

Н. А. Григорьев

СРЕДНИЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

N. A. Grigor'ev

THE AVERAGE MINERAL COMPOSITION OF THE UPPER PART OF THE CONTINENTAL CRUST

An average content of rock forming and accessory minerals of the upper part of continental crust 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.

Впервые определено среднее содержание 207 минералов, минеральных разновидностей и неминеральных веществ в самой верхней части континентальной коры.

Проблема среднего минерального состава земной коры и ее частей в двадцатом веке рассматривалась неоднократно [1, 6—7, 9—13]. Определяли среднее содержание 6—20 главных минералов и групп минералов во всей земной коре, или в верхних ее слоях, включая осадочный, гранитно-метаморфический и второй сейсмический (в океанической коре). Автором [2] были опубликованы результаты определения среднего содержания 41 минерала и трех неминеральных веществ в отмеченных слоях. Сейчас требуются более детальные данные о самой верхней части континентальной коры, подверженной активному антропогенному воздействию. Это обусловлено необходимостью разработки стратегии рационального пользования недрами. Ниже даны наиболее общие результаты исследования.

Модель земной коры по А. Б. Ронову и др. [8]. Объект исследования — совокупность осадочного слоя и верхней части гранитно-метаморфического (мощностью 5 км) в пределах континентальных и субконтинентальных блоков. Доли массы слоев (мас. %): осадочный — 46.75, гранитно-метаморфический — 53.25; Доли массы важнейших групп горных пород осадочного слоя (мас. %): песчаники и пески — 11.03, глинистые сланцы и глины — 20.53, карбонатные породы — 7.43, кремнистые породы

— 0.75, эвапориты — 0.51, вулканиты — 6.5. *Доли массы важнейших групп магматических пород (мас. %):* гранитоиды и гранитогнейсы — 24.27, базиты — 1.05, сиениты — 0.03, ультрабазиты — 0.03. *Доли массы важнейших групп метаморфических пород (мас. %):* метапесчаники — 2.03, парасланцы и парагнейсы — 21.31, карбонатные породы — 0.79, железистые породы — 0.26, метаморфизованные вулканиты — 3.48 (основные — 2.3, кислые — 1.18). *Исходные данные:* более чем 4900 количественных минералогических анализов горных пород, опубликованных преимущественно в СССР и США. Почти полный список использованных работ публикуется [3—5]. *Методика исследования.* Рассчитан средний минеральный состав важнейших групп горных пород. С помощью коэффициентов учтены особенности исходных данных. Например, одни исследователи публиковали результаты анализов конкретных проб, другие — обобщенные результаты изучения геологических объектов. В некоторых работах есть величины содержания аксессуарных минералов, превышающие кларковое содержание информативных элементов больше чем в 10 раз. Такие аномальные значения учтены с коэффициентами 0.1—0.01. Все величины среднего содержания минералов в группах горных пород ≥ 0.1 мас. % были включены в контрольный расчет минеральных балансов 10—12 наиболее важных химических элементов (моделирование на компьютере). При этом средний химический состав групп горных пород взят по А. Б. Ронову и др. [8], минералов-эталонов — из справочников. Большинство отмеченных величин было скорректировано в процессе расчета. Результаты считались удовлетворительными при суммах долей масс С, О, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K — 95—105 %, Ti, H, S, Cl < 100 %. Данные о среднем минеральном составе групп горных пород публикуются [3—5]. Они были основой всех последующих расчетов.

Полученные данные приведены в таблицах 1—4. Отметим, что содержание биотита и шамозита несколько преувеличено. Вместе с биотитом учтены не диагностированные точно продукты первых стадий его выветривания. Вместе с шамозитом учтены не определенные ближе септехлориты. Большинство величин содержания < 0.1 % следует рассматривать как минимально возможные. Отметим минералы, приводимое содержание которых возможно близкое к фактическому. 1. Рутил, циркон, альмандин, турмалин (минералы, склонные к образованию относительно крупных кристалликов с ярко выраженной индивидуальностью свойств). 2. Пентландит, никелин, ковеллин,

