

УДК 550.4: 546.815

© Д. чл. УАГН Григорьев Н.А.

## **СВИНЦОВЫЕ МИНЕРАЛЫ КАК НОСИТЕЛИ СВИНЦА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ**

*Институт геологии и геохимии Уральского Отделения РАН  
620151 Екатеринбург, Почтовый переулоч, 7 E-mail: root @ igg. e-burg. su*

© Grigor'ev N.A.

## **LEAD MINERALS AS CARRIERS OF LEAD IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST'S**

Автореферат

Роль свинцовых минералов как носителей Pb в верхней части континентальной коры рассчитана по модели А.Б. Ронова и др. (1990). Расчет выполнен на основе больше чем 2160 количественных минералогических анализов важнейших горных пород, опубликованных преимущественно в СССР. Установлено, что в свинцовых минералах сконцентрировано 1,02 % массы Pb. В том числе: в галените - 0,97, в церуссите - 0,03, в англезите - 0,01, в самородном свинце - 0,01 %. Эти цифры - минимально возможные.

**Ключевые слова:** свинцовые минералы, носители, свинец, верхняя часть континентальной коры.

Abstract

The role of lead minerals as carriers of Pb in the upper continental crust's has been calculated by the model of A. B. Ronov et al.(1990). Calculation has been made by the base more than 2160 quantitative mineralogical analyses of important rocks, published mainly in the USSR. It was established, that in the lead minerals concentration 1.02 % of masses Pb. In particular: in galena - 0.97, in cerussite - 0.03, in anglesite - 0.01, in lead - 0.01 %. These figures a minimal from possible.

**Key words:** lead minerals, carrier's, lead, upper continental crust.

### **Предшествующие исследования**

До 20 века считали, что малые и редкие химические элементы сконцентрированы в собственных минералах. Затем последовало представление о «рассеянии» их в породообразующих минералах. Е.С. Ларсен с коллегами (Larsen a.o., 1952) исследовали кварцевый диорит из Южной Калифорнии и, как казалось, под-

твердили последнее представление. Это повлияло на последующие исследования. При определении минеральных балансов Pb в горных породах (Рабинович, Баскова, 1959, Таусон, 1961, Воронов, Селиванова, 1971, Козлов, 1972, Бушляков, Соболев, 1976, Сазонов, 1986) свинцовые минералы не учитывали, даже при их наличии. Суммы долей масс Pb, сосредоточенные в учтенных минералах в большинстве случаев близки к 100 %, реже - 49 - 80 %. Автор определил минеральный баланс Pb в четырех пробах скарнов железо- и медно-рудных месторождений. При пониженном валовом содержании Pb в скарнах (0,0005%) свинцовые минералы обнаружены не были. При околокларковом валовом его содержании (0,0025 и 0,0036 %) был обнаружен галенит. В нем оказалось сконцентрировано соответственно 24 и 36 % Pb (Григорьев, 1999а). Вопрос о роли свинцовых минералов как носителей Pb в распространенных горных породах оставался открытым. Его решение было возможно на основе данных о содержании аксессуарных минералов в горных породах. Собрав часть таких данных, автор определил приблизительно среднее содержание галенита в верхней части земной коры -  $2,4 \cdot 10^{-5}$  % (Григорьев, 1999б). Это соответствует доле массы Pb, сконцентрированной в галените - 1,6 %. Затем был обработан более обширный материал по континентальным горным породам. Ниже впервые приведены результаты этого исследования.

### **Исходные данные**

Расчет выполнен на базе фрагмента модели химического строения земной коры А.Б. Ронова и др. (1990), несколько детализированного автором (Григорьев, 2003). Средние содержания Pb (табл. 1) в магматических породах гранитно-гнейсового слоя - по Л.Н. Овчинникову (1990), остальные - авторские (Григорьев, 2003). Средние содержания свинцовых минералов в горных породах рассчитано по литературным данным. Это результаты количественных минералогических анализов больше чем 2160 проб континентальных пород. Большинство использованных данных выражено в цифрах, некоторые - как «сл.» или «р. зн.». Последние обозначения приравнены половине чувствительности использованных методов. Количество изученных проб: пес-

Таблица 1  
Распределение массы Pb в совокупности горных пород верхней части континентальной коры

