

УДК 550.4:546.19

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЫШЬЯКА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

© 2012 г. Н. А. Григорьев

Институт геологии и геохимии Уральского Отделения РАН
620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7
E-mail: root@igg.E-burg.Su

Поступила в редакцию 17.01.2011 г.

Распределение As в верхней части континентальной коры определено по модели А.Б. Ронова, и др. Среднее содержание As в верхней части континентальной коры – $9.74 \cdot 10^{-4}\%$. Среднее содержание As в осадочных породах – $9.27 \cdot 10^{-4}\%$ и в параметаморфических – $17.79 \cdot 10^{-4}\%$. В осадочных и параметаморфических породах находится – 82.88% массы As. В мышьяковых минералах сконцентрировано 0.93% массы As. В том числе, в арсенопирите – 0.41, в никелине – 0.29, в герсдорфите – 0.14, в аурипигменте – 0.05, в кобальтине – 0.04. В пирите сконцентрировано 0.49% массы As.

Ключевые слова: мышьяк, содержание, массы, распределение, горные породы, минералы верхняя часть континентальной коры.

Настоящая работа – детализация и уточнение данных главы 6 монографии “Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры” [9].

СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАСС As В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Раньше [9] средние содержания As в магматических породах гранитно-гнейсового слоя были приняты по [22], в остальных горных породах – определены приблизительно по результатам единичных или многочисленных анализов, опубликованных до 2000 г. Здесь (табл. 1) приведены результаты нового расчета. Главные источники использованных данных: осадочные породы – [6, 7, 12, 19, 24, 33, 35, 37, 38], вулканогенные породы осадочного слоя – [17, 20, 23, 25, 40], магматические породы гранитно-гнейсового слоя – [3, 11, 12, 17, 23, 25, 33], метаморфические породы – [4, 5, 13, 18, 21, 23, 27, 40]. При расчетах, как правило, не учитывались результаты анализов горных пород из месторождений и проявлений полезных ископаемых, а также из связанных с ними ореолов. В частности, не учтены: глинистые и песчаные породы из месторождений каменных и бурых углей, том числе глинистый сланец из Львовско-Волынского угольного бассейна (0.1% As) [29], гранит из Стеркуотер (0.26% As), [23], породы черносланцевой толщи Мурнтауской глубокой скважины СГ-10 (0.0004–0.18% As) [15], метабазаит Устьконгорской свиты (0.0102% As) [27]. Не учтены также метаяшмы, углеродистые метапелиты [4] и некоторые другие второстепенные горные породы, отсутствующие в модели [28]. Данные о среднем содержании As в горных породах, не

сопровожаемые сведениями о количестве проанализированных проб, учтены преимущественно как результаты анализов отдельных проб. Исключения – данные о терригенных породах Западно-Сибирской плиты [6], о песчаных породах и известняках Таджикской депрессии [24], о некоторых карбонатных и магматических породах [12]. Они учтены как средние из десяти анализов.

Согласно полученным данным, содержание As максимально в глинистых и песчаных породах и, особенно, в продуктах их метаморфизма. Среднее содержание As в осадочных породах – $9.27 \cdot 10^{-4}\%$. Оно больше, чем $8.58 \cdot 10^{-4}\%$, соответствующего продуктам выветривания гранитно-гнейсового слоя современного состава (расчет изоалюминиевым методом). Но эти данные требуют уточнения. В осадочных и параметаморфических породах находится 82.88% массы As, имеющейся в верхней части континентальной коры.

О МИНЕРАЛЬНОМ БАЛАНСЕ As В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Полноценных данных, позволяющих делать вполне корректные заключения о минеральном балансе As в широко распространенных горных породах, нет. Изучены три пробы гранитоидов из Стэрнс [23]. Точность количественных анализов не соответствовала поставленной задаче. Однако результаты изучения двух проб дают первое представление о породообразующих минералах (прежде всего о полевых шпатах) как главных носителях As в граните и монзоните (табл. 2). Акцессорные минералы не анализировали. Проанализированы главные породообразующие минералы и концентраты тяже-

