

УДК 550.42

ИЗОТОПНО-СВИНЦОВЫЕ РУДНЫЕ ПРОВИНЦИИ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ И ИХ СВЯЗЬ СО СТРУКТУРАМИ РЕГИОНА (ПО ДАННЫМ ВЫСОКОТОЧНОГО МС-ICP-MS-ИЗУЧЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА Pb)

© 2013 г. А. В. Чугаев, И. В. Чернышев, Н. С. Бортников, В. А. Коваленкер,
Г. Д. Киселева, В. Ю. Прокофьев

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
119017, Москва, Ж-17, Старомонетный пер., 35*

Поступила в редакцию 14.12.2012 г.

Проведено изучение изотопного состава свинца 12 месторождений Восточного Забайкалья, различающихся типом и масштабом рудной минерализации. Полученные для них с помощью метода многоколлекторной масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой высокоточные Pb-Pb-данные позволяют выделить две крупные изотопно-свинцовые провинции, которые пространственно совпадают с двумя геотектоническими блоками — соответственно Западно-Становым и Аргунским. Различия в изотопном составе свинца месторождений этих двух изотопно-свинцовых провинций указывают на участие в рудообразующих процессах контрастных по своим геохимическим особенностям региональных источников вещества. Для месторождений южной окраины Западно-Станового блока, где преимущественно локализованы объекты с Au и Mo оруденением, ведущая роль принадлежала смешанному источнику мантийного типа, тогда как источник свинца месторождений Аргунского блока по своим U-Th-Pb-изотопно-геохимическим характеристикам отвечает веществу континентальной коры орогенного типа.

DOI: 10.7868/S0016777013040035

ВВЕДЕНИЕ

Восточно-Забайкальский регион принадлежит к числу крупнейших металлогенических провинций России, где сосредоточены значительные промышленные запасы золота, полиметаллов, молибдена, вольфрама, олова и урана. На его территории выявлены и разведаны несколько крупных месторождений, таких, например, как: золото-серебряное Балейско-Тасеевское (Au — 480 т, Карелин, Томбасов, 2010), золоторудное Дарасун (Au > 200 т, Геологические ..., 1999), свинцово-цинковое серебросодержащее Нойон-Тологой (Pb — 920 тыс. т, Zn — 1090 тыс. т, Ag — 4 тыс. т, Четкин и др., 2011), вольфрам-молибденовое золотосодержащее Бугдаинское (Mo — 348 тыс. т, Pb — 40 тыс. т, Ag — 190 т, Au — 11.2 т, Коваленкер и др., 2011), группа месторождений урановорудного гиганта России — Стрельцовского рудного поля (U > 260 тыс. т, Наумов, 1993).

Восточное Забайкалье имеет сложное строение, обусловленное присутствием различных блоков докембрийской континентальной коры (террейнов), разделенных между собой офиолитовыми сутурными зонами. Современный структурный облик этого региона был сформирован

преимущественно в мезозойское время в результате закрытия палеозойского Монголо-Охотского океанического бассейна и коллизии Северо-Азиатского и Сино-Корейского кратонов. Коллизионные процессы, согласно существующим геодинамическим реконструкциям, происходили в средне- и позднеюрскую эпоху (Зоненшайн и др., 1990; Гусев, Хаин, 1995; Парфенов и др., 2003).

Формирование Восточного Забайкалья как уникальной многометальной провинции, по мнению многих исследователей (Томсон и др., 1977; Рыбалов, 2002; Спиридонов, Зорина, 2006), связано с позднеюрским—раннемеловым постколлизийным этапом тектоно-магматической активизации региона. В этот период времени произошло заложение системы грабенов субширотного и северо-восточного простирания, в пределах которых был проявлен внутриплитный магматизм, обусловленный воздействием на докембрийский фундамент континентальной коры теплового потока мантийного плюма (Ярмолюк и др., 1995). Согласно последним геолого-генетическим моделям, рудная минерализация Восточного Забайкалья генетически связана с образованием и функционированием в это время разнообразных рудно-магматических систем (Рыбалов, 2002; Спиридонов, Зорина, 2006; и др.). При построе-

Адрес для переписки: А. В. Чугаев. E-mail: chug@igem.ru

нии геолого-генетических моделей для месторождений этого региона одним из дискуссионных вопросов до сих пор остается природа источников рудных компонентов и их относительный вклад в формирование крупномасштабной минерализации различного типа и состава. Эффективным подходом в решении данного вопроса, как показывает мировой опыт исследований рудных месторождений, является применение методов изотопно-геохимического изучения вариаций радиогенных изотопов. К наиболее информативным среди них относится изучение изотопного состава обыкновенного свинца. Возможности Pb-Pb-метода для целей идентификации источников рудного вещества показаны во многих работах. Важным направлением в современных Pb-Pb-изотопных исследованиях является изучение региональных закономерностей в изотопных характеристиках месторождений, приуроченных к отдельным металлогеническим провинциям и(или) тектоническим блокам, поскольку изотопный состав Pb рудной минерализации отражает основные геохимические и геодинамические особенности геологических процессов, протекавших в их пределах. Тектонические блоки, в которых рудные объекты обладают схожими изотопными характеристиками свинца, рассматриваются Р. Зартманом (Zartman *et al.*, 1974) и вслед за ним другими исследователями (Шпикерман и др., 1993; Горячев и др., 2000; Чернышев, Шпикерман, 2001; Чернышев и др., 2008) как изотопно-свинцово-геохимические провинции. Выявление таких изотопно-геохимических провинций на основе сравнительного анализа изотопного состава Pb рудных месторождений на примере многометальной минерализации Восточного Забайкалья являлось основной целью настоящего исследования. Актуальность этой работы определяется продолжающейся в научной литературе дискуссией о возможных источниках месторождений Восточного Забайкалья с различным типом минерализации, что в большой степени обусловлено отсутствием для рудных объектов этой территории системных высокоточных Pb-Pb данных.

Опубликованные к настоящему времени Pb-Pb-данные для ряда месторождений Восточного Забайкалья были получены различными исследователями преимущественно в 60–80-е годы прошлого столетия, главным образом, с помощью традиционного метода термоионизационной масс-спектрометрии (TIMS) (Есиков и др., 1965; Плюснин, Санин, 1976; Фефелов и др., 1980; 1985; Плюснин и др., 1988; Verzina *et al.*, 2011). Представленные в этих работах результаты показывают, что многометальная минерализация, проявленная в этом регионе, неоднородна по своим Pb-Pb-изотопно-геохимическим характеристикам. Наблюдаемые различия в изотопном составе Pb рудных объектов, по мнению исследователей,

определяются смешением в рудно-магматических системах свинца из разных источников, в качестве которых рассматриваются геохимические резервуары как мантийного, так и корового типов. Разногласия в геологической интерпретации изотопных данных, имеющих в указанных работах, можно лишь частично отнести за счет различий геологических концепций, на которых основывают свои выводы авторы. Наиболее же вероятной причиной этого, как мы полагаем, является неопределенность (т.е. низкая точность) результатов масс-спектрометрических измерений, которая привела к существенным расхождениям значений изотопных отношений, полученных в разных упомянутых работах по одним и тем же рудным объектам. В оптимальных условиях погрешность измерения изотопных отношений обыкновенного Pb методом TIMS, независимо от типа масс-спектрометра, составляет около $\pm 0.2\%$, однако может достигать 0.5% и более. В случае рудных объектов с довольно однородным изотопным составом Pb (особенно по отношению $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$), к которым можно отнести большинство месторождений Восточного Забайкалья, такая точность оказывается недостаточной для надежного разграничения и геохимической идентификации их Pb-Pb-изотопно-геохимических характеристик.

