

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РТУТИ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

© 2013 г. **Н. А. Григорьев**

Настоящая работа – уточнение и дополнение данных главы 10 монографии [16], в которой опубликованы результаты расчетов, выполненных в 2006 году по модели А.Б. Ронова с коллегами [43]. Здесь учтены данные, опубликованные после 2006 г. и другие, не учтенные раньше.

### СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ Hg В ВАЖНЕЙШИХ ГРУППАХ ГОРНЫХ ПОРОД И В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Главные источники данных: осадочные породы [2, 3, 13, 14, 24, 31, 34, 35, 44–46]; вулканогенные породы осадочного слоя [4, 6–8, 18, 23, 25, 38, 40, 45–47, 51,]; магматические породы гранитно-гнейсового слоя [1, 2, 4, 7, 8, 15, 18, 22, 27, 35, 39, 40, 45, 51], метаморфические породы [8, 12, 18, 21, 34, 42, 45, 52]. Сводные пробы, составленные из образцов щелочных пород Хибинского массива [2], учтены как обычные пробы. Содержания Hg в стандартах США: андезита, толеитового базальта, гранита, гранодиорита, перидотита, дунита [51], а также средние содержания в различных горных породах, опубликованные без указания количества проанализированных проб, условно учтены как средние из 10 анализов. Не достаточно охарактеризованные донные отложения [24] учтены как глинистые. Не учтены результаты анализов: горных пород из месторождений полезных ископаемых, рудопроявлений, литогеохимических ореолов [9, 10, 19, 20, 30, 32], а также из массивов щелочных вулканитов [26].

Ученные при расчетах значения содержания Hg в важнейших горных породах сильно варьируют. Например, в глинах, глинистых сланцах и филлитах – от  $<1 \cdot 10^{-7}\%$  до  $1.2 \cdot 10^{-4}\%$ . Широко варьируют средние содержания Hg в одних и тех же горных породах, но из разных толщ. Например, в глинах, глинистых сланцах и филлитах – от  $2 \cdot 10^{-6}\%$  до  $1.9 \cdot 10^{-5}\%$ . Количество изученных объектов и проанализированных проб пока остается не достаточным для корректного учета таких вариаций. Этим очевидно и объясняется то, что публиковавшиеся в 1967–2004 годах значения среднего содержания Hg в верхней части континентальной коры варьировали от  $1.23 \cdot 10^{-6}\%$  до  $9.6 \cdot 10^{-6}\%$  [54]. Величины, полученные автором –  $6.5 \cdot 10^{-6}\%$  [16],  $6.4 \cdot 10^{-6}\%$  – новая величина, не выходят за пределы этих вари-

ций. Данные, характеризующие распределение Hg в верхней части континентальной коры и в слагающих ее горных породах нуждаются в дальнейших уточнениях. Наиболее вероятны следующие погрешности новых величин средних содержаний Hg в горных породах: преуменьшение в гранитах и в гранодиоритах, преувеличение в кислых и средних вулканитах, а также в сиенитах.

Среднее содержание Hg в осадочных породах в 1.2 раза больше того, которое могло быть заимствовано при выветривании гранитно-гнейсового слоя современного состава (расчет изоалюминиевым методом). Однако далеко идущие выводы преждевременны.

### О МИНЕРАЛЬНОМ БАЛАНСЕ Hg В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Данных о вариациях минеральных балансов Hg в широко распространенных горных породах пока нет. Результаты изучения метасоматитов уральских рудных месторождений (табл. 2, 3) свидетельствуют о том, что в верхней части континентальной коры почти вся масса Hg находится в породообразующих минералах. В продуктах дробления минералов иногда наблюдается обратная зависимость среднего содержания Hg от крупности частиц. Пример – продукты разделения минералов из скарна (проба НП-8803). Содержание Hg ( $n \cdot 10^{-5}\%$ ) во фракциях крупностью: 0.2–0.5; 0.1–0.2; 0.03–0.1 мм соответственно: в андрадите – 2.9, 4.1, 6.9, в эпидоте – 2.3, 2.5, 5.9. Очевидно, что в изученных минералах заметная часть массы Hg находилась на поверхностях микротрещинок в ближе не определенных формах (фаза-X).