Горные породы	Масса горных пород, отн. %	Среднее содержание Pb, мас. %	Доли массы Pb, отн. %
Пески и песчаники	5,11	14	4,19
Глины и глинистые сланцы	10,4	14	8,52
Карбонатные породы	3,85	7	1,58
Кремнистые породы	0,33	6	0,12
Эвапориты	0,26	Н.опр.	Н.опр.
Кислые вулканиды	0,44	23	0,59
Средние вулканиды	1,13	18	1,19
Основные вулканиды	2,11	11	1,36
Граниты	8,21	19	9,13
Гранодиориты	3,38	15	2,97
Базиты	1,5	6	0,53
Сиениты	0,05	12	0,03
Ультрабазиты	0,05	0,46	<0,01
Метапесчаники	2,92	18	3,08
Парагнейсы и парасланцы	30,56	20	35,78
Метаморфизованные карбонатные породы	1,13	13	0,86
Железистые породы	0,38	27	0,6
Гранито-гнейсы	23,21	19	25,82
Метариолиты	0,66	31	1,2
Метаандезиты	1,03	12	0,72
Метабазиты	3,29	9	1,73
<b>Верхняя часть континентальной коры</b>	<b>100</b>	<b>17,08</b>	<b>100,00</b>
Осадочные породы	19,95	12,33	14,41
Вулканогенные породы	3,68	14,58	3,14
Осадочный слой	23,23	12,5	17,55
Магматические породы гранито-гнейсового слоя	13,19	16,4	12,66
Параметаморфические породы	34,99	19,68	40,32
Ортометаморфические породы	28,19	17,86	29,47
Гранито-гнейсовый слой	76,37	18,5	82,45

ки и песчаники > 990, граниты – 379, сиениты – 210, гранодиориты и прочие гранитоиды повышенной основности - 126, базиты > 83, ультрабазиты – 82, метабазиты – 74, основные вулканиды – 55, метапесчаники > 49, парагнейсы и парасланцы > 35. Автору не удалось найти результатов количественных определений содержания свинцовых минералов в глинах и глинистых

сланцах, кремнистых породах, эвапоритах, метокарбонатных и железистых породах. Количество проанализированных проб каждой из не отмеченных выше континентальных пород не известно, или меньше 30. Большинство источников данных приведено при характеристике Cu (Григорьев, 2004). Дополнительные первоисточники отмечены ниже.

**Песчаники** Приверхоянского прогиба и Азейбайджана (Справочное., 1958). **Вулканиды осадочного слоя:** кайнозойские трахилипариты, дациты, трахиандезиты, трахидациты, трахибазальты, трахидабазы северо-востока России (Ипатьев, Соловьев, 1982). **Гранитоиды** Дальнего Востока и Сибири (Винокурова и др., 1982, Недашковский, 1982). **Базиты.** Габбро Дальнего Востока (Недашковский, 1982). Докембрийские габброиды Воронежского кристаллического массива (Чернышов, Плаксенко 1982). **Сиениты** СССР (Тихоненкова, 1982). **Ультрабазиты.** Докембрийские дуниты и перидотиты Воронежского кристаллического массива (Чернышов, Плаксенко, 1971). **Метапесчаник** из Тувы (Ляхович, 1966). **Парагнейсы и парасланцы** Кольского полуострова Урала и Тувы (Ляхович, 1966). **Гранито-гнейсы** Кольского полуострова, Урала (Ляхович, 1996), Дальнего Востока (Недашковский., 1986).

#### Распределение массы свинца в совокупности континентальных горных пород

Новые данные о среднем содержании Pb в континентальных породах (Григорьев, 2003) подробнее имевшихся раньше. Но в целом они близки к литературным. Сравним среднее содержание Pb в верхней части континентальной коры в мас. %: 0,0017 (Григорьев, 2003); 0,002 (Тейлор, Мак-Леннан, 1988); 0,0017 (Wedepohl, 1995). Распределение Pb в верхней части континентальной коры приближается к требованиям геохимического баланса. Но его среднее содержание в континентальных осадочных породах – 0,0012 мас. % несколько меньше того, которое должно быть в продуктах выветривания гранито-гнейсового слоя современного состава (0,0015 мас. % - по определению изоалюминиевым методом). Среднее содержание Pb максимальное в кислых магматических породах, в продуктах их метаморфизма, а также в парагнейсах и парасланцах (табл. 1). Но 30

средние коэффициенты концентрации здесь всего 1,12 - 1,82. Эти же горные породы и главные носители Pb. В них сконцентрировано 72,52 % его массы.