В настоящей статье представлены результаты первого систематического изотопно-свинцового изучения месторождений Восточного Забайкалья, различающихся типом и масштабом рудной минерализации, с применением высокоточного изотопного анализа свинца методом многоколлекторной масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (MC-ICP-MS).

ИЗОТОПНЫЙ АНАЛИЗ СВИНЦА МЕТОДОМ MC-ICP-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Метод высокоточного изотопного анализа Pb на основе MC-ICP-масс-спектрометрии, который был разработан сравнительно недавно (Rehkaemper, Mezger, 2000; Thirlwall, 2000; Collerson *et al.*, 2002; Чернышев и др., 2007), позволяет почти на порядок повысить точность измерения изотопных отношений свинца по сравнению с традиционным методом TIMS. Столь радикальное снижение погрешности в изотопном анализе достигается благодаря реализуемому в методе MC-ICP-MS новому подходу корректирования результатов измерения изотопных отношений Pb на эффект приборной масс-дискриминации. Этот подход заключается в нормировании измеряемых изотопных отношений Pb по стандартному отношению, в качестве которого используется отношение распространенностей изотопов таллия ($^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}$).

В настоящей работе применен вариант метода MS-ICP-MS, в котором ввод в горелку масс-спектрометра гомогенного моноэлементного (по Pb) раствора анализируемого образца осуществлялся с помощью кварцевой распылительной камеры. В этом варианте анализа свинца, известном как режим “мокрой” плазмы (wet plasma), достигается максимальная точность измерения изотопных отношений Pb, в отличие от методик, предполагающих ультразвуковые распылительные камеры или вариант отбора проб с использованием лазерной установки.

Изотопный анализ Pb выполнен в микропробах галенита, масса которых не превышала 0,3 мг. Микропробы были отобраны стальной иглой непосредственно из штучных образцов или из полированных шлифов. В последнем случае процедура отбора обязательно сопровождалась оптическим контролем. Химическая подготовка галенита сводилась к растворению выделенного микрозерна в капле концентрированной (около 60%) дважды перегнанной азотной кислоты. После получения нитрата свинца приготавливался рабочий раствор 3% HNO₃, в котором концентрация анализируемого элемента составляла около 200 нг/мл.

Масс-спектрометрические измерения изотопного состава Pb выполнены на многоколлекторном масс-спектрометре NEPTUNE (ThermoFinnigan, Германия) с использованием методики, детальное описание которой приведено в работе (Чернышев и др., 2007). Непосредственно перед изотопным анализом в растворы (3% HNO₃) выделенных препаратов свинца добавляли Tl. Нормирование всех текущих измеряемых изотопных отношений Pb проводили по стандартному отношению ²⁰⁵Tl/²⁰³Tl, величина которого принималась равной 2.3889. Точность измерения (±2SD), оцененная по долговременной воспроизводимости результатов параллельных анализов стандартного образца металлического свинца SRM 981, а также образцов галенита (более 120 определений), составляет 0.016–0.018% для изотопных отношений ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb и ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb.

Таким образом, применение метода MS-ICP-MS для изучения изотопного состава Pb многометальной минерализации Восточного Забайкалья дает возможность на качественно новом уровне точности (около ±0.02%) определить Pb-Pb-изотопно-геохимические характеристики оруденения, оценить степень однородности изотопного состава Pb внутри отдельных рудных объектов и установить реальные отличия между месторождениями с различным типом минерализации.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

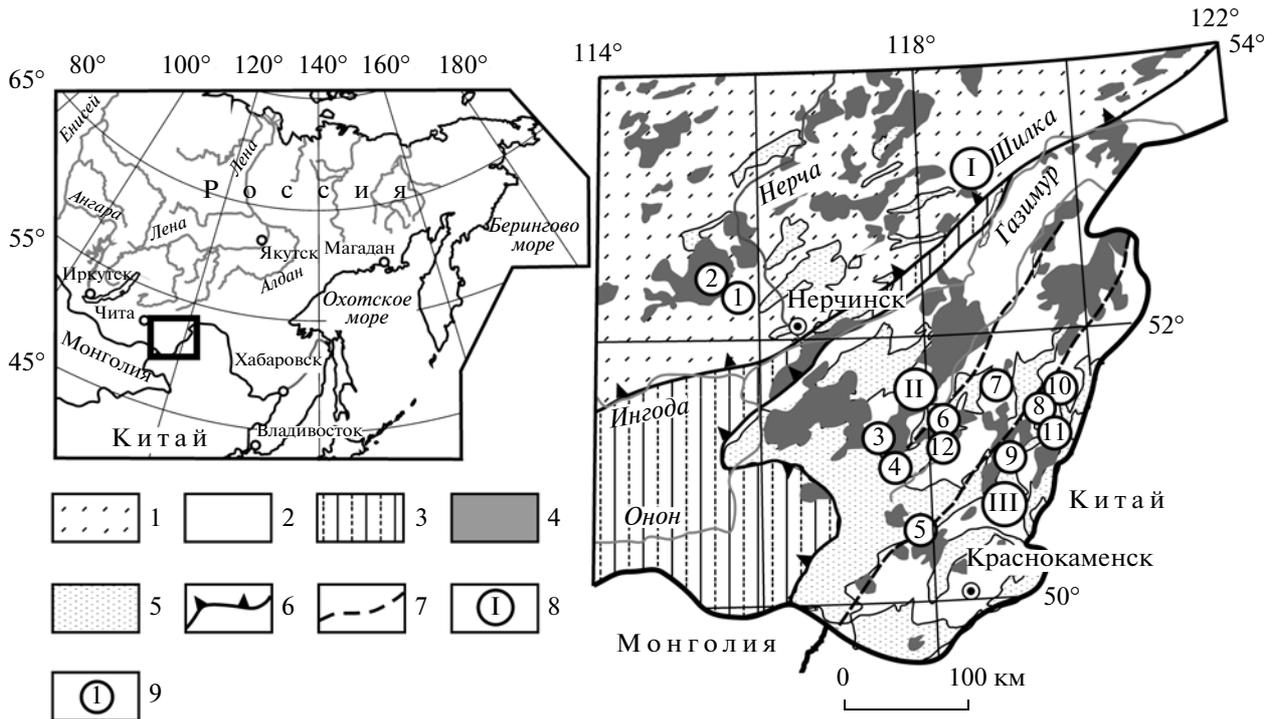
Изучение изотопного состава Pb было выполнено для 12 месторождений Восточного Забайкалья, различающихся как типом рудной минерализации, так и масштабом оруденения. Структурно они расположены в террейнах с докембрийской сиалической корой – Западно-Становом и Керулено-Аргунском, выделяемых в составе Центрально-Азиатского складчатого пояса (Гусев, Хаин, 1995; Парфенов и др., 2003; Zorin *et al.*, 2001) (фиг. 1). Тектонической границей между ними является Монголо-Охотский сутурный шов, представляющий собой надвиговую зону с правосторонним сдвигом.

Согласно металлогенической схеме районирования Восточного Забайкалья (Рыбалов, 2002), изученные месторождения локализованы в трех наиболее крупных рудных поясах этого региона. Последние характеризуются северо-восточным простиранием и представлены с севера на юг: Шилка-Олекминским поясом с Au и Mo минерализацией, Центральным с Sn-W, Ta-Nb, Li-Be, TR минерализацией и Приаргунским поясом, содержащим Pb-Zn-Ag-минерализацию.