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

Горные породы (в скобках количество проб)	Масса пород, %	Содержание As, n·10 ⁻⁴ ‰: среднее (от - до)	Доли массы As, %
Пески и песчаники (442)	5.11	10 (0.28–251)	5.25
Глины и глинистые сланцы (260)	10.4	12 (0.5–385)	12.81
Карбонатные породы (117)	3.85	2.2 (0.5–14.7)	0.87
Кремнистые породы (2)	0.33	1.5 (1–2)	0.05
Эвапориты	0.26	4*	0.11
Кислые вулканиды (26)	0.44	6.1 (0.7–24)	0.28
Средние вулканиды (41)	1.13	3.1 (0.1–14.3)	0.36
Основные вулканиды (88)	2.11	10 (0.1–113)	2.17
Граниты (546)	8.21	5.8 (0.4–50.4)	4.89
Гранодиориты (105)	3.38	4.9 (0.5–13.4)	1.7
Базиты (49)	1.5	1.7 (0.079–3.6)	0.26
Сиениты (18)	0.05	1.9 (0.5–6.2)	0.01
Ультрабазиты (82)	0.05	4.5 (0.3–16)	0.02
Метапесчаники (144)	2.92	12 (0.4–21)	3.6
Парагнейсы и парасланцы (301)	30.56	19 (0.5–78)	59.61
Метакарбонатные породы	1.13	2.5*	0.29
Железистые породы (2)	0.38	7.5 (3.3–11.6)	0.29
Гранито-гнейсы (20)	23.21	1.2 (0.5–4.5)	2.86
Метариолиты (7)	0.66	5	0.34
Метаандезиты (37)	1.03	4.7	0.5
Метабазиты (217)	3.29	11 (1–94.5)	3.72
Верхняя часть континентальной коры	100	9.74	99.99
Осадочные породы	19.95	9.27	19.09
Вулканиды осадочного слоя	3.68	7.44	2.81
Осадочный слой	23.63	9.01	21.9
Магматиты гранитно-гнейсового слоя	13.19	5.06	6.88
Параметаморфические породы	34.99	17.79	63.79
Ортометаморфические породы	28.19	2.56	7.42
Гранитно-гнейсовый слой	76.37	9.97	78.09

Примечание. * – предполагаемые значения.

лых акцессорных минералов из трех проб песчаных пород Тюрингского бассейна в Германии [36]. В исходных песчаных породах содержание As не определяли. Приблизительный расчет выполнен в предположении об отсутствии погрешностей определения содержания минералов в песчаных породах и содержания As в минералах. Результаты (табл. 3) в целом подтверждают представление о пороодообразующих минералах, как главных носителях As. По расчету, здесь главные концентраторы As – акцессорные минералы тяжелых фракций. Но в них сконцентрировано всего 0.7–1.6% масс As. Роль иллита как концентратора (Кк 2–25) и носителя As варьирует. Данные о значительной роли кварца в качестве носителя – As требует подтверждения.

Некоторое представление о вероятном минеральном балансе As в участках горных пород с повышенным его содержанием дают результаты изучения метасоматитов Fe-Cu-скарновых месторождений. Содержание As в них 0.0034–0.065%. В двух пробах из трех установлены микровключения кобальтина, а в одной – As-пирит. Причем в одной пробе в этих концентраторах находится почти половина массы As. Это подтверждает некоторые литературные данные

о наличии мышьяковых минералов в горных породах, содержащих $\geq 0.002\%$ As [10].

МЫШЬЯКОВЫЕ МИНЕРАЛЫ КАК НОСИТЕЛИ As

По имеющимся данным, роль мышьяковых минералов как носителей As наиболее значительна в гранитно-гнейсовом слое (табл. 4). В осадочном же слое роль их минимальная. Обеспечена она в основном вулканогенными породами (табл. 5). Данных о содержании мышьяковых минералов в осадочных породах почти нет. В песчаниках установлен арсенопирит. Здесь в нем сконцентрировано всего 0.01% массы As. Роль мышьяковых минералов максимальная в гранитах и гранодиоритах (табл. 6). Среди изученных метаморфических пород наибольшей ролью мышьяковых минералов характеризуются гранито-гнейсы (табл. 7).

