

УДК 550.42(571.63)

## ИЗОТОПНАЯ ГЕТЕРОГЕННОСТЬ СВИНЦА ГАЛЕНИТОВ ИЗ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИМОРЬЯ

© 2002 г. С. В. Рассказов, В. В. Иванов, член-корреспондент РАН А. И. Ханчук,  
А. А. Чащин, Н. Н. Фефелов, Е. В. Саранина

Поступило 02.08.2002 г.

Кора восточной окраины Азии образовалась в результате последовательной мезо-кайнозойской аккреции террейнов к Северо-Азиатскому кратону [1, 2]. История становления террейнов территории Приморья изучена весьма детально [3]. Благодаря литолого-стратиграфическим исследованиям последних лет особенности строения и возрастные интервалы формирования террейнов продолжают уточняться [4–6 и др.]. Террейны Ханкайского массива датируются диапазоном возрастов от докембрия до позднего палеозоя. Начиная со средней юры, к Ханкайскому массиву аккретировались террейны Восточно-Сихотэ-Алинской зоны: в средней–поздней юре – Самаркинский террейн, а в раннем мелу – Кемский и Таухинский. Последний формировался при последовательной аккреции фрагментов позднедевонско-пермского, раннетриасово-позднеюрского и позднеюрско-берриасового участков палеоокеанической плиты. Разновозрастные фрагменты террейна отделены друг от друга горизонтами меланжа, формировавшегося при субдуцировании более молодых фрагментов океанической плиты под более древние. Наиболее молодой позднеюрско-берриасовый фрагмент занимает крайнее западное положение в Таухинском террейне и граничит с турбидитовым Журавлевским [4].

Независимую информацию об особенностях эволюции террейнов дает изучение изотопного состава свинца галенитов из рудных месторождений. В настоящей работе приводятся результаты изотопных исследований галенитов, отобранных из 29 гидротермальных жильных и скарновых месторождений олова, свинца, вольфрама, меди, серебра и золота Приморья (рис. 1). Выявлены вариации изотопных отношений свинца галенитов и их модельных возрастов, отражающие различия

возрастных диапазонов становления и аккреции террейнов. Полученные результаты открывают перспективу использования изотопного состава свинца галенитов в сочетании с террейновым анализом для определения источников рудных компонентов и оценки рудоносных площадей Дальнего Востока России и сопредельных территорий.

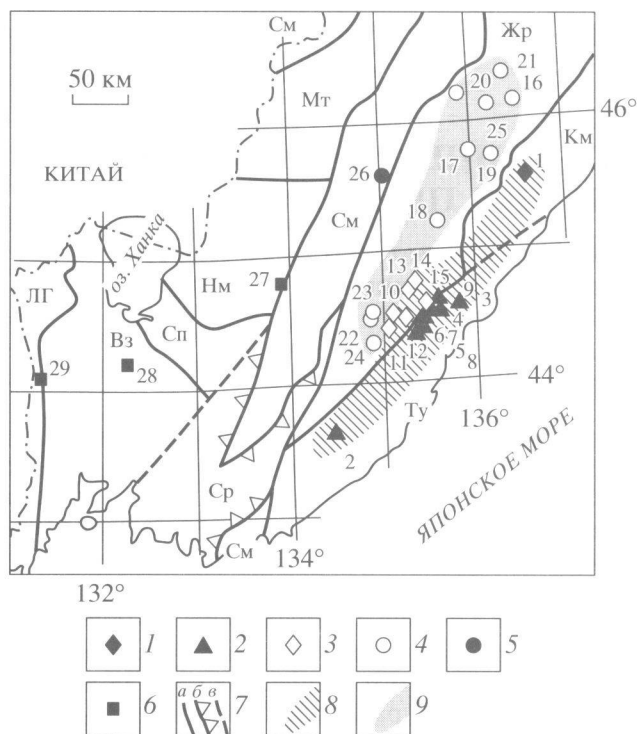
Галениты были отобраны главным образом из оловянных и полиметаллических месторождений Таухинского и Журавлевского террейнов (8 и 16 объектов соответственно). Выборка образцов Таухинского террейна характеризует месторождения, приуроченные к границе между фрагментами палеоокеанической плиты раннетриасово-позднеюрского и позднеюрско-берриасового возраста [4]. Для сопоставления измерены изотопные отношения свинца отдельных образцов галенитов из месторождений сопредельных террейнов: Кемского, Самаркинского, Нахимовского и Вознесенского (рис. 1). Кроме того, на границе Вознесенского террейна и Ласолин-Гродековско-го супертеррейна отобраны два образца в Гродековском платино-золотом рудно-россыпном узле [7]. В одном случае это были крупные кристаллы самородного свинца из россыпи р. Фадеевка, в другом – прожилок галенита в обломке метасоматита из той же россыпи.