Для Шилка-Олекминского металлогенического пояса были изучены золоторудные месторождения Дарасун и Теремкинское, входящие в состав Дарасунского рудного поля. Вмещающими золотое оруденение породами являются палеозойские и мезозойские магматические породы основного и кислого состава. Рудная минерализация на месторождениях представлена турмалинсодержащими сульфидно-кварцевыми жилами, а также зонами прожилково-вкрапленного оруденения. Среди рудных минералов преобладают пирит, арсенопирит, халькопирит, сульфосоли, сфалерит и галенит. Формирование рудно-магматической системы этих месторождений связывают со становлением в позднеюрское время субвулканических тел амуджиканского комплекса, представленных высококальциевыми плагиогранит-порфирами, гранодиорит-порфирами и гранит-порфирами (Тимофеевский Д.А., 1972; Плюснин и др., 1988; Прокофьев и др., 2000). Изученная коллекция галенита включала 6 образцов, отобранных из различных рудных тел месторождения Дарасун, и 5 образцов из руд месторождения Теремкинское.

Центральный металлогенический пояс отличается разнообразием проявленной в нем рудной минерализации. Объектами настоящего изучения являлись месторождения: Бугдаинское (Au-Mo(W)), Шахтаминское (Mo-порфировое), Ново-Широкинское (Au-Pb-Zn), Акатуй (Pb-Zn) и Быстринское (Au-Cu).

Бугдаинское месторождение приурочено к центральной части вулкано-купольной структу-



Фиг. 1. Схема геотектонического строения и металлогенического районирования Восточного Забайкалья (по Гусев, Хаин, 1995; Парфенов и др., 2003; Рыбалов, 2002; Zorin et al., 2001).

1–3 – террейны: 1–2 – с выходами докембрийского основания: 1 – Западно-Становой, 2 – Аргунский; 3 – Агинский (включая Пришилкинскую зону), преимущественно сложенный (без расчленения) рифейско-палеозойско-мезозойскими терригенно-карбонатными породами морского происхождения; 4 – известково-щелочные и субщелочные гранитоиды позднепалеозойского и среднемезозойского возраста; 5 – постколлизийные прогибы, выполненные мезозойскими терригенными породами морского и континентального происхождения, а также известково-щелочными и субщелочными вулканитами; 6–7 – тектонические структуры: 6 – Монголо-Охотская сутурная зона, включая Агинскую (Ононская) ветвь, 7 – главные разломы (Газимурский и Урулонгуевский). 8 – металлогенические пояса: I – Шилко-Олекминский (Au+Mo), II – Центральный (Sn-W+Mo, Ta-Nb, Li-Be, TR), III – Приаргунский (Pb-Zn+Ag, U); 9 – месторождения: 1 – Дарасун, 2 – Теремкинское, 3 – Бугдаинское, 4 – Акатуй, 5 – Нойон-Тологой, 6 – Шахтаминское, 7 – Ново-Широкинское, 8 – Михайловское, 9 – Кадаинское, 10 – Благодатское, 11 – Екатерино-Благодатское, 12 – Быстринское.

ры в пределах крупного Ундинского плутона варисских биотит-роговообманковых гранитов. Минерализация на месторождении представлена штокерковыми рудами и жильными телами, в которых среди рудных минералов преобладают молибденит, пирит, галенит и сфалерит.

К юго-востоку от вышеупомянутого рудного объекта расположено полиметаллическое месторождение Акатуй. Рудовмещающими породами для полиметаллической минерализации являются палеозойские карбонатные породы. В пределах рудного поля они прорваны позднемезозойскими массивными интрузивными телами, сложенными граносиенитами, диоритами и диорит-порфирами.

Месторождения Шахтаминское и Ново-Широкинское приурочены к общей рудоконтролирующей структуре северо-восточного простирания. Рудная минерализация Шахтаминского месторождения локализована в средне-позднеюрских гранитоидах Шахтаминского комплекса и гене-

тически связана с более поздними субвулканическими телами и дайками среднего и кислого состава. Месторождение Ново-Широкинское, расположенное к северо-востоку от Шахтаминского, приурочено к вулканогенно-осадочным породам юрского возраста, которые прорываются средне-позднеюрскими субвулканическими штоками и дайками гранодиорит-порфиров, диорит-порфиров и лампрофиров (Кормилицын, Иванова, 1968; Спиридонов, Зорина, 2006).

Площадь месторождения Быстринское, которое расположено вблизи Ново-Широкинского месторождения, сложена терригенно-карбонатными образованиями нижнего-среднего протерозоя и среднего мезозоя (известняки, песчаники, аргиллиты, алевролиты, реже конгломераты). Осадочные породы прорываются интрузивными и эффузивными породами Быстринского штока (диоритами, диорит-гранодиоритами, гранитами и их порфирами, андезитами, дацитами). Дайковый комплекс представлен гранодиорит-порфирами, гранит-порфи-

рами, лампрофирами, базальтами. Крупные рудные тела расположены вдоль контакта магматических и осадочных пород в южной и восточной частях штока, осложненных нарушениями.

Для месторождений Центрального металлогенического пояса было изучено 16 образцов галенита, половина из которых характеризовала рудную минерализацию Бугдаинского месторождения.

Рудные объекты, расположенные в *Приаргунском металлогеническом поясе*, были представлены крупномасштабным месторождением Нойон-Тологой, а также группой месторождений Нерчинско-Заводского рудного поля (Кадаинское, Михайловское, Благодатское, Екатерино-Благодатское). Эти месторождения представляют два главных типа полиметаллического оруденения, различающихся, прежде всего, геологическими условиями локализации. Представителем первого типа является Ag-полиметаллическое месторождение Нойон-Тологой. Оно залегает в вулканогенно-осадочных образованиях (J_{2-3}) (конгломераты, трахиандезиты, дациты, базальты, андезитобазальты и др.), прорванных сиенит-порфирами и субщелочными габбро (J_{2-3}). Основное оруденение приурочено к вулканитам, в меньшей степени — к терригенным осадочным породам. Ко второму типу относятся месторождения Нерчинско-Заводского рудного поля, в которых полиметаллическая минерализация локализована преимущественно в карбонатных породах палеозойского возраста и пространственно ассоциирует с малыми интрузивными телами основного, среднего и кислого состава. Рудные тела, представленные массивными рудами пластообразной, трубообразной и жилообразной формы, сложены галенитом, сфалеритом, пиритом. В настоящем исследовании полиметаллические месторождения Приаргунского пояса были представлены 8 образцами галенита.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для изученной нами серии месторождений Восточного Забайкалья обнаруживаются значительные вариации изотопного состава Pb (фиг. 2а, б, таблица). Наибольший разброс наблюдается для отношения $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Измеренные для этого отношения значения лежат в диапазоне от 18.022 до 18.723, т.е. отличие крайних значений в относительных единицах составляет 3.8%. Несколько меньший размах вариаций, который, тем не менее, существенно превышает аналитические погрешности метода MC-ICP-MS, установлен для изотопных отношений $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Полученные для них величины изменяются от 15.516 до 15.628 и от 38.094 до 38.542 соответственно, т.е. отличия крайних значений для этих изотопных отношений в относительных единицах составляют 0.7% и 1.2%. Общий размах вари-

