

УДК 549.23

© Д. чл. УАГН Н.А. Григорьев

СЕРНЫЕ МИНЕРАЛЫ КАК НОСИТЕЛИ СЕРЫ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

*Институт геологии и геохимии Уральского отделения РАН
620151, Екатеринбург, Почтовый переулок, 7, E-mail: root@igg.e-burg.su*

© N.A. Grigor'ev

SULPHURIC MINERALS AS CARRIERS OF SULPHUR IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST'S

Автореферат

Роль серных минералов в качестве носителей S в верхней части континентальной коры рассчитана по модели А.Б. Ронова и др. (1990). Расчет выполнен на основе больше чем 1900 количественных минералогических анализов важнейших горных пород, опубликованных преимущественно в СССР. Установлено, что в серных минералах сконцентрировано 47,23 % массы S. В частности: 27,51% - в пирите, 7,98 % - в пирротине, 7,49 % - в ангидрите, 3,1 % - в гипсе. Эти цифры - минимальные.

Ключевые слова: минералы серы, континентальная кора, геохимия.

Abstract

The role of sulphuric minerals as carriers S in the 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 1900 quantitative mineralogical analyses of important rocks, published mainly in the USSR. It was established, that in the sulphuric minerals concentration 47.23% of masses S. In particular: in pyrite - 27.51 %, in pyrhotite - 7.98 %, in anhydrite - 7.49 %, in gypsum - 3.1 %. These figures a minimal from possible.

Сера относится к химическим элементам наименее изученным в минералого-геохимическом отношении. В начале 20 века в качестве аксиомы принималось представление о том, что S в земной коре сконцентрирована в серных минералах. В частности, А.Е. Ферсман (1933) при определении среднего минерального состава земной коры пересчитал всю массу S на пирит. В конце 20 века В.В. Иванов (1994) обобщил данные о содержании S в кварце и в эндогенных породообразующих силикатах. Судя по результатам, в гранитно-гнейсовом слое, в отме-

103

ченных минералах может находиться не больше 10 % массы S. Автор (Григорьев, 1999) провел расчет доли массы S, сконцентрированной в сульфидах и сульфатах в верхней части земной коры. Основа - литературные данные о содержании этих минералов в горных породах. Результат - в сульфидах и сульфатах сконцентрировано 48,4 % массы S. В настоящей работе впервые приведены данные о средних долях масс S сконцентрированных в важнейших серных минералах в главных континентальных горных породах и в верхней части континентальной коры в целом.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ

Расчет выполнен на базе фрагмента модели химического строения земной коры А.Б. Ронова и др. (1990), несколько детализированного автором. Верхняя часть континентальной коры рассматривается в составе двух слоев: осадочного и гранитно-гнейсового. Данные о среднем содержании S (табл. 1): в вулканитах осадочного слоя, в гранито-гнейсах, метариолитах и метаандезитах, в осадочном и гранитно-гнейсовом слоях и в верхней части континентальной коры в целом - авторские [Григорьев, 2003]; в гранитах, гранодиоритах - по А.А. Беусу (1981), остальные - по А.Б. Ронову и др. (1990). Содержание S в большинстве серных минералов принято равным теоретическому. Среднее содержание S в скаполитах и нозеане определено по литературным данным. Среднее содержание серных минералов в эвапоритах определено приблизительно на основании качественных и полуколичественных определений [Юшкин, 1989, Лобанова, 1969, Кольцова, Яржемский, 1969]. Метод - пересчет химического состава эвапоритов на минеральный состав. Среднее содержание серных минералов в остальных горных породах рассчитано по литературным данным (результаты количественных минералогических анализов больше чем 2500 проб и образцов горных пород). При расчетах с помощью коэффициентов учтено разное качество опубликованных данных. Например, некоторые из них - это данные анализов отдельных проб, другие - средние результаты изучения десятков и даже сотен проб и образцов. Одни данные представляют главные, другие - второстепенные разновидности горных пород. Ниже перечислены

104

Таблица 1

Распределение массы S в совокупности горных пород верхней части континентальной коры