Таблица 1

**Среднее содержание минералов в верхней части
континентальной коры, мас. %.**

| Минералы | Осадочный слой | | | Гранитно-метаморфический слой | | | Верхняя часть коры в целом |
|----------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------------|
| | Осадочные породы | Вулканич. породы | Слой в целом | Магматические породы | Метаморфические породы | Слой в целом | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| <i>Самородные элементы</i> | | | | | | | |
| Медь | - | - | - | $1 \cdot 10^{-6}$ | - | $5 \cdot 10^{-7}$ | $25 \cdot 10^{-8}$ |
| Серебро | - | - | - | $3 \cdot 10^{-8}$ | - | $15 \cdot 10^{-9}$ | $8 \cdot 10^{-9}$ |
| Золото | $7 \cdot 10^{-8}$ | - | $6 \cdot 10^{-8}$ | $3 \cdot 10^{-8}$ | - | $15 \cdot 10^{-9}$ | $36 \cdot 10^{-9}$ |
| Свинец | - | - | - | $3 \cdot 10^{-7}$ | - | $15 \cdot 10^{-8}$ | $8 \cdot 10^{-8}$ |
| Поликсен | - | - | - | $6 \cdot 10^{-10}$ | - | $3 \cdot 10^{-10}$ | $15 \cdot 10^{-11}$ |
| И-платина | - | - | - | $6 \cdot 10^{-10}$ | - | $3 \cdot 10^{-10}$ | $15 \cdot 10^{-11}$ |
| Цинк | - | - | - | $3 \cdot 10^{-7}$ | - | $15 \cdot 10^{-8}$ | $8 \cdot 10^{-8}$ |
| Олово | $2 \cdot 10^{-7}$ | - | $17 \cdot 10^{-8}$ | $3 \cdot 10^{-10}$ | - | $15 \cdot 10^{-11}$ | $8 \cdot 10^{-8}$ |
| Графит | 0.12 | - | 0.11 | $38 \cdot 10^{-5}$ | 0.25 | 0.13 | 0.12 |
| Муассонит | $16 \cdot 10^{-9}$ | - | $14 \cdot 10^{-9}$ | - | - | - | $6 \cdot 10^{-9}$ |
| Сера | 0.0073 | - | 0.0063 | - | - | - | 0.0029 |
| Сульфиды | | | | | | | |
| Халькозин | - | - | - | $7 \cdot 10^{-8}$ | $64 \cdot 10^{-9}$ | $67 \cdot 10^{-9}$ | $36 \cdot 10^{-9}$ |
| Борнит | - | $3 \cdot 10^{-5}$ | $4 \cdot 10^{-6}$ | - | - | - | $2 \cdot 10^{-6}$ |
| Пентландит | - | $5 \cdot 10^{-5}$ | $7 \cdot 10^{-6}$ | 0.0003 | $76 \cdot 10^{-6}$ | $19 \cdot 10^{-5}$ | 0.0001 |
| Сфалерит | $27 \cdot 10^{-7}$ | - | $23 \cdot 10^{-7}$ | $12 \cdot 10^{-6}$ | $62 \cdot 10^{-6}$ | $37 \cdot 10^{-6}$ | $29 \cdot 10^{-6}$ |
| Халькопирит | $2 \cdot 10^{-6}$ | 0.0015 | 0.0002 | $14 \cdot 10^{-5}$ | $82 \cdot 10^{-6}$ | 0.0001 | $15 \cdot 10^{-5}$ |
| Блеклые руды | - | - | - | $3 \cdot 10^{-7}$ | - | $15 \cdot 10^{-8}$ | $8 \cdot 10^{-8}$ |
| Кубанит | - | 0.0002 | $28 \cdot 10^{-6}$ | - | - | - | $13 \cdot 10^{-6}$ |
| Пирротин | $27 \cdot 10^{-7}$ | 0.02 | 0.0028 | 0.024 | 0.056 | 0.04 | 0.023 |
| Троилит | - | - | - | $5 \cdot 10^{-7}$ | - | $25 \cdot 10^{-8}$ | $13 \cdot 10^{-8}$ |
| Никелин | - | - | - | $22 \cdot 10^{-7}$ | $12 \cdot 10^{-6}$ | $17 \cdot 10^{-6}$ | $39 \cdot 10^{-7}$ |
| Галенит | $2 \cdot 10^{-7}$ | - | $17 \cdot 10^{-8}$ | $19 \cdot 10^{-6}$ | $95 \cdot 10^{-7}$ | $14 \cdot 10^{-6}$ | $75 \cdot 10^{-7}$ |
| Киноварь | $3 \cdot 10^{-8}$ | - | $26 \cdot 10^{-9}$ | $5 \cdot 10^{-7}$ | - | $25 \cdot 10^{-8}$ | $14 \cdot 10^{-8}$ |
| Ковеллин | - | - | - | $1 \cdot 10^{-7}$ | $24 \cdot 10^{-6}$ | $12 \cdot 10^{-6}$ | $67 \cdot 10^{-7}$ |
| Куперит | - | - | - | $6 \cdot 10^{-10}$ | - | $3 \cdot 10^{-10}$ | $15 \cdot 10^{-11}$ |
| Антимонит | $8 \cdot 10^{-8}$ | - | $7 \cdot 10^{-8}$ | - | - | - | $32 \cdot 10^{-9}$ |
| Висмутин | - | - | - | $5 \cdot 10^{-10}$ | - | $25 \cdot 10^{-11}$ | $13 \cdot 10^{-11}$ |
| Джемсонит | - | - | - | - | $8 \cdot 10^{-8}$ | $4 \cdot 10^{-8}$ | $2 \cdot 10^{-8}$ |
| Буланжерит | - | - | - | $3 \cdot 10^{-7}$ | - | $15 \cdot 10^{-8}$ | $8 \cdot 10^{-8}$ |
| Виоларит | - | - | - | - | $19 \cdot 10^{-6}$ | $1 \cdot 10^{-5}$ | $5 \cdot 10^{-6}$ |
| Пирит | 0.1 | 0.03 | 0.09 | 0.067 | 0.075 | 0.071 | 0.08 |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Марказит | 0.0025 | - | 0.0022 | $3 \cdot 10^{-6}$ | - | $15 \cdot 10^{-7}$ | 0.001 |
| Вэзит | - | - | - | - | $19 \cdot 10^{-6}$ | $1 \cdot 10^{-5}$ | $5 \cdot 10^{-6}$ |
| Герсдорфит | - | - | - | - | $75 \cdot 10^{-7}$ | $38 \cdot 10^{-7}$ | $2 \cdot 10^{-6}$ |
| Леллингит | - | - | - | $1 \cdot 10^{-7}$ | - | $5 \cdot 10^{-8}$ | $25 \cdot 10^{-9}$ |
