

Н. А. Григорьев

## **НОВЫЕ ДАННЫЕ О СРЕДНЕМ СОДЕРЖАНИИ МИНЕРАЛОВ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ**

N. A. Grigor'ev

### **THE NEW DATA ON THE AVERAGE CONTENTS OF MINERALS IN THE TOP PART OF THE EARTH CRUST**

An average content of rockforming and accessory minerals of the upper Earth Crust part has been calculated by the model of A. B. Ronov et al. Calculation has been made by the base of literary data about mineral composition of the important magmatic, metamorphic and sedimentary rocks.

В начале 20 века Г. Берг [18] пересчитал химический состав земной коры на минеральный с учетом 10 важнейших групп минералов. Однако, по А. Е. Ферсману [15], получение подобных данных в то время считалось делом чисто теоретическим и не заслуживающим внимания. На протяжении последующих пятидесяти лет ситуация почти не изменилась [19]. Но в последние годы она изменилась принципиально в связи с проблемой минеральных ресурсов. В частности, потребовались данные о среднем содержании в земной коре минералов, традиционно используемых в качестве источников химических элементов. Новая модель земной коры [11] открыла возможность использования для получения подобных данных опубликованных результатов количественных минералогических анализов горных пород. Ниже приведены результаты реализации этой возможности.

Расчеты проведены для верхней части земной коры по модели А. Б. Ронова с коллегами [11]. Это слои: осадочный (континентальная и океаническая части), гранитно-метаморфический (на континентах) и вулканогенный (в океанических блоках). Среднее содержание породообразующих минералов в важнейших группах горных пород первоначально рассчитано по результатам количественных минералогических анализов, опубликованных

в литературе. Важнейшие источники [1, 5, 8, 12]. Полученные данные скорректированы для приведения их в соответствие с химическим составом важнейших групп горных пород [11]. Корректирование средних величин содержания минералов проведено по результатам расчета минеральных балансов 10—12 главных химических элементов. Результаты корректирования считались удовлетворительными при суммах долей масс химических элементов 95—105 отн. % [3]. На основании этих результатов рассчитано среднее содержание породообразующих минералов в верхней части земной коры и в слоях (табл. 1).

Таблица 1  
Среднее содержание породообразующих минералов  
в верхней части земной коры (мас. %)

| Минералы и другие компоненты | Верхняя часть коры | Континентальные блоки |                          |         | Океанические блоки |               |         |
|------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|---------|--------------------|---------------|---------|
|                              |                    | Слои                  |                          | В целом | Слои               |               | В целом |
|                              |                    | Осадочный             | Гранитно-метаморфический |         | Осадочный          | Вулканический |         |
| 1                            | 2                  | 3                     | 4                        | 5       | 6                  | 7             | 8       |
| Сульфиды                     | 0.15               | 0.32                  | 0.12                     | 0.17    | 0.02               | 2             | 0.003   |
| Галит                        | 0.17               | 0.78                  | -                        | 0.18    | 0.22               | -             | 0.032   |
| Сильвин                      | 0.0006             | 0.003                 | -                        | 0.001   | 0.001              | -             | 0.0001  |
| Магнетит                     | 1.2                | 0.96                  | 1.0                      | 0.99    | 0.1                | 3.0           | 2.6     |
| Гематит                      | 0.07               | 0.28                  | 0.012                    | 0.08    | 0.16               | -             | 0.023   |
| Ильменит                     | 0.42               | 0.40                  | 0.36                     | 0.37    | 0.03               | 1.0           | 0.86    |
| Кварц                        | 22                 | 19                    | 26                       | 24.3    | 3.5                | -             | 0.51    |
| Опал                         | 1.2                | 4.8                   | -                        | 1.1     | 11.4               | -             | 1.7     |
| Брусит                       | 0.096              | 0.37                  | 0.025                    | 0.11    | -                  | -             | -       |
| Гетит                        | 0.26               | 1.2                   | -                        | 0.28    | 0.09               | -             | 0.013   |
| Магнезит                     | 0.02               | -                     | 0.03                     | 0.02    | -                  | -             | -       |
| Сидерит                      | 0.26               | 0.13                  | 0.33                     | 0.28    | 0.37               | -             | 0.054   |
| Кальцит                      | 4.5                | 15                    | 1.2                      | 4.5     | 32                 | -             | 4.7     |
| Доломит                      | 0.49               | 0.59                  | 0.53                     | 0.54    | 0.05               | -             | 0.007   |
| Ангидрит                     | 0.037              | 0.17                  | -                        | 0.04    | 0.05               | -             | 0.007   |
| Гипс                         | 0.043              | 0.20                  | -                        | 0.05    | 0.02               | -             | 0.003   |
| Фосфаты                      | 0.30               | 0.29                  | 0.30                     | 0.30    | 0.45               | 0.35          | 0.37    |
| Оливин                       | 0.53               | 0.41                  | 0.26                     | 0.30    | 0.12               | 3.0           | 2.6     |
| Гранаты                      | 0.29               | -                     | 0.42                     | 0.32    | -                  | -             | -       |