Горные породы	Масса горных пород, отн. %	Среднее содержание S, мас. %	Доли массы S, отн. %
Пески и песчаники	5,11	0.19	6.8
Глины и глинистые сланцы	10,4	0.36	26.3
Карбонатные породы	3,85	0.25	6.8
Кремнистые породы	0,33	0.19	0.4
Эвапориты	0,26	5.34	9.8
Кислые вулканиты	0,44	0.058	0.2
Средние вулканиты	1,13	0.071	0.6
Основные вулканиты	2,11	0.071	1
Граниты	8,21	0.03	1.7
Гранодиориты	3,38	0.03	0.7
Базиты	1,5	0.1	1.1
Сиениты	0,05	0.03	<0.1
Ультрабазиты	0,05	0.088	<0.1
Метапесчаники	2,92	0.053	1.1
Парагнейсы и парасланцы	30,56	0.1	21.5
Метаморфизованные карбонатные породы	1,13	0.228	1.8
Железистые породы	0,38	0.076	0.2
Гранито-гнейсы	23,21	0.106	17.3
Метариолиты	0,66	0.036	0.2
Метаандезиты	1,03	0.03	0.2
Метабазиты	3,29	0.1	2.3
Верхняя часть континентальной коры	100	0.14	100
Осадочные породы	19,95	0.36	50.1
Вулканогенные породы	3,68	0.069	1.8
Осадочный слой	23,63	0.31	51.9
Магматические породы гранитно-гнейсового слоя	13,19	0.038	3.5
Параметаморфические породы	34,99	0.1	24.6
Ортометаморфические породы	28,19	0.1	20
Гранитно-гнейсовый слой	76,37	0.09	48.1

Осадочные породы Четвертичные отложения восточной части Балтийского Щита [Ильин, Сыромятина, 1972], четвертичные и мезозойские отложения Западной Сибири [Шумилова, 1971, Плуман, 1975]. Пески, песчано-глинистые и кремнисто-глинистые отложения Русской платформы [Карякин, 1951, 1954, Ронов и др., 1963]. Нижне-рифейские песчаники и гравелиты Южного Урала [Сергеева, 1989]). Кайнозойские глины и мергели Предкарпатского соленосного бассейна [Даценко, 1969]. Девонские аллиты Полярного Урала [Ушатицкий, Боровский, 1977, 1978]. Верхне-ордовикские сланцы Огайо, Индианы, Кентукки [Scotford, 1965]. Известняки Русской платформы от меловых до докембрийских [Тимофеев, 196]. Палеозойские терригенные породы Центрального Таджикистана [Бабкин, 1986].

Вулканиты осадочного слоя. Липариты Северного Кавказа [Ляхович, Чирвинская, 1961, Ляхович, 1963]. Палеогеновые и меловые эффузивные породы Армении [Држбашян, 1965, Мнацаканян, 1965]. Меловые липарито-дациты Охотско-Чукотского вулканогенного пояса [Ичетовкин, 1978]. Пикритовые габбро-долериты и палагонитовые траппы Восточной Сибири [Альмухамедов, 1967, Наумов, Гурин, 1967].

Гранитоиды. Гранитоиды СССР [Ляхович, 1967]. Плагииграниты Армении [Бартикян, 1968]. Палеозойские гранитоиды Северного Тянь-Шаня [Туровский, Кокарев, 1968] и Урала [Бушляков, Соболев, 1976]. Диориты Приполярного Урала [Фишман и др., 1966] и Воронежского кристаллического массива [Чернышов, 1971].

Базиты. Уральские габбро, габбро-диабазы и прочие габброиды [Соболев, 1968, Фишман и др., 1968]. Метасоматически измененные габбро Бельтаусского массива в Узбекистане [Кромская, 1973]. Лейкогаббро Казахстана [Спиридонов, 1971]. Докембрийские габброиды Воронежского кристаллического массива [Чернышов, 1971].

Сиениты. Палеозойские щелочные гранитоиды Северного Тянь-Шаня [Туровский, Кокарев, 1968]. Сиениты и сиенитоподобные породы Кольского полуострова [Батиева, Бельков, 1984, 1985]. Кембро-рифейские сиениты Приполярного Урала [Фишман и др., 1968].

