

УДК 550.423

© Д. чл. УАГН И.Н. Бушляков, Н.А. Григорьев

## **СРЕДНИЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ БАЛАНС ФТОРА И ХЛОРА В ГРАНИТНО-МЕТАМОРФИЧЕСКОМ СЛОЕ**

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

© I.N. Bushlyakov, N.A. Grigor'ev

## **AVIRAGE MINERAL BALANCE OF FLUORINE AND CHLORINE IN GRANITE- METAMORPHIC LAYER**

Автореферат

Впервые определен средний минеральный баланс F и Cl в гранитно-метаморфическом слое. Установлено, что около 76 % массы F и 49 % массы Cl сконцентрировано в цепочечных и листовых силикатах. Коэффициенты концентрации (Кк) в этих минералах F 1,9-5,85, Cl 1,5 - 7,7. Главные минералы -носители Cl и F: биотит и роговая обманка. Около 9 % массы F сконцентрировано в собственных минералах (Кк 35,8-9,19). Главные из них апатит и флюорит. Около 40 % массы Cl рассеяно преимущественно в кварце и полевых шпатах (Кк < 1). Около 10 % массы Cl вероятно находится в составе газо-жидких включений, крупностью > 30 мкм. Средневзвешенные Кк в минералах гранитно-метаморфического слоя: F – 30, Cl – 3.

**Ключевые слова:** минеральный баланс, фтор, хлор, гранитно-метаморфический слой.

Abstract

*For the first time avirage mineral balance of F and Cl in granite-metamorphic layer has been defined . It 's discovered that about of 76 % of F mass and 49 % of Cl mass has been concentrated in inosilicates and phyllosilicates. Concentration coefficients ( Cc ) of F and Cl in these minerals are 1,5-7,7. The main mineral – carriers of F and Cl are biotite and hornblendite. About of 9% F mass has been concentrated in own minerals ( Cc 35,8-919 ). The main minerals are apatite and fluorite. About of 40 % Cl mass is scattered mainly in quartz and feldspar ( Cc < 1 ). About of 10 % Cl probably is located in gas – liquid inclusions with size of > 30 mc. Weighted average Cc in minerals of granite – metamorphic layer are F – 30, Cl – 3.*

Фтор и хлор способствуют переносу и концентрации многих рудных элементов в пределах гранитно-метаморфического слоя (Бушляков, 1989). Но данные об их распределении здесь неполны. Детально изучены вариации содержания F и Cl в горных по-

родах. Данных же о распределении их масс по минералам горных пород мало (Бушляков, 1989, Бушляков, Холоднов, 1986). Вопрос о распределении F и Cl по минералам в масштабах гранитно-метаморфического слоя решался впервые. Возможность приближенного его решения появилась после многолетних исследований, проведенных авторами. И.Н. Бушляковым накоплено значительное количество данных о вариациях содержания F и Cl в важнейших эндогенных минералах. Н.А. Григорьевым получены подробные данные о среднем минеральном составе важнейших континентальных горных пород.

## **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ**

Расчет выполнен на базе модели химического строения земной коры А.Б.Ронов с коллегами (Ронов, Ярошевский, 1990). Эта модель не лишена существенных недостатков, но в отношении верхней части континентальной коры пока остается наиболее корректной и детальной (Резанов, 2002). В ней к континентальной коре отнесены собственно континентальные и субконтинентальные блоки. Суммарная их площадь 213 млн. км<sup>2</sup>. Осадочный и гранитно-метаморфический слои разделены по нижней границе верхнего протерозоя. В действительности лишь местами имеется четкая граница между отмеченными слоями. Значительная часть толщ (особенно палеозойских) представлена сложными комбинациями осадочных, магматических и метаморфических пород. Мы согласны, что их следует рассматривать как части осадочного слоя, включающие фрагменты гранитно-метаморфического (Лутц, 1975). Соотношение масс горных пород нами принято в основном по А.Б. Ронову и др. (Ронов, Ярошевский, 1990). Но группа «Гранитоиды и гранито-гнейсы» разделена на граниты, гранодиориты и гранито-гнейсы. Соотношении масс гранитоидов и гранито-гнейсов принято 1: 2 (Григорьев, 2000). Соотношение масс гранитов и гранодиоритов (с прочими гранитоидами повышенной основности) - по А.А. Беусу (Беус, 1981). Гранито-гнейсы учтены как ортометаморфические породы.