| Арсенопирит | $8 \cdot 10^{-8}$ | - | $7 \cdot 10^{-8}$ | $6 \cdot 10^{-6}$ | $2 \cdot 10^{-6}$ | $4 \cdot 10^{-6}$ | $2 \cdot 10^{-6}$ |
| Молибденит | - | - | - | $2 \cdot 10^{-5}$ | $16 \cdot 10^{-6}$ | $18 \cdot 10^{-6}$ | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| <i>Галогениды</i> | | | | | | | |
| Галит | 0.93 | - | 0.8 | - | - | - | 0.37 |
| Сильвин | 0.0032 | - | 0.0028 | - | - | - | 0.0013 |
| Флюорит | $14 \cdot 10^{-8}$ | - | $12 \cdot 10^{-8}$ | 0.0026 | 0.0003 | 0.0014 | $74 \cdot 10^{-5}$ |
| Бишофит | 0.0001 | - | 0.0001 | - | - | - | $4 \cdot 10^{-5}$ |
| Карналлит | 0.0006 | - | 0.0005 | - | - | - | $24 \cdot 10^{-5}$ |
| <i>Оксиды</i> | | | | | | | |
| Периклаз | $14 \cdot 10^{-8}$ | - | $12 \cdot 10^{-8}$ | - | - | - | $6 \cdot 10^{-8}$ |
| Шпинель | 0.0009 | - | 0.0008 | $5 \cdot 10^{-7}$ | - | $25 \cdot 10^{-8}$ | $36 \cdot 10^{-5}$ |
| Плеонаст | - | - | - | $2 \cdot 10^{-5}$ | - | $1 \cdot 10^{-5}$ | $5 \cdot 10^{-6}$ |
| Магнетит | 0.07 | 3.3 | 0.52 | 0.56 | 0.76 | 0.66 | 0.6 |
| Ti-магнетит | - | 1.7 | 0.24 | 0.061 | - | 0.03 | 0.13 |
| Хромит | $24 \cdot 10^{-5}$ | - | 0.0002 | $39 \cdot 10^{-5}$ | $9 \cdot 10^{-7}$ | 0.0002 | 0.0002 |
| Корунд | 0.002 | - | 0.0017 | $7 \cdot 10^{-7}$ | $3 \cdot 10^{-5}$ | $15 \cdot 10^{-6}$ | 0.0008 |
| Гематит | 0.058 | 0.0003 | 0.05 | 0.0095 | 0.058 | 0.034 | 0.042 |
| Ильменит | 0.067 | 0.5 | 0.13 | 0.11 | 0.14 | 0.12 | 0.13 |
| Лопарит | - | - | - | $17 \cdot 10^{-7}$ | - | $8 \cdot 10^{-7}$ | $4 \cdot 10^{-7}$ |
| Пироклор | - | - | - | $27 \cdot 10^{-7}$ | - | $13 \cdot 10^{-7}$ | $7 \cdot 10^{-7}$ |
| Микролит | - | - | - | $1 \cdot 10^{-7}$ | - | $5 \cdot 10^{-8}$ | $25 \cdot 10^{-9}$ |
| Кварц | 22.77 | 2.4 | 19.94 | 22.93 | 27.4 | 25.16 | 22.78 |
| Опал | 4.56 | - | 3.93 | - | - | - | 1.84 |
| Рутил | 0.028 | - | 0.024 | 0.0028 | 0.013 | 0.0079 | 0.016 |
| Касситерит | $25 \cdot 10^{-7}$ | - | $22 \cdot 10^{-7}$ | $3 \cdot 10^{-6}$ | $57 \cdot 10^{-6}$ | $3 \cdot 10^{-5}$ | $18 \cdot 10^{-6}$ |
| Ильменорутил | - | - | - | $4 \cdot 10^{-5}$ | - | $2 \cdot 10^{-5}$ | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| Псилометан | 0.0001 | - | 0.0001 | - | - | - | $4 \cdot 10^{-5}$ |
| Анагаз | 0.0067 | - | 0.0058 | $16 \cdot 10^{-5}$ | 0.0011 | 0.0006 | 0.003 |
| Брукит | $8 \cdot 10^{-5}$ | - | $7 \cdot 10^{-5}$ | $3 \cdot 10^{-7}$ | $8 \cdot 10^{-9}$ | $15 \cdot 10^{-8}$ | $3 \cdot 10^{-5}$ |
| Колумбит | - | - | - | $8 \cdot 10^{-6}$ | - | $4 \cdot 10^{-6}$ | $2 \cdot 10^{-6}$ |
| Танталит | - | - | - | $3 \cdot 10^{-6}$ | - | $15 \cdot 10^{-7}$ | $76 \cdot 10^{-8}$ |
| Делоренцит | - | - | - | $1 \cdot 10^{-6}$ | - | $5 \cdot 10^{-7}$ | $25 \cdot 10^{-8}$ |
| Поликраз | - | - | - | $8 \cdot 10^{-11}$ | - | $4 \cdot 10^{-11}$ | $2 \cdot 10^{-11}$ |
| Эвксенит | - | - | - | $1 \cdot 10^{-5}$ | - | $5 \cdot 10^{-6}$ | $25 \cdot 10^{-7}$ |
| Бломстрандин | - | - | - | $33 \cdot 10^{-8}$ | - | $16 \cdot 10^{-8}$ | $84 \cdot 10^{-9}$ |
| Фергуссонит | - | - | - | $1 \cdot 10^{-5}$ | - | $5 \cdot 10^{-6}$ | $25 \cdot 10^{-7}$ |
| Бадделеит | $16 \cdot 10^{-7}$ | - | $14 \cdot 10^{-7}$ | - | - | - | $6 \cdot 10^{-7}$ |
| Горианит | - | - | - | $7 \cdot 10^{-8}$ | - | $35 \cdot 10^{-9}$ | $18 \cdot 10^{-9}$ |
| Уранинит | - | - | - | $1 \cdot 10^{-5}$ | - | $5 \cdot 10^{-6}$ | $25 \cdot 10^{-7}$ |
| Гидрагиллит | 0.066 | - | 0.057 | - | - | - | 0.027 |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Гидроксиды</i> | | | | | | | |
| Диаспор | 0.036 | - | 0.031 | - | - | - | 0.014 |
| Брусит | - | - | - | 0.0005 | - | 25·10 ⁻⁵ | 13·10 ⁻⁵ |
| Гетит | 0.74 | - | 0.64 | - | 0.0055 | 0.0028 | 0.3 |
| Бемит | 0.046 | - | 0.04 | - | - | - | 0.019 |
| <i>Карбонаты</i> | | | | | | | |
| Магнезит | 0.0055 | - | 0.0047 | 0.0002 | 0.031 | 0.016 | 0.011 |
| Сидерит | 0.15 | - | 0.13 | - | 0.025 | 0.013 | 0.067 |
| Mg-сидерит | - | - | - | - | 0.016 | 0.008 | 0.0045 |
