

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Н. А. Григорьев

СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ИНДИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО МАССЫ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Среднее содержание In в горных породах (табл. 1) рассчитано вновь. Главные источники использованных данных [4, 5, 9, 10, 12, 17, 18, 21, 23, 26]. Исходные данные оставляют желать лучшего. Некоторые горные породы не изучены, остальные изучены не достаточно. При расчёте учтены все данные, известные автору, включая не вполне корректные. Так, величины среднего содержания In в горных породах, не сопровождаемые сведениями о количестве проанализированных проб, учтены в предположении, что проб было 10. Исключения – аномально большие средние содержания In в разновидностях песчаных пород

Таджикской депрессии [17]. Каждое их значение учтено как содержание In в одной пробе.

Новое значение среднего содержания In в верхней части континентальной коры – $1.7 \times 10^{-5}\%$ близкое к опубликованному автором раньше – $1.9 \times 10^{-5}\%$ [8]. Оно больше значений, опубликованных другими авторами 5×10^{-6} – $6.1 \times 10^{-6}\%$ [25], но близкое к “кларку” In в земной коре – $1.9 \times 10^{-5}\%$ по [11]. Согласно полученным данным 75.39% массы In находится в метаморфических породах. По расчёту среднее содержание In в осадочных породах – $9.4 \times 10^{-6}\%$ существенно меньше, чем должно быть в продуктах выветривания гранитно-гнейсового слоя современного состава ($1.6 \times 10^{-5}\%$). Но далеко идущие выводы преждевременны. Данные о среднем содержании In в горных породах требуют уточнения. Отметим возможные погрешности.

Таблица 1. Содержание In и распределение его массы в верхней части континентальной коры

Горные породы (в скобках количество проб)	Масса пород, %	Содержание In, $n \times 10^{-4}\%$: среднее (от – до)	Доли массы In, %
Пески и песчаники (342)	5.11	0.11 (<0.01–0.7)	3.39
Глины и глинистые сланцы (223)	10.4	0.11 (<0.01–3)	6.89
Карбонатные породы (66)	3.85	0.041 (0.009–0.72)	0.95
Кремнистые породы	0.33	0.01*	0.02*
Эвапориты (12)	0.26	0.026 (<0.01–0.2)	0.04
Кислые вулканиды (38)	0.44	0.066 (<0.01–0.64)	0.18
Средние вулканиды (7)	1.13	0.027 (<0.01–0.05)	0.18
Основные вулканиды (90)	2.11	0.091 (0.01–0.32)	1.16
Граниты (291)	8.21	0.13 (0.005–0.2)	6.43
Гранодиориты (38)	3.38	0.21 (<0.01–2)	4.28
Базиты (142)	1.5	0.086 (<0.01–0.3)	0.78
Сиениты (33)	0.05	0.13 (<0.01–1.9)	0.04
Ультрабазиты (40)	0.05	0.17 (0.003–1)	0.05
Метапесчаники (13)	2.92	0.018 (<0.01–0.05)	0.32
Парагнейсы и парасланцы (115)	30.56	0.21 (<0.01–1.8)	38.66
Метакарбонатные породы	1.13	0.04*	0.27*
Железистые породы	0.38	н. опр.	н. опр.
Гранито-гнейсы (22)	23.21	0.24 (<0.01–1.9)	33.56
Метариолиты	0.66	0.1*	0.4*
Метаандезиты (5)	1.03	0.032 (0.05–0.1)	0.2
Метабазиты (32)	3.29	0.1 (0.005–0.88)	1.98
Верхняя часть континентальной коры	100	0.17	99.78
Осадочные породы	19.95	0.094	11.29
Вулканиды осадочного слоя	3.68	0.068	1.52
Осадочный слой	23.63	0.09	12.81
Магматиты гранитно-гнейсового слоя	13.19	0.15	11.58
Параметаморфические породы	34.99	0.19	39.25
Ортометаморфические породы	28.19	0.21	36.14
Гранитно-гнейсовый слой	76.37	0.19	86.97

Примечание. * – предполагаемые значения.

Среднее содержание In вероятно преувеличено в гранодиоритах, в ультрабазитах, в гранитогнейсах, в метабазитах, и в гранитно-гнейсовом слое в целом. Среднее содержание In вероятно преуменьшено в глинистых породах, в кислых и средних вулканитах.