Среднее содержание F и Cl в горных породах по А.Б. Ронову и др. (Ронов, Ярошевский, 1990). Средние содержания F и Cl в минералах определены И.Н. Бушляковым впервые. При расче-

тах использованы собственные и литературные данные. Собственные - результаты 1147 количественных анализов минералов Урала и других регионов бывшего СССР. Проанализированы монофракции минералов крупностью 30–200 мкм. Они были выделены в тяжелых жидкостях и электромагнитной сепарацией. При этом, вероятно, было потеряно вещество наиболее крупных флюидных включений. Определения содержаний F и Cl выполнены преимущественно в Институте Геологии и Геохимии УрО РАН количественным рентгеноспектральным методом на микроанализаторе JXA-5 по методике разработанной, В.А.Вилисовым (Вилисов, Ильин, 1980) при ускоряющем напряжении 15 кВ, токе зонда 100 нА и экспозиции 200 сек. Эталоны: фторфлогопит ( 8,6 мас.% F ), апатит ( 3,8 мас. % F ) и галит (Cl 60,7 мас.%). Чувствительность, мас. %: F - 0,05, Cl - 0,01. Часть определений F и Cl в породах и минералах выполнена фотометрическим методом: фтор - по ослаблению синей окраски тория с арсеназо-1, а хлор – роданидным методом. Чувствительность, мас. %: F -  $2 \times 10^{-6}$  %, Cl -  $0,2 \times 10^{-4}$  %. Относительная погрешность определения F и Cl - 8-10 %. Ниже приведено количество выполненных анализов. Минералы из магматических пород: кварц - 62, апатит - 214, титанит - 42, эпидот - 24, хлориты - 6, амфиболы - 100, биотит - 265, мусковит - 67, плагиоклазы - 70, калиевые полевые шпаты - 79, прочие - 15. Минералы из метаморфических пород: кварц - 18, апатит - 21, титанит - 6, амфиболы - 56, биотит - 59, плагиоклазы - 20, калиевые полевые шпаты - 23. Кроме того использованы литературные данные преимущественно из следующих источников: по минералам магматических пород- (Ушакова, 1980, Коваленко, 1977, Когарко, Рябчиков, 1978, Козлов, Сладковская, 1977, Краснобаев, Холоднов, Фоминых и др., 1972, Старков, Знаменский, 1977, Стрижкова, 1980, Трошин, 1978, Трошин, Гребенщикова, Бойко, 1983, Холоднов, Краснобаев, Полтавец и др., 1978, Шеремет, Козлов, 1981, Banks, 1976, Buddington, Leonard, 1953, Dodge, Papike, Mays, 1968, Ekstrom, 1972, Parry, Jacobs, 1975, Stormer, Carmichael, 1971, Taborszky, 1962, Handbook of Geochemistry, 1972) по минералам метаморфических пород- (Handbook of Geochemistry, 1972, Ушакова, 1971, Петров, Макрыгина, 1975, Костюк, 1970, Костецкая, Маркова, Петрова, 1969, Петров, Развозжаева, Макрыгина, 1972, Blattner, 1980,

Blattner, Black, 1980, Engel A., Engel C., 1962, Leelanandam, 1969).

Расчет средних содержаний фтора и хлора в кварце, апатите, авгите, роговой обманке, мусковите, биотите, хлоритах и полевых шпатах проведен отдельно для каждой горной породы. По этим данным рассчитаны средневзвешенные содержания для магматических и метаморфических пород в целом, а затем для гранитно-метаморфического слоя. Содержания отмеченных элементов в лампрофиллите, апатите, клиногумите, гумите, ловените, хондродите, бастнезите, топазе, флюорите – теоретические. В остальных минералах рассчитаны средние содержания, общие для всех горных пород.

Средние содержания минералов в горных породах рассчитаны Н.А. Григорьевым по результатам больше чем 2000 количественных минералогических анализов, опубликованных преимущественно в СССР и США.

Расчеты средних минеральных балансов F и Cl проведены только для главных горных пород (табл. 1, 2, 4, 5). При расчете этих балансов в магматических и метаморфических породах в целом и в гранитно-метаморфическом слое (табл. 3, 6) учтен также минеральный состав ультрабазитов (в основном метаморфизованных), карбонатных и железистых метаморфических пород.

## ПОЛУЧЕННЫЕ ДАННЫЕ

Полученные данные приведены в таблицах 1-6. Минералы ранжированы по содержанию F и Cl - средневзвешенному для гранитно-метаморфического слоя. Коэффициенты концентрации (Кк) - отношения содержаний химических элементов в горных породах к их содержанию в гранитно-метаморфическом слое.