ПИРИТ КАК КОНЦЕНТРАТОР И НОСИТЕЛЬ As

Опубликованы результаты определений содержания As больше чем в 100 неммышьяковых минера-

Таблица 2. Минеральный баланс As в гранитоидах из Стэрнс, Миннесота [23]

Минералы	Роговообманковый гранит			Кварцевый монцит		
	1	2	3	1	2	3
Кварц	10	$3 \cdot 10^{-5}$	1	20	$9 \cdot 10^{-5}$	18
Роговая обманка*	7	0.00103	36	Н. обн.	Н. обн.	Н. обн.
Биотит	Н. опр.	Н. опр.	Н. опр.	7	0.00014	10
Плагиоклаз	15	0.00014	11	35	$8 \cdot 10^{-5}$	28
Калиевые полевые шпаты	68	0.00017	58	35	$8 \cdot 10^{-5}$	28
В граните	100	0.0002	106	97	0.0001	84

Примечание. Здесь и в табл. 3: 1 – содержание минералов, %; 2 – содержание As, %; 3 – доли масс As, сконцентрированные в минералах и их сумма, %. * – роговая обманка с примесью биотита.

Таблица 3. Минеральный баланс As в песчаниках Тюрингского бассейна. Альтендорф, Германия (расчет по данным [36])

Минералы	FK-1			FK-3			FK-9		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Тяжелая фракция*	0.03	0.0075	1.6	0.01	0.0075	0.7	0.055	0.0040	1.5
Кварц	63.74	$6.8 \cdot 10^{-5}$	31	70.52	$4.4 \cdot 10^{-5}$	31	64.72	$4.6 \cdot 10^{-5}$	19.8
Гематит	0.02	Н.опр.	Н.опр.	0.01	Н.опр.	Н.опр.	0.05	Н.опр.	Н.опр.
Хлорит	0.04	Н.опр.	Н.опр.	0.01	Н.опр.	Н.опр.	0.05	Н.опр.	Н.опр.
Иллит	2.2	0.0027	42.4	0.44	0.0025	11	2.27	0.0029	43.9
Ортоклаз + микроклин	34.05	$1.1 \cdot 10^{-4}$	26.8	29	0.0002	58	32.855	$1.6 \cdot 10^{-4}$	35
В песчанике	100.02	$1.4 \cdot 10^{-4}$	101.8	99.99	0.0001	100.7	100	$1.5 \cdot 10^{-4}$	100.2

Примечание. * – состав тяжелых фракций в пробах FK-1, FK-3, FK-9 в %, соответственно: рутил – 7.6, 4.3, 7.2; анатаз – 3.4, н.обн., 2.8; апатит – 11.9, 10.0, 22.2; монацит – <0.7; гранат – 0.9, 0.7, 1.1; циркон – 34.7, 48.6, 42.2; турмалин – 41.5, 36.4, 23.9. Содержание As в песчаниках вычислено в предположении об отсутствии погрешностей определений содержания: минералов в пробах и As в минералах.

Таблица 4. Роль мышьяковых минералов и пирита как носителей As в верхней части континентальной коры

Минералы	Содержание As в минерале, %	Осадочный слой.		Гранитно-гнейсовый слой		Верхняя часть континентальной коры	
		содержание минералов, %	доли массы As, %	содержание минералов, %	доли массы As, %	содержание минералов, %	доли массы As, %
Кобальтин	44.3	Н.опр.	Н.опр.	$1.1 \cdot 10^{-6}$	0.05	$8.4 \cdot 10^{-7}$	0.04
Герсдорфит	44.9	Н.опр.	Н.опр.	$4 \cdot 10^{-6}$	0.18	$3 \cdot 10^{-6}$	0.14
Арсенопирит	44.9	$1.9 \cdot 10^{-6}$	0.09	$1.1 \cdot 10^{-5}$	0.5	$8.8 \cdot 10^{-6}$	0.41
Никелин	54.9	Н.опр.	Н.опр.	$6.7 \cdot 10^{-6}$	0.37	$5.1 \cdot 10^{-6}$	0.29
Аурипигмент	60.9	$2.6 \cdot 10^{-6}$	0.17	$3.1 \cdot 10^{-7}$	0.02	$8.5 \cdot 10^{-7}$	0.05
Реальгар	69.7	$1.2 \cdot 10^{-6}$	0.09	$4.8 \cdot 10^{-10}$	<0.01	$2.8 \cdot 10^{-8}$	<0.01
Леллингит	70.9	Н.опр.	Н.опр.	$6.6 \cdot 10^{-10}$	<0.01	$5 \cdot 10^{-10}$	<0.01
Всего		$5.7 \cdot 10^{-6}$	0.36	$2.3 \cdot 10^{-5}$	1.12	$1.5 \cdot 10^{-5}$	0.93
Пирит	0.0076	0.09	0.76	0.055	0.42	0.063	0.49

