

УДК (576.027:546.815):553.411(574.1)

О.Г. КОШЕВОЙ<sup>1</sup>

## ИЗОТОПНО-СВИНЦОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УГЛЕРОДИСТЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩАХ КАЛБЫ

Батыс Қалбы және Бақыршық көнді алаңындағы алтын кен орнындағы сульфид-қорғасын минералдарының изотопты құрамы, сонымен бірге әртүрлі фазалардың құмайтасты көміртект, әктас, алтын кендерімен араласқан түрлері анықталды.

Кеннің полигенді және полихронды екенін зерттеу. Кентүзілу үрдісі бес кезеңмен жүргізіледі: ертекембрий; ордовик-силур; ортакарбон; триас және кешборлы. Кеннің құрамблегінің көзі орогенді типте теренде орналасқан. Терригенді-кремнисті-әктас-көміртекті-сазды қабаттары геохимиялық тосқауыл болып есептеледі, сол түзілімде кенделген заттар пайдада болады.

Бастапқы руда концентрациясының құрделі, көпсатылы эпигенетикалық механизмнің өзгеруі болжанған. Қорғасын минералының изотопты мәліметтерін осы аудандары алтын кенін іздеу мен зерттеуге қолдануға болады.

Выполнены определения изотопного состава свинца сульфидных минералов золоторудных месторождений Бакырчикского рудного поля и Западной Калбы, а также различных фаз углистых алевролитов и известняков, вмещающих золотое оруденение.

Изученные месторождения – полигенные и полихронные. Процесс рудообразования происходит в пять этапов: раннекембрийский; ордовик-силурийский; среднекарбоновый; триасовый и позднемеловой. Рудные компоненты извлекались из глубинного источника орогенного типа. Терригенно-кремнисто-известково-углисто-глинистые толщи являлись геохимическим барьером, на которых происходило отложение рудного вещества. Предполагается сложный, многостадийный механизм эпигенетических преобразований первичных рудных концентраций. Изотопные данные по свинцу рудных минералов могут быть использованы для прогноза и поиска золотого оруденения в изученном районе.

Isotope composition of lead has been determined in sulphide minerals at the Calba gold-containing deposits of the Bakyrchik ore field and West Calba and also of different phases of carbonaceous aleurolites and limestones with gold mineralization.

The deposits explored are poly genic and poly chronic. Ore formation process occurred during five periods: Early Cambrian, Ordovician-Silurian, Middle Carbonaceous, Triassic and Late Cretaceous. The ore components were extracted from the deep-seated source of orogenic type.

Terrigenous-siliceous-calcareous-carbonaceous-strata were a geochemical barrier, on which sedimentation of ore substance occurred.

A complex mechanism of epigenetic transformation of primary ore concentrations, occurring during many stages, is supposed.

The isotope data on lead of ore minerals can be used for gold mineralization prediction and search in the investigated region.

Изучение изотопно-свинцовых характеристик предпринято с целью проверки имеющихся геолого-генетических моделей формирования месторождений золота в углеродистых толщах Калбы и, как следствие, выявления возможных корреляционных связей между вариациями изотопного состава свинца (ИСС) и масштаба Au-оруденения, т.е. формирования изотопно-свинцовой типизации известных золоторудных месторождений Калбы.

Первые результаты ИСС семи проб арсенопирита по изучаемому району (месторождение

Бакырчик) опубликованы Сыромятниковым и др. [30]. Получен спектр значений модельного возраста: 530 млн. лет ( $\pm 2$ ); 300 млн. лет ( $C_3$ ); 255 млн. лет (P) и сделаны выводы о мантийно-нижнекоровом источнике рудного свинца. Основываясь на геологических представлениях о генетической связи оруденения с Кунушским интрузивным комплексом ( $C_3$ -P<sub>1</sub>), авторы считают, что имело место переотложение кембрийского свинца в позднем карбоне.

Несмотря на крайне малое количество изотопно-свинцовых данных, имеющиеся вариации

<sup>1</sup> Казахстан, 050007, г. Алматы, ул. Есенберлина, 199, НАК «Казатомпром», ТОО «Геотехносервис».

ИСС подтвердили представления В. Н. Нарссея и др. [19] о длительном и многоэтапном процессе рудообразования на месторождениях рассматриваемого типа. Вместе с тем, неоднородность ИСС предполагает возможность его использования для определения масштабности и промышленной значимости оруденения различных типов [6].

## ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ

Закономерности, определяющие наблюдаемые изотопные отношения свинца в исследуемых геологических объектах, обусловлены: 1) накоплением свинца в результате радиоактивного распада изотопов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ; 2) действием геолого-геохимических факторов, приводящих к различным начальным соотношениям урана, тория и свинца при образовании геохимических систем; 3) перераспределением указанных химических элементов в течение "жизни" этих систем. Кроме радиогенных изотопов свинца  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ , количество которых увеличивается с течением времени, в природе существует изотоп  $^{204}\text{Pb}$ , который не имеет радиоактивных предшественников, и его содержание на Земле постоянно. В изотопно-свинцовой систематике обычно используют отношения  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ .

Происхождение ("материнская") геохимическая уран-торий-свинцовая система) и дальнейшая история свинца фиксируется его изотопным составом. К настоящему времени не разработана общая теория описания этой истории. Поэтому используются различные изотопно-эволюционные модели, которые базируются на эмпирических подходах. Адекватность моделей во многом зависит от правильного (удачного) выбора геологических объектов, принимаемых в качестве реперов при изотопно-свинцовых построениях. Критическому разбору существующих моделей посвящен ряд обзорных статей [3, 6, 8, 21, 24, 32]. Наиболее удачны и широко применяемы сегодня три модели глобальной эволюции ИСС. Для определения модельного возраста свинца используют двухстадийную модель Стейси-Крамерса [26] и модель Камминга-Ричардса [11] с линейно-изменяющимся во времени значением  $\mu = 238\text{U}/204\text{Pb}$ , калиброванную по ИСС австралийского месторождения Кэптейнс-Флэт (поздний силур  $\sim 430$  млн лет).

Для выяснения генетической принадлежности Pb применяют модель плюмботектоники [5, 7], предполагающую четыре основных глобальных резервуара, в которых происходила эволюция изотопного состава свинца – мантия, нижняя и верхняя кора и зона смешивания материалов этих источников ("ороген"). Кривая орогена рассчитывалась авторами модели исходя из условия максимального приближения к параметрам второй стадии модели Стейси-Крамерса.

Практика изотопно-свинцовых исследований постоянно связана с проблемой выбора подходящей модели. Это связано, как уже отмечалось, с несоответствием средних модельных параметров и реальных (существенно неоднородных) параметров, определяющих глобальную эволюцию ИСС. Основным применяемым выходом из сложившейся ситуации является предварительная оценка границ, в которых могут применяться выбранные модели при решении конкретных геологических задач. В результате появляются модификации глобальных моделей, параметры которых «калибруются» по данным других аналитических методов, имеющимся для изучаемого региона, либо отдельного геологического объекта. Впервые такой подход был обоснован Стэнтоном и Расселлом [27]. При построении глобальной одностадийной кривой эволюции ИСС они рекомендовали использовать ИСС месторождений вулканогенно-эксгальационного генезиса (районы активных островных дуг), свинец которых наилучшим образом отвечает требованиям одностадийного развития.

Принципиальная необходимость такой процедуры определила способ создания в дальнейшем и более сложных (многостадийных) моделей и их практического применения. Дж. Стейси с соавторами [25] при изучении ИСС жильных и массивных руд Аравийского щита предварительно калибровали модель Стейси-Крамерса по свинцу пород щита, возраст которых определен с хорошей точностью. Для выявления корреляций между ИСС и различными металлогеническими проявлениями в складчатом поясе Lachlan, коллектив авторов во главе с Карром [10] выполнил тщательный подбор калибровочных объектов для модели Камминга-Ричардса. В результате была построена и использована региональная модель L.FB (Lachlan fold belt).