### РОЛЬ МАКСИМИНЕРАЛОВ И СФАЛЕРИТА КАК НОСИТЕЛЕЙ Hg В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Граничное для максиминералов содержание Hg – 0.07% [16]. Опубликованы результаты определений содержания Hg больше чем в 100 минералах и органических веществах. Главные публикации. [2, 3, 5, 11, 17, 29, 33, 35–37, 41, 49, 50, 53]. Анализировали минералы: породообразующие – преимущественно из обычных горных пород, акцессорные – из месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых. К максиминералам отно-

**Таблица 1.** Распределение масс Hg в совокупности горных пород верхней части континентальной коры

Горные породы (в скобках количество учтенных проб)	Масса пород, %	Содержание Hg, $n \cdot 10^{-4}$ %: среднее и (от – до)	Доли массы Hg, %
Пески и песчаники (494)	5.11	0.043 (<0.001–0.2)	3.43
Глины и глинистые сланцы (986)	10.4	0.086 (<0.001–1.2)	13.98
Карбонатные породы (668)	3.85	0.035 (<0.001–0.2)	2.11
Кремнистые породы	0.33	0.04*	0.21*
Эвапориты (93)	0.26	0.051(0.01–0.24)	0.21
Кислые вулканыты (173)	0.44	0.12(0.004–0.6)	0.83
Средние вулканыты (974)	1.13	0.12 (<0.001–0.41)	2.12
Основные вулканыты (591)	2.11	0.086 (0.003–3.6)	2.84
Граниты (691)	8.21	0.04 (0.007–2.82)	5.13
Гранодиориты (851)	3.38	0.044 (0.005–3.3)	2.32
Базиты (420)	1.5	0.065(0.009–0.41)	1.52
Сиениты (515)	0.05	0.12 (0.01–8)	0.09
Ультрабазиты (142)	0.05	0.021 (<0.001–0.08)	0.02
Метапесчаники (33)	2.92	0.037 (0.009–0.07)	1.69
Парагнейсы и парасланцы (332)	30.56	0.051 (0.005–0.15)	24.35
Метакарбонатные породы (7)	1.13	0.02 (0.01–0.04)	0.35
Железистые породы (44)	0.38	0.065 (0.01–0.13)	0.39
Гранито-гнейсы (469)	23.21	0.091 (0.02–>0.3)	33
Метариолиты	0.66	0.05*	0.52*
Метаандезиты	1.03	0.05*	0.81
Метабазиты (308)	3.29	0.076 (0.01–>0.15)	3.91
Верхняя часть континентальной коры	100	0.064	99.83
Осадочные породы	19.95	0.064	19.94
Вулканыты осадочного слоя	3.68	0.1	5.79
Осадочный слой	23.63	0.069	25.73
Магматы гранитно-гнейсового слоя	13.19	0.044	9.09
Параметаморфические породы	34.99	0.049	26.78
Ортометаморфические породы	28.19	0.087	38.23
Гранитно-гнейсовый слой	76.37	0.062	74.1

Примечание. \* – предполагаемые величины.

**Таблица 2.** Минеральный баланс Hg в метасоматитах Светлинского золоторудного месторождения [17]

Минералы	535A			535			571		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Халькопирит	Н. обн.	Н. опр.	Н. опр.	0.1	400	2	Н. обн.	Н. опр.	Н. опр.
Пирротин	1.2	22	2	2.3	350	45	Н. обн.	Н. опр.	Н. опр.
Пирит	11	10	6	Н. обн.	Н. опр.	Н. опр.	10	25	18
Кварц	Н. обн.	Н. опр.	Н. опр.	7	10	4	7	10	4
Кальцит	16	10	9	3	33	5	5	50	13
Биотит	32	13	24	Н. обн.	Н. опр.	Н. опр.	63	19	63
Хлорит	8	7	3	5	Н. обн.	0	5	40	10
Амфибол	5	35	10	61	7	24	10	3	2
Плагиоклаз	26	25	38	32	14	17	Н. обн.	Н. опр.	Н. опр.
В пробе	99.2	17	92	100.4	18	97	100	19	110

Примечание. Здесь и в табл. 2: 1 – минеральный состав, мас. %; 2 – содержание Hg,  $n \cdot 10^{-6}$  %; 3 – доли масс Hg, находящиеся в минералах и в руде, %. Н. обн. – компонент не обнаружен. Н. опр. – не определяли.