Изотопный состав свинца определялся в лаборатории изотопии и геохронологии Института земной коры СО РАН. Галениты растворялись в азотной кислоте, дважды очищенной на тefлоновых перегонных аппаратах. Проводилось выпаривание раствора до влажных солей. Остаток растворялся в воде, очищенной на трехступенчатой системе Millipore. Измерения изотопных отношений проводились на масс-спектрометре МИ-1201 и “Finnigan MAT-262” Центра коллективного пользования (статический многоколлекторный режим). Оба прибора давали близкие результаты. Для учета фракционирования изотопов полученные значения корректировались на 0.12%/a.e.m. от аттестованного значения стандартного образца NBS-981.

В координатах изотопных отношений свинца  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  точки галенитов из место-

*Институт земной коры  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
Иркутск*

*Дальневосточный геологический институт  
Дальневосточного отделения  
Российской Академии наук, Владивосток*



**Рис. 1.** Местоположение рудных месторождений Приморья, охарактеризованных изотопными составами свинца галенитов. Схема составлена на основе работы [3] с изменениями. 1–6 – месторождения из разных террейнов: 1 – Кемского, 2 – Таухинского, 3 – южной части Журавлевского террейна с повышенными модельными возрастными, 4 – другие месторождения из него же, 5 – границы Самаркинского и Журавлевского, 6 – Ханкайского массива и его границы с Лаолин-Гродековским супертеррейном; 7 – границы террейнов (а – сдвиги, б – надвиги, в – предполагаемые); 8, 9 – полосы месторождений с модельными возрастными галенитов в интервале 150–245 (8) и в интервале 73–100 млн. лет (9). Номера месторождений и модельные датировки галенитов см. табл. 1. Террейны Ханкайского массива: ВЗ – Вознесенский, Сп – Спасский, Нм – Нахимовский, Мт – Матвеевский, Ср – Сергеевский террейны. ЛГ – Лаолин-Гродековский супертеррейн, восточный фланг; террейны Восточно-Сихотэ-Алинской зоны: См – Самаркинский, Жр – Журавлевский, Ту – Таухинский, Кк – Кемский.

рождений Таухинского террейна образуют два тренда: один тренд с широкими вариациями  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  при низких  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , другой – с повышенными  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  при высоких  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ . К последней группе относятся галениты из месторождений Фасольное, Майминовское и Партизанское. С ними сопоставимы галениты из серебряного месторождения Таежного Кемского террейна и месторождения Каменного Журавлевского (рис. 2).

Точки галенитов из Журавлевского террейна смещены относительно точек галенитов из Таухинского террейна с повышением  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  при низких значениях  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ . Исключение составляют галениты, отобранные из шести месторож-