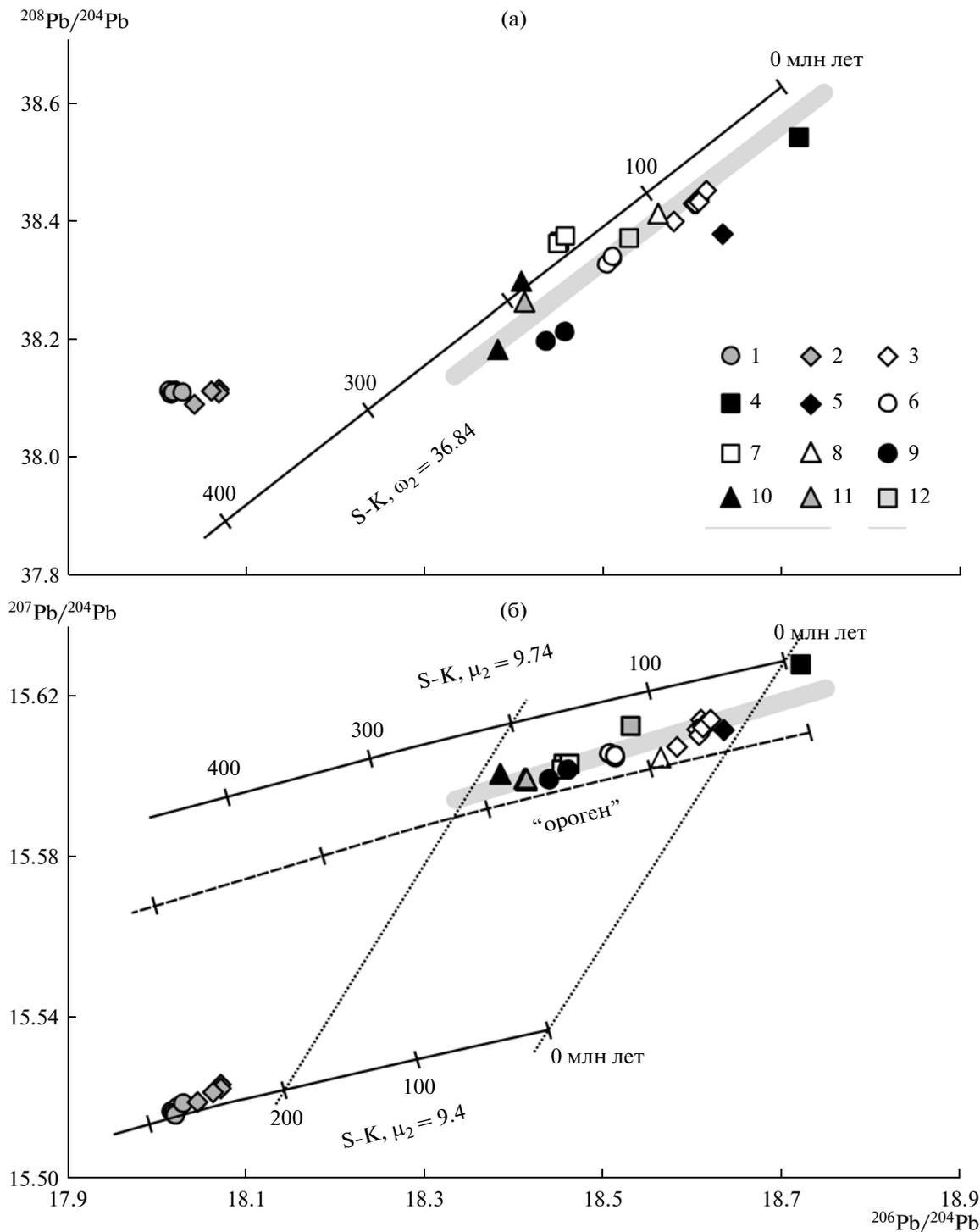
аций изотопного состава Pb, установленный по образцам галенита из 12 месторождений, весьма близок к имеющейся оценке изотопной неоднородности Pb рудной минерализации Восточного Забайкалья, сделанной на основе ранее опубликованных результатов Pb-Pb-изучения более 40 объектов этого региона (Фефелов и др., 1980).

Совокупность полученных в настоящей работе Pb-Pb-данных позволяет выделить среди изученных месторождений две группы, контрастно отличающиеся по изотопному составу Pb. Свинец галенита золоторудных месторождений Дарасунского рудного поля обладает наиболее низкими значениями изотопных отношений и по всем изотопным характеристикам отличается от свинца других изученных нами объектов. Столь значительные различия в изотопном составе Pb месторождений этих двух групп указывают на участие в их генезисе контрастных по своим геохимическим особенностям источников вещества. Важно отметить, что эти две группы месторождений отличаются и по своей тектонической позиции. Золоторудные месторождения Дарасун и Теремкинское расположены в пределах Западно-Станового террейна, тогда как остальные месторождения, характеризующиеся более радиогенным изотопным составом свинца, локализованы в границах Аргунского террейна.

Рассмотрим более детально Pb-Pb-изотопно-геохимические характеристики этих двух групп месторождений.

Рудный свинец месторождений Дарасунского рудного поля обладает высокой степенью однородности. Для месторождения Дарасун средние значения изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ в проанализированных образцах галенита равны 18.0256, 15.5174 и 38.1104 при среднеквадратичном разбросе индивидуальных значений (σ , %) — 0.024%, 0.006% и 0.005% соответственно. Столь же однородным изотопным составом Pb характеризуется галенит из месторождения Теремкинское. Для этого объекта получены средние значения изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, равные соответственно 18.0611, 15.5217 и 38.1079 (таблица). При этом среднеквадратичный разброс измеренных значений несколько выше, чем для руд месторождения Дарасун, и составляет 0.053%, 0.01% и 0.024%.

На фоне столь высокой однородности изотопного состава свинца Дарасунского рудного поля при детальном рассмотрении высокоточных результатов, полученных с помощью метода MC-ICP-MS, обнаруживаются “тонкие” закономерности в распределении и различии изотопного состава Pb галенита месторождений Дарасун и Теремкинское. Прежде всего, надо отметить хотя и небольшие, но вполне значимые отличия изотоп-



Фиг. 2. Pb-Pb-изотопные диаграммы (а, б) для галенита из рудной минерализации месторождений Восточного Забайкалья.

Порядковый номер в условных обозначениях соответствует нумерации месторождений, приведенной на фиг. 1. На диаграммы нанесены: эволюционные кривые модели Стейси–Крамерса (S-K, сплошные линии), кривая эволюции Pb в геохимическом резервуаре типа ороген (пунктирная линия) и линейные тренды точек изотопного состава Pb для месторождений Аргунского террейна (серый цвет).

ного состава Pb в рудах этих месторождений по содержанию радиогенных изотопов ^{206}Pb и ^{207}Pb . Для свинца галенита месторождения Теремкин-

ское средние величины изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ являются более высокими (соответственно на 0.2% и на 0.03%), чем таковые

Изотопный состав Pb галенита месторождений Восточного Забайкалья по данным высокоточного анализа методом MC-ICP-MS