| Родохрозит | 0.018 | - | 0.015 | - | 1·10 ⁻⁵ | 5·10 ⁻⁶ | 0.0072 |
| Кальцит | 15.18 | 0.31 | 13.11 | 0.03 | 1.77 | 0.9 | 6.63 |
| Доломит | 2.42 | - | 2.08 | - | 0.59 | 0.3 | 1.14 |
| Анкерит | 0.14 | - | 0.12 | - | 0.037 | 0.019 | 0.067 |
| Азурит | 1·10 ⁻⁷ | - | 1·10 ⁻⁷ | 3·10 ⁻⁷ | - | 15·10 ⁻⁸ | 12·10 ⁻⁸ |
| Малахит | 14·10 ⁻⁸ | - | 12·10 ⁻⁸ | 2·10 ⁻⁶ | 1·10 ⁻⁶ | 15·10 ⁻⁷ | 84·10 ⁻⁸ |
| Давсонит | 78·10 ⁻⁵ | 0.004 | 0.0012 | - | - | - | 57·10 ⁻⁵ |
| <i>Сульфаты</i> | | | | | | | |
| Ангидрит | 0.21 | - | 0.18 | - | - | - | 0.085 |
| Целестин | 0.0042 | - | 0.0036 | - | - | - | 0.0017 |
| Барит | 0.0045 | - | 0.0039 | 12·10 ⁻⁵ | - | 6·10 ⁻⁵ | 0.0018 |
| Ярозит | 0.002 | - | 0.0017 | - | - | - | 0.0008 |
| Кизерит | 0.0064 | - | 0.0055 | - | - | - | 0.0026 |
| Гипс | 0.12 | - | 0.1 | - | - | - | 0.048 |
| <i>Вольфраматы</i> | | | | | | | |
| Вольфрамит | - | - | - | 1·10 ⁻⁶ | - | 5·10 ⁻⁷ | 25·10 ⁻⁸ |
| Шеелит | - | - | - | 5·10 ⁻⁶ | 47·10 ⁻⁷ | 48·10 ⁻⁷ | 26·10 ⁻⁷ |
| <i>Фосфаты</i> | | | | | | | |
| Ксенотим | 1·10 ⁻⁵ | - | 1·10 ⁻⁵ | 38·10 ⁻⁶ | - | 19·10 ⁻⁶ | 14·10 ⁻⁶ |
| Монацит | 36·10 ⁻⁶ | - | 3·10 ⁻⁵ | 87·10 ⁻⁵ | 0.0007 | 78·10 ⁻⁵ | 43·10 ⁻⁵ |
| Рабдофан | - | - | - | 7·10 ⁻⁷ | - | 35·10 ⁻⁸ | 18·10 ⁻⁸ |
| Апатит | 0.013 | - | 0.011 | 0.12 | 0.19 | 0.16 | 0.089 |
| С-апатит | 0.0055 | - | 0.0047 | 1·10 ⁻⁶ | - | 5·10 ⁻⁷ | 0.0022 |
| <i>Островные силикаты</i> | | | | | | | |
| Фенакит | - | - | - | 5·10 ⁻⁵ | - | 25·10 ⁻⁶ | 13·10 ⁻⁶ |
| Форстерит | - | - | - | 0.0031 | 0.077 | 0.04 | 0.022 |
| Оливин | - | 1 | 0.14 | 0.032 | 0.053 | 0.043 | 0.088 |
| Фаялит | - | 0.5 | 0.07 | - | 0.008 | 0.004 | 0.035 |
| Бриголит | - | - | - | 43·10 ⁻⁷ | - | 21·10 ⁻⁷ | 11·10 ⁻⁷ |
| Альмандин | 0.019 | - | 0.016 | 0.65 | 2.63 | 1.64 | 0.83 |
| Гроссуляр | 0.0092 | - | 0.0079 | - | 0.0062 | 0.0031 | 0.0054 |
| Андрадит | - | - | - | 1·10 ⁻⁶ | 0.01 | 0.005 | 0.0028 |
| Циркон | 0.0074 | - | 0.0064 | 0.018 | 0.013 | 0.016 | 0.011 |
| Циртолит | - | - | - | 0.0012 | 56·10 ⁻⁹ | 0.0006 | 0.0003 |
| Торит | 5·10 ⁻⁵ | - | 4·10 ⁻⁵ | 49·10 ⁻⁵ | 85·10 ⁻⁶ | 29·10 ⁻⁵ | 17·10 ⁻⁵ |
| U-торит | - | - | - | 23·10 ⁻⁹ | - | 11·10 ⁻⁹ | 6·10 ⁻⁹ |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------------------|-------------------|-----|--------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|
| Силлиманит | 0.0086 | - | 0.0074 | 0.026 | 0.61 | 0.31 | 0.18 |
| Андалузит | 0.0004 | - | $34 \cdot 10^{-5}$ | - | 0.085 | 0.042 | 0.024 |
| Дистен | 0.0034 | - | 0.003 | 0.15 | 0.08 | 0.11 | 0.062 |
| Топаз | $2 \cdot 10^{-8}$ | - | $2 \cdot 10^{-8}$ | $4 \cdot 10^{-6}$ | 0.0011 | 0.0006 | 0.0003 |
| Ставролит | 0.0075 | - | 0.0065 | $96 \cdot 10^{-5}$ | 0.23 | 0.12 | 0.067 |
| Клиногумит | - | - | - | - | 0.008 | 0.004 | 0.0022 |
| Гадолинит | - | - | - | $5 \cdot 10^{-5}$ | - | $25 \cdot 10^{-6}$ | $13 \cdot 10^{-6}$ |
| Титанит | 0.024 | - | 0.021 | 0.078 | 0.25 | 0.16 | 0.099 |
| Лейкоксен | 0.021 | - | 0.018 | $3 \cdot 10^{-5}$ | 0.031 | 0.016 | 0.017 |
| Мурманит | - | - | - | $33 \cdot 10^{-6}$ | - | $17 \cdot 10^{-6}$ | $84 \cdot 10^{-7}$ |
| Ловенит | - | - | - | $5 \cdot 10^{-7}$ | - | $25 \cdot 10^{-8}$ | $13 \cdot 10^{-8}$ |
| Лампрофиллит | - | - | - | $1 \cdot 10^{-5}$ | - | $5 \cdot 10^{-6}$ | $25 \cdot 10^{-7}$ |
| Берtrandит | - | - | - | $5 \cdot 10^{-5}$ | - | $25 \cdot 10^{-6}$ | $13 \cdot 10^{-6}$ |
| Лосонит | - | - | - | - | 0.049 | 0.025 | 0.014 |
| Клиноцоизит | 0.082 | - | 0.071 | 0.029 | 0.13 | 0.08 | 0.077 |
| Эпидот | 0.12 | - | 0.1 | 0.51 | 4.01 | 2.26 | 1.30 |
| Цоизит | - | - | - | - | 0.06 | 0.03 | 0.017 |
| Ортит | $2 \cdot 10^{-8}$ | - | $2 \cdot 10^{-8}$ | 0.0087 | 0.0061 | 0.0074 | 0.0039 |
| Чевкинит | - | - | - | $6 \cdot 10^{-7}$ | - | $3 \cdot 10^{-7}$ | $15 \cdot 10^{-8}$ |
| Пумпеллиит | - | - | - | - | 0.078 | 0.039 | 0.022 |
| Везувин | 0.022 | - | 0.019 | $15 \cdot 10^{-7}$ | 0.037 | 0.019 | 0.019 |
| Пренит | - | 0.1 | 0.014 | - | 0.38 | 0.19 | 0.11 |
