийского щита [Вулканизм.., 1987]. Докембрийские кристаллические сланцы Украинского щита [Щербаков, 1975; Носырев и др., 1986]. **Метакарбонатные породы,** Кальцифиры Украинского щита [Носырев и др., 1986]. **Гранито-гнейсы** уральские и Юго-Восточной Тувы [Ляхович, 1967], Северного Прибайкалья [Макрыгина и др., 1984], Кольского полуострова [Бельков и др., 1988]. **Метариолиты.** Метаморфизованные кварцевые порфиры, кварцевые амфиболиты и метадациты Приполярного Урала [Фишман и др., 1966,1968]. **Метаандезиты.** Протерозойские безрудные амфиболиты вольфрамового месторождения на Северном Кавказе [Кременецкий, Овчинников, 1986]. Часть докембрийских амфиболитов Украинского щита [Носырев и др., 1986]. **Метабазиты.** Метабазальты из уральской сверхглубокой скважины СГ-4 [Гурбанов, Бубнов, 1999] Аподиабазовые амфиболиты и зеленые сланцы Неройского района Приполярного Урала [Крылова и др., 1986]. Послеордовикские метадиабазы Приполярного Урала [Фишман и др., 1966]. Докембрийские габбро-амфиболиты и амфиболиты Центрального Памира [Акрамов, Дусматов, 1989]. Аподиабазовые и апогнейсовые мигмАтиты Криворожской зоны [Трощенко, 1975].

Распределение масс Zr и Hf в совокупности континентальных горных пород

Распределение Zr и Hf в верхней части континентальной коры почти соответствует требованиям геохимического баланса. Их среднее содержание в совокупности континентальных осадочных пород несколько больше того, которое могло быть унаследовано от гранитно-гнейсового слоя современного состава (Zr - 0,013, Hf - $3.8T0''^{4}$ мас.%, расчет изоалюминиевым методом). Но разница соизмерима с возможными погрешностями определений. Главные концентраторы Zr и Hf - сиениты, но роль их как носителей этих элементов ничтожна (табл. 1). Главные носители Zr и Hf - метаморфические породы гранитно-гнейсового слоя (63.6 и 69.5% массы соответственно).

Доли масс Zr и Hf, сконцентрированные в циркониевых минералах

Согласно полученным данным, в верхней части континентальной коры в цирконе сконцентрировано 28.4% массы Zr и 24% массы Hf. Роль остальных циркониевых минералов мала (табл. 2). Осадочный слой характеризуется относительно малой ролью циркона. Здесь в цирконе сконцентрировано 18.2%о массы Zr и 18% массы Hf. Максимальной ролью циркона здесь характеризуются кислые вулканиты (табл. 3). В них существенна и роль циртолита (0.33% массы Zr). Несколько меньше роль циркона в песках и песчаниках. Здесь заметна роль бадделеита (0.02% массы Zr).Отметим, что по пескам и песчаникам автор использовал данных в несколько раз больше, чем А.Б. Ронов с коллегами, но значение среднего содержания циркона получил то же. В гранитно-гнейсовом слое в цирконе сконцентрировано 31.3% массы Zr и 26% массы Hf. В магматических породах гранитно-гнейсового слоя, кроме циркона, заметную роль играет циртолит (0.01% массы Zr). Среди этих пород максимальной ролью циркона характеризуются сиениты. В них существенна также роль эвдиалита (4.3% массы Zr) и циртолита (0.66% массы Zr). В гранитах, кроме циркона, заметную роль играет торит (0.01% массы Zr, при среднем содержании Zr - 0.96 мас.%). Среди параметаморфических пород, максимальной ролью циркона характеризуются метапесчаники, минимальной - карбонатные породы (табл. 3).

Таблица 1

Распределение массы Zr и Hf в совокупности горных пород верхней части континентальной коры