Ультрабазиты. Перидотиты Приполярного Урала [Фишман и др., 1968]. Докембрийские дуниты, перидотиты, серпентиниты Воронежского кристаллического массива [Чернышов, 1971].

Метапесчаники. Докембрийские метапесчаники, конгломераты, кварциты Приполярного

Урала и Украинского Щита [Фишман и др., 1966, Вигорова, Покровский, 1973, Носырев и др., 1986]. **Парагнейсы.** Докембрийские парасланцы Приполярного Урала [Вигорова, Покровский, 1973]. Метаосадочные сланцы предкарельского комплекса (Кейвская и Стрельнинская серии) Балтийского щита (Вулканизм .., 1987). Докембрийские кристаллические сланцы Украинского щита [Носырев и др., 1986]. **Гранито-гнейсы.** Гнейсы гранулитовой фации Украинского щита [Носырев и др., 1986]. Гранито-гнейсы Урала и Тувы [Ляхович, 1967]. **Метариолиты.** Уральские метадациты Именновской свиты [Гурбанов и др., 1999]. Рифейские метаморфизованные кварцевые порфиры Приполярного Урала [Фишман и др., 1968]. Доордовикские кварцевые амфиболиты Приполярного Урала [Фишман и др., 1966]. **Метаандезиты.** Протерозойские, содержащие кварц амфиболиты Северного Кавказа [Кременецкий, Овчинников, 1986]. Часть докембрийских амфиболитов Украинского щита [Носырев и др., 1986]. **Метабазиты.** Метабазальты из Уральской сверхглубокой скважины СГ-4 [Гурбанов и др., 1999]. Докембрийские зеленые сланцы и послеордовикские метаморфизованные диабазы и порфириты Приполярного Урала [Крылова и др., 1986, Фишман и др., 1966, 1968]. Докембрийские габбро-амфиболиты Центрального Памира [Акрамов, Дусматов, 1986]. Докембрийские метагабброиды и ортоамфиболиты Воронежского кристаллического массива [Чернышов, 1971].

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕРЫ В СОВОКУПНОСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Сера – «избыточный элемент». Ее среднее содержание в континентальных осадочных породах в 5 раз больше того, которое могло быть заимствовано при выветривании гранитно-гнейсового слоя современного состава (расчет изоалюминиевым методом). Среднее содержание S максимальное в эвапоритах (табл. 1). Оно повышенное во всех осадочных породах и в метаморфизованных карбонатных.. В совокупности осадочных пород сконцентрирована половина массы S. Еще 1/4 часть ее массы находится в параметаморфических породах.

ДОЛИ МАССЫ СЕРЫ, СКОНЦЕНТРИРОВАННЫЕ В СЕРНЫХ МИНЕРАЛАХ

Согласно полученным данным, в верхней части континентальной коры в серных минералах сконцентрировано около половины массы S (табл. 2). Роль серных минералов как носителей S в осадочном и гранитно-гнейсовом слоях близкая. Но в осадочном слое главные носители ее массы пирит и ангидрит, а в гранитно-гнейсовом – пирит и пирротин. В совокупности всех осадочных пород суммарная доля S, сконцентрированная в серных минералах, близка к средней в верхней части континентальной коры (табл. 3). Но внутри этой совокупности вариации роли серных минералов максимальные. Полуколичественные и качественные описания минерального состава эвапоритов дают основания для предположения, что практически вся масса S здесь сконцентрирована в сульфатах. В глинах, сланцах и карбонатных породах в серных минералах сконцентрирована только 1/4 массы S (табл. 3). Совокупность вулканитов осадочного слоя в целом характеризуется повышенной ролью серных минералов в качестве носителей S (табл. 4). В гранитно-гнейсовом слое роль серных минералов в совокупностях горных пород: магматических - средняя (табл.5), параметаморфических – максимальная (табл.6), ортометаморфических – минимальная (табл. 7). Вариации роли серных минералов внутри отмеченных совокупностей значительны.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Суммарная доля массы S, сконцентрированная в серных минералах в верхней части континентальной коры практически соответствуют той, которая была определена раньше в верхней части всей земной коры [Григорьев, 1999]. Но необходимо иметь ввиду недостатки исходных данных. Преобладающие методы количественных определений содержания акцессорных минералов в горных породах несовершенны. Особенно в отношении сульфатов, характеризующихся малой прочностью и плотностью. В частности, они дают возможность учета лишь частиц крупнее 10- 50 мкм. Поэтому исходные данные о содержании серных минералов в горных породах (особенно в осадоч-