Таблица 3

**Доли массы свинца, сконцентрированные в свинцовых минералах**

Согласно полученным данным, в верхней части континентальной коры в свинцовых минералах сконцентрировано 1,02 % массы Pb. Из них 0,97 % - в галените (табл. 2). Последняя цифра меньше полученной раньше для верхней части всей земной коры (1,6 % массы Pb). В осадочном слое роль свинцовых минералов больше, чем в гранитно-гнейсовом. Но в осадочных породах она минимальная. Зато максимальной ролью свинцовых минералов характеризуются вулканиты осадочного слоя (табл. 3). Причем доли масс Pb сконцентрированные в свинцовых минералах последовательно уменьшаются от кислых вулканитов к основным. В гранитно-гнейсовом слое ситуация похожая: роль свинцовых минералов максимальная в магматических породах (табл.4) и минимальная в параметаморфических (табл. 5). Среди ортометаморфических пород максимальной ролью свинцовых минералов характеризуются метариолиты (табл. 6). Везде галенит - главный свинцовый минерал.

**Доли массы Pb (отн. %), сконцентрированные в свинцовых минералах континентальных пород осадочного слоя**

Минералы	Осадочные породы		Вулканогенные породы			
	Пески и песчаники	В целом	Кислые	Средние	Основные	В целом
Церуссит	Н.опр.	Н.опр.	1,65 (5·10 <sup>-5</sup> )	Н.опр.	0,21 (3·10 <sup>-6</sup> )	0,41 (8·10 <sup>-6</sup> )
Галенит	0,04 (7·10 <sup>-7</sup> )		7,53 (0,0002)	7,22 (1,5·10 <sup>-4</sup> )	5,51 (7·10 <sup>-5</sup> )	6,35 (1,1·10 <sup>-4</sup> )
Свинец самородный			0,087 (2·10 <sup>-6</sup> )	0,06 (1·10 <sup>-6</sup> )	0,03 (3·10 <sup>-7</sup> )	0,05 (7,2·10 <sup>-7</sup> )
Сумма			9,267	7,28	5,75	6,81

Примечание. Здесь и в последующих таблицах в скобках - среднее содержание минералов, мас. %.

Таблица 4

**Доли массы Pb (отн. %), сконцентрированные в свинцовых минералах в магматических породах гранитно-гнейсового слоя**

**Таблица 2**  
Роль свинцовых минералов как носителей Pb в верхней части континентальной коры

Минералы	Содержание Pb в минералах, мас. %	Осадочный слой.		Гранитно-гнейсовый слой.		Верхняя часть континентальной коры.	
		Содержание минералов	Доли массы Pb, отн. %	Содержание минералов	Доли массы Pb, отн. %	Содержание минералов	Доли массы Pb, отн. %
Джемсонит	40,4	Н.опр.	Н.опр.	3,7·10 <sup>-8</sup>	<0,01	2,8·10 <sup>-8</sup>	<0,01
Вульфенит	50,4	Н.опр.	Н.опр.	5,2·10 <sup>-9</sup>	<0,01	4·10 <sup>-9</sup>	<0,01
Буланжерит	55	Н.опр.	Н.опр.	5,2·10 <sup>-10</sup>	<0,01	4·10 <sup>-10</sup>	<0,01
Англезит	68,3	Н.опр.	Н.опр.	4,3·10 <sup>-7</sup>	0,02	3,3·10 <sup>-7</sup>	0,01
Церуссит	76	1·10 <sup>-6</sup>	0,063	5,2·10 <sup>-7</sup>	0,02	6,3·10 <sup>-7</sup>	0,03
Галенит	86,6	1,7·10 <sup>-5</sup>	1,23	1,9·10 <sup>-5</sup>	0,87	1,9·10 <sup>-5</sup>	0,97
Свинец сам.	99,7	1,1·10 <sup>-7</sup>	0,009	2·10 <sup>-7</sup>	0,01	1,8·10 <sup>-7</sup>	0,01
Сумма			1,302		0,92		1,02