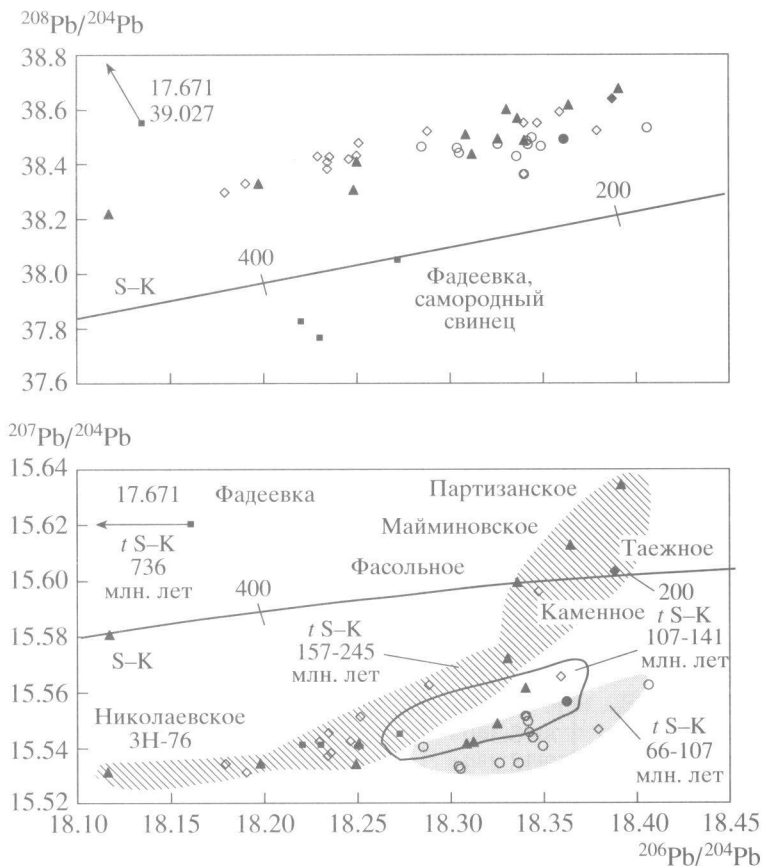
дений, сгруппированных в южной части Журавлевского террейна вблизи границы с Таухинским (№ 10–15 табл. 1). Они имеют более широкие диапазоны  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  и  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ . Наиболее низкое  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.671$  определено в галените, отобранном на стыке Лаолин-Гродековского и Вознесенского террейнов.

В координатах  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  точки распределяются вдоль одного направления, за исключением галенитов из Нахимовского, Вознесенского террейнов Ханкайского массива с низкими  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  и галенита из бассейна р. Фадеевки с высоким  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ . Самородный свинец из этой россыпи сопоставим с галенитами из террейнов Ханкайского массива. Галениты Ханкайского массива в целом весьма резко отличаются от галенитов Восточно-Сихотэ-Алинской зоны по вариациям торогенного свинца  $^{208}\text{Pb}$ .

В табл. 1 приведены результаты расчетов модельных возрастов отторжения свинца галенитов по двустадийной модели Стэйси и Крамерса (S–K) [8]. В ней допускается эволюция свинца первой стадии в интервале от 4.57 до 3.70 млрд. лет в резервуаре с однородными  $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$  ( $\mu_1$ ) = 7.192 и  $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$  ( $\omega_1$ ) = 32.208 и эволюция свинца второй стадии при  $\mu_2 = 9.735$  и  $\omega_2 = 36.837$ .

Для Таухинского террейна рассчитан широкий диапазон модельных возрастов свинца галенитов от 245 до 109 млн. лет. Интервал 141–109 млн. лет соответствует раннемеловой аккреции Таухинского террейна, а интервал 245–157 млн. лет – формированию раннетриасово-позднеюрского океанического фрагмента. Галенит из серебряного месторождения Таежного, расположенного в раннемеловом островодужном Кемском террейне, показал модельный возраст 185 млн. лет, соответствующий его доаккреционному становлению.