Таблица 2

Роль медных минералов как носителей S в верхней части континентальной коры

Минералы	Содержание S в минералах, мас. %	Осадочный слой.		Гранитно-гнейсовый слой		Верхняя часть континентальной коры	
		Содержание минералов	Доли массы S, отн. %	Содержание минералов	Доли массы S, отн. %	Содержание минералов	Доли массы S, отн. %
Скаполиты	0,95	Н.опр.	Н.опр.	0,023	0,24	0,018	0,12
Нозеан	2,6	Н.опр.	Н.опр.	$3 \cdot 10^{-4}$	0,01	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,005
Галенит	13,4	$6,4 \cdot 10^{-5}$	0,003	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,002	$2,6 \cdot 10^{-5}$	0,002
Целестин	17,4	0,0037	0,21	$2,9 \cdot 10^{-6}$	0,001	$8,7 \cdot 10^{-4}$	0,11
Ярозит	12,8	0,0017	0,07	$1,9 \cdot 10^{-6}$	<0,001	$4 \cdot 10^{-4}$	0,037
Барит	13,7	0,004	0,18	$4,5 \cdot 10^{-7}$	<0,001	$9,5 \cdot 10^{-4}$	0,093
Гипс	18,1	0,1	5,84	Н.опр.	Н.опр.	0,024	3,1
Арсенопирит	19,7	$5,7 \cdot 10^{-6}$	<0,001	$9 \cdot 10^{-6}$	0,002	$8,2 \cdot 10^{-5}$	0,011
Кизерит	23,2	0,0053	0,4	Н.опр.	Н.опр.	0,0013	0,22
Ангидрит	23,3	0,19	14,28	Н.опр.	Н.опр.	0,045	7,49
Сфалерит	32,9	$7 \cdot 10^{-5}$	0,007	$5,5 \cdot 10^{-5}$	0,02	$5,9 \cdot 10^{-5}$	0,014
Халькопирит	34,9	$1,6 \cdot 10^{-4}$	0,018	$9,3 \cdot 10^{-5}$	0,036	$1,1 \cdot 10^{-4}$	0,027
Пентландит	35	$9 \cdot 10^{-7}$	<0,001	$1,1 \cdot 10^{-4}$	0,043	$8,4 \cdot 10^{-5}$	0,021
Пирротин	38,5	0,0045	0,56	0,036	15,4	0,029	7,98
Молибденит	40	$7,5 \cdot 10^{-7}$	<0,001	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,007	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,003
Пирит	53,5	0,13	22,44	0,055	32,69	0,072	27,51
Марказит	53,4	0,0022	0,38	$8 \cdot 10^{-4}$	0,49	0,0012	0,46
Сера самородная	100	$3,8 \cdot 10^{-4}$	0,12	Н.опр.	Н.опр.	$9 \cdot 10^{-5}$	0,06
Сумма			45,508		48,941		47,263

Таблица 3

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

Минералы	Пески и песчаники	Глины и сланцы	Карбонатные породы	Эвапориты	Осадочные породы
Целестин	Н.опр.	0,048	1,39	Н.опр.	0,21
Ярозит	0,11	0,11	Н.опр.	Н.опр.	0,071
Барит	0,5	0,11	0,38	Н.опр.	0,17
Гипс	Н.опр.	0,7	5,07	27,1	6,03
Кизерит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	2,2	0,42
Ангидрит	3,68	1,94	Н.опр.	69,8	14,89
Пирит	50,68	22,29	21,4	Н.опр.	20,81
Марказит	Н.опр.	0,74	Н.опр.	Н.опр.	0,39
Сера самородная	Н.опр.	0,14	0,4	Н.опр.	0,125
Сумма	54,97	26,078	28,64	99,1	43,116