сятся: киноварь, метациннабарит, блеклые руды и реальгар. Среднее содержание их в верхней части континентальной коры соответственно:  $5.9 \cdot 10^{-8}$ ,  $7.6 \cdot 10^{-10}$ ,  $9.6 \cdot 10^{-8}$ ,  $2.8 \cdot 10^{-80}$  [16]. При расчетах величины среднего содержания Hg в киновари и реальгаре приняты прежние: 83.4 и 0.16% соответственно. Новые значения среднего содержания Hg в бле-

клых рудах – 0.1% и в метациннабарите – 68.74% рассчитаны вновь с учетом следующих данных: в блеклых рудах [28, 29, 32, 48, 49, 53], в метациннабарите [11]. Из прочих минералов-концентраторов наибольший интерес представляет сфалерит. Учтено 55 анализов этого минерала [29, 32, 45]. Содержание Hg  $<1 \cdot 10^{-5}$ –0.23%, среднее – 0.03%. Данные

**Таблица 3.** Минеральный баланс Hg в андрадитовых скарнах железорудных месторождений Урала [16, 17]

Минералы	НП-8803			В-8606			В-8607		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Фаза-Х	Н. опр.	Н. опр.	15	Н. опр.	Н. опр.	7	Н. опр.	Н. опр.	6
Халькопирит	Н. обн.	Н. опр.	Н. опр.	0.015	Н. опр.	Н. опр.	0.46	200	4
Пирит	6	3.3	5	0.12	1000	6	0.44	Н. опр.	Н. опр.
Магнетит	0.02	70	0	0.08	1300	5	0.1	Н. опр.	Н. опр.
Кварц	38	3	28	Н. обн.	Н. опр.	Н. опр.	Н. обн.	Н. опр.	Н. опр.
Кальцит	19	2.5	12	4	48	9	15	11	4
Андрадит	10	4,9	12	92	18	79	77	45	85
Эпидот	24	2.8	16	0.9	Н. опр.	Н. опр.	Н. обн.	Н. опр.	Н. опр.
Хлорит	2.3	13	7	2.4	Н. опр.	Н. опр.	7	14	2
В пробе	99.32	4.1	95	99.215	21	106	100	41	101

о Hg-сфалеритах с содержанием Hg – 0.54–18.38% [11] здесь не учтены. В верхней части континентальной коры суммарная доля массы Hg, сконцентрированная во всех в отмеченных минералах – 1%. В том числе, в %: в киновари – 0.77, в метациннабарите – 0.008, в блеклых рудах – 0.001, реальгаре – 0.001, сфалерите – 0.22. Имеющиеся данные о минералах-концентраторах дают лишь первое представление о вероятной их роли как носителей Hg.

### ВЫВОДЫ

Среднее содержание Hg в верхней части континентальной коры –  $6.4 \cdot 10^{-6}$  Hg%. Среднее содержание Hg в вулканогенных породах –  $1 \cdot 10^{-5}$ %. В вулканогенных породах сконцентрировано 5.78% массы Hg. Больше половины массы Hg (65.01%) находится в метаморфических породах. Среднее содержание Hg в важнейших минералах-концентраторах в %: киновари – 83.4, метациннабарите – 68.74, блеклых рудах – 0.1, реальгаре – 0.16, сфалерите – 0.03. В верхней части континентальной коры в этих минералах сконцентрирован 1% всей массы Hg: в киновари – 0.77, в метациннабарите – 0.008, в блеклых рудах – 0.001, в реальгаре – 0.001, в сфалерите – 0.22% Hg. Все приведенные данные нуждаются в уточнении.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдиньян Н.Х., Могаровский В.В., Мельниченко А.К. К геохимии ртути в гранитоидах Гиссарского Плутона (Центральный Таджикистан) // Геохимия. 1969. № 2. С. 221–224.
2. Айдиньян Н.Х., Шилин Л.Л., Белавская Г.А. О распределении ртути в породах и минералах Хибинского массива // Вопросы геохимии – 5. Труды ИГЕМ АН СССР. Вып. 99. М.: Наука, 1963. С. 16–25.
3. Астахов А.С., Колесов Г.М., Дударев О.В. и др. Благородные металлы в донных осадках Чукотского моря // Геохимия. 2010. № 12. С. 1289–1301.
4. Афанасьев Г.Д., Айдиньян Н. Х. Предварительные данные о распространении ртути в горных породах Северного Кавказа // Известия Академии наук СССР. Серия геологическая. 1961. № 7. С. 101–104.