Таблица 5. Доли масс As (%), сконцентрированные в мышьяковых минералах и в пирите вулканогенных пород осадочного слоя

Минералы/породы	Кислые	Средние	Основные	В целом
Арсенопирит	7.36 ($1 \cdot 10^{-4}$)	0.14 ($1 \cdot 10^{-6}$)	Н.опр.	0.72 ($1.2 \cdot 10^{-5}$)
Аурипигмент	4.99 ($5 \cdot 10^{-5}$)	4.91 ($2.5 \cdot 10^{-5}$)	0.3 ($5 \cdot 10^{-6}$)	1.39 ($1.7 \cdot 10^{-5}$)
Реальгар	1.71 ($1.5 \cdot 10^{-5}$)	2.25 ($1 \cdot 10^{-5}$)	0.35 ($5 \cdot 10^{-6}$)	0.72 ($7.7 \cdot 10^{-6}$)
Всего	14.56 ($1.7 \cdot 10^{-4}$)	7.3 ($3.6 \cdot 10^{-5}$)	0.65 ($1 \cdot 10^{-5}$)	2.83 ($3.7 \cdot 10^{-5}$)
Пирит	0.62 (0.05)	1.72 (0.07)	0.38 (0.05)	0.57 (0.056)

Примечание. Здесь и в таблицах 6, 7 в скобках – содержание минералов в горных породах, мас. %.

Таблица 6. Доли масс As (%), сконцентрированные в мышьяковых минералах и в пирите магматических пород гранитно-гнейсового слоя

Минералы	Граниты	Гранодиориты	Базиты	Сиениты	Ультрабазиты	Магматические породы в целом
Кобальтин	0.76 ($1 \cdot 10^{-5}$)	Н.опр.	0.1 ($4 \cdot 10^{-7}$)	Н.опр.	Н.опр.	0.55 ($6.3 \cdot 10^{-6}$)
Арсенопирит	4.34 ($5.6 \cdot 10^{-5}$)	3.67 ($4 \cdot 10^{-5}$)	0.53 ($2 \cdot 10^{-6}$)	0.95 ($4 \cdot 10^{-6}$)	0.06 ($6 \cdot 10^{-7}$)	3.9 ($4.4 \cdot 10^{-5}$)
Аурипигмент	<0.01 ($2.3 \cdot 10^{-8}$)	0.85 ($6.8 \cdot 10^{-6}$)	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0.22 ($1.8 \cdot 10^{-6}$)
Леллингит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0.37 ($1 \cdot 10^{-6}$)	Н.опр.	<0.01 ($3.8 \cdot 10^{-9}$)
Всего	5.1 ($6.6 \cdot 10^{-5}$)	4.52 ($4.7 \cdot 10^{-5}$)	0.63 ($2.4 \cdot 10^{-6}$)	1.32 ($5 \cdot 10^{-6}$)	0.06 ($6 \cdot 10^{-7}$)	4.67 ($5.3 \cdot 10^{-5}$)
Пирит	0.26 (0.02)	0.31 (0.02)	2.23 (0.05)	0.4 (0.01)	1.69 (0.1)	0.36 (0.024)

Таблица 7. Доли масс As (%), сконцентрированные в мышьяковых минералах метаморфических пород гранитно-гнейсового слоя