Таблица 4

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

Минералы	Кислые	Средние	Основные	Вулканыты в целом
Галенит	0,092	0,19	0,019	0,078
Арсенопирит	0,1	Н.опр.	Н.опр.	0,01
Халькозин	0,01	Н.опр.	Н.опр.	0,001
Борнит	Н.опр.	Н.опр.	0,036	0,02
Реальгар	0,02	0,008	0,004	0,006
Сфалерит	0,23	0,46	0,07	0,21
Ковеллин	0,02	Н.опр.	Н.опр.	0,002
Халькопирит	0,18	0,49	0,49	0,51
Кубанит	<0,001	Н.опр.	0,15	0,09
Пирротин	Н.опр.	0,001	27,11	16,2
Аурипигмент	0,07	0,03	0,006	0,019
Молибденит	0,028	Н.опр.	Н.опр.	0,003
Пирит	46,12	52,75	37,68	43,42
Сумма	46,87	53,929	65,565	60,569

Таблица 5

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

Минералы	Граниты	Гранодиориты	Базиты	Сие-ниты	Ульт-ра-базиты	Магматические породы
Нозеан	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	43,33	Н.опр.	0,13
Галенит	0,01	0,09	0,001	0,01	0,001	0,02
Арсенопирит	0,03	0,001	Н.опр.	0,003	Н.опр.	0,02
Сфалерит	0,038	0,33	0,001	0,003	Н.опр.	0,087
Пентландит	Н.опр.	Н.опр.	1,38	Н.опр.	Н.опр.	0,36
Халькопирит	0,14	0,09	0,87	0,03	0,02	0,35
Пирротин	7,7	18	7,7	25,67	0,86	9,73
Троилит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,18	Н.опр.	0,002
Молибденит	0,04	0,05	0,004	0,004	0,006	0,032
Пирит	35,67	35,7	26,75	17,83	60,8	33,79
Марказит	0,78	10,3	Н.опр.	0,89	Н.опр.	2,53
Сумма	44,408	64,561	36,706	87,95	61,687	47,051

Таблица 6

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

Минералы	Мета-песчаники	Парасланцы	Карбонатные породы	Железистые породы	Параметаморфиты
Скаполиты	Н.опр.	Н.опр.	1,67	Н.опр.	0,12
Сфалерит	0,08	0,03	Н.опр.	Н.опр.	0,03
Халькопирит	0,03	0,004	Н.опр.	Н.опр.	0,005
Пентландит	Н.опр.	0,03	Н.опр.	Н.опр.	0,03
Пирротин	7,26	26,95	18,58	Н.опр.	25,41
Пирит	50,47	42,8	11,73	49,28	40,66
Сумма	57,84	69,814	31,98	49,28	66,255

Таблица 7

Доли масс S (отн. %), находящиеся в минералах
ортометаморфических пород континентальной коры

Минералы	Гранито-гнейсы	Метариолиты	Метаандезиты	Метабазиты	Ортометаморфиты
Скаполиты	Н.опр.	Н.опр.	9,5	2,85	0,44
Галенит	<0,001	0,04	Н.опр.	<0,001	0,001
Арсенопирит	0,001	Н.опр.	0,03	0,004	0,001
Сфалерит	0,001	0,02	<0,001	0,001	0,001
Ковеллин	Н.опр.	0,02	Н.опр.	0,03	0,004
Халькопирит	0,002	0,18	0,01	0,28	0,02
Пирротин	3,63	3,21	12,83	11,55	5,01
Молибденит	0,003	0,02	<0,001	<0,001	0,003
Пирит	20,19	50,53	53,5	32,1	22,47
Марказит	Н.опр.	14,09	Н.опр.	5,34	0,75
Сумма	23,827	68,11	75,87	52,155	28,7

ных) преуменьшены. Масштабы этого преуменьшения не ясны. Возможности сопоставления новых данных с опубликованными результатами изучения конкретных проб горных пород ограниченные. При определении роли собственных минералов как носителей малых и редких элементов в конкретных пробах горных пород погрешности могут быть соизмеримы с определяемыми величинами [Григорьев, 1999]. Поэтому надежными можно считать только данные подтвержденные расчетом минеральных