№ П.П	Место отбора/ Характеристика образца	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
ЗАПАДНО-СТАНОВОЙ БЛОК				
Шилка-Олекминский металлогенический пояс				
<i>Золото-сульфидное месторождение Дарасун</i>				
1	Жила Лебедевская, галенит-сфалерит-карбонат-кварцевая ассоциация	18.0226	15.5171	38.1103
2	Жила Нагорная – IV, галенит-сфалерит-карбонат-кварцевая ассоциация	18.0219	15.5174	38.1118
3	Жила Майская, пирит-халькопирит-сфалерит-блеклая руда-галенит-кварцевая ассоциация	18.0275	15.5180	38.1128
4	Жила Разведочная. Галенит-сфалеритовая ассоциация.	18.0227	15.5169	38.1079
5	Жила Юго-Западная, кварц-халькопирит-блеклорудная ассоциация со сфалеритом и галенитом	18.0248	15.5164	38.1105
6	Жила Свинцовая, сфалерит-галенитовая ассоциация	18.0333	15.5188	38.1093
<i>Золото-сульфидное месторождение Теремкинское</i>				
7	Участок Золушка, крупнокристаллический галенит	18.0452	15.5192	38.0939
8	Жила Горняцкая, карбонат-кварц-турмалин-пиритовая ассоциация с галенитом	18.0677	15.5230	38.1144
9	Штольня Теремки, жила № 2, турмалин-кварц-карбонат-пирит-халькопиритовая ассоциация	18.0677	15.5223	38.1109
10	Жила Комсомольская, сфалерит-пирит-халькопирит-карбонат-галенитовая ассоциация	18.0595	15.5214	38.1124
11	Жила Дочерняя, пирит-халькопирит-кварцевая ассоциация	18.0655	15.5226	38.1171
АРГУНСКИЙ БЛОК				
Центральный металлогенический пояс				
<i>Золото-вольфрам-молибденовое порфировое месторождение Бугдаинское</i>				
12	Кварц-молибденитовая жила, пересеченная сульфидным прожилком с галенитом	18.5816	15.6082	38.4020
13	»	18.6071	15.6137	38.4325
14	Брекчированная кварц-молибденитовая жила с галенитом в цементе	18.6088	15.6117	38.4401
15	»	18.6040	15.6119	38.4334
17	Сфалерит-галенитовый прожилок в серицитизированных гранитах	18.6064	15.6106	38.4326
18	»	18.6099	15.6124	38.4392
19	»	18.6103	15.6121	38.4361
20	Кварц-галенитовый прожилок в серицитизированных гранитах	18.6171	15.6138	38.4507
<i>Молибден-порфировое месторождение Шахтаминское</i>				
21	Карбонат-полиметаллическая жила в сульфидизированном граните	18.5134	15.6050	38.3368
22	Гнездо галенита в молибденитсодержащем гранитоиде	18.5080	15.6056	38.3291
23	Кварц-полиметаллическая жила на контакте с кварц-молибденитовой жилой	18.5127	15.6054	38.3403
<i>Золото-полиметаллическое месторождение Ново-Широкинское</i>				
24	Главное рудное тело. Кварц-полиметаллическая жила в туфах андезитового состава.	18.4546	15.6027	38.3663
25	Главное рудное тело. Массивная полиметаллическая руда. Крупнокристаллический сфалерит, галенит	18.4605	15.6028	38.3736
26	Седьмое рудное тело. Массивная полиметаллическая руда, галенит-сфалерит-пирит-гематитовая ассоциация с блеклой рудой	18.4535	15.6017	38.3644

Таблица. Окончание

№ П.П	Место отбора/ Характеристика образца	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
<i>Полиметаллическое месторождение Акатуй</i>				
27	Пирит-сфалерит-галенитовая жила в доломитизированных известняках	18.7230	15.6279	38.5424
<i>Золото-медное скарново-порфировое месторождение Быстринское</i>				
28	Кварц-галенитовый прожилок в осветленном диорите	18.5324	15.6125	38.3708
Приаргунский металлогенический пояс				
<i>Полиметаллическое месторождение Нойон-Тологой</i>				
29	Массивная галенитовая жила в вулканических породах	18.6356	15.6119	38.3793
<i>Полиметаллическое месторождение Михайловское</i>				
30	Галенит-сфалеритовый прожилок в карбонатных породах	18.5636	15.6051	38.4135
<i>Полиметаллическое месторождение Кадаинское</i>				
31	Галенит-сфалеритовый прожилок в карбонатных породах	18.4590	15.6015	38.2127
32	»	18.4396	15.5996	38.1973
<i>Полиметаллическое месторождение Благодатское</i>				
33	Галенит-сфалеритовый прожилок в карбонатных породах	18.3838	15.6008	38.1853
34	»	18.4112	15.5998	38.2985
<i>Полиметаллическое месторождение Екатерино-Благодатское</i>				
35	Галенит-сфалеритовый прожилок в карбонатных породах	18.4144	15.5994	38.2667
36	»	18.4135	15.5995	38.2639

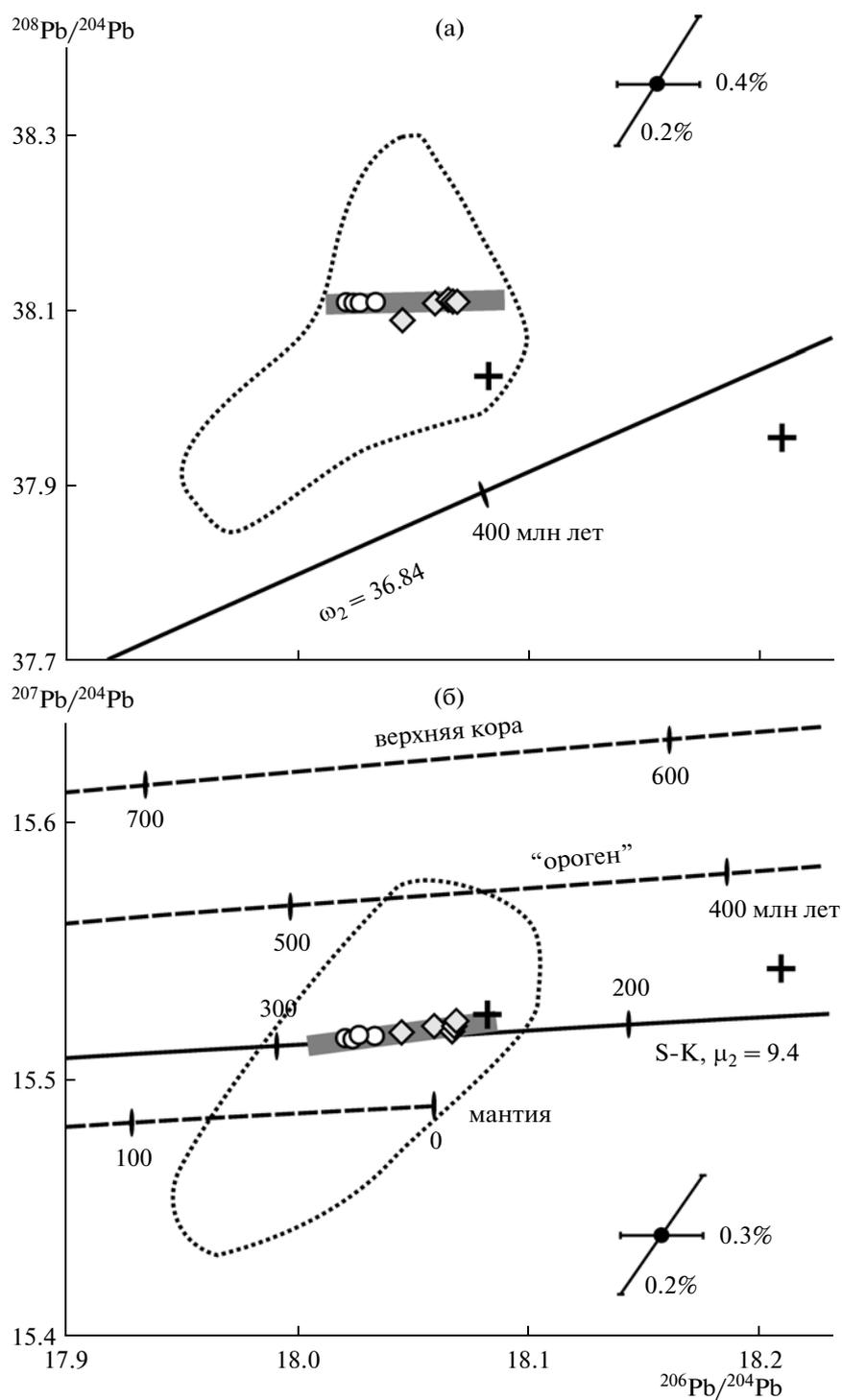
Примечание. Погрешность измерения методом MC-ICP-MS изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ в свинце галенита составляла $\pm 0.02\%$ ($\pm 2\text{SD}$).