Галениты большинства месторождений Журавлевского террейна имеют сравнительно низкие модельные возрасты в интервале 107–73 млн. лет. В шести месторождениях, сгруппированных в южной части Журавлевского террейна вблизи границы с Таухинским (№ 10–15 табл. 1), галениты обнаружили диапазон более древних модельных возрастов в интервале 107–200 млн. лет. Исключением составляет оловорудное Силинское месторождение. По обр. С-243-85 определено сравнительно низкое значение модельного возраста 66 млн. лет, однако другой обр. С-1-10 показал значение модельного возраста 123 млн. лет, попадающее в интервал повышенных значений возрастов галенитов из группы месторождений южной части Журавлевского террейна. Измерения по восьми разным образцам из Смирновского месторождения этой группы показали интервал 160–198 млн. лет.



**Рис. 2.** Соотношения изотопов свинца галенитов. Местоположение объектов исследований и условные обозначения см. на рис. 1. На нижней диаграмме выделены фигуративные поля точек галенитов с разными диапазонами возрастов, рассчитанных по двустадийной модели Стэйси и Крамерса (см. табл. 1). На линиях модели Стэйси и Крамерса (S-K) возраст показан в млн. лет.

В работе [9] предполагалось, что источником рудного вещества сульфидно-касситеритовых месторождений Приморского рифта (Журавлевского террейна) явились нижнемеловые флишеидные толщи. Расчеты модельных возрастов галенитов показали отторжение рудных свинцов большинства месторождений этого террейна на границе раннего и позднего мела и в позднем мелу после накопления в нем осадочных отложений и аккреции Таухинского террейна. Повышенные модельные возрасты галенитов из группы месторождений южной части Журавлевского террейна указывают на более раннее начало рудогенеза одновременно с рудогенезом Таухинского и Кемского террейнов. Возможно, турбидиты этой части Журавлевского террейна перекрывают юго-западное продолжение Кемского или погруженный край Таухинского.

На месторождении Рудном, расположенном на границе Самаркинского и Журавлевского террейнов, модельный возраст галенита 104 млн. лет совпал с завершением аккреции Таухинского террейна. На единичных рассматриваемых месторождениях Нахимовского и Вознесенского террейнов

Ханкайского массива модельные возрасты галенитов 173 и 181 млн. лет совпали со средне-позднеюрской аккрецией Самаркинского террейна. На западной границе Ханкайского массива с Лаеолин-Гродековским супертеррейном изотопный состав свинца галенита дал более древний рифейский модельный возраст 736 млн. лет, а самородного свинца – более молодой – 148 млн. лет (табл. 1).

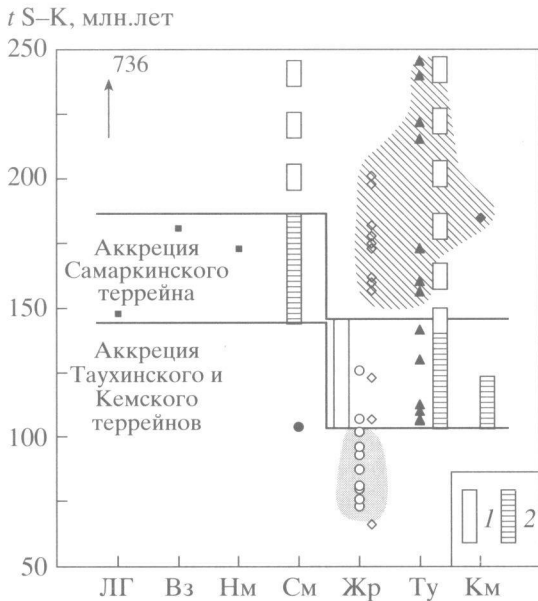
В Восточно-Сихотэ-Алинской зоне для галенитов с повышенными  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (15.59–15.64) в рамках двустадийной модели Стэйси и Крамерса рассчитаны значения  $\mu_2$  (9.68–9.83), близкие к ее модельному значению, и  $\omega_2$  (38.33–39.44), превышающие модельные. В галенитах с более низкими  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  интервалы  $\mu_2$  и  $\omega_2$  составили соответственно 9.57–9.40 и 36.45–38.14. В Ханкайском террейне для галенитов определены относительно низкие и высокие  $\mu_2$  (9.46 и 9.96) и  $\omega_2$  (33.98–35.23 и 47.60).