балансов интересующего элемента. В известной автору литературе (за исключением его собственных работ) таких данных нет. Автором определены 3 минеральных баланса S (две пробы андрадитовых скарнов и одна проба окварцованной брекчии из железо-медно-скарновых месторождений Турьинской группы). Количественный минералогический анализ проведен по методике, позволяющей приблизительно учесть частицы сульфидов мельче 10 мкм [Григорьев, 1999]. Валовое содержание S в изученных пробах 0,096 – 0,68 мас. %. Суммарные доли массы S, сконцентрированные в пирите, пирротине и халькопирите 89 – 98 отн. %. При суммах долей масс S 97-103 отн. %. Таким образом, приведенные выше оценки долей масс S, сконцентрированных в серных минералах континентальных пород вероятно существенно преуменьшены. Их нужно рассматривать как минимально возможные.

ВЫВОДЫ

Среднее содержание серных минералов в континентальных горных породах определено по опубликованным в литературе результатам количественных минералогических анализов. На этой основе определена роль серных минералов в качестве носителей S. Установлено, что в верхней части континентальной коры в серных минералах сконцентрировано 47,23 % массы S. В том числе: 27,51% - в пирите, 7,98 % – в пирротине, 7,49 % – в ангидрите, 3,1 % - в гипсе. Практически полная концентрация S в серных минералах вероятно имеет место только в эвапоритах. Среди остальных горных пород, согласно полученным данным, максимальной концентрацией S в серных минералах характеризуются сиениты (85,97 % массы) и метаандезиты (75,87 % массы). Минимальной концентрацией S в серных минералах характеризуются глины и сланцы (25,04 % массы) а также карбонатные породы (28,64 % массы). Приведенные цифры вероятно сильно преуменьшены. Особенно та их часть, которая относится к осадочным породам. Но величина преуменьшения не установлена. Поэтому вопрос о формах нахождения больше чем половины массы S в верхней части континентальной коры пока остается открытым.

Литература

1. **Акрамов Б.М., Дусматов В.Д.** Акцессорные минералы докембрийских ортоамфиболитов Центрального Памира // Акцессорные минералы докембрия. М.: Наука. 1986. С.170-175.
2. **Альмухамедов А.И.** Поведение титана в процессах дифференциации базальтовой магмы // Геохимия. 1967. №1. С. 75-85.
3. **Бабкин В.Ф.** Минералы тяжелой фракции терригенных образований палеозоя (Центральный Таджикистан) // Минеральные кларки и природа их устойчивости. Душанбе. Дониш. 1986. С. 145-146.
4. **Бартикян М.П.** Акцессорные минералы Шамшадинской группы интрузивов (Армения) // Акцессорные минералы изверженных пород. М.: Наука, 1968. С. 108-115.
5. **Батиева И.Д., Бельков И.В.** Сахарйокский щелочной массив, слагающие его горные породы и минералы. Апатиты. 1984. 133 с.
6. **Батиева И.Д., Бельков И.В.** Закономерности концентрации рудных элементов в связи со щелочными гранитоидами Кольского полуострова. В кн.: «Закономерности концентрации рудных элементов в гранитоидных формациях Карело-Кольского региона». Апатиты, 1985. С. 62-72.
7. **Беус А.А.** Геохимия литосферы. М. Недра. 1981. 335 с.
8. **Бушляков И.Н., Соболев И.Д.** Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского массива. М. Наука. 1976. 339 с
9. **Вигорова В.Г., 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.
10. **Вулканизм и седиментогенез докембрия северо-востока Балтийского щита** / А.А. Предковский, В.А. Мележик, В.В. Болотов и др. Л. Наука. 1987, 185 с.
11. **Григорьев Н.А.** Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург. 1999. 302с.
12. **Григорьев Н.А.** Максимины как носители химических элементов в верхней части земной коры. Геохимия, № 12. 1999. С. 1298-1303.
13. **Григорьев Н.А.** Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры. Геохимия, № 7, 2003 г. С. 785-792.
14. **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). Вып. 5. Ярославль. 1999. С. 132-168.
15. **Даценко Н.М.** Вещественный состав и классификация глин Роздольского месторождения // Геология месторождений самородной серы. М. Недра. 1969. С. 178-196.