Минералы	Параметаморфические породы			Ортометаморфические породы			
	мета-песчаники	парасланцы	в целом	гранито-гнейсы	метаан-дезиты	метабазиты	в целом
Герсдорфит	Н.опр.	0.24 ($1 \cdot 10^{-5}$)	0.23 ($9 \cdot 10^{-6}$)	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.
Арсенопирит	0.19 ($5 \cdot 10^{-6}$)	Н.опр.	0.01 ($4 \cdot 10^{-7}$)	1.5 ($4 \cdot 10^{-6}$)	4.78 ($5 \cdot 10^{-5}$)	0.82 ($2 \cdot 10^{-5}$)	1.32 ($7.5 \cdot 10^{-6}$)
Никелин	Н.опр.	0.46 ($1.6 \cdot 10^{-5}$)	0.45 ($1.4 \cdot 10^{-5}$)	0.46 ($1 \cdot 10^{-6}$)	Н.опр.	Н.опр.	0.18 ($8.2 \cdot 10^{-7}$)
Всего	0.19 ($5 \cdot 10^{-6}$)	0.7 ($2.6 \cdot 10^{-5}$)	0.67 ($1.1 \cdot 10^{-5}$)	1.96 ($5 \cdot 10^{-6}$)	4.78 ($5 \cdot 10^{-5}$)	0.82 ($2 \cdot 10^{-5}$)	1.5 ($8.3 \cdot 10^{-6}$)
Пирит	0.2 (0.05)	0.32 (0.08)	0.32 (0.076)	2.53 (0.04)	0.49 (0.03)	0.41 (0.06)	1.25 (0.042)

лах. Главные публикации – [1, 2, 5, 12, 14–16, 21, 23, 26, 29, 30, 31, 34, 36]. Анализировались минералы: породообразующие в основном из магматических и метаморфических пород, акцессорные – преимущественно из полезных ископаемых и из связанных с ними ореолов концентрации химических элементов. Особенно много анализов пиритов из ископаемых углей. В породообразующих минералах содержание As не превышает 0.0029%. Такое содержание установлено в пробе иллита из песчаных пород [36]. Шире вариации содержания As в некоторых распространенных акцессорных минералах, особенно в наиболее изученном пирите. Среднее содержание As больше 0.1% – минимальное для максиминералов [8] – пока установлено только в пираргирите (0.73%), в тетраэдрите (3.38%) и в фэйбергитте (3.44%). Но среднее содержание этих минералов в горных породах низкое. Поэтому в верхней части континентальной коры в каждом из них сконцентрировано <0.01% массы As. Содержание As $\geq 0.1\%$ установлено в отдельных образцах пирита, марказита, пирротина, сфалерита, лимонита, апатита, церуссита, некоторых менее распространенных не мышьяковых минералов. Это достаточное основание для того, чтобы считать отмеченные минералы важнейшими концентраторами As, несмотря на почти полное отсутствие данных о содержании As в тех веществах, из которых эти минералы были выделены. Однако, данных о вариациях содержания As в разностях этих минералов, находящихся в широко распространенных горных породах почти нет. Исключение – наиболее изученный пирит. Вариации содержания в нем As особенно велики. Так, в образце пирита из угольного пласта Aman Rider

(Южный Уэльс) установлено 19.3% As [31]. Правда, эта цифра вызывает неуверенность в правильности диагностики минерала. Отметим данные, которые могут быть использованы при решении вопроса о вероятной роли **пирита** как носителя As в распространенных горных породах. В 54 пробах пирита из метавулканитов Фестивального участка на Южном Урале содержание As $7.9 \cdot 10^{-5}$ –0.1074%, среднее – **0.0072%** [1]. Среднее содержание As в пиритах из метаосадочных пород Ждановской свиты (Кольская сверхглубокая скважина): в сингенетических (5 проб) – **0.0062%**, в эпигенетических (5 проб) – **0.0607%** [15]. В 271 пробе пирита, из каменных углей Донбасса и Львовско-Волынского бассейна, (вне проявлений полиметаллической минерализации) содержание As – $2.1 \cdot 10^{-4}$ –0.1%, среднее – **0.0067%** [29]. Последняя цифра может быть использована, поскольку среднее содержание As в этих углях (0.0012%) соответствует среднему содержанию As в глинистых породах. Среднее содержание As во всей ассоциации этих пиритов – 0.0076%. В первом приближении оно принято как среднее для пиритов из всех горных пород.