Горные породы	Масса пород, отн.%	Среднее содержание, 10^{-4}%		Доли массы, отн.%	
		Zr	Hf	Zr	Hf
Пески и песчаники	5.11	230	4.5	7.3	5.1
Глины и глинистые сланцы	10.4	190	5	12.4	11.6
Карбонатные породы	3.85	51	0.61	1.2	0.5
Кремнистые породы	0.33	19	1.5	<0.1	0.11
Эвапориты	0.26	33	Н. опр.	0.1	Н. опр.
Кислые вулканиты	0.44	110	44	0.3	0.4
Средние вулканиты	1.13	110	3.6	0.8	0.9
Основные вулканиты	2.11	110	3.7	L4	1.7
Граниты	8.21	180	3.9	9.2	7.1
Гранодиориты	3.38	140	2.5	3	1.9
Базиты	1.5	130	2.6	1.2	0.9
Сиениты	0.05	500	11	0.2	0.1
Ультрабазиты	0.05	43	0.46	<0.1	<0.1
Метапесчаники	2.92	170	4.7	3.1	3.1
Парагнейсы и парасланцы	30.56	150	5.5	28.6	37.4
Метаморфизованные карбонатные породы	1.13	32	Н. опр.	0.2	Н. опр.
Железистые породы	0.38	30	Н. опр.	0.1	Н. опр.
Гранито-гнейсы	23.21	190	5.1	27.6	26.3
Метариолиты	0.66	170	7.6	0.7	1.1
Метаандезиты	1.03	160	Н. опр.	1	Н. опр.
Метабазиты	3.29	110	2.3	2.3	1.7
Верхняя часть континентальной коры	100	160	4.5	100.8	99.8
Осадочные породы	19.95	169	3.9	21	17.3
Вулканиты осадочного слоя	3.68	110	3.7	2.5	3
Осадочный слой	23.63	159	3.9	23.5	20.3
Магматиты гранитно-гнейсового слоя	13.19	164	3.4	13.6	10
Параметаморфические породы	34.90	147	5.2	32.1	40.4
Ортометаморфические породы	28.19	179	4.6	31.6	29.1
Гранитно-гнейсовый слои	76.37	162	4.7	77.3	79.5

Таблица 2

Роль циркониевых минералов как носителей Zr в верхней части континентальной коры

Минералы	Среднее содержании Zr в минералах, мас.%	Осадочный слой		Гранитно-гнейсовый слой		Верхняя часть континентальной коры	
		Содержание минералов, %	Доли массы Zr, отн.%	Содержание минералов, %	Доли массы Zr, отн.%	Содержание минералов, %	Доли массы Zr, отн.%
Эвдиалит	9.3	Н. опр.	Н. опр.	$1.5\cdot10^{-5}$	0.01	$1.1\cdot10^{-5}$	0.01
Ловенит	16.5	Н. опр.	Н. опр.	$3.3\cdot10^{-7}$	<0.01	$2.5\cdot10^{-7}$	<0.01
Циртолит	36.4	$1.6\cdot10^{-6}$	< 0.01	$2\cdot10^{-6}$	<0.01	$1.9\cdot10^{-6}$	<0.01
Наэгит	40.9	Н. опр.	Н. опр.	$4.3\cdot10^{-8}$	<0.01	$3.3\cdot10^{-8}$	<0.01
Циркон	45.5	0.0064	18.2	0.011	31.3	0.01	28.4
Бадделеит	71.8	$1.3\cdot10^{-6}$	0.01	Н. опр.	Н. опр.	$3.1\cdot10^{-7}$	<0.01
Сумма			18.21		31.31		28.41

Таблица 3

Доли массы Zr и Hf, сконцентрированные в цирконе в континентальных горных породах

Горные породы	Среднее содержание, циркона, мас.%	Доли массы, отн.%	
		Zr	Hf
Пески и песчаники	0.011	21.8	27
Глины и глинистые сланцы	0.0078	18.7	17
Карбонатные породы	$5x10^{-7}$	0.004	0.01
Осадочные породы в целом	0.0069	18.5	19
Кислые вулканиты	0.011	45.5	30
Средние вулканиты	0.0035	14.5	11
Основные вулканиты	0.0022	9.1	6.5
Вулканиты осадочного слоя в целом	0.0037	15.3	11
Граниты	0.016	40.4	45
Гранодиориты	0.011	35.8	48
Базиты	0.002	9.1	∞
Сиениты	0.068	61.9	68
Ультрабазиты	$1.8x10^{-5}$	0.19	0.4
Магматиты гранитно-гнейсового слоя в целом	0.013	37	42
Метапесчаники	0.029	77.6	68
Парагнейсы и парасланцы	0.014	42.5	28
Метаморфизованные карбонатные породы	$7x10^{-6}$	0.19	Н. опр.
Параметаморфические породы в целом	0.015	45.5	32
Гранито-гнейсы	0.0057	13.7	12
Метариолиты	0.014	37.5	20
Метаандезиты	0.0009	2.6	Н. опр.
Метабазиты	0.0009	3.7	4
Ортометаморфические породы в целом	0.0051	12.9	11

Метапесчаники в этом отношении сопоставимы с сиенитами. Ортометаморфические породы в целом характеризуются небольшой ролью циркона. Здесь заметна также роль циртолита (0.01% массы Zr). Последнее предопределяется аналогичной ролью циртолита в гранитогнейсах.