В настоящем сообщении использована региональная модель для Казахстана, разработанная в Институте геологических наук Академии наук Республики Казахстан (модель ИГН) с участием автора [29]. Позднее, параметры модели были пересчитаны [14] с учетом новых значений постоянных распада U и Th [28]. Модель основана на одностадийном алгоритме Холмса-Хоутерманса и калибровкой начального значения возраста  $t_0$ . Калибровочным объектом выбрано месторождение Жайрем [34], свинцово-цинковые руды которого генетически связаны с девонским вулканализмом и стратиформно залегают в вулканогенно-осадочных отложениях фамена (360 млн лет). Последующие исследования ИСС полиметаллических и других месторождений Казахстана подтвердили удачный выбор Жайрема в качестве репера. Экспериментальные точки, соответствующие крупным месторождениям со значительными запасами свинца (Текели, Миргалимсай, Шалкия, Джезказган и др.), расположены вблизи основной эволюционной кривой с параметрами  $\mu = 238\text{U} / 204\text{Pb} = 9,20$ ;  $W = 232\text{Th} / 204\text{Pb} = 37,13$ ;  $K = 232\text{Th} / 238\text{U} = 4,03$ . При сопоставлении региональной модели ИГН с глобальными моделями [13] выявлено наилучшее соответствие получаемых модельных датировок с моделью Камминга-Ричардса. Разница цифр возраста не превышает 35 млн. лет. Камминг и Ричардс принимали за меру неопределенности своей модели интервал  $\pm 50$  млн. лет.

Сведения о генетических особенностях оруденения безусловно важны при металлогенических построениях. Вместе с тем, не менее интересно и важно использование данных об ИСС при прогнозе масштабности и промышленной значимости изучаемых рудопроявлений [6]. Известно несколько методов, применяемых для решения подобных задач.

1. Сравнение ИСС оцениваемых объектов с ИСС крупных месторождений, расположенных в исследуемом регионе [4]. Так называемый метод “отпечатков пальцев” (Fingerpring) был применен [9] для оценки рудопроявлений в долине Миссисипи.

2. Методы магматического источника и изучения зональности [6], учитывающие изменения в изотопном составе свинца магматического происхождения за счет разбавления свинцом вмещающих пород. В этом случае степень радио-

генности ИСС зависит от концентрации Pb и увеличивается по направлению от центра минерализации к периферии.

3. Кэнноном и др.[16] предложен метод поиска, основанный на статистическом подходе с использованием треугольной диаграммы с координатами вершин:  $206\text{Pb}$ - $207\text{Pb}$ - $208\text{Pb}$ . Критерием перспективности изучаемого рудопроявления является статистически незначимое отличие от полей на диаграмме, которые включают ИСС крупнейших свинцово-цинковых месторождений мира, например, Броккен-Хилл (Австралия).

Кроме тщательного геологического анализа при выборе сравниваемых объектов не менее важно последующее сопоставление ИСС и учет имеющихся инструментальных погрешностей. При интерпретации изотопно-свинцовых данных широкое применение нашли графические методы (с использованием различных диаграмм) и методы математической статистики. Причинно-следственные связи этой проблемы следующие.

1. Корректная оценка инструментальной точности позволяет *a priori* ограничить круг решаемых задач и избежать неверных выводов при интерпретации [17, 33].

2. Удачный выбор диаграмм дает удобное представление данных в аналоговой форме и позволяет частично исключить инструментальные погрешности [2, 3, 18, 22].

К настоящему времени наилучшим графическим представлением изотопно-свинцовых данных остаются “классические” двухмерные диаграммы с координатами:  $X=206\text{Pb}/204\text{Pb}$ - $Y=207\text{Pb}/204\text{Pb}$ ;  $X=206\text{Pb}/204\text{Pb}$ - $Z=208\text{Pb}/204\text{Pb}$ . Эти диаграммы применяются и в этом сообщении. Для учета корреляционных связей используются методы двумерного статистического анализа [15]. Такой подход и метод “отпечатков пальцев”, с учетом региональных особенностей ИСС крупных Pb-Zn месторождений, был применен в Казахстане. На основании установленных шести эпох возникновения рудного свинца и масштабов Pb-Zn оруденения в качестве оценочного критерия использован модельный возраст свинца [14].

Применение 3-х мерных диаграмм, предложенных Кэнноном и др.(1973), продолжает привлекать исследователей, т.к. одновременно учитывает сведения о торогенном и ураногенных изотопах свинца [12]. Но недостаточная разработанность математического аппарата для мно-

гомерных статистических выборок не позволяет указанным диаграммам продвинуться от удобных наглядных картин к количественным оценкам дисперсионного анализа. Предлагаемая [12] диаграмма в координатах  $X=208\text{Pb}/204\text{Pb}$  –  $Y=207\text{Pb}/204\text{Pb}$ , не имеет видимых преимуществ перед “классическими”. Конечно, такая форма представления исключает влияние инструментальных погрешностей измерений отношения  $206\text{Pb}/204\text{Pb}$ , являющихся определяющими при масс-спектрометрическом анализе. Но эта цель достигается проще, если использовать только одно изотопное отношение –  $208\text{Pb}/207\text{Pb}$ , которое непосредственно измеряется с хорошей точностью на масс-спектрометре. При этом исключаются корреляционные связи, возникающие на двухмерных диаграммах, а при дисперсионном анализе распределения величины  $208\text{Pb}/207\text{Pb}$  может быть использован хорошо разработанный математический аппарат одномерной статистики.

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Химическая процедура извлечения Pb из геологических образцов включала ионно-обменный и электролитический методы [1].

Объектами анализа были: 1) рудные минералы – галенит, пирит и арсенопирит; 2) породы, вмещающие оруденение – известняк и углистый алевролит.

Извлечение свинца из галенита не представляет затруднений и сводится к разложению кристалла PbS каплей HNO<sub>3</sub> с последующей электролитической доочисткой.

При изучении пиритов и арсенопиритов определяли ИСС основных минералов и возможных примесей галенита (“галенитовая фаза”). Для разделения этих компонент использовался метод фазового анализа с применением селективных растворителей.

Известняк разделяли на хемогенную фазу (содержащую Pb, синхронно отложенный с карбонатной составляющей) и остаток (терригенный материал, нерастворимый в 1N HCl). Если в остатке обнаруживали рудные минералы (осмотр под бинокулярной лупой), то выполняли и их разложение. Для растворения возможно присутствующего Au, использовали “царскую водку”. В некоторых случаях растворяли и силикатный остаток (HF).

Для выяснения связи золотого оруденения и органического вещества вмещающих пород, а

также роли органики в рудогенерирующем (рудоконтролирующем) процессе, изучение вмещающих пород выполнено на примере углистых алевролитов. Учитывая, что последние представляют собой сложные образования, предпринято изучение вариаций ИСС не только органической, но и других составляющих алевролитов: карбонатной; сульфидной; силикатной фаз.

В органической компоненте изучали хлороформные и спиртобензольные фракции растворимых битумов. Конечная схема извлечения Pb из углистых алевролитов следующая: 1N HCl (карбонатная фаза) – хлороформная фракция битума (h/f) – спирто-бензольная фракция битума (s/b) – T (термическое разрушение нерастворимой части органики при T=600° С) – HNO<sub>3</sub> (растворение возможных рассеянных сульфидов) – HF (растворение силикатного остатка). Бланк Pb в химических операциях определяли методом изотопного разбавления (трасер  $207\text{Pb}$ ). Для электролиза бланк составлял: – 15 нг/опыт; для ионообменной хроматографии – 45 нг/опыт; при экстракции битумов – 8 нг/опыт. Бланк реактивов: H<sub>2</sub>O – 1,0 нг/мл; HNO<sub>3</sub> – 1,1 нг/мл; HF – 0,7 нг/мл; HCl – 0,6 нг/мл.