Суммы долей масс F варьируют вблизи 100%, в пределах возможных погрешностей. То есть, массы F в балансах учтены достаточно полно. Главные носители F - минералы, где коэффициенты концентрации его 1,9 - 5,85. В них сконцентрировано от 51 до 90,22 % массы F, а в среднем в гранитно-метаморфическом слое - 76,31%. Среди этих минералов главная роль принадлежит биотиту, а следующая - роговой обманке и 50

Таблица 1

Минеральный баланс F в важнейших континентальных  
магматических породах

Минералы	Граниты			Гранодиориты		
	1	2	3	1	2	3
Кварц	31	0.01	3.78	21	0.01	3.75
КПШ	26	0.005	1.59	12	0.005	1.07
Плагиоклазы	35.5	0.02	8.66	46.5	0.01	8.30
Эпидот	0.04	0.03	0.015	0.1	0.03	0.05
Диопсид	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Авгит	0.1	0.05	0.06	1.5	0.05	1.34
Флогопит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Нефелин	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Дистен	7·10 <sup>-5</sup>	Н.о.	Н.о.	9·10 <sup>-5</sup>	Н.о.	Н.о.
Хлориты	0.3	0.02	0.07	1.5	0.1	2.68
Мусковит	0.3	0.62	2.27	2.5	0.045	2.0
Рог. обм.	0.5	0.32	1.95	3	0.33	17.68
Биотит	4.5	1.34	73.54	9.5	0.4	67.86
Лампрофиллит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Апатит	0.06	2.41	1.76	0.07	2.27	2.84
Ловенит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Хондродит	2.7·10 <sup>-4</sup>	6.0	0.02	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Бастнезит	4.7·10 <sup>-4</sup>	8.54	0.05	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Топаз	3.6·10 <sup>-5</sup>	20.7	0.01	3.4·10 <sup>-6</sup>	20.7	0.002
Флюорит	0.006	48.7	3.56	4.5·10 <sup>-4</sup>	48.7	0.39
<b>В магматических породах</b>	<b>98.307</b>	<b>0.082*</b>	<b>97.33</b>	<b>97.67</b>	<b>0.056*</b>	<b>107.97</b>

Продолжение таблицы 1

Минералы	Базиты			Сиениты		
	1	2	3	1	2	3
Кварц	6.1	0.01	1.52	4.5	0.01	0.38
КПШ	1	0.005	0.12	39	0.05	16.25
Плагиоклазы	41.7	0.01	10.42	19	0.02	3.17
Эпидот	0.7	0.03	0.53	н. о.	Н.о.	Н.о.
Диопсид	8	0.02	4.0	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Авгит	8.2	0.05	10.25	8.5	0.05	3.54
Флогопит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.05	0.27	0.11
Нефелин	0.05	Н.о.	Н.о.	11	0.1	9.17
Дистен	1·10 <sup>-6</sup>	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Хлориты	7.6	0.02	3.8	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Мусковит	0.01	0.045	0.01	4	0.42	14
Рог. обм.	6.5	0.22	35.75	0.5	0.68	2.83
Биотит	5.3	0.2	26.5	1.5	2.0	25.0
Лампрофиллит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.01	1.54	0.13
Апатит	0.1	1.85	4.62	0.3	3.26	8.15
Ловенит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.0005	4.3	0.02
Хондродит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Бастнезит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Топаз	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Флюорит	4·10 <sup>-6</sup>	48.7	0.0002	0.047	48.7	19.07
<b>В магматических породах</b>	<b>85.26</b>	<b>0.04*</b>	<b>97.52</b>	<b>88.408</b>	<b>0.12*</b>	<b>101.82</b>

Примечание к таблице 1.

Здесь и в таблицах 1-6: 1 - содержание минералов, мас. %; 2 - содержание F, Cl в минералах, мас.%; 3 - доли массы F, Cl в минералах, отн. %; Рог. обм. - роговая обманка; КПШ - калиевые полевые шпаты. \* - среднее содержание F, Cl в горных породах, мас.%; Н. о. - не определялось. \* - среднее содержание F, Cl, в горных породах, мас. %.

Таблица 2

Минеральный баланс F в важнейших континентальных  
метаморфических породах

Минералы	Метапесчаники			Парасланцы		
	1	2	3	1	2	3
Кварц	46.5	0.01	15.5	28	0.003	1.29
КПШ	9	0.005	1.5	4	0.005	0.31
Плагиоклазы	16.9	0.01	5.63	28	0.005	2.15
Эпидот	1.8	0.01	0.6	2.5	0.01	0.38
Авгит	0.3	0.05	0.5	0.5	0.05	0.38
Дистен	0.025	0.1	0.08	0.1	0.1	0.15
Ставролит	0.01	0.1	0.03	0.8	0.1	1.23
Титанит	0.3	0.1	1	0.3	0.1	0.46
Хлориты	4.75	0.1	15.83	2.65	0.1	4.08
Мусковит	3.8	0.045	5.7	8.7	0.1	13.39
Рог. обм.	3.5	0.11	12.83	6.7	0.21	21.65
Биотит	4.6	0.2	30.67	9	0.34	47.08
Апатит	0.23	1.2	9.2	0.2	1.2	3.69
Бастнезит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Топаз	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.0015	20.7	0.48
Флюорит	0.0027	48.7	4.38	0.005	48.7	3.75
<b>В метаморфических породах</b>	<b>91.72</b>	<b>0.03*</b>	<b>103.45</b>	<b>91.46</b>	<b>0.065*</b>	<b>100.47</b>