Обсуждение полученных данных

Автором использованы в основном данные, полученные микрообогатительными методами. Они дают наиболее достоверные результаты, хотя тоже несовершенны. Наиболее распространенные методы позволяют учитывать лишь частицы крупнее 30-50 мкм. Поэтому почти все исходные данные преуменьшены. Исключением, возможно, являются данные по сиенитам и метапесчаникам. Для корректного определения масштабов преуменьшения необходимы результаты специальных исследований, подтвержденные расчетом минеральных балансов Zr. Таких данных мало. И не исключено, что они отражают, в значительной мере, индивидуальные особенности изученных разновидностей горных пород. Наиболее представительны данные В.А. Чащухиной [Чащухина, 1991]. Она использовала методику, позволившую учитывать частицы акцессорных минералов крупнее 10 мкм. По ее данным, в уральских гранитах и граносиенитах, содержащих 0.005-0.039 мас.% Zr. доли его массы, сконцентрированные в цирконе, 58-85%. По И.Н. Егорову с коллегами [Егоров и др., 1966], в кварцево-микроклиновых гранитах Улканского массива с повышенным содержанием Zr (0.033-0.091 мас.%) доли его массы, сконцентрированные в цирконе 82-96%. В сиенитах этого же массива в цирконе сконцентрировано: при обычном содержании Zr (0.041-0.052 мас.%) – 72-83% его массы, а при повышенном (0.13 мас.% Zr) – 92%. Напомним и об отмеченных выше данных автора.

Сопоставления позволяют предполагать, что по новым данным роль циркона приуменьшена на 1/3 часть. Так ли это – покажет будущее. Но даже без учета отмеченного преуменьшения пока есть основания относиться к Zr как к уникальному редкому элементу. По концентрации массы в одном собственном минерале (даже при минимально возможной ее оценке), Zr превосходит остальные редкие элементы и

даже некоторые, считающиеся главными. Для сравнения отметим, что в верхней части континентальной коры суммарная доля массы Ti, сконцентрированная во всех титановых минералах, – 38.85% [Григорьев, 2003].

Выводы

Установлено, что в верхней части континентальной коры в цирконе сконцентрировано 28.4% массы Zr и 24% массы Hi. Полученные данные – очередное приближение к истине. Они нуждаются в уточнении и детализации. Однако для этого необходимо накопление дополнительного фактического материала, особенно по содержанию циркониевых минералов в осадочных и метаморфических породах. Пока же приведенные выше цифры нужно рассматривать как минимально возможные.

Список литературы

Акрамов Б.М., Дусматов В.Д. Акцессорные минералы докембрийских ортоамфиболитов Центрального Памира // Акцессорные минералы докембрия. М.: Наука, 1986. С. 170-175.

Бабкин В.Ф. Минералы тяжелой фракции терригенных образований палеозоя (Центральный Таджикистан) // Минеральные кларки и природа их устойчивости. Душанбе: Дониш, 1986. С. 145-146.

Бартикян М.П. Акцессорные минералы Шамшадинской группы интрузивов (Армения) // Акцессорные минералы изверженных пород. М.: Наука, 1968. С. 108-115.

Батиева И.Д., Бельков И.В. Сахарйокский щелочной массив, слагающие его горные породы и минералы. Апатиты, 1984. 133 с.

Батиева И.Д., Бельков И.В. Закономерности концентрации рудных элементов в связи со щелочными гранитоидами Кольского полуострова // Закономерности концентрации рудных элементов в гранитоидных формациях Карело-Кольского региона. Апатиты, 1985. С. 62-72.

Бельков И.В., Батиева И.Д., Виноградова Г.В., Виноградов А.Н. Минерализация и флюидный режим контактовых зон интрузий щелочных гранитов. Апатиты, 1988. 110 с.

Бушляков И.Н., Соболев И.Д. Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского массива. М.: Наука, 1976. 339 с.