Измерения ИСС выполняли в одноленточном режиме (вольфрамовый ионизатор, алюмосиликатный эмиттер) однолучевым способом на твердофазном масс-спектрометре МИ-1201Т. В качестве изотопного стандарта Pb использовали стандарт Калифорнийского технологического института (СИТ Pb Std). Ошибка воспроизводимости ( $1\sigma$ ) для изотопного отношения  $206\text{Pb}/204\text{Pb}$  составляла 0,1%. Для коррекции абсолютной величины  $206\text{Pb}/204\text{Pb}$  вводился нормировочный коэффициент 1,0035561. Остальные измеряемые отношения ( $207\text{Pb}/206\text{Pb}$ ,  $208\text{Pb}/206\text{Pb}$ ) не нормировались, т.к., с учетом экспериментальной погрешности (<0,1%), они совпадают со стандартными значениями. Определение концентраций урана и свинца выполнялось методом изотопного разбавления (трассеры  $207\text{Pb}$  и  $235\text{U}$ , ошибка определения ≤1,5%).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

### 1. Изотопный состав свинца сульфидных минералов

Свинец сульфидных минералов золоторудных месторождений Бакырчикского рудного поля характеризуется значительными вариациями изотопного состава. Вариации ИСС наблюдаются

как для всего рудного поля, так и для конкретных месторождений и отдельных минералов (см. табл.1). Методом двумерного статистического анализа выявлено шесть однородных изотопно-свинцовых групп. Они отдельно вынесены в табл. 2. Расположение доверительных эллипсов рассеяния ( $2\sigma$ ) соответствующих групп показаны относительно эволюционных кривых модели ИГН и плюмботектоники на рис. 1 и 2. Там же приведены точки отдельных результатов, не вошедших в группы (табл. 1).

Для ряда образцов были определены содержания урана и свинца методом изотопного разбавления. Из табл.1 видно, что содержание урана в изученных образцах на два порядка меньше содержания свинца. Такое соотношение U и Pb практически не изменяет ИСС и поправкой на распад *in situ* можно пренебречь. Сделано предположение о подобном соотношении и для других образцов, ограниченные навески которых не позволили выполнить прямые измерения. Состоятельность такого предположения подтверждалась расположением аналитических точек вблизи основной эволюционной кривой модели ИГН, что указывает на отсутствие аномально высоких содержаний ураногенных изотопов свинца.

Полученные данные об ИСС сульфидных минералов согласуются с выводами Сыромятникова и др. [30] об орогенном (мантийно-нижнекоровом) типе источника свинца для основной массы проанализированных сульфидов. К этому типу источника относится ИСС первой, второй, третьей, четвертой и шестой групп. Для пятой группы и отдельных образцов месторождений Большевик и Глубокий Лог (табл.1, рис.2) установлен мантийный свинец.

Значения модельного возраста изотопно-свинцовых групп сульфидных минералов фиксируют дискретное отделение свинца от указанных источников в интервале от кембрия до мела:  $560 \pm 18$  млн. лет ( $\epsilon_1$ );  $447 \pm 10$  млн. лет ( $O_3 - S_1$ );  $320 \pm 13$  млн. лет ( $C_2 - C_3$ );  $229 \pm 20$  млн. лет ( $T_1 - T_1$ ) и  $100 \pm 24$  млн. лет ( $K_2$ ). Наиболее вероятной причиной многоэтапного процесса рудонакопления является тектоно-магматический режим региона. Первый этап рудонакопления отвечает кембрийской тектоно-магматической активизации. Для этого периода по всей территории Алтая отмечено наличие эффузивного магматизма [20].

В пользу ордовикского магматизма на Рудном Алтае геологических аргументов чрезвычайно мало (отмечены лишь отдельные фрагменты ордовика). Однако, имеются достаточно веские изотопно-радиологические доказательства ордовикского этапа активизации эндогенной рудогенерирующей системы. Изучение ИСС колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая показало, что оруденение большинства промышленных месторождений этого типа имеет ордовикский свинец, сформированный в глубинном орогенном источнике [31]. Предварительные данные, полученные автором по радиологии цирконов из порфиров полиметаллических рудных полей, также указывают на ордовикский период их кристаллизации.

Карбоновый магматизм фиксируется на Рудном Алтае как геологическими, так и радиологическими методами. Как уже отмечалось, имеется мнение о генетической связи золотого оруденения месторождений Западной Калбы с Кунушским плагиогранит-гранодиоритовым комплексом ( $C_3 - P_1$ ).

С триасовым и меловым этапами, предположительно, можно связывать наличие посткарбонового комплекса малых интрузий и даек на Бакырчикском рудном поле. Более веские доказательства этому, видимо, будут получены после радиологического обследования указанного комплекса.

Установленная многоэтапность процесса приноса рудного вещества подтверждает мнение о ведущей роли крупных глубинных ("долгоживущих") разломов в процессе формирования и локализации золоторудных месторождений Западной Калбы. Такие разломы являлись транспортными каналами, по которым рудные компоненты поступали из глубинных источников и распределялись по более мелким разломам и флексурам. В поздние этапы тектоно-магматических активаций, кроме подачи рудного вещества, видимо, происходили ремобилизация и перераспределение более ранних рудных концентраций. Это предположение согласуется с наличием вариаций ИСС на макро-(рудное поле, месторождение) и микро-(отдельные минералы) уровнях. Аналогичная ситуация зафиксирована Хартом и др. [32] на руднике Бьюик (штат Миссури, США), где ИСС в отдельных галенитах систематически