5. Аюпова Н.Р., Сафина Н.П., Масленников В.В. и др. Элементы-примеси в пирите из вулканитов Фестивального участка Александринского колчеданосного района (Южный Урал) // Уральский минералогический сборник. № 15. Миасс–Екатеринбург: ИМин УрО РАН, 2008. С. 90–99.
6. Батурич Г.Н., Зайцева Л.В., Маневич Т.М. Геохимия вулканических пеплов исландского и камчатских вулканов // Докл. АН. 2012. Т. 443, № 3. С. 342–346.
7. Борсук А. М. Петрология мезозойских магматических комплексов западного окончания Главного Кавказского Хребта // Тр. ИГЕМ АН СССР. Вып. 86. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
8. Борсук А.М., Церцвадзе З.Я. Ртуть и мышьяк в мезокайнозойских магматических породах Большого Кавказа // Вопросы магматической геологии. М.: Наука, 1969. С. 114–130.
9. Булкин Г. А. К геохимии ртути в Горном Крыму // Геохимия. 1962. № 12. С. 1079–1088.
10. Бутурлинов Н. В., Корчмагин В.А. Ртуть в магматических породах Донецкого Бассейна // Геохимия. 1968. № 5. С. 640–644.
11. Васильев В.И. Новые данные о составе метациннабарита и ртутистого сфалерита с изоморфной примесью кадмия // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 7. С. 896–905.
12. Волкова Н.И., Мельниченко А.К., Гофен Г.И. и др. Геохимические особенности метапелитов ФАН-Каратегинского зеленосланцевого пояса // Геохимия. 1994. № 5. С. 671–680.
13. Гелетий В.Ф., Калмычков Г.В., Пархоменко И.Ю. Ртуть в осадочной толще озера Байкал // Геохимия. 2007. № 2. С. 199–207.
14. Глухан И.В., Серых В.И. Кларки песчаных пород Центрального Казахстана // Геохимия. 1999. № 9. С. 976–993.
15. Головня С.В., Волобуев М.Н. Распределение ртути в гранитоидах Енисейского края // Геохимия. 1970. № 2. С. 256–261.
16. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. 382 с.
17. Григорьев Н.А. Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 302 с.
18. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Книга 5. М.: Недра, 1997. 576 с.
19. Карасик М.А., Гончаров Ю.И. Ртуть в нижнепермских отложениях Донецкого бассейна // Докл. АН.