для месторождения Дарасун. Вследствие этих различий на обеих Pb-Pb-диаграммах (фиг. 3) точки изотопных составов рудного свинца месторождений образуют короткие линейные тренды, один из которых в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ лежит на эволюционной кривой модели Стейси–Крамерса с низким значением параметра $\mu_2 = 9.4$ и субпараллелен ей.

На фиг. 3 нанесены в виде оконтуренных полей результаты анализа Pb галенита (около 30 образцов) из месторождений Дарасун и Теремкинское, полученные ранее другими исследователями с помощью метода TIMS (Фефелов и др., 1985; Плюснин и др., 1988). Средние значения для этой совокупности данных как по месторождению Дарасун, так и по месторождению Теремкинское близки к приведенным выше средним значениям изотопного состава Pb, рассчитанным нами по данным метода MC-ICP-MS. Однако разброс результатов измерений методом TIMS, который в целом соизмерим с масштабом аналитической погрешности этого метода, полностью затушевывает тонкие различия изотопного состава Pb (особенно по координате $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) и его соотношения с эволюционными кривыми.

Обсуждавшиеся выше отличия в изотопном составе Pb месторождений Дарасун и Теремкин-

ское, по-видимому, обусловлены смешением в минералообразующих системах этих месторождений свинца из двух типов источников. В качестве одного из них, вероятней всего, могли выступать вмещающие золоторудную минерализацию магматические породы раннепалеозойского возраста. Отсутствие для этих пород высокоточных Pb-Pb-данных не позволяет надежно подтвердить это предположение. Однако косвенно на участие Pb вмещающих пород в рудообразующих процессах может указывать тот факт, что наиболее радиогенный изотопный состав свинца и больший разброс вариаций устанавливаются для галенита из месторождения Теремкинское, которое по масштабу оруденения существенно уступает месторождению Дарасун. Можно предположить, что масштаб минералообразующей системы золоторудных месторождений во многом определяет интенсивность и длительность процессов взаимодействия в системе флюид-порода. Эти факторы оказывают существенное влияние как на размах вариаций изотопного состава Pb в зонах отложения рудного вещества, так и на степень его контаминации свинцом вмещающих пород. Таким образом, линейный тренд, который на диаграмме в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ образуют точки изотопного состава Pb галенита из



Фиг. 3. Pb-Pb-изотопные диаграммы (а, б) для галенита из рудной минерализации месторождений Дарасунского рудного поля (Восточное Забайкалье).

Условные обозначения для галенита из месторождений Дарасун и Теремкинское приведены на фиг. 2. Крестиками обозначены точки изотопного состава Pb плагиоклаза палеозойских габброидов Дарасунского рудного поля (по Чернышев и др., 2012). На диаграммы также нанесены тренды изотопного состава Pb галенита месторождений Дарасун и Теремкинское (серый цвет), контуры областей изотопного состава Pb по данным, полученным ранее (Фефелов и др., 1985; Плюснин и др., 1988), эволюционные кривые модели Стейси-Краммера (S-K, сплошные линии) и модели Ду-Зартмана (пунктирные линии).

месторождений Дарасун и Теремкинское, можно интерпретировать как линию смещения свинца вмещающих пород основного состава (источник первого типа) и исходного свинца рудообразующих флюидов (источник второго типа). Участие в процессах рудообразования свинца палеозойских габброидов, присутствующих в Дарасунском рудном поле, подтверждают Pb-Pb-данные, опубликованные для этих пород И.В. Чернышевым с соавторами (Чернышев и др., 2012). Точки изотопного состава Pb плагиоклазов габброидов на диаграмме в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ лежат на продолжении тренда, образованного экспериментальными точками галенита. С учетом вышесказанного можно заключить, что доля свинца источника второго типа преобладает в галените месторождения Дарасун. Соответственно, Pb-Pb-изотопно-геохимические характеристики данного месторождения ближе всего отвечают таковым источника свинца рудообразующих флюидов. Рассчитанные по результатам Pb-Pb-изучения галенитов месторождения Дарасун значения модельных параметров μ_2 и ω_2 показывают, что источник свинца второго типа обладал относительно низким $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ ($\mu_2 \sim 9.4$) отношением и среднекоровым $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ ($\omega_2 \sim 36.83$) отношением. Отличительной особенностью этого источника является более высокое значение Th/U отношения (около 3.9) по сравнению с геохимическими резервуарами коровых (включая орогенный) типов. Поскольку источник истощен по урану относительно других компонентов U-Th-Pb-системы, значения модельных Pb-Pb-возрастов оказываются более древними (в среднем около 280 млн. лет), чем геологический возраст рудной минерализации. На основании полученных Pb-Pb-данных для золоторудной минерализации Дарасунского рудного поля и с учетом современных представлений о геодинамической истории формирования Западно-Станового террейна можно заключить, что наиболее вероятным источником свинца второго типа, поступавшего вместе с минералообразующими гидротермальными растворами, являлся геохимический резервуар, который по своим свинцово-изотопным характеристикам может быть соотнесен с литосферной мантией. Точнее той ее новообразованной частью, которая была сформирована под южной окраиной Западно-Станового террейна в условиях субдукционной обстановки, которая реконструируется для данного блока на позднепалеозойский–раннемезозойский период времени. По-видимому, участием в формировании литосферной мантии вещества субдуцированной палеозойской океанической коры можно объяснить пониженное значение параметра в источнике рудного Pb и “удревленные” значения модельного Pb-Pb-возраста.

Локализованные в пределах Аргунского террейна месторождения в целом характеризуются повышенным содержанием всех трех радиогенных изотопов Pb и большим масштабом вариаций его изотопного состава по сравнению с месторождениями Дарасунского рудного поля. Измеренные значения изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ изменяются в пределах 18.38–18.72, 15.60–15.63 и 38.19–38.54 соответственно (таблица). Однако на примере месторождения Бугдаинское, как одного из наиболее изученных в настоящей работе рудных объектов Аргунского террейна, хорошо видно, что по степени однородности изотопного состава Pb оно аналогично месторождениям Дарасун и Теремкинское. Разброс величин изотопных отношений Pb (σ , %), измеренных в галените из руд этого месторождения, составляет: для отношения $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – 0.06%, для $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – 0.01%, а для отношения $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – 0.04%. Таким образом, месторождение Бугдаинское, наряду с золоторудной минерализацией месторождений Дарасунского рудного поля, может быть отнесено к числу объектов, характеризующихся высокой степенью однородности изотопного состава Pb. Установленный факт свинцово-изотопной однородности месторождений Бугдаинское, Дарасун и Теремкинское поддерживает разработанные для них геолого-генетические модели, согласно которым функционирование рудно-магматических гидротермальных систем связано со становлением в позднеюрское время высококалийных известково-щелочных пород среднего и кислого составов (Зорина, Санин, 1980; Спиридонов, Зорина, 2006; Козлов, 2011). Для этих месторождений источником свинца с гомогенным изотопным составом, вероятней всего, выступали глубинные магматические расплавы, сформировавшие эти породы.