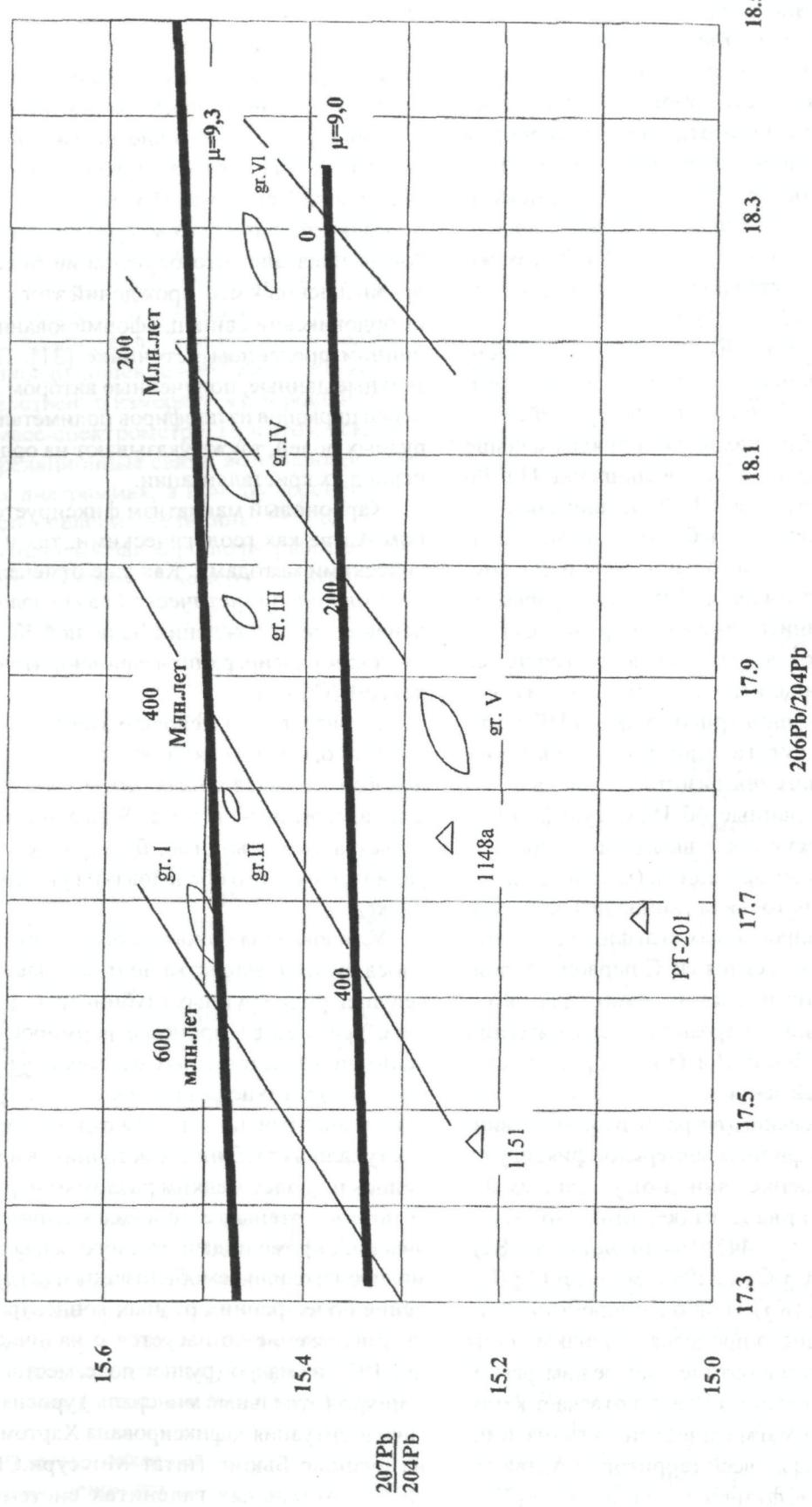


Рис.1. Положение 95%-ных доверительных эллипсов в рассеяния изотопных отношений  $206\text{Pb}/204\text{Pb}$  и  $207\text{Pb}/204\text{Pb}$  сульфильных минералов золоторудных месторождений Бакчарского рудного поля относительно эволюционных кривых одностадийной модели принятой в ИГ НАН РК.

gr. - группа;  $\Delta$  - единичные пробы (1151, 1148a, PT-201)

T, млн. лет

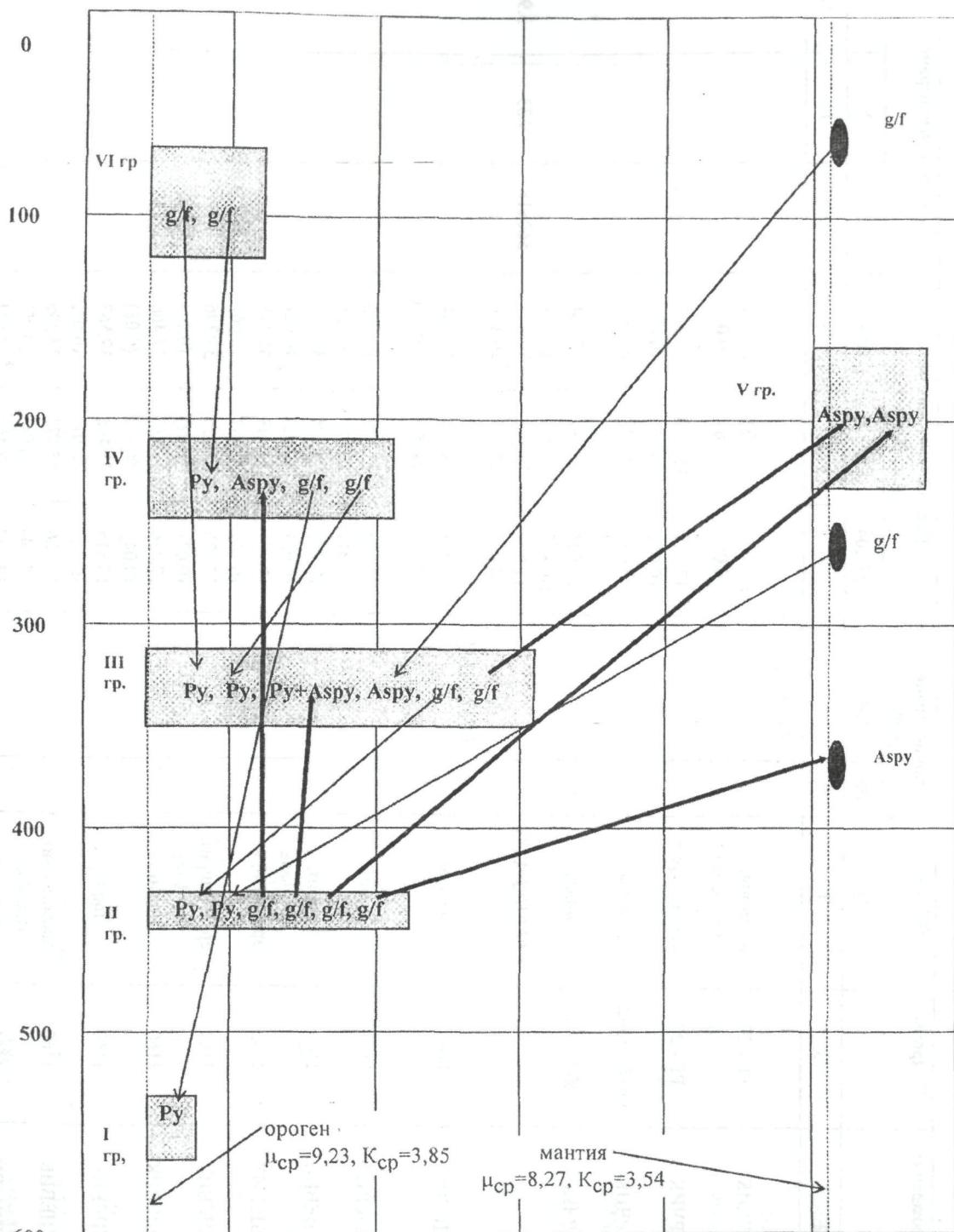


Рис. 2. Распределение изотопного состава свинца системы “Минерал-галенитовая фаза” между изотопно-свинцовыми группами в формализме модели плюмботектоники  
 ← – перенос более “молодого” свинца в более “древний” минерал  
 ← – обратный процесс  
 Py – пирит; Aspy – арсенопирит; g/f – галенитовая фаза

Таблица 1. Изотопный состав свинца и модельные параметры сульфидных минералов золоторудных месторождений черносланцевой формации Бакырчикского рудного поля

№ п/п	Месторождение	№ пробы	Образец	Концентрация ppm	Изотопные отношения свинца X ( $S_{\text{X}}$ , %)			Модельные параметры		
					Pb	206/204	207/204	T, млн. лет	$\mu$	K
1.	БАКЫРЧИК	РГ - 27	арсенопирит, гал. фаза	17. 697 (0.05)	15. 531 (0.06)	37. 703 (0.07)				
2.	БАКЫРЧИК	РГ - 27	арсенопирит	17.747 (0.07)	15. 503 (0.07)	37.693 (0.08)				
3.	БАКЫРЧИК	Ж-84-3562	пирит	17.697 (0.35)	15.529 (0.35)	37.047 (0.35)				
4.	БАКЫРЧИК	Ж-85-512	пирит	17.628 (0.04)	15.481 (0.04)	37.544 (0.04)				
			СРЕДНЕЕ $X \pm S_{\text{X}}$	17.692 $\pm 0.025$	15.511 $\pm 0.012$	37.497 $\pm 0.154$				
1.	БОЛЬШЕВИК	1163	галенит	17.781 (0.06)	15.484 (0.06)	37.584 (0.06)				
2.	БОЛЬШЕВИК	1163	пирит	17.794 (0.01)	15.467 (0.02)	37.490 (0.02)				
3.	БОЛЬШЕВИК	1163	пирит, гал. фаза	17.763 (0.02)	15.508 (0.02)	37.520 (0.02)				
4.	БОЛЬШЕВИК	1163	арсенопирит	17.791 (0.05)	15.448 (0.05)	37.445 (0.06)				
5.	БОЛЬШЕВИК	1163	арсенопирит, гал. фаза	17.723 (0.02)	15.426 (0.02)	37.396 (0.02)				
6.	БОЛЬШЕВИК	1160	галенит	17.736 (0.04)	15.457 (0.08)	37.466 (0.08)				
7.	БОЛЬШЕВИК	1160	пирит	17.815 (0.02)	15.492 (0.02)	37.567 (0.02)				
8.	БОЛЬШЕВИК	1160	арсенопирит, гал. фаза	17.786 (0.04)	15.472 (0.04)	37.546 (0.05)				
9.	БОЛЬШЕВИК	1151	галенит	17.707 (0.06)	15.458 (0.06)	37.424 (0.06)				