| <i>Кольцевые силикаты</i> | | | | | | | |
| Эвдиалит | - | - | - | $23 \cdot 10^{-6}$ | - | $11 \cdot 10^{-6}$ | $6 \cdot 10^{-6}$ |
| Нептунит | - | - | - | $5 \cdot 10^{-6}$ | - | $25 \cdot 10^{-7}$ | $13 \cdot 10^{-7}$ |
| Аксинит | - | - | - | $2 \cdot 10^{-7}$ | - | $1 \cdot 10^{-7}$ | $5 \cdot 10^{-8}$ |
| Берилл | - | - | - | 0.0002 | - | 0.0001 | $5 \cdot 10^{-5}$ |
| Кордиерит | - | - | - | - | 0.02 | 0.01 | 0.0055 |
| Турмалин | 0.01 | - | 0.0087 | 0.0076 | 0.0028 | 0.0052 | 0.0067 |
| <i>Цепочечные силикаты</i> | | | | | | | |
| Пижонит | - | 0.4 | 0.056 | - | - | - | 0.026 |
| Диопсид | 0.037 | 2 | 0.31 | 0.15 | 0.54 | 0.35 | 0.33 |
| Геденберgit | - | - | - | - | 0.0074 | 0.0037 | 0.0021 |
| Салит | - | - | - | 0.0001 | 0.1 | 0.05 | 0.028 |
| Сподумен | - | - | - | $2 \cdot 10^{-5}$ | - | $1 \cdot 10^{-5}$ | $5 \cdot 10^{-6}$ |
| Жадеит | - | - | - | - | 0.058 | 0.029 | 0.016 |
| Эгирин | - | - | - | 0.0006 | 0.17 | 0.09 | 0.05 |
| Омфациит | - | - | - | $5 \cdot 10^{-5}$ | - | $25 \cdot 10^{-6}$ | $13 \cdot 10^{-6}$ |
| Авгит | 0.0079 | 16 | 2.23 | 1.26 | 0.37 | 0.81 | 1.47 |
| Энстатит | - | - | - | 0.027 | 0.0004 | 0.013 | 0.007 |
| Бронзит | - | - | - | 0.092 | 0.04 | 0.066 | 0.034 |
| Гиперстен | 0.0008 | 0.6 | 0.084 | 0.53 | 0.4 | 0.46 | 0.29 |
| Куммингтонит | - | - | - | - | 1.62 | 0.81 | 0.45 |
| Тремолит | 0.16 | - | 0.14 | - | 0.086 | 0.043 | 0.088 |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------|--------|-----|--------|---------------------|--------|---------------------|---------------------|
| Актинолит | 0.037 | - | 0.032 | - | 0.96 | 0.48 | 0.28 |
| Рибекит | - | - | - | 0.0003 | 0.15 | 0.075 | 0.042 |
| Арфведсонит | 0.0087 | - | 0.0075 | 0.0003 | - | 15·10 ⁻⁵ | 0.0036 |
| Глаукофан | - | - | - | - | 0.003 | 0.0015 | 0.0008 |
| Кроссит | - | - | - | - | 0.1 | 0.05 | 0.027 |
| Гастингсит | - | - | - | 1.44 | 0.32 | 0.88 | 0.45 |
| Роговая обманка | 0.68 | 4 | 1.14 | 3.19 | 9.14 | 6.17 | 3.89 |
| Антофиллит | - | - | - | - | 0.0083 | 0.0042 | 0.0023 |
| Энигматит | - | - | - | 23·10 ⁻⁵ | - | 11·10 ⁻⁵ | 6·10 ⁻⁵ |
| Рамзаит | - | - | - | 1·10 ⁻⁵ | - | 5·10 ⁻⁶ | 25·10 ⁻⁷ |
| Волластонит | - | - | - | - | 0.0015 | 0.0008 | 0.0004 |
| <i>Слоистые силикаты</i> | | | | | | | |
| Тальк | - | - | - | 0.0002 | 0.071 | 0.036 | 0.02 |
| Мусковит | 0.57 | - | 0.49 | 1.54 | 7.16 | 4.35 | 2.62 |
| Глаукоцит | 0.22 | - | 0.19 | - | - | - | 0.089 |
| Фенгит | - | - | - | - | 0.072 | 0.036 | 0.02 |
| Флогопит | - | - | - | 0.003 | 0.13 | 0.07 | 0.037 |
| Биотит | 4.07 | 2 | 3.78 | 8.91 | 6.84 | 7.87 | 5.94 |
| Лепидомелан | - | - | - | 0.019 | 0.008 | 0.013 | 0.007 |
| Гидромус-ковит | 13.67 | - | 11.77 | - | 0.047 | 0.024 | 5.52 |
| Стильпомелан | - | - | - | - | 0.22 | 0.11 | 0.06 |
| Монтморилло- нит | 2.59 | - | 2.23 | - | - | - | 1.04 |
| Нонтронит | 2.73 | - | 2.35 | - | - | - | 1.1 |
| Пеннин | - | - | - | 0.039 | 0.23 | 0.12 | 0.074 |
| Клинохлор | 0.18 | - | 0.15 | - | 0.098 | 0.049 | 0.1 |
| Ригидолит | 2.1 | 0.5 | 1.88 | 1.38 | 0.91 | 1.14 | 1.48 |
| Шамозит | 3.79 | - | 3.26 | - | - | - | 1.53 |
| Тюрингит | - | - | - | - | 0.0008 | 0.0004 | 0.0002 |
| Каолинит | 2.08 | - | 1.79 | - | - | - | 0.84 |
| Сerpентин | - | - | - | 0.015 | 0.12 | 0.068 | 0.037 |
| Гарньерит | - | - | - | - | 0.0003 | 15·10 ⁻⁵ | 8·10 ⁻⁵ |
| Гизингерит | - | - | - | - | 0.0004 | 0.0002 | 0.0001 |
| Пальгорскит | - | - | - | - | 0.0004 | 0.0002 | 0.0001 |
| <i>Каркасные силикаты</i> | | | | | | | |
| Нефелин | - | - | - | 0.011 | - | 0.005 | 0.0028 |
| Анальцит | - | 1 | 0.14 | 1·10 ⁻⁵ | - | 5·10 ⁻⁶ | 0.065 |
| Анортит | 0.0018 | - | 0.0015 | 0.013 | 0.0032 | 0.0081 | 0.0049 |
| Битовнит | 1.02 | 3.5 | 1.36 | 0.4 | 0.08 | 0.24 | 0.76 |
| Лабрадор | 1.67 | 16 | 3.66 | 1.78 | 0.4 | 1.09 | 2.28 |
| Андезин | 2.39 | 8 | 3.17 | 6.31 | 2.83 | 4.57 | 3.87 |
| Олигоклаз | 3.57 | 7.5 | 4.1 | 29.89 | 12.17 | 21.03 | 12.9 |