О МИНЕРАЛЬНОМ БАЛАНСЕ In В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Почти все представления о роли минералов в качестве носителей In в горных породах не подтверждены необходимыми расчётами. Имеется только один полноценный набор данных, позволивший удовлетворительно рассчитать минеральный баланс In в феррогаббро из Гренландии (табл. 2). Здесь 81% массы In слабо сконцентрирован в магнетите, ильмените, пироксенах (Кк соответственно: 2, 3.7, 2.2). Остальная часть массы In рассеяна в плагиоклазах и оливине (Кк 0.04 и 0.7). Некоторый интерес представляют результаты изучения распределения In в ассоциациях породообразующих минералов гранитоидов из Якутии [10]. Хотя получены они без учёта аксессуарных минералов при недостаточной чувствительности и воспроизводимости использованного метода определения содержания In. Главный минерал-концентратор In здесь биотит. Коэффициенты концентрации In: в биотите – 13–14, в мусковите – 2–2.3, в полевых шпатах – 0.4–0.8, в кварце – 0.4.

О РОЛИ СФАЛЕРИТА, КАССИТЕРИТА, ХАЛЬКОПИРИТА И ПИРИТА КАК НОСИТЕЛЕЙ ИНДИЯ

Индиевые минералы в распространённых горных породах пока не обнаружены. Опубликованы результаты определений содержания In больше чем в 100 не индиевых минералах. Главные публикации [1–3, 6, 10, 11, 13, 14, 16, 20, 22–24, 26]. Опубликованные данные оставляют желать лучшего. Анализировались минералы: породообразующие в основном из гранитов, отчасти из габбро и амфиболитов, аксессуарные – из руд и околорудных ореолов. Данных о содержании In в тех горных породах и рудах, откуда были выделены проанализированные минералы, как правило, нет. Исключений мало.

Содержание In – минимальное для максиминералов – 0.03% [7]. Средним содержанием In, $\geq 0.03\%$, характеризуется станин [11]. Но данных о содержании станина в распространённых горных породах пока нет. Среди наиболее распространённых аксессуарных минералов наибольшим содержанием In характеризуются сфалерит, халькопирит, галенит, касситерит и пирит. Пока есть основания считать эти минералы In-богатыми. Почти все проанализиро-

Таблица 2. Минеральный баланс In в гортонолитовом феррогаббро (проба 5181) из Скаергаардского массива в Восточной Гренландии по [26]

Минералы	1	2	3
Магнетит	4.5	0.16 кк 2	9
Ильменит	5.5	0.29 кк 3.7	20
Оливин	13	0.056 кк 0.7	9
Пироксены	23	18 кк 2.2	52
Плагиоклаз	54	0.0032 кк 0.04	2
В породе	100	0.079	92

Примечание. 1 – содержание минералов, %; 2 – содержание In, $\times 10^{-4}\%$; 3 – доли массы In, сосредоточенные в минералах и их сумма, %.

ванные образцы этих минералов выделены из различных руд и околорудных горных пород. Результаты их анализов использованы при характеристике распределения In в распространённых горных породах лишь за неимением более корректных данных. Содержание In в % по [12]: сфалерит – н. обн. – 1.49, среднее – 0.0049; касситерит – 5×10^{-5} –0.05, среднее – 0.0024; халькопирит – 4×10^{-6} –0.15 среднее – 0.0012; галенит – н. обн. – 0.0034, среднее – 0.0004; Пирит – 4×10^{-5} –0.0035, среднее – 0.0002. Отметим, что среднее содержание In в сфалерите определено без учёта некоторых относительно редких разновидностей: In-сфалерита и In-Cd-сфалерита с содержанием In 1.5–15.43%. [22, 24]. Среднее содержание минералов в верхней части континентальной коры (%): сфалерит – 4.6×10^{-5} , касситерит – 3×10^{-6} , халькопирит – 1.1×10^{-4} , галенит – 1.9×10^{-5} , пирит – 0.063. Расчёт по этим данным показал что, в отмеченных минералах сконцентрировано 0.7616% всей массы In. В том числе, в %: в сфалерите – 0.013, касситерите – 0.0004, в халькопирите – 0.0078, в галените – 0.0004, в пирите – 0.74.

Среднее содержание In в сфалерите, касситерите, халькопирите, галените и пирите из обычных горных пород вероятно меньше, чем в изученных разновидностях. Поэтому доли массы In, сконцентрированные в этих минералах возможно меньше вычисленных. Новые исследования, вероятно, существенно изменят представления о геохимии In.