По расчету, роль пирита как носителя As в верхней части континентальной коры вдвое меньше суммарной роли мышьяковых минералов (табл. 5). Иное соотношение в осадочном слое. Последнее, однако, обусловлено почти полным отсутствием данных о содержании мышьяковых минералов в осадочных породах. Из тех масс As, которые имеются в осадочных породах, в пирите сконцентрировано (%): в песчаных – 0.14, в глинистых – 0.95, в карбонатных – 3.45, в кремнистых – 0.25. Из всей массы As, имеющейся во всей ассоциации осадоч-

ных пород в пирите сконцентрировано – 0.82%. В большинстве эндогенных горных пород роль пирита как носителя As меньше суммарной роли мышьяковых минералов. Согласно имеющимся данным, исключением являются только базиты, ультрабазиты, метапесчаники и гранитогнейсы.

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА И As

Данные о содержании As в органическом веществе из обычных осадочных пород автору не известны. Среднее содержание As в углях бурых и каменных, соответственно, 0.00076 и 0.0009% [32]. То есть, оно меньше среднего содержания As в осадочных породах. Причем только 10–50% масс As, имеющихся в ископаемых углях находится в органических веществах [31]. Это косвенное свидетельство того, что органические вещества не относятся к важнейшим концентраторам As в масштабах верхней части континентальной коры.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Учетные значения содержания As в распространенных горных породах варьируют от $7.9 \cdot 10^{-6}\%$ до 0.0385%; не учетные – до 0.26%. Опубликованных результатов анализов горных пород недостаточно для корректного учета таких вариаций. Следствие – большая разница в оценках среднего содержания As в верхней части континентальной коры (**upper continental crust**). До 2004 г. публиковали цифры: $1.5 \cdot 10^{-4}$ – $5.1 \cdot 10^{-4}\%$ [39]. В 2005 г. новый расчет дал цифру – $5.6 \cdot 10^{-4}\%$ [9]. Сейчас получена величина – $9.74 \cdot 10^{-4}\%$. Ситуация соответствует тенденции повышения во времени оценок среднего содержания малых и редких элементов в верхней части континентальной коры. Однако, величины среднего содержания As как в горных породах, так и в верхней части континентальной коры в целом требуют уточнения. Наиболее вероятно преувеличение среднего содержания As в осадочных породах, в вулканитах основного состава, в парагнейсах (включая кристаллические сланцы) и в метабазитах, а также преуменьшение его в базитах гранитно-гнейсового слоя и гранитогнейсах. В связи с этим, нуждаются в уточнении данные: о распределении масс As в ассоциации горных пород и о роли минералов-концентраторов как носителей As.

ВЫВОДЫ

Распределение As в верхней части континентальной коры определено по модели А.Б. Ронова и др. [28]. Среднее содержание As в верхней части континентальной коры – $9.74 \cdot 10^{-4}\%$. Среднее содержание As в осадочных породах – $9.27 \cdot 10^{-4}\%$, в параметаморфических – 17.79%. В осадочных и параметаморфических породах находится – 82.88%