Для расчетов модели многостадийной эволюции свинца размах измеренных изотопных отношений оказался недостаточным. Принимая эту модель на качественном уровне и допуская по-

**Таблица 1.** Результаты определений изотопного состава свинца галенитов из рудных месторождений тектоно-стратиграфических террейнов Приморья

№ п.п.	Месторождение	№ пробы	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	Координаты		Возраст, млн. лет (S-K)
			с.ш.	в.д.				
Кемский террейн. Раннемеловая островная дуга								
1	Таежное	М-1671	18.387	15.603	38.634	45.5°	136.5°	185*
Таухинский террейн. Раннемеловая аккреционная призма								
2	Фасольное	И-4623/ФС	18.336	15.599	38.564	43.5°	134.5°	215*
3	Майминовское	И-4621/ММ	18.364	15.612	38.605	44.6	135.8	221*
4	Садовое	35/1379	18.340	15.561	38.479	44.4	135.6	130
		СП-40/1052	18.312	15.542	38.428			109
5	Первое Советское	ПГов-1	18.197	15.534	38.330	44.3	135.5	183
6	Партизанское	М-1811	18.391	15.634	38.671	44.5	135.5	245*
7	Верхнее	1	18.309	15.541	38.500	44.5	135.5	110
		2	18.325	15.548	38.483			112
8	Ключа 27-го	Г-193	18.330	15.571	38.589	44.3	135.3	160
9	Николаевское	ЗН-76	18.116	15.531	38.220	44.6	135.5	239
		ЗН-85	18.249	15.534	38.300			141
		ЗН-92	18.250	15.541	38.408			157
Журавлевский террейн.								
Раннемеловой окраинно-континентальный турбидитовый бассейн								
10	Силинское	С-1-10	18.359	15.565	38.588	44.5°	135.1°	123
		С-243-85	18.379	15.546	38.517			66
11	Хрустальное	Х-15	18.340	15.551	38.358	44.3	135.1	107
12	Высокогорское	Ф-823/3	18.234	15.545	38.406	44.4	135.1	178
13	Смирновское	В-179	18.246	15.542	38.415	44.6	135.3	162
		В-215	18.234	15.537	38.382	44.6	135.3	160
		Е-236	18.235	15.538	38.424	44.6	135.3	162
		Е-237	18.229	15.542	38.425	44.6	135.3	175
		Е-44	18.179	15.534	38.296	44.6	135.3	198
		К-14-в	18.190	15.531	38.328	44.6	135.3	182
		СГ-2	18.251	15.551	38.476	44.6	135.3	178
		У-178	18.250	15.541	38.428	44.6	135.3	157
14	Встречное	ВГ-3	18.340	15.551	38.529	44.7	135.3	107
15	Каменное	И-25002/К	18.347	15.596	38.548	44.5	135.5	201*
16	Арминское	2-83	18.305	15.532	38.437	46.2	136.5	93
17	Зимнее	3-83	18.349	15.540	38.461	45.7	136.0	76
18	Ноябрьское	4-83	18.304	15.533	38.455	45.3	135.7	96
19	Дальнетаежное	6-83	18.344	15.543	38.494	45.7	136.2	87
20	Тигриное	7-83	18.336	15.534	38.423	46.2	135.9	73
21	Звездное	3-3	18.340	15.551	38.358	46.3	136.5	107
22	Арсеньевское	А-104-84	18.406	15.562	38.528	44.5	134.8	80
		А-321	18.285	15.540	38.460	44.5	134.8	126
23	Ивановское	У-253	18.341	15.549	38.483	44.5	134.8	102
24	Перевальное	П-344/6	18.326	15.534	38.468	44.4	134.9	81
25	Голубое	У-253	18.342	15.545	38.467	46.2	136.2	93
Самаркинский террейн. Средне-позднеюрская аккреционная призма								
26	Рудное	Р-7026	18.361	15.557	38.491	45.6°	135.1°	104
Нахимовский террейн. Комплекс метаморфического ядра								
27	Кировское	8478	18.230	15.541	37.765	44.8°	133.9°	173
Вознесенский террейн.								
Протерозой-кембрийская пассивная континентальная окраина								
28	Ярославское	6869	18.220	15.541	37.826	44.2°	132.2°	181
Лаеолин-Гродековский супертеррейн.								
Пермская островная дуга на границе с Вознесенским террейном								
29	Фадеевка, самородный Pb	И-2000/С5	18.272	15.545	38.048	44.1°	131.3°	148
	Там же, галенит	И-2000/С-1	17.671	15.613	39.027	44.1	131.3	736