- СССР. 1963. Т. 150. № 4. С. 898–901.
20. *Каишай М.А., Насибов Т.Н.* Ртутоносность Севано-Акеринской металлогенической зоны Малого Кавказа // Геология рудных месторождений. 1965. № 6. С. 87–90.
  21. *Кременецкий А.А., Липидус А.В., Скрябин В.Ю.* Геолого-геохимические методы глубинного прогноза полезных ископаемых. М: Наука, 1990. 223 с.
  22. *Кременецкий А.А., Овчинников Л.Н.* Геохимия глубинных пород. М.: Наука, 1986. 262 с.
  23. *Леонова Л.Л.* Геохимия четвертичных и современных вулканических пород Курильских островов и Камчатки // Геохимия. 1979. № 2. С. 179–197.
  24. *Леонова Г.А., Аношин Г.Н., Бычинский Б.А.* Биохимические проблемы антропогенной химической трансформации водных экосистем // Геохимия. 2005. № 2. С. 182–196.
  25. *Леонова Л.Л., Кирсанов И.И.* Геохимия базальтов Ключевского вулкана (Камчатка) // Геохимия. 1974. № 6. С. 875–884.
  26. *Леонова Л.Л., Флеров Г.Б.* Геохимия щелочных пород Центральной Камчатки // Геохимия. 1977. № 1. С. 82–93.
  27. *Лутков В.С.* Южно-Тяньшаньская геохимическая провинция (Таджикистан) // Докл. АН СССР. 1987. Т. 294, № 6. С. 1461–1466.
  28. *Мозгова Н.Н., Цепин А.И.* Блеклые руды. М.: Недра, 1983. 280 с.
  29. *Молошаг В.П., Грабежнев А.И., Викентьев И.В., Гуляева Т.Я.* Фацции рудообразования колчеданных месторождений и сульфидных руд медно-золото-порфириновых месторождений Урала // Литосфера. 2004. № 2. С. 30–51.
  30. *Никифоров Н.А., Айдиньян Н.Х., Кусевич В.И.* О содержании ртути в палеозойских осадочных породах Ферганы // Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов. М.: Наука, 1966. С. 294–303.
  31. *Овчинников Л.Н.* Прикладная геохимия. М. Недра, 1990. 248 с.
  32. *Озерова Н.А.* Первичные ореолы рассеяния ртути // Вопросы геохимии – 4. Труды ИГЕМ АН СССР. Вып. 72. М.: Наука, 1962. 135 с.
  33. *Озерова Н.А.* Ртуть и эндогенное рудообразование. М.: Наука, 1986, 232 с.
  34. *Озерова Н.А., Айдиньян Н.Х.* Распределение ртути в осадочных породах // Литология и полезные ископаемые. 1966. № 3. С. 49–57.
  35. *Озерова Н.А., Айдиньян Н.Х.* Ртуть в осадочном процессе. Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов. М.: Наука, 1966. С. 211–237.
  36. *Озерова Н.А., Бородаев Ю.С., Кирсанова Т.П. и др.* Ртутьсодержащий пирит из Двухюрточных термальных источников на Камчатке // Геология рудных месторождений. 1970. № 1. С. 73–78.
  37. *Озерова Н.А., Лапутина И.П., Айдиньян Н.Х.* О неоднородности распределения ртути в биотитах гранитоидов Курамирского Хребта // Вопросы однородности и неоднородности минералов. М: Наука, 1971. С. 188–191.
  38. *Озерова Н.А., Унанова О.Г.* О распределении ртути в лавах действующих вулканов Камчатки и Курильских островов // Геология рудных месторождений. 1965. № 1. С. 58–74.
  39. *Петрова З.И., Макрыгина В.А.* Геохимия гранатбиотитовых и биотитовых плагиогнейсов Приольхонья и о-ва Ольхон (Западное Прибайкалье) // Геохимия. 1994. № 5. С. 659–670.
  40. Петрография Таджикистана. Т.1 / Бабаходжаев С.М., Баратов Р.Б., Нездвецкий А.П., и др. Душанбе: Дониш, 1986. 283 с.
  41. *Попов М.П., Ерохин Ю.В.* Типоморфные особенности флюорита Мариинского месторождения бериллия (Уральские Изумрудные Копи) // Литосфера. 2010. № 4. С. 157–162.
  42. *Прямоносков 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.
  43. *Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А.* Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 182 с.
  44. *Сауков А.А.* Геохимические очерки. М.: Наука, 1976. 556 с.
  45. *Сауков А.А., Айдиньян Н.Х., Озерова Н.А.* Очерки геохимии ртути. М.: Наука. 1972. 336 с.
  46. *Сауков А.А., Озерова Н.А.* Ртуть // Металлы в осадочных толщах. Тяжелые цветные металлы. Малые и редкие металлы. М.: Наука, 1965. С. 208–231.
  47. *Трухин Ю.П., Степаов И.И., Шувалов Р.А.* Ртуть в современном гидротермальном процессе. М.: Наука, 1986. 200 с.
  48. *Федорчук В.П.* О некоторых закономерностях формирования ореола прямых рудных индикаторов вокруг ртутных залежей // Геохимия. 1961. № 10. С. 911–919.
  49. *Цепин А.И., Мозгова Н.Н., Пиеничный Г.Н.* Особенности химического состава блеклых руд Южноуральских месторождений колчеданной формации // Состав и структура минералов как показатели их генезиса. М.: Наука, 1978. С. 171–186.
  50. *Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 655 с.
  51. *Ehmann B.D., Lovering J.F.* A abundance of Mercury in Meteorites and Rocks by neutron activation Analysis // Geoch. et Cosmoch. Acta. 1967. V. 31, № 3. P. 357–376.
  52. *Gao S., Luo T.-C., Zhang B.-R. et al.* Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in east China // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1998. V. 62. № 11. P. 1959–1975.
  53. *Patrick R.A.D.* Sulphide mineralogy of the Tomnashan copper deposit and the Corrie lead veins, south Loch Tayside, Scotland // Mineralogical Magazine. 1984. V. 48. P. 85–91.
  54. *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the Continental Crust. University of Maryland, College Park, MD, USA, 2004. 64 с.