массы As. В мышьяковых минералах сконцентрировано 0.93% массы As. В том числе: в арсенопирите – 0.41, в никелине – 0.29, в герсдорфите – 0.14, в аурипигменте – 0.05, в кобальтине – 0.04. В пирите сконцентрировано – 0.49% массы As. Наибольшей степенью концентрации масс As в собственных минералах характеризуются граниты, наименьшей – осадочные породы. Полученные данные дают лишь первое представление о возможном уровне средних содержаний As в горных породах и о вероятной роли минералов-концентраторов в качестве его носителей в верхней части континентальной коры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аюпова Н.Р. Элементы-примеси в пирите из вулканитов Фестивального участка Александринского колчеданосного района (Южный Урал) // Уральский минералогический сборник. № 16. Миасс–Екатеринбург: ИМин УрО РАН, 2009. С. 146–153.
2. Бадалов С.Т., Голованов И.М., Дудин-Барковская Э.А. Геохимические особенности рудообразующих элементов Чаткало-Кураминских гор. Ташкент: ФАН, 1971. 228 с.
3. Барсуков В.Л., Соколова Н.Т., Ивануцкий О.М. Металлы, мышьяк и сера в гранитах Ауэ и Айбенштока (Рудные Горы) // Геохимия. 2006. № 9. С. 967–982.
4. Волкова Н.И., Мельниченко А.К., Гофен Г.И. и др., Геохимические особенности метапелитов Фан-Каратегинского зеленосланцевого пояса. Геохимия. 1994. № 5. С. 671–680.
5. Гавриленко Б.В. Геохимия золота в метаморфических и магматических комплексах северо-востока Балтийского щита. Апатиты, 1982. 143 с.
6. Гавшин В.М., Бобров В.А., Демина Р.Г. и др. Геохимия морских терригенных отложений Западно-Сибирской плиты // Геохимия платформенных и геосинклинальных осадочных пород и руд. М.: Наука, 1983. С. 48–56.
7. Глухан И.В., Серых В.И. Кларки песчаных пород Центрального Казахстана. Геохимия. 1999. № 9. С. 976–993.
8. Григорьев Н.А. Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 302 с.
9. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. 382 с.
10. Давиденко Н.М., Чибисов Н.П. О вертикальной зональности золоторудного месторождения на Северо-Востоке СССР // Геохимия. 1978. № 9. С. 1360–1367.
11. 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-гьялаитового комплекса массива Денежкин-Камень // Литосфера. 2010. № 2. С. 35–46.
12. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Кн. 3. М.: Недра, 1996. 353 с.
13. Иванов К.С., Ерохин Ю.В. Позднеордовикские вулканиты из офиолитовой ассоциации фундамента Шаймского района (Западная Сибирь) // Ежегодник-2009. Труды ИГГ УрО РАН. Вып. 157. Екатеринбург, 2010. С. 134–137.