Примечание. Порядковые номера месторождений соответствуют обозначениям на рис. 1. Звездочками помечены сравнительно высокие значения модельных возрастов галенитов из Таухинского и Кемского террейнов, возможно, связанные с обогащением U и относительным увеличением  $\mu$ . В измерениях частично использованы образцы из коллекций И.Н. Говорова.



**Рис. 3.** Вариации модельных возрастов отторженных свинцов, рассчитанных по модели Стэйси и Крамерса ( $t S-K$ ), в сопоставлении с образованием террейнов Приморья и их аккрецией. Обозначения те же, что и на рис. 1 и 2. 1 – время образования океанических фрагментов террейнов; 2 – время аккреции террейнов.

следнее одноактное отторжение свинцов в пределах отдельно взятого террейна, тренд относительного возрастания  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  галенитов можно связать с повышенным содержанием U и, как следствие, с повышенным  $\mu$  [10].

**З а к л ю ч е н и е.** Галениты из Ханкайского массива отличаются от галенитов из террейнов Восточно-Сихотэ-Алинской зоны Приморья более широкими вариациями концентраций торогенного изотопа  $^{208}\text{Pb}$  и ураногенных  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ . Расчеты по двустадийной модели Стэйси и Крамерса показали сравнительно древний (рифейский) возраст отторженного свинца на границе Лаеолин-Гродековского супертеррейна с Хан-

кайским массивом. В террейнах Ханкайского массива и Восточно-Сихотэ-Алинской зоны модельные возрасты варьируют в рамках мезозоя. В Таухинском террейне определен интервал модельных возрастов 245–109 млн. лет, соответствовавших его аккреции и предшествовавшему субдукционному развитию фрагментов палеоокеанической плиты. В Журавлевском турбидитовом террейне рассчитан интервал модельных возрастов 107–73 млн. лет, указывающих на развитие рудообразующих процессов преимущественно при завершении раннемеловой аккреции и после нее (рис. 3).

Работа проводится при финансовой поддержке РФФИ (проект 01–05–65005).

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Натальин Б.А. // Тихоокеан. геология. 1991. № 5. С. 3–23.
2. Ханчук А.И., Иванов В.В. // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 11. С. 1635–1645.
3. Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д. и др. Геология и полезные ископаемые Приморского края: очерк. Владивосток: Дальнаука, 1995. 68 с.
4. Кемкин И.В., Кемкина Р.А. // Геотектоника. 2000. № 5. С. 71–79.
5. Филиппов А.Н., Бурый Г.И., Руденко В.С. // Тихоокеан. геология. 2001. Т. 20. № 3. С. 26–46.
6. Малиновский А.И., Филиппов А.Н., Голозубов В.В. и др. // Тихоокеан. геология. 2002. Т. 21. № 1. С. 52–66.
7. Иванов В.В., Вржосек А.А., Молчанова Г.Б. и др. Золото Сибири. Геология, геохимия, технология, экономика. Тр. II Междунар. симп. Красноярск, 2001. С. 208–210.
8. Stasey J.S., Kramers J.D. // Earth and Planet Sci. Lett. 1975. V. 26. P. 207–221.
9. Ростовский Ф.И., Хетчиков Л.Н. Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 113–123.
10. Брандт С.Б., Санин Б.П., Фефелов Н.Н. // Геология и геофизика. 1980. № 3. С. 67–76.