Вигорова В.Т., Покровский П.В. Некоторые особенности акцессорной минерализации гранитоидов центральной и восточной части Приполярного Урала // Геология и полезные ископаемые северо-востока европейской части СССР и севера Урала. Сыктывкар, 1973, Т. 2. С, 334-340,

Вулканизм и седиментогенез докембрия северо-востока Балтийского щита / А.А. Предковский, В.А. Мележик, В.В. Болотов и др. Л.: Наука, 1987. 185 с.

Григорьев Н.А. Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург, 1999а. 302 с.

Григорьев Н.А. Максиминералы как носители химических элементов в верхней части земной коры. Геохимия, № 12, 19996, С, 1298-1303.

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

Григорьев Н.А. Минералы, как носители титана в верхней части континентальной коры // Уральский геологический журнал. 2003. № 4. С. 57-73.

Гурбанов А.Г, Бубнов С.Н, Гольцман Ю.В. и др. Петрогенезис и возраст вулканических образований Именновской свиты в разрезе Уральской сверхглубокой скважины по изотопным и геохимическим данным (интервал 0-4617 м) // Научное бурение в России. Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4). Ярославль, 1999. Вып. 5. С. 132-168.

Дегенхардт Х. О геохимическом распределении циркония в литосфере // Геохимия редких элементов. М.: Изд. Иностр. Лит., 1959. С. 157-208.

Држбашян Р.Т. Акцессорные элементы и минералы эффузивных образований Базумского хребта как индикаторы их металлогенической специализации //Акцессорные минералы и элементы как критерий комагматичности и металлогенической специализации магматических комплексов. М.: Наука, 1965. С. 79-101.

Егоров И.Н., Гамалея Ю.Н, Минц М.В. О распределении циркония в породах и минералах Улканского субщелочного массива // Геохимия. 1966. №12. С. 1471-1477.

Ермолаев Н.П., Величкин В.И, Аверина А.С., Лактионова Н.В. Геохимические особенности гранитизации в Рудных Горах // Геохимия. 1976. № 5. С. 696-707.

Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н. Минералогия и геохимия редких элементов Вишневых гор. М.: Наука, 1964. 319 с.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Книга 5. М.: Недра, 1997. С. 576.

Ильин В.А., Сыромятина Н.Д. Минералогические особенности четвертичных отложений и их зависимость от подстилающих коренных пород // Четвертичная геология и геоморфология восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1972. С. 102-108.

Корякин Л.И. Минеральный состав песков харьковского яруса в пределах УССР и их генезис // Записки ВМО. 1951. №3. С. 191-201.

Кокарев Г.Н., Смирнов А.А., Шуляева Л.Н. Акцессорные минералы докембрийских пород Макбала (Киргизский хребет) // Акцессорные минералы докембрия. М.: Наука, 1986. С. 151-152.

Кременецкий А.А., Овчинников Л.Н. Геохимия глубинных пород. М.: Наука, 1986. 262 с.

Крылова Г.И., Кокарев Г.Н., Сучкова Е.М., Хетчиков Л.Н. Видовой состав и распространенность акцессорных минералов в докембрийских породах хрусталеносных районов Урала // Акцессорные минералы докембрия. М.: Наука, 1986. С. 45-85.

Кузнецов А.П. Терригенная минералогия пород фанерозоя бассейна Курской Магнитной Аномалии // Литология и полез, ископаемые. 1992. № 2. С. 90-1.

Кузнецов С.Л. Геохимия серы в породах Ловозерского щелочного массива // Геохимия. 1976. № 1.С. 36-46.

Леонова Л.Л., Погиблова Л.С. Уран в минералах пород интрузии гор Кызыл-Омпул (Северная Киргизия) // Геохимия. 1961. № 10. С. 901-906.

Ляхович В.В. Акцессорные минералы эффузивных и субэффузивных пород // Известия АН СССР. Сер. геол. 1963. № 12. С. 80-90.

Ляхович В.В. Акцессорные минералы в гранитоидах Советского Союза. М.:Наука, 1967. 448с.

Ляхович В.В. Акцессорные минералы. М.: Наука, 1968. 275 с.

Ляхович В.В., Червинская А.Д. Акцессорные минералы в гранитоидах Тырны-Ауза и их петрогенетическое значение //Труць1ИМГРЭ. 1961. Вып. 7. С. 156-181.