ВЫВОДЫ

Распределение In в верхней части континентальной коры определено по модели А.Б. Ронова с соавторами [19]. Согласно имеющимся данным среднее содержание In в верхней части континентальной коры – $1.7 \times 10^{-5}\%$. Содержание In в In-богатых минералах $\geq 0.0002\%$. В In-богатых минералах сконцентрировано $\leq 0.7616\%$ всей массы In. В том числе, в %: в пирите – ≤ 0.74 , в сфалерите – ≤ 0.013 , в халькопирите – ≤ 0.0078 , в галените – ≤ 0.0004 , касситерите – ≤ 0.0004 . Все приведённые величины нуждаются в уточнениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аренс Л.Х., Линдберг У.Р.* Олово и индий в слюдах, по данным спектрохимических определений. Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах. М.: Изд-во ИЛ, 1952. С. 78–84.
2. *Бадалов С.Т.* О геохимической связи индия с серебром в цинково-серебряно-свинцовых месторождениях // *Геохимия*. 1961. № 10. С. 907–910.
3. *Бадалов С.Т., Рабинович А.В.* К геохимии индия и таллия в Кармазарском рудном районе (УзССР и ТаджССР) // *Геохимия*. 1966. № 11. С. 1368–1372.
4. *Бойко Т.Ф.* Редкие элементы в галогенных формациях. М.: Наука, 1973. 183 с.
5. *Волкова Н.И., Мельниченко А.К., Гофен Г.И. и др.* Геохимические особенности метапелитов ФАН-Каратегинского зеленосланцевого пояса // *Геохимия*. 1994. № 5. С. 671–680.
6. *Геологический справочник по сидерофильным и халькофильным редким металлам / В.В. Иванов, О.Е. Юшко-Захарова, Л.Ф. Борисенко, Л.Н. Овчинников.* М.: Недра, 1989. 462 с.
7. *Григорьев Н.А.* Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 302 с.
8. *Григорьев Н.А.* Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. 382 с.
9. *Ефимов А.А., Попов В.С., Кременецкий А.А., Беляцкий Б.В.* Блоки доордовикских пород в структуре платиноносного пояса Урала: Sm-Nd изотопный возраст дунит-клинопироксенит-тылаитового комплекса массива Денежкин Камень // *Литосфера*. 2010. № 2. С. 35–46.
10. *Иванов В.В.* Индий в некоторых изверженных породах СССР // *Геохимия*. 1963. № 12. С. 1101–1110.
11. *Иванов В.В.* Индий // *Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов*. М.: Наука, 1964. С. 465–496.
12. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов. Книга 3. М.: Недра, 1996. 353 с.
13. *Коваленкер В.А., Лапутина И.П., Знаменский В.С., Зотов И.А.* Индиевая минерализация Большой Курильской островной дуги // *Геол. рудн. месторожд.* 1993. Т. 35, № 6. С. 547–552.
14. *Ляхович В.В., Ляхович Т.Т.* Новые данные о составе аксессуарных минералов // *Геохимия*. 1983. № 11. С. 339–349.
15. *Марченко Е.Я., Щербаков В.П.* К вопросу о распределении галлия в гранитоидах Приазовья // *Геохимия*. 1966. № 11. С. 1373–1376.
16. *Нечелюстов Н.В., Попова Н.Н., Минцер Э.Ф.* Распределение элементов-примесей в процессе гипогенного минералообразования в свинцово-цинковых и медно-молибденовых месторождениях Кармазара // *Тр. Института Минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов АН СССР*. Вып. 5. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 3–42.
17. *Пачаджанов Д.Н., Адамчук И.П.* Элементы-индикаторы осадочного процесса // *Геохимия платформенных и геосинклинальных осадочных пород и руд*. М.: Наука, 1983. С. 189–203.
18. *Прямоносов А.П., Степанов А.Е., Бороздина Е.Н.* Стратотип Устьконгорской свиты Войкарской СФЗ (Восточный склон Полярного Урала) // *Уральский геологический журнал*. 2010. № 3 (75). С. 11–14.
19. *Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А.* Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука. 1990. 182 с.
20. *Шоу Д.М.* Геохимия индия // *Геохимия редких элементов*. М.: Изд-во ИЛ, 1959. С. 265–305.
21. *Broors R.R., Ahrens L.H.* The Determination of indium and thallium in G-1, W-1 and other silicate rocks by a new technique // *Geoch. et Cosmoch. Acta*. 1961. V. 23, № 1/2. P. 145–147.
22. *Cook N.J., Ciobanu C.L., Pring A., et al.* Trace and minor elements in sphalerite: A LA-ICPMS study // *Geoch. et Cosmoch. Acta*. 2009. V. 73, № 16. P. 4761–4791.
23. *Handbook of Geochemistry II-3 / K.H. Wedepohl, C.W. Correns, D.M. Shaw, K.K. Turekian, J. Zemann* Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1972.
24. *Kieft K., Damman A.N.* Indium-bearing chalcopyrite and sphalerite from the Gasborn area, West Bergslagen, central Sweden // *Mineralogical Magazine*. 1990. V. 54, Part 1, № 374. P. 109–112.
25. *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the Continental Crust. University of Maryland, College Park, MD, USA. 2002. 64 с.
26. *Wager L.R., Smit J., van R. Irving H.* Indium content of rocks and minerals from the Skaergaard intrusion, East Greenland // *Geoch. et Cosmoch. Acta*. 1958. V. 13. P. 81–86.