Минералы	Граниты	Гранодиориты	Базиты	Сиениты	Ультрабазиты	Магматические породы
Вульфенит	<0,01 (4·10 <sup>-8</sup> )	<0,01 (2·10 <sup>-8</sup> )	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	<0,01 (3·10 <sup>-8</sup> )
Буланжерит	<0,01 (5·10 <sup>-9</sup> )	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	<0,01 (3·10 <sup>-9</sup> )
Англезит	0,13 (3,6·10 <sup>-6</sup> )	0,05 (1·10 <sup>-6</sup> )	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,11 (2,5·10 <sup>-6</sup> )
Церуссит	0,2 (5·10 <sup>-6</sup> )	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,14 (3·10 <sup>-6</sup> )
Галенит	1,05 (2,3·10 <sup>-5</sup> )	1,16 (2·10 <sup>-5</sup> )	0,87 (6·10 <sup>-6</sup> )	1,8 (2,5·10 <sup>-5</sup> )	6,78 (3,6·10 <sup>-6</sup> )	3,57 (6,6·10 <sup>-5</sup> )
Свинец сам.	0,01 (1,5·10 <sup>-7</sup> )	0,05 (7·10 <sup>-7</sup> )	Н.опр.	0,17 (2·10 <sup>-6</sup> )	Н.опр.	0,02 (2,8·10 <sup>-7</sup> )
Сумма	1,39	1,26	0,87	1,97	6,78	3,84

Таблица 5

Доли массы Pb (отн. %), сконцентрированные в свинцовых минералах в параметаморфических породах

Минералы	Метапесчаники	Парасланцы	Параметаморфиты
Галенит	0,038 ( $8 \cdot 10^{-7}$ )	0,22 ( $5 \cdot 10^{-6}$ )	0,19 ( $4,4 \cdot 10^{-6}$ )
Свинец самородный	Н.опр.	0,01 ( $3 \cdot 10^{-7}$ )	0,01 ( $2,6 \cdot 10^{-7}$ )
Сумма	0,038	0,23	0,2

Таблица 7

Доли массы Pb (отн. %), сконцентрированные в свинцовых минералах в ортометаморфических породах

Минералы	Гранито-гнейсы	Мегариолиты	Мета-андезиты	Мета-базиты	Ортометаморфиты
Джемсонит	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	0,045 ( $1 \cdot 10^{-6}$ )	<0,01 ( $1 \cdot 10^{-7}$ )
Галенит	0,68 ( $1,5 \cdot 10^{-5}$ )	2,79 ( $1 \cdot 10^{-4}$ )	<0,01 ( $1,3 \cdot 10^{-8}$ )	0,007 ( $7 \cdot 10^{-8}$ )	0,72 ( $1,5 \cdot 10^{-5}$ )
Свинец сам.	0,01 ( $1 \cdot 10^{-7}$ )	Н.опр.	Н.опр.	Н.опр.	<0,01 ( $8 \cdot 10^{-8}$ )
Сумма	0,69	2,79	<0,01	0,052	0,72

### Обсуждение полученных данных

Использованные данные получены микрообогатительными методами. При наиболее распространенных их вариантах учитываются частицы аксессуарных минералов крупностью 50-250 мкм или > 30-50 мкм. Таким образом, исходные данные соответствуют не истинным, а минимально возможным значениям содержания свинцовых минералов. Они отражают не только общие, но и частные особенности исследованных разновидностей горных пород. При характеристике верхней части континентальной коры в целом использовано больше 2160 определений содержаний аксессуарных минералов в горных породах. Влияние индивидуальных особенностей горных пород здесь минимальное. На данной стадии исследований им можно пренебрегать. Поэтому доли массы Pb, сконцентрированные в свинцовых минералах верхней части континентальной коры

следует считать минимально возможными. Средние содержания свинцовых минералов в горных породах рассчитаны по результатам десятков, реже – сотен проб. Здесь влияние индивидуальных особенностей изученных разновидностей горных пород может быть существенным. Корректный учет его пока не возможен. Для этого необходимы: более совершенная и подробная модель континентальной коры и дополнительные данные о минеральном составе горных пород. Но некоторые предположения возможны. Наиболее вероятно преувеличение роли свинцовых минералов в вулканитах и особенно в ультрабазитах.