Продолжение таблицы 2

Минералы	Гранито-гнейсы		
	1	2	3
Кварц	24	0.003	2.48
КПШ	14	0.005	2.41
Плагиоклазы	38.4	0.003	3.97
Эпидот	0.1	0.01	0.03
Авгит	1	0.03	1.03
Дистен	0.067	Н.о.	Н.о.
Ставролит	0.015	0.1	0.05
Титанит	0.15	0.1	0.52
Хлориты	2.8	0.1	9.66
Мусковит	0.9	0.16	4.97
Рог. обм.	2.1	0.1	7.24
Биотит	11.5	0.15	59.48
Апатит	0.18	2.96	18.37
Бастнезит	0.0012	8.54	0.35
Топаз	4·10 <sup>-6</sup>	20.7	0.003
Флюорит	2·10 <sup>-5</sup>	48.7	0.03
<b>В метаморфических породах</b>	<b>95.61</b>	<b>0.029*</b>	<b>110.66</b>

мусковиту. Второе место в качестве носителей F принадлежит его собственным минералами (Кк 35,8- 919). В них сконцентрировано от 3,23 до 27,24 % его массы (в гранитно-метаморфическом слое в целом - 9,1%). Главные среди них апатит и флюорит. Третье место в качестве носителей F принадлежит неконцентраторам (Кк <1): полевым шпатам, кварцу и другим. В них рассеяно от 4,51 до 23,73 % его массы (в гранитно-метаморфическом слое в целом - 8,95%). Не значительна доля массы F в минералах, характеризующихся Кк 6 - 35 (интервал нехарактерной концентрации). Средневзвешенный Кк всей массы F в совокупности минералов гранитно-метаморфического слоя - 30,7.

Таблица 3

## Минеральный баланс F в гранитно-гнейсовом слое

Минералы	Магматические породы			Метаморфические породы		
	1	2	3	1	2	3
Кварц	25.39	0.01	3.63	25.69	0.004	2.1
КПШ	19.52	0.005	1.39	7.63	0.005	0.78
Плагиоклазы	38.855	0.016	8.88	31.43	0.004	2.57
Эпидот	0.13	0.03	0.06	1.76	0.01	0.36
Диопсид	0.95	0.02	0.27	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Авгит	1.41	0.05	1.01	1.12	0.04	0.91
Флогопит	0.012	0.05	0.01	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Нефелин	0.047	0.1	0.07	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Дистен	6.7·10 <sup>-5</sup>	Н.о.	Н.о.	0.074	0.1	0.15
Ставролит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.39	0.1	0.8
Титанит	0.16	Н.о.	Н.о.	0.317	0.1	0.65
Хлориты	1.44	0.041	0.84	3.0	0.1	6.12
Мусковит	0.84	0.18	2.16	4.86	0.1	9.92
Рог. обм.	1.84	0.28	7.36	4.7	0.17	16.31
Скаполиты	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.028	0.19	0.11
Биотит	5.84	0.83	69.25	9.09	0.24	44.52
Лампрофиллит	3.8·10 <sup>-6</sup>	1.54	0.001	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Апатит	0.068	2.31	2.24	0.18	1.87	6.87
Клиногумит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.0089	2.8	0.51
Гумит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.0016	4.1	0.13
Ловенит	1.9·10 <sup>-6</sup>	4.3	0.0001	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Хондродит	1.7·10 <sup>-4</sup>	6.0	0.01	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Бастнезит	2.9·10 <sup>-4</sup>	8.54	0.04	4.5·10 <sup>-4</sup>	8.54	0.08
Топаз	3.1·10 <sup>-6</sup>	20.7	0.001	7.2·10 <sup>-4</sup>	20.7	0.3
Флюорит	0.004	48.7	2.78	0.0026	48.63	2.58
<b>В горных породах</b>	<b>96.51</b>	<b>0.07*</b>	<b>100.01</b>	<b>90.28</b>	<b>0.049*</b>	<b>95.76</b>