Окончание таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------|--------|--------|--------|---------------------|--------|---------------------|---------------------|
| Альбит | 2.56 | - | 2.2 | 1.43 | 7.91 | 4.67 | 3.6 |
| КПШ | 6.15 | 1 | 5.43 | 15.87 | 5.20 | 10.53 | 8.02 |
| Санидин | - | 8.8 | 1.22 | - | - | - | 0.57 |
| Канкринит | - | - | - | 45·10 ⁻⁶ | - | 22·10 ⁻⁶ | 11·10 ⁻⁶ |
| Содалит | - | - | - | 13·10 ⁻⁵ | - | 6·10 ⁻⁵ | 3·10 ⁻⁵ |
| Гидросодалит | - | - | - | 5·10 ⁻⁵ | - | 25·10 ⁻⁶ | 13·10 ⁻⁶ |
| Нозеан | - | - | - | 0.0005 | - | 25·10 ⁻⁵ | 13·10 ⁻⁵ |
| Гельвин | - | - | - | 5·10 ⁻⁵ | - | 25·10 ⁻⁶ | 13·10 ⁻⁶ |
| Скаполиты | - | - | - | 0.029 | 0.049 | 0.039 | 0.021 |
| Натролит | 0.38 | 0.3 | 0.37 | 0.0005 | - | 25·10 ⁻⁵ | 0.17 |
| Томсонит | - | 1.7 | 0.24 | - | 0.14 | 0.07 | 0.15 |
| Палагонит | - | 0.5 | 0.07 | - | - | - | 0.032 |
| Стекло основное | - | 2.5 | 0.35 | - | - | - | 0.16 |
| Стекло кислое | 0.001 | 13.6 | 1.89 | - | 0.56 | 0.28 | 1.04 |
| С орг. | 0.56 | - | 0.48 | - | 0.1 | 0.05 | 0.26 |
| Сумма | >99.46 | >99.76 | >99.46 | >99.76 | >99.70 | >99.7 | >99.57 |