Макрыгина В.А., Смирнова В.В. Редкоземельные элементы в минералах Миня-Абчадского мигматитового комплекса (Северное Прибайкалье) // Геохимия. 1984. № 9. С. 1293-1306.

Малиновский А.И. Псефиты молассы Олюторского прогиба Восточной Камчатки // Литогенез и рудообразование в древних и современных морских бассейнах Дальнего Востока. Владивосток, 1990. С. 55-59.

Мнацаканян А.Х. Акцессорно-минералогические и геохимические особенности меловых вулканических серий Северной Армении как индикАторы комагматичности и металлогенической специализации вулканических комплексов // Акцессорные минералы и элементы как критерий комагмАтичности и металлогенической специализации магматических комплексов. М.: Наука, 1965. С. 39-78.

Носырев И.В., Робул В.М., Голуб П.Я. и др. Акцессорные минералы метаморфических пород Украинского Щита // Акцессорные минералы докембрия. М.: Наука, 1986. С. 34-45.

Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. М.: Недра, 1990. 248 с.

Плуман И.И. Распределение урана, тория и калия в отложениях Западно-Сибирской плиты // Геохимия. 1975. № 5. С. 756-767.

Поляков А.И., Кот Г.А. Распределение тория по минералам в нефелиновых сиенитах Ловозерского массива. Геохимия. 1965. № 1. С. 73-85.

Ронов Б.А., Михайловская М.С., Солодкова И.И. Эволюция химического и минерального состава песчаных пород // Химия земной коры. Т. 1. М.: Изд. АН СССР, 1963. С. 201-252.

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

Сергеева Н.Д. Акцессорные минералы терригённых толщ // Нижний рифей Южного Урала / Козлов В.И., Краснобаев А.А., Ларионов Н.Н. и др. М.: Наука, 1989. С. 148-166.

Соболев С.Ф. Габбро-тоналитовый комплекс Полярного Урала. М.: Наука, 1965. 163 с.

Соболев С.Ф. Акцессорные минералы ультраосновных и основных пород Урала // Акцессорные минералы изверженных пород. М.: Наука, 1968. С. 236-248 с.

Тимофеев В.Д. Киноварь, золото, халькопирит и циркон в известняках Русской платформы // Докл. АН СССР. 1960. Т. 131. № 2. С. 395-397.

Туровский С.Д., Кокарев Г.Н. Акцессорные минералы палеозойских интрузивных комплексов Северного Тянь-Шаня // Акцессорные минералы изверженных пород. М.: Наука, 1968. С. 130-141.

Фишман М.В., Голдин Б.А., Юшкин Н.П., Калинин Е.П. Акцессорные минералы в горных породах южной части Печорского Урала // Петрография и минералогия Приполярного Урала и Тимана. Л.-М.: Наука, 1966. С. 3-63.

Фишман М.В., Юшкин Н.П., Голдин Б.А., Калинин Е.П. Минералогия, типоморфизм и генезис акцессорных минералов изверженных пород севера Урала и Тимана Л.: Наука, 1968. 251 с.

Чащухина В.А. Минеральный баланс циркония в некоторых гранитоидах различной формАционной принадлежности // Минеральный баланс химических элементов в горных породах и рудах Урала. Вып. 2. Свердловск, 1991. С. 54-58.

Челышев В.И., Мельникова Е.М., Беляев В.В. Минералогические особенности бызовской свиты Северного Приуралья // Геология северо-востока Русской платформы и Приполярного Урала. Сыктывкар: Коми книжное издательство, 1965. С. 41-52.

Чернышов Н.М. Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-востока Воронежского кристаллического массива. Воронеж: Издательство Воронежского Университета, 1971. 312 с.

Шумилова Е.В. Минералого-петрографическая характеристика четвертичных доказанцевских отложений севера Западной Сибири. М.: Наука, 1971. 157 с.

Щербаков КБ. Петрография докембрийских пород центральной части Украинского Щита. Киев: Наукова Думка, 1975. 279 с.

Kalliokoskil. Geology of North-Central Guayana Shield, Venezuela // Geol Soc. Am. Bull. 1965. V. 76. №9. P. 1027-1050.

Yung D.A. Precambrian Rocs of the Lake Hopatsong Area, New Jersey // Geol. Soc. Am. Bull. 1971. V. 82. № LP. 143-151.

Рецензент доктор геол.-мин. наук В.Г. Кривовичев