Минералы	Гранитно- метаморфический слой		
	1	2	3
Кварц	25.64	0.005	2.42
КПШ	9.68	0.005	0.91
Плагиоклазы	35.71	0.006	4.04
Эпидот	1.48	0.01	0.28
Диопсид	0.49	0.02	0.18
Авгит	1.17	0.05	1.1
Флогопит	0.017	0.05	0.02
Нефелин	0.0081	0.1	0.02
Дистен	0.061	0.1	0.12
Ставролит	0.32	0.1	0.6
Титанит	0.23	0.1	0.43
Хлориты	2.76	0.1	5.21
Мусковит	4.17	0.11	8.65
Рог. обм.	4.21	0.18	14.3
Скаполиты	0.023	0.19	0.08
Биотит	8.53	0.31	49.90
Лампрофиллит	6.6·10 <sup>-6</sup>	1.54	2.10 <sup>-4</sup>
Апатит	0.16	1.9	5.74
Клиногумит	0.0074	2.8	0.39
Гумит	0.0013	4.1	0.1
Ловенит	3.3·10 <sup>-7</sup>	4.3	3.10 <sup>-5</sup>
Хондродит	2.9·10 <sup>-5</sup>	6.0	0.003
Бастнезит	4.2·10 <sup>-4</sup>	8.54	0.07
Топаз	0.0006	20.7	0.23
Флюорит	0.0028	48.7	2.57
<b>В горных породах</b>	<b>94.67</b>	<b>0.053*</b>	<b>97.37</b>

Все суммы долей масс С1 меньше 100%. То есть, массы С1 учтены не полностью. В гранитах, сиенитах и метапесчаниках не учтено до 40 % массы С1, вероятно, в результате потери наиболее крупных флюидных включений. В гранитно-метаморфическом слое в целом не учтено около 10% его массы. Главные носители С1 - минералы, где коэффициенты концентрации его 1,5 - 7,7. В них сконцентрировано от 21,4 до 73,18 % массы С1, а в среднем в гранитно-метаморфическом слое - 49,07 %. Главная роль среди этих минералов обычно принадлежит биотиту, а следующая - роговой обманке. К этой же группе минералов, кроме силикатов, относится апатит. Почти такая же доля массы С1 рассеяна в минералах с Кк <1. В них находится от 16,32 до 49,15 % его массы (в гранитно-метаморфическом слое в целом - 41,96%). Главная роль в этой группе минералов-носителей принадлежит полевым шпатам и кварцу. Не являются

Таблица 4

Минеральный баланс Сl в важнейших континентальных  
магматических породах

Минералы	Граниты			Гранодиориты		
	1	2	3	1	2	3
Кварц	31	0.006	9.79	21	0.006	7.88
КПШ	26	0.01	13.68	12	0.005	3.75
Хлориты	0.3	0.01	0.16	1.5	0.01	0.94
Плагиоклазы	35.5	0.008	14.95	46.5	0.003	8.72
Диопсид	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Авгит	0.1	0.03	0.16	1.5	0.03	2.81
Мусковит	0.3	0.02	0.32	2.5	0.02	3.12
Флогопит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Рог. обм.	0.5	0.14	3.68	3	0.1	18.75
Биотит	4.5	0.07	16.58	9.5	0.08	47.5
Титанит	0.12	0.09	0.57	0.2	0.07	0.88
Нефелин	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Апатит	0.06	0.08	0.25	0.07	0.67	2.93
Нозеан	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Содалит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
<b>В магматических породах</b>	<b>98.38</b>	<b>0.019*</b>	<b>60.14</b>	<b>97.77</b>	<b>0.016*</b>	<b>97.28</b>

Продолжение таблицы 4

Минералы	Базиты			Сиениты		
	1	2	3	1	2	3
Кварц	6.1	0.005	1.52	4.5	0.006	0.57
КПШ	1	0.01	0.5	39	0.01	8.30
Хлориты	7.6	0.01	3.8	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Плагиоклазы	41.7	0.006	12.51	19	0.005	2.02
Диопсид	8	0.034	13.6	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Авгит	8.2	0.03	12.3	8.5	0.03	5.43
Мусковит	0.01	0.02	0.01	4	0.02	1.70
Флогопит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.05	0.06	0.06
Рог. обм.	6.5	0.02	6.5	0.5	0.14	1.49
Биотит	5.3	0.15	39.75	1.5	0.16	5.11
Титанит	0.27	0.06	0.81	0.58	0.05	0.62
Нефелин	0.05	Н.о.	Н.о.	11	0.1	23.4
Апатит	0.1	1.02	5.1	0.3	0.42	2.68
Нозеан	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.5	0.75	7.98
Содалит	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.13	6.55	18.12
<b>В магматических породах</b>	<b>84.83</b>	<b>0.02*</b>	<b>96.41</b>	<b>89.56</b>	<b>0.047*</b>	<b>77.48</b>