Продолжение таблицы 1

| 1                | 2       | 3      | 4      | 5      | 6      | 7     | 8       |
|------------------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|
| Эпидот           | 0.83    | 0.37   | 1.1    | 0.93   | -      | -     | -       |
| Ортопироксены    | 0.61    | 0.41   | 0.76   | 0.68   | -      | -     | -       |
| Клинопироксены   | 5.5     | 1.6    | 2.4    | 2.2    | 1.6    | 39    | 34      |
| Амфиболы         | 4.1     | 0.74   | 5.8    | 4.6    | 0.18   | -     | 0.026   |
| Тальк            | 0.07    | -      | 0.10   | 0.08   | -      | -     | -       |
| Мусковит         | 6.5     | 7.2    | 7.2    | 7.2    | -      | -     | -       |
| Глауконит        | 0.25    | 1.0    | -      | 0.24   | 2.4    | -     | 0.35    |
| Биотит           | 5.0     | 0.13   | 7.2    | 5.5    | -      | -     | -       |
| Гидромусковит    | 0.76    | 3.1    | -      | 0.73   | 7.0    | -     | 1.0     |
| Монтмориллониты  | 0.69    | 2.5    | -      | 0.59   | 10.5   | -     | 1.5     |
| Хлориты          | 3.7     | 7.2    | 3.1    | 4.1    | 4.2    | -     | 0.61    |
| Шамозит          | 0.005   | -      | 0.007  | 0.005  | -      | -     | -       |
| Каолинит         | 0.83    | 3.6    | -      | 0.85   | 4.7    | -     | 0.69    |
| Нефелин          | 0.04    | -      | 0.06   | 0.05   | -      | -     | -       |
| Анортит          | 0.35    | 0.41   | 0.13   | 0.20   | 0.07   | 2     | 1.7     |
| Битовнит         | 0.82    | 0.81   | 0.30   | 0.42   | 0.17   | 5     | 4.4     |
| Лабродор         | 2.65    | 1.20   | 0.90   | 0.97   | 0.84   | 20    | 17      |
| Андезит          | 8.8     | 0.95   | 10.6   | 8.3    | 2.6    | 15    | 13      |
| Олигоклаз        | 12      | 7.7    | 15     | 13.3   | -      | -     | -       |
| Альбит           | 3.9     | 1.4    | 5.3    | 4.4    | 3.4    | -     | 0.5     |
| Калишпаты        | 7.5     | 7.3    | 8.6    | 8.3    | 3.3    | 0.2   | 0.65    |
| Цеолиты          | 0.7     | 2.8    | -      | 0.66   | 6.7    | -     | 1.0     |
| Стеклокислое     | 0.16    | 0.74   | -      | 0.18   | -      | -     | -       |
| Стеклоосновное   | 1.1     | 2.4    | -      | 0.57   | 0.35   | 7     | 6.0     |
| Палагонит        | 0.33    | -      | -      | -      | 2.0    | 3.4   | 3.2     |
| C <sub>орг</sub> | 0.14    | 0.49   | 0.053  | 0.16   | 0.11   | -     | 0.016   |
| Сумма            | 99.3716 | 98.953 | 99.197 | 99.146 | 98.701 | 98.95 | 99.1241 |

Примечание: C<sub>орг</sub> — углерод органических веществ [11].

Ситуация с акцессорными минералами сложнее. При количественных минералогических анализах учитывают, как правило, лишь частицы крупнее 10—100 мкм. У акцессорных же минералов значительна роль микрочастиц. Поэтому литератур-

ные данные об их содержании в горных породах в целом преуменьшены. Вариации роли акцессорных минералов в качестве носителей химических элементов пока изучены слабо [3]. Поэтому корректировка величин среднего содержания этих минералов в важнейших группах горных пород расчетом минеральных балансов пока невозможна. Тем не менее, даже нескорректированные данные (табл. 2) представляют интерес. Главные данные, использованные для их расчета [2, 4, 6—10, 13, 14, 16—18].

Некоторые минералы обычно рассматривают и как породообразующие и как акцессорные. Их среднее содержание в верхней части земной коры определено дважды. Это дает возможность сравнить цифры скорректированные и нескорректированные. Первые почти во всех случаях больше. Поэтому приведенные значения среднего содержания акцессорных минералов (см. табл. 2) следует рассматривать как минимально-возможные.