10.	БОЛЬШЕВИК	1151	арсенопирит, гал. фаза пирит	17.761 (0.02) 17.805 (0.07) 17.836 (0.04) 17.855 (0.09)	15.496 (0.03) 15.435 (0.09) 15.501 (0.06) 15.501 (0.09)	37.458 (0.09) 37.446 (0.09) 37.533 (0.02) 37.586 (0.09)
11.	БОЛЬШЕВИК	1148a	арсенопирит, гал. фаза арсенопирит, гал. фаза арсенопирит + пирит, гал. фаза <i>СРЕДНЕЕ X±Sx</i>	17.821 (0.02) 17.836 (0.10) 17.855 (0.12) ±0.012	15.474 (0.06) 15.472 (0.14) 15.472 ±0.007	37.376 (0.02) 37.488 ±0.018
12.	БОЛЬШЕВИК	1148a	арсенопирит, гал. фаза арсенопирит + пирит, гал. фаза <i>СРЕДНЕЕ X±Sx</i>	17.876 (0.10) 17.855 ±0.012	15.490 (0.12) 15.472 ±0.007	447±10 9.24
13.	БОЛЬШЕВИК	БН-40				3.89
14.	БАКЫРЧИК	Ж-84-352				
1.	БОЛЬШЕВИК	1160	пирит, гал. фаза пирит	17.929 (0.05) 18038 (0.15) 17.979 (0.04)	15.496 (0.05) 15.574 (0.19) 15.489 (0.05)	37.708 (0.05) 37.779 (0.21) 37.693 (0.09)
2.	БОЛЬШЕВИК	Б-88/17Г				
3.	БОЛЬШЕВИК	5521	пирит	77		
4.	БОЛЬШЕВИК	39	пирит	0.53		
5.	БОЛЬШЕВИК	БН-27	пирит	0.20		
6.	БАКЫРЧИК	РТ-20	арсенопирит			
7.	БАКЫРЧИК	РТ-20	арсенопирит, гал. фаза пирит	18.072 (0.18) 18.074 (0.03)	15.528 (0.18) 15.492 (0.04)	37.750 (0.18) 37.609 (0.05)
8.	БАКЫРЧИК	Ж-85- 605	арсенопирит, гал. фаза пирит	74		
9.	БАКЫРЧИК	Ж-85- 605	пирит			
10.	БАКЫРЧИК	Ж-85- 605	гал. фаза пирит	17.938 (0.07)	15.437 (0.07)	37.498 (0.07)
11.	БАКЫРЧИК	Ж-84-352	крупный арсенопирит + пирит	17.985 (0.15) 17.851 (0.04)	15.487 (0.15) 15.400 (0.04)	37.534 (0.15) 37.355 (0.04)
12.	БАКЫРЧИК	Ж-84-352	пирит	17.812 (0.03) 18.016 (0.07)	15.399 (0.05) 15.504 (0.07)	37.386 (0.05) 37.729 (0.07)
13.	БАКЫРЧИК	РТ-26-1	арсенопирит, гал. фаза	17.947 (0.01)	15.460 (0.01)	37.595 (0.02)
14.	БАКЫРЧИК	РТ-26-11	арсенопирит, гал. фаза	17.944 (0.04)	15.441 (0.04)	37.701 (0.03)
				31		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15.	БАКЫРЧИК	Ж-85-503	пирит, гал. фаза			17.930 (0.07)	15.602 (0.07)	37.719 (0.07)			
16.	БАКЫРЧИК	РТ-151	арсенопирит, гал. фаза			17.926 (0.02)	15.424 (0.02)	37.462 (90.03)			
17.	БАКЫРЧИК	Ж-85-31	пирит крупный			17.855 (0.04)	15.375 (0.05)	37.331 (0.05)			
18.	ГЛУБОКИЙ ЛОГ	РТ-201	арсенопирит			17.934 (0.03)	15.427 (0.06)	37.504 (0.05)			
			СРЕДНЕЕ Х±Sx			17.948 ±0.017	15.466 ±0.012	37.583 ±0.035	320±13	9.21	3.84
<b>ГРУППА IV</b>											
1.	БОЛЬШЕВИК	39	пирит, гал. фаза			18.086 (0.03)	15.492 (0.03)	37.709 (0.03)			
2.	БОЛЬШЕВИК	39	арсенопирит			18.225 (0.06)	15.550 (0.06)	37.748 (0.06)			
3.	БОЛЬШЕВИК	39	арсенопирит, гал. фаза			18.113 (0.12)	15.506 (0.12)	37.693 (0.12)			
4.	БОЛЬШЕВИК	БТ-40	арсенопирит			18.259 (0.05)	15.568 (0.05)	37.848 (0.05)			
5.	БАКЫРЧИК	Ж-85-603	арсенопирит			18.043 (0.12)	15.468 (0.12)	37.672 (0.12)			
6.	БАКЫРЧИК	Ж-85-603	арсенопирит, гал. фаза			18.064 (0.06)	15.457 (0.07)	37.586 (0.07)			
7.	БАКЫРЧИК	Ж-85-121	пирит			18.093 (0.07)	15.498 (0.07)	37.802 (0.07)			
8.	БАКЫРЧИК	Ж-85-352	пирит, гал. фаза			18.121 (0.06)	15.449 (0.06)	37.516 (0.08)			
			СРЕДНЕЕ Х±Sx			18.1255 ±0.027	15.4985 ±0.015	37.697 ±0.038	229±20	9.25	3.80
<b>ГРУППА V</b>											
1.	БОЛЬШЕВИК	1160	арсенопирит			17.576 (0.12)	15.170 (0.12)	36.764 (0.12)			
2.	БАКЫРЧИК	Ж-85-124	арсенопирит+			17.681 (0.04)	15.197 (0.04)	37.939 (0.04)			
3.	БАКЫРЧИК	Ж-85-124	арсенопирит+			17.806 (0.06)	15.3205 (0.06)	37.193 (0.06)			
4.	БАКЫРЧИК	Ж-85-603	пирит , гал. фаза			17.831 (0.03)	15.313 (0.03)	37.183 (0.04)			