Таблица 5

Минеральный баланс Сl в важнейших континентальных  
метаморфических породах

Минералы	Метапесчаники			Парасланцы		
	1	2	3	1	2	3
Кварц	46.5	0.006	11.16	28	0.005	6.36
Эпидот	1.8	0.01	0.72	2.5	0.01	1.14
КПШ	9	0.01	3.6	4	0.01	1.82
Хлориты	4.75	0.01	1.9	2.65	0.01	1.2
Плагиоклазы	16.9	0.01	6.76	28	0.03	38.18
Авгит	0.3	0.02	0.24	0.5	0.02	0.45
Мусковит	3.8	0.04	6.08	8.7	0.04	15.82
Рог. обм.	3.5	0.06	8.4	6.7	0.06	18.27
Биотит	4.6	0.09	16.56	9	0.03	12.27
Титанит	0.3	0.09	1.08	0.3	0.09	1.23
Апатит	0.23	0.16	1.47	0.2	0.16	1.45
<b>В метаморфических породах</b>	<b>91.68</b>	<b>0.025*</b>	<b>57.97</b>	<b>90.55</b>	<b>0.022*</b>	<b>98.20</b>

Продолжение таблицы 5

Минералы	Гранито-гнейсы		
	1	2	3
Кварц	24	0.006	6.86
Эпидот	0.1	0.01	0.05
КПШ	14	0.01	6.67
Хлориты	2.8	0.01	1.33
Плагиоклазы	38.4	0.008	14.63
Авгит	1	0.02	0.95
Мусковит	0.9	0.04	1.71
Рог. обм.	2.1	0.06	6.0
Биотит	11.5	0.09	49.29
Титанит	0.15	0.09	0.64
Апатит	0.18	0.13	1.11
<b>В метаморфических породах</b>	<b>95.13</b>	<b>0.021*</b>	<b>89.24</b>

серьезными носителями Сl минералы с Кк 8 - 33 (интервал нехарактерной концентрации). Роль собственных минералов Сl (Кк 34- 298) заметна только в сиенитах и в метаморфизованных карбонатных породах (доли массы соответственно 26,1 и 21,5 %). В гранитно-метаморфическом слое в них сконцентрировано всего 1,72 % массы Сl. Средневзвешенный Кк всей массы Сl в совокупности минералов гранитно-метаморфического слоя - 3,05.

Таблица 6

## ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

## Минеральный баланс Cl в гранитно-метаморфическом слое

Минералы	Магматические породы			Метаморфические породы		
	1	2	3	1	2	3
Кварц	25.39	0.006	8.46	25.69	0.006	7.01
Эпидот	0.13	Н.о.	Н.о.	1.76	0.01	0.8
КПШ	19.52	0.009	9.76	7.63	0.01	3.47
Хлориты	1.44	0.01	0.8	3	0.01	1.36
Плагиоклазы	38.855	0.006	12.95	31.43	0.02	28.57
Авгит	1.41	0.03	2.35	1.12	0.02	1.02
Диопсид	0.95	0.034	1.79	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Мусковит	0.84	0.02	0.93	4.86	0.04	8.84
Флогопит	0.012	0.06	0.04	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Рог. обм.	1.84	0.074	7.36	4.7	0.06	12.82
Биотит	5.84	0.08	25.96	9.09	0.06	24.79
Титанит	0.16	0.077	0.68	0.245	0.09	1.0
Нефелин	0.047	0.1	0.26	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Апатит	0.068	0.4	1.51	0.18	0.15	1.23
Нозеан	0.0019	0.75	0.08	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Скаполиты	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.028	1.61	2.05
Содалит	4.9·10 <sup>-4</sup>	6.55	0.18	Н.о.	Н.о.	Н.о.
<b>В горных породах</b>	<b>96.504</b>	<b>0.018*</b>	<b>73.33</b>	<b>89.733</b>	<b>0.022*</b>	<b>94.18</b>

Продолжение таблицы 6

Минералы	Гранитно- метаморфический слой		
	1	2	3
Кварц	25.64	0.006	6.99
Эпидот	1.48	0.01	0.67
КПШ	9.68	0.01	4.4
Хлориты	2.76	0.01	1.25
Плагиоклазы	35.71	0.017	27.59
Авгит	1.17	0.02	1.06
Диопсид	0.39	0.034	0.6
Мусковит	4.17	0.04	7.58
Флогопит	0.017	0.06	0.05
Рог. обм.	4.21	0.06	11.48
Биотит	8.53	0.07	27.14
Титанит	0.23	0.09	0.94
Нефелин	0.0081	0.1	0.04
Апатит	0.16	0.17	1.24
Нозеан	3.3·10 <sup>-4</sup>	0.75	0.01
Скаполиты	0.023	1.61	1.68
Содалит	8.4·10 <sup>-5</sup>	6.55	0.03
<b>В горных породах</b>	<b>94.67</b>	<b>0.022*</b>	<b>92.76</b>