Таблица 2

**Среднее содержание (мас. %) некоторых породообразующих (курсив)
и акцессорных минералов в группах горных пород**

| Горные породы | <i>Глау- конит</i> | Апатит | <i>Оли- вин</i> | Пи- рит | <i>Нефе- лин</i> | Турма- лин |
|---------------------------|------------------------|--------|---------------------|------------|----------------------|---------------------|
| <i>Осадочные:</i> | | | | | | |
| Песчаники, пески | 0.4 | 0.004 | - | 0.018 | - | 0.023 |
| Сланцы, глины | - | 0.0022 | - | 0.15 | - | 0.0066 |
| Карбонатные | - | 0.06 | - | 0.1 | - | - |
| Кремнистые | 5.9 | 0.005 | - | 0.005 | - | 0.018 |
| Эвапориты | - | - | - | - | - | - |
| <i>Вулканыты</i> | - | - | 1 | 0.03 | - | - |
| <i>Интрузивные:</i> | | | | | | |
| Гранитоиды | - | 0.12 | - | 0.049 | - | 0.0077 |
| Габброиды | - | 0.1 | 0.5 | 0.5 | - | 0.0055 |
| Сиениты | - | 0.3 | 0.01 | 0.002 | 11 | 0.00013 |
| Ультрабазиты | - | 0.05 | 12 | 0.1 | - | 88·10 ⁻⁷ |
| <i>Метаморфические:</i> | | | | | | |
| Метапесчаники | - | 0.29 | - | 0.044 | - | 0.0007 |
| Парасланцы | - | 0.2 | - | 0.08 | - | 0.0033 |
| Карбонатные | - | 0.05 | 1.7 | 0.007 | - | - |
| Железистые | - | 0.1 | - | 0.07 | - | - |
| Метавулканыты основные | - | 0.2 | - | 0.11 | - | 0.0037 |
| Метавулканыты кислые | - | 0.05 | - | 0.04 | - | 2·10 ⁻⁶ |
| <i>Верхняя часть коры</i> | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.003 | 0.0068 |

Таблица 3

Среднее содержание типов, классов, подклассов минералов в верхней части континентальной коры, мас. %.

| Группировки минералов | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------|-------|-------|-------|--------------------|--------|-------------------|-------|
| Самородные элементы | 0.127 | - | 0.116 | 0.0004 | 0.25 | 0.13 | 0.12 |
| Сульфиды | 0.103 | 0.052 | 0.095 | 0.091 | 0.13 | 0.11 | 0.1 |
| Галогениды | 0.934 | - | 0.803 | 0.0026 | 0.0003 | 0.0014 | 0.37 |
| Оксиды | 27.56 | 7.9 | 24.84 | 23.67 | 28.37 | 26.01 | 25.54 |
| Гидроксиды | 0.888 | - | 0.768 | 0.0005 | 0.0055 | 0.0028 | 0.36 |
| Карбонаты | 17.91 | 0.31 | 15.46 | 0.03 | 2.47 | 1.26 | 7.93 |
| Сульфаты | 0.347 | - | 0.295 | $12 \cdot 10^{-5}$ | - | $6 \cdot 10^{-5}$ | 0.14 |
| Фосфаты | 0.018 | - | 0.016 | 0.12 | 0.19 | 0.16 | 0.091 |
| Силикаты: | | | | | | | |
| Островные | 0.324 | 1.6 | 0.483 | 1.51 | 8.84 | 5.16 | 3.01 |
| Кольцевые | 0.01 | - | 0.009 | 0.0078 | 0.023 | 0.015 | 0.012 |
| Цепочечные | 0.913 | 23 | 4 | 6.69 | 14.07 | 10.39 | 7.49 |
| Слоистые | 32 | 2.5 | 27.89 | 11.91 | 15.91 | 13.89 | 20.52 |
| Каркасные | 17.74 | 47.8 | 21.89 | 55.73 | 28.78 | 42.25 | 32.41 |
| Неминеральные вещества | 0.56 | 16.6 | 2.79 | - | 0.66 | 0.33 | 1.48 |

Примечания: 1 — осадочные породы; 2 — вулканиты; 3 — осадочный слой; 4 — магматические породы; 5 — метаморфические породы; 6 — гранитно-метаморфический слой; 7 — верхняя часть коры