5.	БАКЫРЧИК	Ж-85-603	тирит, гал. фаза тирит	15.298 (0.04) 17.844 (0.02)	37.269 (0.04) 36.977 (0.24)
6.	БАКЫРЧИК	Ж-85-31	арсенопирит	15.213 (0.34) 17.673 (0.24)	15.213 (0.24) 37.207 (0.24)
7.	БАКЫРЧИК	РТ-26-11	арсенопирит	15.298 (0.06) 17.817 (0.06)	15.298 (0.08) 37.207 (0.06)
8.	БАКЫРЧИК	РТ-151	арсенопирит	15.263 (0.06) 17.810 (0.06)	15.263 (0.08) 37.016 (0.06)
		СРЕДНЕЕ X±Sx		15.259 (0.06) 17.755 (0.035)	15.259 (0.06) 37.0685 ±0.061
			<b>ГРУППА VII</b>		
1.	БАКЫРЧИК	Ж-85-128	арсенопирит	15.442 (0.05) 18.161 (0.05)	15.442 (0.05) 37.695 (0.05)
2.	БАКЫРЧИК	Ж-85-31	тирит, гал. фаза	15.469 (0.17) 18.212 (0.17)	15.469 (0.17) 38.134 (0.18)
3.	БАКЫРЧИК	Ж-85-122	арсенопирит, гал. фаза	15.450 (0.05) 18.291 (0.05)	15.450 (0.05) 37.668 (0.18)
4.	БАКЫРЧИК	Ж-85-121	тирит, гал. фаза	15.417 (0.12) 18.157 (0.05)	15.417 (0.12) 37.469 (0.15)
		СРЕДНЕЕ X±Sx		15.4445 ±0.031	15.7415 ±0.140
			<b>РЕЗУЛЬТАТЫ НЕ ВОШЕДШИЕ В ГРУППЫ</b>		
1.	БОЛЫШЕВИК	1151	арсенопирит	15.220 (0.12) 17.478 (0.09)	15.220 (0.12) 36.667 (0.12)
2.	БОЛЫШЕВИК	1148а	тирит, гал. фаза	15.248 (0.22) 17.658 (0.22)	15.248 (0.23) 36.494 (0.23)
3.	ГЛУБОКИЙ ЛОГ	РТ-201	арсенопирит, гал. фаза	15.070 (0.04) 17.591 (0.04)	15.070 (0.04) 36.603 (0.04)
				73	73 8.47 (0.04)

Таблица 3. Изотопный состав и модельные параметры свинца различных фаз углистых алевролитов, вмещающих золотое оруднение месторождения Большевик Бакырчикского рудного поля

№п/п	№ пробы	Фракция	Изотопные соотношения свинца ( $\sigma_{\text{X}}, \%$ )			Модельные параметры	
			206/204	207/204	208/204	T млн. лет	$\mu$
1	5529/105	HCl(IN)	-	-	-	$381 \pm 57$	9,76
		Хлороформ	18,367 (0,53)	15,769 (0,60)	38,588 (0,60)	$202 \pm 16$	9,57
		Спиртобензол	18,472 (0,13)	15,681 (0,30)	38,309 (0,40)	$148 \pm 24$	9,48
		HCl(конц.)	18,472 (0,20)	15,637 (0,29)	38,399 (0,25)	$218 \pm 16$	9,06
		T=600°C	17,956 (0,13)	15,390 (0,15)	37,519 (0,18)	$234 \pm 22$	9,35
		HNO <sub>3</sub> (сульфидная фаза)	18,218 (0,17)	15,557 (0,21)	38,281 (0,22)	$3,95$	4,03
		HF(силикатный остаток)	-	-	-	$9,19$	4,07
		HCl(IN)	18,085 (0,13)	15,468 (0,15)	38,242 (0,15)	$388 \pm 8$	9,74
		Хлороформ	18,337 (0,11)	15,757 (0,15)	38,709 (0,15)	$356 \pm 2$	4,20
		Спиртобензол	17,863 (0,03)	15,444 (0,06)	37,928 (0,15)	$148 \pm 4$	9,17
2	5512/173	HCl(конц.)	17,743 (0,06)	15,442 (0,11)	37,368 (0,10)	$9,14$	4,05
		T=600°C	18,014 (0,19)	15,461 (0,28)	37,757 (0,29)	$265 \pm 15$	3,88
		HNO <sub>3</sub> (сульфидная фаза)	19,716 (0,29)	16,991 (0,70)	41,385 (0,79)	$238 \pm 11$	9,39
		HF(силикатный остаток)	18,245 (0,16)	15,576 (0,19)	37,887 (0,25)	$3,84$	

85-126

85-124

85-603

этому измерения ИСС выполнялись на пределе чувствительности масс-спектрометра, что приводило к увеличению погрешности анализа.

Анализ результатов изотопно-свинцового изучения фаз углистых алевролитов месторождения Большевик, табл. 3 показывает, что расположение экспериментальных точек в некоторой степени повторяет распределение ИСС, полученное для сульфидных минералов Бакырчикского рудного поля (рис.1). Так свинец, выщелаченный концентрированной соляной кислотой из пробы 5512/173 имеет модельные параметры близкие ко второй группе сульфидных минералов. Этому же временному интервалу соответствует и свинец хлороформенных битумов обеих проб. Однако имеется различие в характере источника свинца. Если для сульфидных минералов последний представляет собой источник орогенного типа с преобладанием мантийного материала, то для хлороформенных фаз углистых алевролитов в орогене превалирует верхнекоровая компонента, табл. 3. Значения модельного возраста для свинца этих фаз следует принимать в качестве минимальных.

К третьей группе сульфидных минералов тяготеет свинец спиртобензольного битума пробы 5512/173.

Свинец термической фазы обеих проб, сульфидной фазы пробы 5529/105, карбонатной вытяжки и силикатного состава пробы 5512/173 близок к возрастному интервалу свинца сульфидных минералов четвертой группы, но иного источника, обогащенного веществом нижней коры.

Свинец близкий к временному интервалу шестой группы сульфидных минералов имеет выщелачиваемой концентрированной соляной кислоты и спирто-бензольной фазы пробы 5529/105.

Свинец сульфидной фазы пробы 5512/173 имеет аномальный изотопный состав. Отсутствие каменного материала не позволило провести определения содержаний урана и свинца и скорректировать изотопный состав на радиогенную добавку.

Для изотопно-свинцовых исследований на месторождении Сузdalском были отобраны две пробы углистых алевролитов (пробы №8 №12). Первая имеет повышенное содержание золота, а во второй золото отсутствует. В связи с этим, в схему фазового выщелачивания дополнительно, после выщелачивания сульфидной фазы ( $\text{NHO}_3$ ), была включена стадия растворения расщепленного Au. Растворение проводили "царской водкой" (смесь HCl и  $\text{NHO}_3$  в соотношении 3:1). Как видно из табл. 4, величины  $206\text{Pb}/204\text{Pb}$ ,  $207\text{Pb}/204\text{Pb}$  и  $208\text{Pb}/204\text{Pb}$  для всех фаз (кроме спирто-бензольной и хлороформной) пробы №8 связаны положительной корреляционной зависимостью. Анализ имеющихся линий регрессии показал, что она обусловлена, в основном, ошибкой измерения изотопа  $204\text{Pb}$ . Поэтому данные результаты были объединены в отдельную выборку ( $n=5$ ) и по средним значениям ИСС определены параметры:  $T_{\text{mod}}=244 \pm 46$  млн. лет;  $\mu=9,14$ ;  $K=3,80$  (табл.4) и орогенный тип источника.

Иной изотопный состав свинца имеют спиртобензольная и хлороформная фазы. Модельный возраст Pb спиртобензольной фазы равен

Таблица 2. Изотопно-свинцовые группы, полученные по сульфидам Бакырчикского рудного поля.