Суммы долей масс F в изученных объектах близки к 100 %. Следовательно его массы практически полностью сосредоточены в изученном твердом веществе. Суммы долей масс Cl меньше 100 %. Главная причина этого – вероятная потеря части вещества флюидных включений при выделении монофракций изученных минералов. Факт же концентрации Cl в таких включениях общеизвестен. С учетом отмеченного сопоставим полученные данные. Установлено, что распределение масс F и Cl в минеральных совокупностях гранитно-метаморфического слоя характеризуется и общими чертами и существенным отличием. Главные носители обоих химических элементов – гидроксилсодержащие листовые и цепочечные силикаты, прежде всего биотит и роговая обманка. Причем Кк обоих элементов в этих минералах близкие. Но средняя степень концентрации масс во всей совокупности минералов гранитно-метаморфического слоя у F в 10 раз больше чем у Cl. Главная причина заключается в том, что F в целом менее подвижен. Заметная часть его массы в гранитно-метаморфическом слое образует собственные минералы. Значительная часть массы Cl при эндогенном минералообразовании остается в газовой-жидких включениях, рассеянных в различных минералах.

## ВЫВОДЫ

В гранитно-метаморфическом слое около 3/4 % массы F и около половины массы Cl сконцентрировано в цепочечных и листовых силикатах, характеризующихся Кк элементов от 1,5 до 7,7. Главные их носители здесь биотит и роговая обманка. Около 9 % массы F сконцентрировано в собственных минералах. Главные из них апатит и флюорит. Около 40 % массы Cl рассеяно в минералах с Кк < 1, в основном в кварце и полевых шпатах. Около 10 % массы Cl вероятно находится в составе флюидных включений, рассеянных в различных минералах. Средневзвешенные Кк в минералах гранитно-метаморфического слоя: F - 30,7, Cl - 3,05.