Таблица 4

Среднее суммарное содержание (мас. %) потенциально полезных и опасных минералов

| Группировки минералов | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------------------|-------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Традиционные источники элементов | 20 | 5.8 | 18 | 0.9 | 3.9 | 2.5 | 9.9 |
| Реакционноспособные | 19 | 6.2 | 17 | 0.03 | 2.8 | 1.5 | 8.7 |
| Экологически опасные | 1.4 | 0.05 | 1.2 | 0.094 | 0.13 | 0.11 | 0.6 |
| Наиболее опасные | $3 \cdot 10^{-7}$ | ? | $3 \cdot 10^{-7}$ | $1 \cdot 10^{-4}$ | $5 \cdot 10^{-5}$ | $7 \cdot 10^{-5}$ | $4 \cdot 10^{-5}$ |

См. примеч. к табл. 3.

джерсонит, виоларит, ваэсит, герсдорфит в метаморфических породах. Состав метаморфических пород изучен в значительной мере на примере проб из ореолов концентрации малых и редких элементов. Этим, в той или иной степени, компенсировано обычное преуменьшение содержания аксессуарных минералов, обусловленное неучетом их частиц $< 10-50$ мкм. 3. Бериллиевые минералы магматических пород, на примере которых разрабаты-

валась методика хотя бы частичного учета «невидимых» микро-частиц [2].

Обсуждение полученных данных. Около 50 % массы верхней части континентальной коры представлено кварцем, олигоклазом, кальцитом и калиевыми полевыми шпатами. Еще 30 % составляют гидромусковит, биотит, мусковит, роговая обманка, лабрадор, андезин, альбит, опал и 16.5 % — минералы, характеризующиеся средним содержанием от 0.15 до 1.53 %. Это в основном породообразующие минералы. Лишь альмандин и магнетит чаще относят к аксессуарным. Около 2.5 % массы составляют минералы, характеризующиеся средним содержанием от 0.002 до 0.13 %. Это преимущественно породообразующие и отчасти аксессуарные минералы. Различаются они характером распределения. Для породообразующих — характерна тенденция к концентрации в отдельных горных породах. У аксессуарных эта тенденция выражена слабо (табл. 2). Суммарная доля массы прочих минералов (преимущественно аксессуарных) — около 1 %.

Установленные вариации среднего содержания группировок минералов по кристаллохимическим признакам (табл. 3) в целом не противоречат существующим представлениям. Отметим, что наибольшие вариации разновидностей кристаллических структур наблюдаются в осадочных и метаморфических породах.

Суммарное среднее содержание минералов, являющихся традиционными источниками химических элементов и их соединений (самородные элементы, галогениды, гидроксиды, фосфаты, вольфраматы, силикаты редких элементов, большинство оксидов, сульфидов, карбонатов, сульфатов) значительное во всех группах горных пород (табл. 4). Но максимальное оно в осадочных породах. Осадочные же породы характеризуются максимальным содержанием минералов: реакционноспособных (сульфиды, галогениды, карбонаты, сульфаты, фосфаты, отдельные силикаты) и экологически опасных (сульфиды, галогениды, сульфаты). Суммарное содержание реакционноспособных минералов наиболее токсичных элементов (Be, Hg, As, Pb, U), по имеющимся данным, максимальное в магматических породах (табл. 4). Но это — следствие отсутствия данных о содержании «невидимых» микро-частиц подобных минералов в осадочных породах. Почти половина массы изученной части коры представлена минералами, перспективными для крупномасштабного освоения (калиевые полевые шпаты, мусковит, кальцит, кварц и другие).

Таким образом, в верхней части континентальной коры заключен огромный резерв потенциального минерального сырья. Но это среда, способная к активным и крупномасштабным хими-

ческим процессам. Последствия возрастающего стихийного воздействия на нее могут оказаться непредсказуемыми.

Литература

1. Булах А. Г. Общий минеральный состав земной коры // Записки Всероссийского минералогического общества. 1996. Ч. 125, № 4. С. 23—28.
2. Григорьев Н. А. Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург, 1999а. 302 с.
3. Григорьев Н. А. Минералогическая модель осадочного слоя континентальной коры // Уральский геологический журнал. 1999. № 5.
4. Григорьев Н. А. Среднее содержание минералов в важнейших группах магматических пород гранитно-метаморфического слоя // Уральский геологический журнал. 2000. № 1.
5. Григорьев Н. А. Средний минеральный состав важнейших групп метаморфических пород континентальной коры // Уральский геологический журнал. 2000. № 2.
6. Мейсон Б. Основы геохимии. М., Недра, 1971. 311 с.
7. Ронов А. Б., Ярошевский А. А. Химическое строение земной коры // Геохимия. 1967. № 11. С. 1285—1309.
8. Ронов А. Б., Ярошевский А. А., Мигдисов А. А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 182 с.
9. Ферсман А. Е. Геохимия. Т. 1. Л.: Госхимтехиздат, 1933. 328 с.
10. Berg G. Vorkommen und Geochemie der mineralischen Rohstoffe. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1929. 414 s.
11. Clarke F. The data of geochemistry // U.S. Geol. Surv. Bull. 1924. V. 770. P. 841.
12. Nessbitt H. W., Young G. M. Prediction some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic consideration // Geoch. Cosmoch. Acta. 1984. V. 48. P. 1523.
13. Wedepohl K. H. Geochemie. Berlin: Walter de Gruyter, 1967. 221 s.