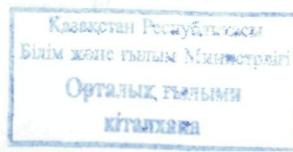
Группа (кол-во анализов)	Изотопные отношения свинца $x \pm Sx$			Модельные параметры		
	$206/204$	$207/204$	$208/204$	$T$ , млн. лет	$\mu = {}^{238}\text{U}/{}^{204}\text{Pb}$	$K = {}^{232}\text{Pb}/{}^{238}\text{U}$
I (4)	17.692 $\pm 0.025$	15.511 $\pm 0.012$	37.497 $\pm 0.154$	$560 \pm 18$	9.33	3.96
II (14)	17.785 $\pm 0.012$	15.472 $\pm 0.007$	37.488 $\pm 0.018$	$447 \pm 10$	9.24	3.89
III (18)	17.948 $\pm 0.017$	15.466 $\pm 0.012$	37.583 $\pm 0.035$	$320 \pm 13$	9.21	3.84
IV (8)	18.1255 $\pm 0.0270$	15.4985 $\pm 0.0150$	37.697 $\pm 0.038$	$229 \pm 20$	9.25	3.80
V (8)	17.755 $\pm 0.035$	15.259 $\pm 0.021$	37.0685 $\pm 0.0610$	$201 \pm 28$	8.82	3.66
VI (4)	18.205 $\pm 0.031$	15.4445 $\pm 0.0110$	37.7415 $\pm 0.1400$	$100 \pm 24$	9.14	3.76

Таблица 3. Изотопный состав и модельные параметры свинца различных фаз углистых алевролитов, вмещающих золотое оруденение  
месторождения Большевик Бакырчикского рудного поля

№ п/п	№ пробы	Фракция	Изотопные соотношения свинца ( $\delta_{\text{Pb}}$ , ‰)				Модельные параметры		
			206/204	207/204	208/204	Т млн. лет	$\mu$	K	
1	5529/105	HCl(IN)	-	-	-	$381 \pm 57$	9,76	4,13	
		Хлороформ	18,367 (0,53)	15,769 (0,60)	38,588 (0,60)	202 $\pm$ 16	9,57	3,92	
		Спиртобензол	18,472 (0,13)	15,681 (0,30)	38,309 (0,40)	148 $\pm$ 24	9,48	3,95	
		HCl(конц.)	18,472 (0,20)	15,637 (0,29)	38,399 (0,25)	218 $\pm$ 16	9,06	3,79	
		T=600°C	17,956 0,13)	15,390 (0,15)	37,519 (0,18)	234 $\pm$ 22	9,35	4,03	
		HNO <sub>3</sub> (сульфидная фаза)	18,218 (0,17)	15,557 (0,21)	38,281 (0,22)	-	-	-	
		HF(силикатный остаток)	-	-	-	221 $\pm$ 9	9,19	4,07	
		HCl(IN)	18,085 (0,13)	15,468 (0,15)	38,242 (0,15)	-	-	-	
		Хлороформ	18,337 (0,11)	15,757 (0,15)	38,709 (0,15)	388 $\pm$ 8	9,74	4,20	
		Спиртобензол	17,863 (0,03)	15,444 (0,06)	37,928 (0,15)	356 $\pm$ 2	9,17	4,05	
2	5512/173	HCl(конц.)	17,743 (0,06)	15,442 (0,11)	37,368 (0,10)	148 $\pm$ 4	9,14	3,85	
		T=600°C	18,014 (0,19)	15,461 (0,28)	37,757 (0,29)	265 $\pm$ 15	9,19	3,88	
		HNO <sub>3</sub> (сульфидная фаза)	19,716 (0,29)	16,991 (0,70)	41,385 (0,79)	238 $\pm$ 11	9,39	3,84	
		HF(силикатный остаток)	18,245 (0,16)	15,576 (0,19)	37,887 (0,25)	-	-	-	

Таблица 4. Изотопный состав и молельные параметры свинца фаз углистых алевролитов, вмещающих золотое оруденение месторождения  
Судзальское Западной Калбы

№ п/п	№ пробы	Фракция	Изотопные соотношения свинца ( $\sigma_{\text{X}} \text{, \%}$ )			Модельные параметры		
			206/204	207/204	208/204	T млн. лет	$\mu$	K
1	8	HCl(IN)	17,927 (0,04)	15,347 (0,04)	37,298 (0,05)	187	8,97	3,69
		Хлороформ	18,466 (0,15)	15,517 (0,24)	37,610 (0,29)	-	-	-
		Спиртобензол	18,010 (0,11)	15,606 (0,11)	37,565 (0,13)	443+29	9,48	3,38
		HCl(конц.)	18,111 (0,05)	15,508 (0,05)	37,758 (0,07)	252	9,27	3,84
		T=600°C	17,757 (0,06)	15,250 (0,07)	36,888 (0,07)	188	8,80	3,57
		HNO <sub>3</sub>	18,050 (0,02)	15,481 (0,05)	37,620 (0,05)	263	9,22	3,80
		HCl + HNO <sub>3</sub>	17,979 (0,03)	15,417 (0,03)	37,560 (0,05)	235	9,11	3,80
		HF	18,186 (0,06)	15,618 (0,07)	38,305 (0,08)	331	9,48	4,07
		Среднее без битумных фаз	18,001+0,061	15,437+0,053	37,572+0,192	244+46	9,14	3,80
		HCl(IN)	17,892 (0,12)	15,426 (0,12)	37,644 (0,13)	312+35	9,13	3,89
		Хлороформ	18,007 (0,16)	15,450 (0,18)	37,471 (0,20)	256+37	9,17	3,75
2	12	Спиртобензол	17,878 (0,04)	15,348 (0,05)	37,095 (0,08)	223+7	8,98	3,62
		HCl(конц.)	18,193 (0,10)	15,514 (0,11)	37,780 (0,10)	198+29	9,27	3,80
		T=600°C	18,145 (0,02)	15,407 (0,02)	37,700 (0,03)	96+4	9,07	3,77
		HNO <sub>3</sub>	18,306 (0,03)	15,443 (0,03)	37,936 (0,03)	21+19	9,07	3,80
		HCl + HNO <sub>3</sub>	18,456 (0,01)	15,521 (0,01)	38,219 (0,02)	10+12	9,26	3,81
		HF	18,628 (0,08)	15,465 (0,08)	38,227 (0,08)			



$T_{\text{мод}}=443$  млн. лет с повышенным значением  $\mu=9,48$ , т.е. по одностадийной модели – это минимальная граница возраста. А хлороформный битум содержит аномальный свинец (экспериментальная точка расположена правее нулевой изохроны). Очевидно, что изотопный состав такого свинца должен быть исправлен на распад *in situ*, но незначительное количество образца не позволило выполнить определения содержаний U и Pb.

Хлороформная и спиртобензольная фазы пробы №12 (не содержащей золота) содержат свинец, значения модельного возраста которого, в пределах экспериментальной погрешности, совпадают ( $T_{\text{мод}} \approx 240$  млн. лет), но отличаются по источнику свинца. Если свинец хлороформной фазы формировался в орогене с преобладанием мантийного вещества, то изотопный состав Pb спиртобензольной фазы обусловлен нижнекоровым источником.

Свинец выщелата 1N HCl, имеет  $T_{\text{мод}}=312$  млн. лет, а концентрированной HCl –  $T_{\text{мод}}=198$  млн. лет при значениях  $\mu = 9,13$  и  $\mu = 9,27$  соответственно. Свинец фазы термического разложения еще “моложе” –  $T_{\text{мод}} = 98$  млн. лет. И, наконец, совсем “молодой” (современный) свинец имеют выщелаты  $\text{HNO}_3$  “царской водкой”.

### 3. Изотопный состав свинца известняков месторождения Сузdal'ское

Изучено четыре образца известняка (см. табл. 5), два из которых (№1 и №2 – брекчированные, золотоносные) по сути, представляют собой одну пробу, т.к. отобраны из керна скв. 131 с интервалом один метр (приложение). Два других образца (№10 и №11) характеризуют нормальные фоновые известняки (пустые на золото), ассоциирующиеся с рудными телами (пробы №1 и №2).

Схема селективного выщелачивания включала последовательно стадии извлечения чистого карбонатного вещества (HCl), сульфидной нагрузки ( $\text{HNO}_3$ ) и растворения, возможно присутствующего, золота («царская водка»). Для проб №1 и №11 дополнительно выполнено растворение плавиковой кислотой силикатного остатка.