Таблица 2

Среднее содержание акцессорных минералов в верхней части земной коры (мас. %)

| Минерал     | Содержание | Минерал     | Содержание |
|-------------|------------|-------------|------------|
| Графит      | 0.017      | Гетит       | 0.02       |
| Сфалерит    | 0.00004    | Ангидрит    | 0.007      |
| Халькопирит | 0.0001     | Барит       | 0.001      |
| Пирротин    | 0.02       | Ярозит      | 0.0003     |
| Галенит     | 0.000024   | Вольфрамит  | 0.000003   |
| Пирит       | 0.08       | Шеелит      | 0.000003   |
| Молибденит  | 0.00001    | Ксенотим    | 0.00015    |
| Арсенопирит | 0.00001    | Монаит      | 0.005      |
| Флюорит     | 0.002      | Апатит      | 0.11       |
| Шпинель     | 0.00006    | Ортит       | 0.012      |
| Магнетит    | 0.46       | Гранаты     | 0.37       |
| Хромит      | 0.007      | Циркон      | 0.024      |
| Корунд      | 0.00001    | Торит       | 0.0002     |
| Гематит     | 0.066      | Силлиманит  | 0.04       |
| Ильменит    | 0.25       | Андалузит   | 0.056      |
| Рутил       | 0.003      | Дистен      | 0.002      |
| Касситерит  | 0.000002   | Ставролит   | 0.0014     |
| Анаказ      | 0.037      | Топаз       | 0.000002   |
| Брукит      | 0.00003    | Титанит     | 0.14       |
| Колумбит    | 0.00007    | Турмалин    | 0.0066     |
| Та-ниобаты  | 0.000006   | Сподумен    | 0.00001    |
| Уранинит    | 0.000006   | Ве-минералы | 0.0004     |

Согласно полученным данным, общая масса минералов, традиционно используемых в качестве источников химических элементов, огромна. Она составляет почти 3 % всей массы верхней части земной коры. Доли же масс наиболее важных химических элементов, сконцентрированные в таких минералах еще больше. Так в сульфидах, магнетите, гематите, ильмените, гетите, сидерите находится 1/3 часть всего железа, имеющегося в земной коре. В титановых минералах сконцентрирована 1/4 часть массы титана. Полученные данные о долях масс малых элементов, сконцентрированных в собственных минералах, вероятно, преуменьшены. И несмотря на это, отмеченные доли (отн. %) достаточно велики: фтор — 77, цирконий — 70, хром — 24, цинк — 0.4, церий — 11, медь — 0.7, иттрий — 26, лантан — 1, ниобий — 1.7, свинец — 1.6, торий — 8, уран — 2, бериллий — 10.

## Литература

1. Бушляков И. Н., Григорьев Н. А. Бериллий в гранитоидах Урала. Екатеринбург, УрО РАН, 1994. 234 с.
2. 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. Труды VII геологической конференции Коми АССР, т. 2, Сыктывкар, 1973. С. 334—340.
3. Григорьев Н. А. Минеральный баланс химических элементов. Свердловск, УрО АН СССР, 1989. 230 с.
4. Кузнецов А. П. Минералогия пород фанерозоя бассейна Курской магнитной аномалии // Литология и полезные ископаемые, № 2, 1992. С. 90—109.
5. Лисицын А. П. Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия. М.: Наука, 1978, 392 с.
6. Ляхович В. В. Акцессорные минералы жильных пород, связанных с гранитоидами // Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород. М.: Наука, 1982. С. 22—40.
7. Ляхович В. В. Факторы рудогенерирующей способности гранитоидов. М.: Наука, 1983. 255 с.
8. Макрыгина В. А. Геохимия регионального метаморфизма и ультраметаморфизма умеренных и низких давлений. Новосибирск : Наука, 1981. 199 с.

9. Минералогия Криворожского бассейна / *Е. К. Лазаренко, Ю. Г. Гершойг, Н. И. Бучинская и др.* Киев: Наукова Думка, 1977. 543 с.
10. *Ронов А. Б., Михайловская М. С., Солодкова И. И.* Эволюция химического и минерального состава песчаных пород // Химия земной коры. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 201—254.
11. *Ронов А. Б., Ярошевский А. А., Мигдисов А. А.* Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 182 с.
12. *Ронов А. Б., Мигдисов А. А., Хане К.* Количественные закономерности эволюции состава алевропесчанистых пород Русской плиты // Геохимия, 1995, № 3. С. 323—348.
13. *Петелин В. П., Алекина И. А.* Минералогия песчано-алевритовых фракций донных осадков Тихого океана // Тихий океан. Осадкообразование в Тихом океане, т. 6, кн. 1. М.: Наука, 1970. С. 324—372.
14. *Соболев С. Ф.* Габбро-тоналитовый комплекс Полярного Урала. М.: Наука, 1965. 163 с.
15. *Ферсман А. Е.* Геохимия, т. 1. Л.: Геохимтехиздат, 1933. 328 с.
16. *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.
17. *Щербаков И. Б.* Петрография докембрийских пород центральной части Украинского щита. Киев: Наукова Думка, 1975. 279 с.
18. *Berg G.* Vorkommen und Geochemie der Mineralischen Rohstoffe. Leipzig Akademische Verlagsgesellschaft, 1929. 414 S.
19. *Nesbitt H. W., Rhodes Young G. M.* Prediction some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic consideration. *Geochem. et Cosmochem. Acta*, 1984, v. 48. PP. 1523—1984.