14. *Кременецкий А.А., Липидус А.В., Скрябин В.Ю.* Геолого-геохимические методы глубинного прогноза полезных ископаемых. М.: Наука, 1990. 223 с.
15. *Кременецкий А.А., Овчинников Л.Н.* Геохимия глубинных пород. М.: Наука, 1986. 262 с.
16. *Кудрявцева С.И., Ильина И.М.* Опыт учета элементов-примесей в оловянно-полиметаллических рудах на примере Шерловогорского месторождения // Геология месторождений цветных металлов складчатого обрамления Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1982. С. 106–109.
17. *Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоротина О.В. и др.* Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Статья 1. Протоуралиты, тиманиды и доордовские гранитоидные вулканогенно-плутонические ассоциации Севера Урала и Тимано-Печорского региона // Литосфера. 2006. № 4. С. 3–23.
18. *Кузнецова Н.С.* Состав и условия формирования мафитов Харбейского комплекса (Полярный Урал) // Литосфера. 2008. № 1. С. 513–64.
19. *Левитан М.А., Алексеев А.С., Бадулина Н.В. и др.* Геохимия пограничных сеноман-туронских отложений Горного Крыма и Северо-Западного Кавказа // Геохимия. 2010. № 6. С. 570–591.
20. *Мамарозиков У.Д.* Петрогенезис и рудоносность фаялитовых онгонитов Чаткало-Кураминского региона (Западный Тянь-Шань) // Магматизм и метаморфизм в истории Земли: тез. докл. XI Всероссийского петрографического совещ. Т. 2. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2010. С. 42–43.
21. *Молошаг В.П., Золоев К.К., Додин Д.А.* Особенности минералообразования благородных металлов в рудах колчеданных месторождений и черносланцевых толщах Урала // Литосфера. 2008. № 3. С. 76–101.
22. *Овчинников Л.Н.* Прикладная геохимия. М.: Недра, 1990. 248 с.
23. *Онисис Х., Санделл Э.* Геохимия мышьяка // Геохимия редких элементов. М.: ИЛ, 1959. С. 435–492.
24. *Пачаджанов Д.Н., Адамчук И.П.* Элементы-индикаторы осадочного процесса // Геохимия платформенных и геосинклинальных осадочных пород и руд. М.: Наука, 1983. С. 189–203.
25. Петрография Таджикистана. Т.1 / С.М. Бабаходжаев, Р.Б. Баратов, А.П. Нездвецкий и др. Душанбе: Дониш, 1986. 283 с.
26. *Попов М.П., Ерохин Ю.В.* Типоморфные особенности флюорита Мариинского месторождения бериллия (Уральские Изумрудные Копи) // Литосфера. 2010. № 4. С. 157–162.
27. *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.
28. *Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А.* Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 182 с.
29. Ртутоносность углей Донецкого бассейна / А.Г. Дворников, С.И. Кирикилица. М.: Недра, 1987. 158 с.
30. *Сафина Н.П., Масленников В.В.* Состав и продукты придонного преобразования обломочных сульфидных отложений в рудных залежах Яман-Касинского и Сафьяновского колчеданных месторождений (Урал) // Литосфера. 2007. № 2. С. 130–140.
31. *Юдович Я.Э., Кемпис М.П.* Мышьяк в углях. Сыктывкар: Геопринт, Коми НЦ УрО РАН, 2004. 106 с.
32. *Юдович Я.Э., Кемпис М.П.* Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с.
33. *Brumsack H.-J.* The trace metal content of recent organic carbon-rich sediments: Implications for Cretaceous black shale formation // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2006. V. 232. P. 344–361.
34. *Cook N.J., Ciobanu C.L., Pring A. et al.* Trace and minor elements in sphalerite: A LA-ICPMS study // Geoch. Cosmoch. Acta. 2009. V. 73, № 16. P. 4761–4791.
35. *Di Leo P., Dinelli E., Mondelli G., Schiattarella M.* Geology and geochemistry of Jurassis pelagic sediments, Scisti silicei Formation, southern Appenines, Italy // Sedimentary geology 2002. V. 150. P. 229–246.
36. *Götze J.* Geochemistry and provenance of the Altdorf feldspatic sandstone in the Middle Bunter of the Thuringian basin (Germany) // Chem. Geol. 1998. V. 150. P. 43–61.
37. *Huber H., Koeberl C., McDonald I., Reimold W.U.* Geochemistry and Petrology of Witwatersrand and Dwyka diamictites from South Africa: Search for an extra-terrestrial component // Geoch. Cosmoch. Acta. 2001. V. 65, № 12. P. 2007–2016.
38. *Newman W.L.* Distribution of Elements in Sedimentary Rocks of the Colorado Plateau – Preliminary Report // Geol. Surv. Bull. 1107-F/ Washington: U.S. Government Printing Office, 1962. 445 p.
39. *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the Continental Crust. University of Maryland, College Park, MD, USA. Компьютерная версия. 2004. 64 с.
40. *Vry V.H., Wilkinson J.J., Seguel J., Millan J.* Multistage Intrusion, Brecciation, and Veining at El Teniente, Chile: Evolution of a Nested Porphyry System // Econ. Geol. Bull. Society of Economic Geology. 2010. V. 105, № 1. P. 110–153.

Рецензент В.В. Холоднов

Arsenic distribution in the upper continental crust

N. A. Grigor'ev

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Arsenic distribution in the upper continental crust has been defined by the model of A.B. Ronov et al. An average content of As in upper continental crust is $9.74 \cdot 10^{-4}\%$. Average contents in sedimentary rocks are $9.27 \cdot 10^{-4}\%$ and metasedimentary rocks are $17.79 \cdot 10^{-4}\%$. 82.88% of As mass is localized in sedimentary and in metasedimentary rocks. 0.93% of As mass is concentrated in arsenic minerals: in arsenopyrite – 0.41, in niccolite – 0.29, in gersdorffite – 0.14, in auripigment – 0.05, in cobaltite – 0.04%. In pyrite is concentrated 0.49% of As.

Key words: *arsenic, content, masses, distribution, rocks, minerals, upper continental crust.*