## Литература

1. **Беус А.А.** Геохимия литосферы. М. Недра. 1981. 335 с.
2. **Бушляков И.Н.** Роль флюорита как носителя фтора в гранитоидах. В кн: Минеральный баланс химических элементов в горных породах и рудах Урала. Свердловск. 1989. С. 54-61.
3. **Бушляков И.Н.** Баланс хлора в гранитоидах и метаморфитах Урала. В кн: Минеральный баланс химических элементов в горных породах и рудах Урала. Свердловск. 1989. С. 62-69.
4. **Бушляков И.Н., Холоднов В.В.** Галогены в петрогенезисе и рудоносности гранитоидов., М. Наука, 1986, 192 с.
5. **Вилисов В.А., Ильин Н.П.** Особенности рентгеноспектрального микроанализа на фтор. Журн. Аналит. Хим. 1980. Т. 35, вып. 8. С. 1530-1539.
6. **Григорьев Н.А.** Среднее содержание минералов в важнейших группах магматических пород гранитно-метаморфического слоя. Уральский геологический журнал № 1. 2000. С. 47-58.
7. **Коваленко В.И.** Петрология и геохимия редкометалльных гранитоидов. Новосибирск: Наука, 1977. 206 с.
8. **Когарко Л.Н., Рябчиков И.Д.** Летучие компоненты в магматических породах // Геохимия, 1978, №9. С.1293-1321.
9. **Козлов В.Д., Сवादковская Л.Н.** Петрология, геохимия и рудоносность гранитоидов Центрального Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1977. 253с.
10. **Краснобаев А.А., Холоднов В.В., Фоминых В.Г., Дурнева Н.Н.** Фтор, хлор, гидроксил в акцессорных апатитах из изверженных и метаморфических пород Урала // Ежегодник-1971. Свердловск: ИГ и Г УНЦ АН СССР, 1972. С. 72-74.
11. **Лутц Б.Г.** Химический состав континентальной коры и верхней мантии Земли. М. Наука. 1975. 167 с.
12. **Резанов И.А.** Эволюция представлений о земной коре. М.: Наука, 2002. 299 с.
13. **Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А.** Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М. Наука. 1990. 182 с.
14. **Старков В.Д., Знаменский Н.Д.** Гранитоидный магматизм Восточно-Мугоджарского поднятия. М: Наука, 1977.130 с.
15. **Стрижкова А.А.** Петрология и геохимия гипабиссальных гранитоидов Центрального Сихотэ-Алиня. М: Наука, 1980. 124 с.
16. **Трошин Ю.П.** Геохимия летучих компонентов в магматических породах, ореолах и рудах Восточного Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1978. 173 с.
17. **Трошин Ю.П., Гребенщикова В.И., Бойко С.М.** Геохимия и петрология редкометалльных плюмазитовых гранитов. Новосибирск: Наука, 1983. 182 с.
18. **Ушакова Е.Н.** Биотиты магматических пород. Новосибирск: Наука, 1980.
19. **Холоднов В.В., Краснобаев А.А., Полтавец Ю.А. и др.** Летучие в акцессорных и рудных апатитах как показатели флюидного режима и потенциальной рудоносности гранитоидов Урала. Свердловск, 1978. Тр. ИГ и Г УНЦ АН СССР, вып. 136. С. 47.
20. **Шеремет Е.М., Козлов В.Д.** Петрология, геохимия и рудоносность гранитоидов молибденового пояса Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1981. 134.
21. **Banks N.G.** Halogen contents of igneous minerals as indicators of magmatic evolution of rocks associated with the Ray porphyry copper deposit, Arizona // J. Res.US Geol. Surv. 1976. Vol. 4(1)P. 91-117.
22. **Buddington A.F., Leonard B.F.** Chemical petrology and mineralogy of hornblendes in northwest Adirondack granite rocks // Amer. Miner. 1953. Vol. 38. № 12. P. 891-902.
23. **Dodge F.C., Papike I.I., Mays R.E.** Hornblendes from granite rocks of the central Sierra Nevada batholith, California // J. Petrol. 1968. Vol. 9. № 3. P. 378-410.
24. **Ekstrom T.K.** The distribution of fluorine among some coexisting minerals // Contrib. Miner. and Petrol. 1972. Vol. 34. № 3. P. 192-200.
25. **Handbook of Geochemistry.** 1972. Vol. 11/3. Editor: K.H.Wedepohl. Springer-Verlag Berlin, Keidelberg, New York. P. 92.
26. **Parry W.T., Jacobs D.C.** Fluorine and chlorine in biotite from basin and Range Plutons // Econ. Geol. 1975. Vol. 70. P. 554-558.
27. **Stormer I.C., Carmichael I.S.** Fluorine-hydroxyl exchange in apatite and biotite: A potential igneous geothermometer // Contrib. Miner. and Petrol. 1971. Vol. 31. № 2. P. 121-131.
28. **Taborszky F.K.** Geochemie des Apatits in Tiefen gesteinen am Beispiel des Odenwaldes // Beitr. Miner. Petrogr. 1962. № 8. S. 354-392.
29. **Ушакова Е.Н.** Биотиты метаморфических пород. М: Наука, 1971. 345 с.
30. **Петров В.В., Макрыгина В.А.** Геохимия регионального метаморфизма и ультраметаморфизма. Новосибирск: Наука, 1975. 342 с.
31. **Костюк Е.А.** Статистический анализ и парагенетические типы амфиболов метаморфических пород. М: Наука, 1970. 312 с.
32. **Костецкая Е.В., Маркова М.Е., Петрова З.И.** Распределение хлора в породах и минералах джидинского палеозойского комплекса гранитоидов (Западное Забайкалье) // Геохимия, 1969, № 2. С. 238-242.
33. **Петров В.В., Развозжаева Э.А., Макрыгина В.А.** Поведение летучих компонентов в процессе регионального метаморфизма верхнепротерозойских пород Патомского нагорья // Геохимия, 1972, № 3. С. 370-377.
34. **Blattner P.** Chlorine and fluorine in apatites and other minerals of basic charnockites from Kondapalli, India // Neues Jb. Miner. Monatsch. 1980. P. 283-288.
35. **Blattner P., Black P.M.** Apatite and scapolite as petrogenetic indicators in granulites of Milford Sound, New Zealand // Contrib. Miner. and Petrol. 1980. Vol. 74. № 4. P.339-348.
36. **Engel A.E., Engel C.G.** Hornblendes formed during progressive metamorphism of amphibolites, NW Adirondack Mountains //Bull. Geol. Soc.Amer. 1962. Vol. 73. № 12. P. 1499-1514.

**37. Leelanandam C.** Fluorine and chlorine in the charnockite hornblendes from Kondapalli, India // Neues Jb. Miner. Monatsh. 1969. H. 8. S. 335-384.

**38. Leelanandam C.** H<sub>2</sub>O, F and Cl in the charnockitic biotites from Kondapalli, India // Neues Jb. Miner. Monatsh. 1969. H. 9.S. 461-468.