### Выводы

Полученные данные не противоречат представлению о том, что в верхней части континентальной коры большая часть массы Pb находится в породообразующих минералах. Вместе с тем, они показывают, что роль свинцовых минералов и особенно галенита существенна. Сконцентрированная в них масса Pb в масштабах верхней части континентальной коры огромна. Не считаться с ней нельзя. Тем более, что распределение этой массы неравномерное.

Полученные данные – очередное приближение к пониманию истинной ситуации в верхней части континентальной коры. Но и приближенные данные необходимы. Без них теряется всякая ориентация.

### Литература

1. Бушляков И.Н., Соболев И.Д. Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского массива. М. Наука. 1976. 339 с.
2. Винокурова Т.Н., Долгушина А.А., Амшинский Н.Н. и др. Акцессории гранитоидов области сочленения структур Алтая, Западного Саяна и Западной Тувы. // Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород. М.: Наука. 1982. С. 40-52.
3. Воронов А.Е., Селиванова Г.И. Особенности поведения свинца и цинка в нижнепалеозойских гранитоидах Центральной части Восточного Саяна. Геохимия. 1971. № 9. С. 40-47.
4. Григорьев Н.А. Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург. 1999а. 302с.
5. Григорьев Н.А. Максимины как носители химических элементов в верхней части земной коры. Геохимия, № 12. 1999б. С. 1298-1303.

**6. Григорьев Н.А.** Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры. *Геохимия*, № 7, 2003 г. С. 785-792.

**7. Григорьев Н.А.** Медные минералы как носители меди в верхней части континентальной коры // *Уральский геологический журнал*. 2004. В печати.

**8. Ипатьева И.С., Соловьев В.И.** Акцессорные минералы вулканических и интрузивных пород Березовской зоны (северо-восток СССР) // *Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород*. М.: Наука. 1982. С. 111-118.

**9. Козлов В.Д.** Геология и геохимия палеозойских гранитоидов Ундино-Газимурского района (Восточное Забайкалье) // *Геохимия редких элементов в магматических комплексах Восточной Сибири*. М.: Наука 1972. С. 48-97.

**10. Ляхович В.В.** Акцессорные минералы гнейсов // *Минералогический сборник Львовского Государственного Университета*. 1966. Вып. 2. № 20. С. 199-208.

**11. Недашковский П.Г.** Акцессорные минералы разнотипных гранитоидов Дальнего Востока // *Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород*. М.: Наука. 1982. С. 73-83.

**12. Рабинович А.В., Баскова З.А.** Характер распределения свинца в некоторых гранитоидах Восточного Забайкалья. *Геохимия* 1959. № 6. С. 546-549.

**13. Сазонов В.Н.** Некоторые элементы-примеси в процессе среднотемпературного кислотного выщелачивания // *Геохимия и минералогия первичных и вторичных ореолов*. Свердловск. 1986. С. 33-46.

**14. Справочное руководство по петрографии осадочных пород**. Т. 2. Л.: Гостоптехиздат. 1958. 519 с.

**15. Таусон Л.В.** Геохимия редких элементов в гранитоидах. М.: Издательство Академии наук СССР. 1961. 231 с.

**16. Тейлор С.Р., Мак-Леннон С.М.** Континентальная кора, ее состав и эволюция. М., Мир, 1988, с. 379.

**17. Тихоненкова Р.П.** Средние содержания акцессорных минералов щелочных пород как индикатор их формационной принадлежности. // *Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород*. М.: Наука. 1982. С. 83-96.

**18. Чернышов Н.М. Плаксенко А.Н.** Акцессорные минералы дифференцированных габбро-норит-гипербазитовых интрузий Воронежского кристаллического массива. // *Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород*. М.: Наука. 1982. С. 96-111.

**19. Larsen E.S., Keevil N.B., Harrison H.C.** Method for determining the age of igneous rocks using the accessory minerals // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1952. V. 63. № 10. P.1045-1052.

**20. Wedepohl K.H.** The Composition of the Continental Crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* № 7, v. 59. 1995. P. 1217-1232. Wedepohl K.H. The Composition of the Continental Crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* № 7, v. 59. 1995. P. 1217-1232.