Точки изотопного состава Pb, отвечающие галениту месторождений Аргунского террейна, расположены в правой верхней части Pb-Pb-диаграмм и образуют единые тренды, субпараллельные среднекоровым эволюционным кривым модели Стейси–Крамерса ($\mu_2 = 9.74$, $\omega_2 = 36.84$). На этих трендах экспериментальные точки для каждого из месторождений расположены достаточно обособленно (фиг. 2). Наименее радиогенным изотопным составом свинца обладают преимущественно полиметаллические месторождения Нерчинско-Заводской группы (за исключением Михайловского), а также золото-полиметаллическое месторождение Ново-Широкинское, что определяет нахождение точек, отвечающих этим объектам, на нижней части тренда. Напротив, точки изотопного состава свинца месторождений с Cu, Mo-W и Mo-Pb-Zn типом оруденения образуют верхнюю часть тренда, к которой тяготеют также полиметаллические месторождения Ми-

хайловское, Нойон-Тологой и Акатуй. Отметим, что месторождения Нойон-Тологой и Михайловское отличаются по своей геологической позиции от других изученных нами Pb-Zn-объектов. Так, рудная минерализация месторождения Нойон-Тологой локализована в вулканогенно-осадочных породах, тогда как в районе месторождения Михайловское широкое распространение имеют терригенные породы, преимущественно представленные сланцами серицит-хлорит-кварцевого состава. Наблюдаемое повышенное содержание изотопа ^{206}Pb в свинце руд месторождений Нойон-Тологой и Михайловское, вероятнее всего, обусловлено контаминацией рудообразующих растворов свинцом вмещающих пород, который мог иметь более радиогенный изотопный состав. Контрастным по величинам изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ является также галенит из Pb-Zn-месторождения Акатуй, локализованного в карбонатных толщах. Измеренный для него изотопный состав Pb характеризуется наиболее высокими содержаниями всех трех радиогенных изотопов по сравнению со свинцом других месторождений Аргунского террейна, что определяет крайнее правое положение его точек на трендах на обеих Pb-Pb-изотопных диаграммах (фиг. 2а, б). Полученные Pb-Pb-данные не позволяют пока дать удовлетворительное объяснение наблюдаемым особенностям изотопного состава Pb месторождения Акатуй. Решение этого вопроса, очевидно, требует более детального Pb-Pb-изучения как рудной минерализации, так и пород, слагающих район месторождения.

Положение точек изотопного состава Pb месторождений Аргунского террейна относительно эволюционных кривых, отвечающих глобальным геохимическим резервуарам Земли, позволяет предположить общий для этих объектов источник свинца, который по своим Pb-Pb-характеристикам близок к континентальной коре орогенного типа (Zartman, Doe, 1981). В свою очередь, наблюдаемые небольшие отличия в Pb-Pb-характеристиках изученных месторождений могут быть объяснены геохимической неоднородностью этого источника Pb по величине U/Pb-отношения. Отметим также некоторые особенности тренда изотопного состава Pb, показанного на фиг. 2б. Этот тренд характеризуется относительно пологим углом наклона, т.е. Pb в месторождениях Аргунского террейна отличается, прежде всего, по величине отношения $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Кроме того, этот тренд образован точками различных объектов с близким возрастом рудной минерализации — около 140–160 млн. лет (Плюснин и др., 1988; Спиридонов и др., 2006; Борисенко и др., 2010; Чернышев и др., 2012; и др.). Перечисленные особенности позволяют рассматривать линейную зависимость точек на графике в координатах

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ как изохронную, а собственно сам тренд — как “вторичную” изохрону. В этом случае эволюция изотопного состава Pb может быть описана в рамках двустадийной модели. При этом начальная стадия отвечает формированию регионального геохимического резервуара (или источника рудного Pb), хорошо усредненного по изотопному составу Pb и неоднородного по U/Pb-отношению, а поздняя — отделению Pb от U-Th-Pb-системы этого резервуара и участию его в минерализации. Время отделения Pb от U-Th-Pb-системы регионального резервуара, вероятнее всего, соответствует времени проявления в пределах Аргунского террейна рудообразующих процессов, которые, согласно опубликованным геохронологическим данным, происходили в отрезке времени 140–160 млн. лет назад (Плюснин и др., 1988; Спиридонов и др., 2006; Борисенко и др., 2010; Чернышев и др., 2012; и др.). С учетом этого в рамках двустадийной модели может быть получена оценка времени формирования регионального источника, которое сопровождалось перераспределением в нем U, Th и Pb и гомогенизацией изотопного состава Pb. Выполненные расчеты показывают, что перераспределение компонентов U-Th-Pb-системы регионального источника произошло в позднерифейское время (около 800 млн. лет назад). Полученная нами оценка времени формирования регионального источника рудного Pb удовлетворительно согласуется с результатами U-Pb геохронологического изучения цирконов из докембрийских гранитоидных пород, которые свидетельствуют о масштабной переработке сиалического фундамента Аргунского террейна в результате развития магматических процессов 850 ± 20 млн. лет назад (Тугаринов и др., 1980).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты изучения изотопного состава Pb месторождений различных металлогенических поясов Восточного Забайкалья, полученные на основе высокоточного MC-ICP-MS-метода, позволяют выделить две крупные изотопно-свинцовые провинции, которые структурно приурочены к двум террейнам с докембрийской корой — Западно-Становому и Аргунскому. Проявленная в пределах этих двух изотопно-свинцовых провинций рудная минерализация различается по изотопному составу Pb. Этот факт обусловлен поступлением Pb (и, возможно, других рудных компонентов) в рудообразующие системы месторождений, пространственно расположенных в этих террейнах, из региональных источников, контрастно отличающихся по своим U-Th-Pb-изотопно-геохимическим характеристикам. Для месторождений южной окраины Западно-Станового террейна, где преимущественно локали-

зованы объекты с Au- и Mo-оруденением, ведущая роль принадлежала источнику мантийного типа. Данный источник имеет региональный характер, что находит подтверждение в Pb-Pb-данных, опубликованных для других месторождений Западно-Станового террейна (Berzina *et al.*, 2011). Для изученных месторождений Аргунского террейна также устанавливается общий источник рудного Pb. По своим U-Th-Pb-изотопно-геохимическим характеристикам данный источник отвечает веществу континентальной коры орогенного типа. Есть основание полагать, что он был сформирован в позднерифейский этап тектономагматической активизации Аргунского террейна, которая сопровождалась масштабными процессами гранитообразования, что вызвало усреднение изотопного состава Pb и перераспределение компонентов U-Th-Pb-изотопной системы в породах докембрийского сиалического фундамента.

Для месторождений Дарасун, Теремкинское и Бугдаинское, наиболее детально изученных в настоящей работе, полученные Pb-Pb-данные свидетельствуют в пользу поступления рудных компонентов в рудообразующие системы месторождений из гомогенного по изотопному составу Pb магматического источника. Это, в свою очередь, поддерживает разработанные для этих объектов геолого-генетические модели, предполагающие генетическую связь оруденения с юрским внутриплитным магматизмом.

Обнаруживается принципиальное сходство в закономерностях распределения изотопного состава Pb в месторождениях Восточного Забайкалья и близких по возрасту месторождений Северо-Востока России, для которых “черты изотопного состава рудного Pb не затушевываются ни различиями в возрасте месторождений, ни различиями геологических и физико-химических условий рудообразования” (Чернышев, Шпикерман, 2001). Для обоих регионов особенности изотопного состава Pb рудных месторождений имеют унаследованный характер и определяются, прежде всего, геолого-геохимическим типом и возрастом пород фундамента тектонических блоков, в пределах которых эти месторождения локализованы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны В.В. Ярмолуку за высказанные замечания и помощь в подготовке настоящей статьи. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-05-12017-офим-2011 и № 13-05-00622-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Борисенко А.С., Жмодик С.М., Наумов Е.А. и др. Возрастные рубежи формирования золотого оруденения

Восточного Забайкалья // Мат. Всероссийской конф. “Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований”. М.: ИГЕМ РАН, 2010. Т. 1. С. 82–84.

Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел. Новосибирск: Наука, 1999.

Горячев Н.А., Чарч С.Е., Ньюберри Р.Дж. Контраст в свинцово-изотопных характеристиках золоторудных месторождений Северо-Востока Азии и Аляски // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Магадан, 2000. Т. 1. С. 149–157.