16. **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.

17. **Иванов В.В.** Экологическая геохимия элементов. Книга 2. М. Недра. 1994. 303 с.

18. **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.

19. **Ичетовкин Н.В.** К эволюции магматического расплава в процессе игнимбритовых извержений в Гайчанской палеокальдере (Охотско-Чукотский вулканогенный пояс) // Минералогия, петрография и геохимия изверженных и осадочных пород северо-востока СССР. Магадан. 1978. С. 31-42.

20. **Карякин Л.И.** Минеральный состав песков харьковского яруса в пределах УССР и их генезис // Записки Всесоюзного минералогического общества. 1951. №3. С. 191-201.

21. **Карякин Л.И.** Минералогический состав кремнисто-глинистых пород харьковского яруса в пределах УССР // Минералогический сборник Львовского геологического общества. 1954. №8. С. 175-192.

22. **Кольцова В.В., Яржемский Я.Я.** Материалы к петрографии пермских соляных отложений некоторых районов Волгоградского Поволжья // Минералого-петрографические исследования галогенных отложений. Л. Недра. 1969. С. 108-123.

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

24. **Кромская К.М.** Распределение никеля и кобальта в минералах габброидных пород Бельтаусского массива (Западный Узбекистан). Записки Узбекского отделения Всесоюзного Минералогического Общества. 1973. Вып. 26. С. 185-188.

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

26. **Лобанова В.В.** Петрография соляных отложений Челкарского поднятия. // Минералого-петрографические исследования галогенных отложений. Л. Недра. 1969. С. 3-45.

27. **Ляхович В.В.** Акцессорные минералы в гранитоидах Советского Союза. М. Наука. 1967. 448 с.

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

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

30. 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.

31. Наумов В.А., Гурин А.П. Распределение ванадия, хрома, кобальта, никеля и меди в дифференцированной интрузии палагонитовых траппов в верхнем течении Нижней Тунгуски // Геохимия. 1967. №2. С. 214-220.

32. 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.

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

34. Рабинович А.В., Бадалов С.Г. К геохимии меди некоторых интрузивных пород Кармазара. Геохимия. 1971. № 2. С. 243-248.

35. Редкие элементы и акцессорные минералы в интрузивных комплексах Среднего Тянь-Шаня/ Козырев В.В., Ежов Ю.В., Левченко И.В., Шувалов В.Г. и др. Ташкент. Изд. ФАН Узб. ССР. 1972. 299 с.

36. 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.

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

38. Санделл Э.Б., Гольдич С.С. Редкие металлы некоторых американских изверженных пород. В кн. Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах. М. Издательство Иностранной литературы. 1952. С. 183-227.

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

40. Соболев С.Ф. Акцессорные минералы ультраосновных и основных пород Урала. В кн. «Акцессорные минералы изверженных пород. М. Наука. 1968. 236-248 с.

41. Спиридонов Э.М. Золото и медь в горных породах Степнякского и Бестюбинского золоторудных полей. Геология и Геофизика, № 9, 1971. С. 124-130.

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

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

44. Ушатинский И.Н., Боровский В.В. Бокситы Щучьинского синклинория (Полярный Урал) // Советская Геология. 1977. №6. С. 57-74.

45. Ушатинский И.Н., Боровский В.В. Бокситы Карско-Усинского синклинория (Полярный Урал) // Советская Геология. 1978. С. 42-52.

46. Ферсман А.Е. Геохимия. Т.1. Л., Госхимтехиздат, 1933. 328 с.

47. Фишман М.В., Голдин Б.А., Калинин Е.П. Некоторые особенности амфиболитов Приполярного Урала // Петрография и минералогия Приполярного Урала и Тимана. М.-Л.: Наука. 1966. С. 98-113.

48. 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.

49. 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. 251с.

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

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

52. Юшкин Н.П. Минералогия соляной толщи Сереговского купола (Коми АССР) // Минералогия Тиманско-Североуральского региона. Сыктывкар. 1989. С. 37-51.

53. Scotford D.M. Petrology of the Cincinnatian Series Shales and Environmental Implication // Geol. Soc. Am. Bull. 1965. V.76. №2. P. 193-222.