Гусев Г.С., Хаин В.Е. О соотношениях Байкало-Витимского, Алдано-Станового и Монголо-Охотского террейнов (юг Средней Сибири) // Геотектоника. 1995. № 5. С. 68–82.

Есиков А.Д., Томсон И.Н., Константинов Р.М., Полякова О.П. Изотопный состав рудного свинца из разнотипных месторождений Восточного Забайкалья // Геохимия. 1965. № 7. С. 791–800.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Наталов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 1. М.: Недра, 1990.

Зорина Л.Д., Санин Б.П. Петрохимия и геохимические особенности широкоинского вулканоплутонического комплекса (Восточное Забайкалье) // Геохимия. 1980. № 2. С. 217–225.

Карелин С.П., Томбасов И.А. Близповерхностные золото-серебряные месторождения Забайкальского края // Геология и минерагения Забайкалья. Чита: ЗабГГПУ, 2010. С. 175–183.

Коваленкер В.А., Киселева Г.Д., Крылова Т.Л., Андреева О.В. Минералогия и условия формирования руд золотоносного W-Mo-порфирирового Бугдаинского месторождения (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология руд. месторождений. 2011. Т. 53. № 2. С. 107–142.

Козлов В.Д. Особенности редкометального состава и генезиса гранитоидов шахтаминского и кукульбейского редкометальных комплексов Агинской зоны Забайкалья // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 5. С. 676–689.

Кормилицын В.С., Иванова А.А. Широкинское рудное поле и металлогения Восточного Забайкалья. М.: Недра, 1968.

Наумов С.С. Минерально-сырьевая база урана в России // Разведка и охрана недр. 1993. № 8. С. 11–13.

Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–42.

Плюснин Г.С., Санин Б.П. О генезисе рудных свинцов Приаргунья по изотопным данным // Докл. АН СССР. 1976. Т. 226. № 5. С. 1181–1183.

Плюснин Г.С., Зорина Л.Д., Пахольченко Ю.А. и др. Изотопы стронция, свинца и серы в процессах рудообразования в связи с латитовым магматизмом (на примере Дарасунской рудно-магматической системы в Забайкалье) // Изотопная геохимия процесса рудообразования. М.: Наука, 1988. С. 193–211.

- Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С., Зорина Л.Д. и др. Генетические особенности золото-сульфидного месторождения Дарасун (Восточное Забайкалье) // Геология руд. месторождений. 2000. Т. 42. № 6. С. 526–548.
- Рыбалов Б.Л. Пространственное размещение поздне-мезозойских рудных месторождений в Восточном Забайкалье (Россия) // Геология руд. месторождений. 2002. Т. 44. № 4. С. 354–368.
- Спиридонов А.М., Зорина Л.Д. Геолого-генетические модели золоторудных месторождений Забайкальской части Монголо-Охотского складчатого пояса // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 11. С. 1158–1169.
- Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: Гео, 2006.
- Тимофеевский Д.А. Геология и минералогия Дарасунского золоторудного региона. М.: Недра, 1972.
- Томсон И.Н., Кочнева Н.Т., Полякова О.П., Полохов В.П. Металлогенетический анализ в областях активизации (на примере Забайкалья). М.: Наука, 1977.
- Тугаринов А.И., Бибикина Е.В., Грачева Т.В. и др. Эпохи магматизма Восточного Забайкалья по данным U-Pb метода датирования // Геохимия гранитоидов Монголо-Охотского пояса. М.: Наука, 1980. С. 5–13.
- Чернышев И.В., Шпикерман В.И. Изотопный состав рудного свинца как отражение блокового строения Центральной части Северо-Востока Азии // Докл. РАН. 2001. Т. 377. № 4. С. 530–533.
- Чернышев И.В., Чугаев А.В., Шатагин К.Н. Высокоточный изотопный анализ Pb методом многоколлекторной ICP-масс-спектрометрии с нормированием по $^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}$: оптимизация и калибровка метода для изучения вариаций изотопного состава Pb // Геохимия. 2007. № 11. С. 1155–1168.
- Чернышев И.В., Викентьев И.В., Чугаев А.В. и др. Источники вещества колчеданных месторождений Урала по результатам высокоточного MC-ICP-MS изотопного анализа свинца галенитов // Докл. РАН. 2008. Т. 418. № 4. С. 530–535.
- Чернышев И.В., Чугаев А.В., Прокофьев В.Ю., и др. Возраст и источники магматизма и золоторудной минерализации Дарасунского рудного поля, Восточное Забайкалье (Россия): данные Rb-Sr, K-Ar и Pb-Pb (MC-ICP-MS) методов // Мат. V Российской конф. “Геохронометрические изотопные системы, методы их изучения, хронология геологических процессов”. М.: ИГЕМ РАН, 2012. С. 364–366.
- Чечеткин В.С., Харитонов Ю.Ф., Чабан Н.Н., Тарабарко А.Н. Минерально-сырьевые ресурсы Забайкальско-го края. Перспективы освоения и развития // Мат. IX конф. “Проблемы геологической и минерогенетической корреляции в сопредельных районах России, Китая и Монголии”. Чита, 2011. С. 12–17.
- Шпикерман В.И., Чернышев И.В., Агапова А.А., Троицкий В.А. Геология изотопов рудного свинца центральных районов Северо-Востока России. Магадан: СВК-НИИ ДВО РАН. 1993.
- Фефелов Н.Н., Брандт С.Б., Санин Б.П. Изотопный состав галенитов Забайкалья // Геохимия гранитоидов Монголо-Охотского пояса. М.: Наука, 1980. С. 63–72.
- Фефелов Н.Н., Зорина Л.Д., Егорова Т.В., Брандт С.Б. Магматизм и оруденение Дарасунского рудного поля // Геология и геофизика. 1985. № 4. С. 59–65.
- Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Иванов В.Г. Внутриплитная позднемезозойская-кайнозойская вулканическая провинция Центральной Восточной Азии – проекция горячего поля мантии // Геотектоника. 1995. № 5. С. 41–67.
- Berzina A.N., Berzina A.P., Gimon V.O., Krymsky R.S. Lead isotope signatures of Mo-rich porphyry deposits Zhireken and Shakhtama (Russia) // Abstracts of 11-th biennial meeting “Let’s Talk Ore Deposits”. Antofagasta. Chile, 2011. P. 337–339.
- Collerson K.D., Kamber B.S., Schoenberg R. Applications of accurate, high precision Pb isotope ratio measurement by multi-collector ICP-MS // Chem. Geol. 2002. V. 188. P. 65–83.
- Rehkämper M., Mezger K. Investigation of matrix effects for Pb isotope ratio measurements by Multiple Collector ICP-MS: verification and application of optimized analytical protocols // J. Anal. At. Spectrom. 2000. V. 15. P. 1451–1460.
- Stacey J.S., Kramers J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth Planet. Sci. Lett. 1975. V. 26. № 2. P. 207–221.
- Thirlwall M.F. Inter-laboratory and other errors in Pb isotope analyses investigated using a ^{207}Pb - ^{204}Pb double spike // Chem. Geol. Isot. Geosci. Sect. 2000. V. 163. P. 299–322.
- Zartman R.E. Lead isotopic provinces in the Cordillera of the Western United States // Econ. Geol. 1974. V. 69. P. 792–805.
- Zartman R.E., Doe B.R. Plumbotectonics – the model // Tectonophysics. 1981. V. 75. P. 135–162.
- Zorin Yu.A., Zorina L. D., Spiridonov A.M., Rutshtein I.G. Geodynamic setting of gold deposits in Eastern and Central Trans-Baikal (Chita Region, Russia) // Ore Geology Reviews. 2001. V. 17. P. 215–232.