Результаты определения ИСС различных фаз представлены в табл. 5. Распределение ИСС в изученных фазах образцов известняка различно. Свинец всех фаз образца №10, практически, удовлетворяет условиям одностадийной эволюцион-

ной модели. Значения параметра  $\mu$  ( $\sim 9,0$ ) указывают на источник свинца близкий для группы V. Модельный возраст свинца карбонатной фазы, в пределах погрешности, также совпадает с  $T_{\text{мод}}$  для группы V.  $T_{\text{мод}} \text{ Pb}$  «сульфидной нагрузки» близок к группе III, а Pb выщелата «царской водкой» – к группе IV.

Изотопный состав Pb карбонатной фазы пробы №1 идентичен составу свинца пробы №10. Для остальных фаз пробы №1 характерен аномальный свинец, обогащенный ураногенной компонентой. Все фазы проб №2 и №11 также имеют свинец, в различной степени обогащенный ураногенной компонентой (на диаграмме  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  экспериментальные точки расположены правее нулевой изохроны).

Корректное изучение свинца с аномальным изотопным составом требует определения концентраций U и Pb. По техническим причинам такие определения выполнить не удалось. Предварительные данные по концентрациям Pb получены лишь для проб №1 и №11. Из табл. 5 видно, что концентрации Pb во всех фазах близки к кларковым. Поэтому можно предполагать, что имеющееся распределение ИСС обусловлено различными соотношениями U/Pb в изученных фазах. Обращает внимание линейная тенденция распределения ИСС выщелатов «Царской водкой» (и, возможно, HF). Вероятно, что предпринятое в необходимом объеме изучение U – Pb систем этих субстратов позволит сделать более определенное заключение о времени их формирования изохронным методом (либо, по крайней мере, оценить модельные параметры Pb путем введения поправок на распад *in situ*).

Распределение изотопного состава свинца, связанного с различными фазами терригенной кремнисто-известняково-углистой формации, позволяет сделать следующие заключения. Большинство изученных фаз имеют свинец с нормальным изотопным составом, вариации которого соответствуют интервалу значений ИСС сульфидных минералов. Этот факт, по нашему мнению, подтверждает предположение о рудолокализующей (и рудоконцентрирующей) роли терригенно-осадочных толщ в процессе формирования золотого оруденения. Фазы хлороформенных и спиртобензольных битумов включают свинец с  $T_{\text{мод.}}$  от 450 до 200 млн. лет. Причем, с учетом повышенных значений  $\mu=9.4+9.5$ , необходимо

Таблица 5. Изотопный состав и модельные параметры свинца известняков, вмещающих золотое оруденение месторождения Сузdalское

№ п/п	Фаза	Содержание грат		Изотопные соотношения свинца ( $\sigma_{\text{X}}, \%$ )			Модельные параметры		
		U	Rb	206/204	207/204	208/204	T, млн. лет	$\mu$	K
1	Карбонатная (HCl) Сульфидная (HNO <sub>3</sub> ) Царская водка			18.027 (0.14)	15.381 (0.22)	37.526 (0.22)	152±19	9.03	3.74
				17.693 (0.11)	15.278 (0.15)	36.851 (0.15)	274±15	8.86	3.59
				18.064 (0.06)	15.339 (0.12)	37.317 (0.12)	68±9	8.94	3.62
2	Карбонатная (HCl) Сульфидная (HNO <sub>3</sub> ) Царская водка			18.306 (0.47)	15.250 (0.50)	37.081 (0.50)			
				18.362 (0.07)	15.376 (0.15)	37.269 (0.15)			
				18.640 (0.06)	15.634 (0.22)	37.865 (0.30)	20±15	9.46	3.63
3	Карбонатная (HCl) Сульфидная (HNO <sub>3</sub> ) Царская водка			18.054 (0.10)	15.415 (0.11)	37.592 (0.11)	176±27	9.09	3.77
				7.03	18.418 (0.18)	15.405 (0.18)	38.147 (0.18)		
				-	1.89	21.302	15.803		
4	Карбонатная (HCl) Сульфидная (HNO <sub>3</sub> ) Царская водка			2.63	27.975 (0.05)	15.641 (0.06)	38.727 (0.09)		
				-	-	39.204 (0.08)			
				11.56	18.799 (0.03)	15.458 (0.03)	37.393 (0.03)		
4	HF			4.80	30.814 (0.28)	16.205 (0.28)	37.713 (0.30)		
				2.58	30.223 (0.035)	16.088 (0.04)	37.800 (0.040)		
				-	-	-	-		

## ПРИЛОЖЕНИЕ

## Список проб сульфидов и вмещающих пород золоторудных месторождений Бакырчикского рудного поля и месторождения Сузdal'skoe Западной Калбы

№ п/п	№ пробы	Образец	Описание образца	Место сбора
1	2	3	4	5
<i>Месторождение Большевик (автор В.А.Нарссеев (НИИГРИ))</i>				
1	5521/318.5	пирит	Линзовидное стяжение пирита в алевролите.	
2	Б-88/17г	пирит	Серия линзовидных стяжений пирита с ореолом кристаллов пирита в переслаивании алевролитов и песчаников.	
3	39	пирит	Руда в метасоматических измененных «мусорных» песчаниках. Зона интенсивной кварц-карбонатной минерализации в осветленных рассланцованных породах рудной пачки.	Карьер Большевик, Гор. 315
4	39	арсенопирит	Руда в метасоматических измененных «мусорных» песчаниках. Зона интенсивной кварц-карбонатной минерализации в осветленных рассланцованных породах рудной пачки.	Карьер Большевик, Гор. 315
5	БН-40	арсенопирит	Тонкозернистый черный песчаник (возможно с сидеритом) с рассеянным тонкоигольчатым арсенопиритом и отпечатком флоры.	
6	БН - 27	пирит	Крупные кубические кристаллы пирита. Образуют концентрическую зону внутри крупной будины.	
7	5529/109	углистый сланец	Переслаивание алевролитов и песчаников (соотношение 1:1).	
8	5512/173	углистый сланец	Переслаивание мелкозернистых карбонатных песчаников и алевролитов, со следами оползания нелитифицированного осадка.	
<i>Месторождение Сузdal'skoe (автор В.А.Нарссеев (НИИГРИ))</i>				
9	1	известняк	Брекчированный известняк Рудное тело № 1. Содержит золото..	Скв. 131, гл. 146, 1м
10	2	известняк	Брекчированный известняк. Рудное тело № 1. Содержит золото.	Скв. 131, гл. 147, 7м
11	10	известняк	Рудное тело № 1	Скв. 179, гл 232м
12	11	известняк	Рудное тело № 2	Скв. 251, гл. 351, 5м
13	8	углекислый алевролит	Рудное тело № 1	Скв. 263, гл. 83, 5-84, 6м
14	12	углекислый алевролит	Рудное тело № 2	Скв. 251, гл. 372
<i>Месторождение Большевик (автор М.С.Рафаилович (КазИМС))</i>				
1	1160	галенит		Дно карьера 1983 г.
2	1160	пирит		Дно карьера 1983 г.
3	1160	арсенопирит		Дно карьера 1983 г.
4	1148а	галенит		Дно карьера 1983 г.
5	1148а	пирит		Дно карьера 1983 г.
6	1148а	арсенопирит		Дно карьера 1983 г.

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
7	1163	галенит		Дно карьера 1983 г.
8	1163	пирит		Дно карьера 1983 г.
9	1163	арсенопирит		Дно карьера 1983 г.
10	1151	галенит		Дно карьера 1983 г.
11	1151	арсенопирит		Дно карьера 1983 г.

*Месторождение Бакырчик (автор Т.М.Жаутиков (ИГН АНРК))*

1	Ж-84-352	пирит	Будина сплошного колчедана с тонким пиритом и вкраплениями арсенопирита.
2	Ж-84-352	пирит + арсенопирит	Будина сплошного колчедана с тонким пиритом и вкраплениями арсенопирита.
3	Ж-85-512	пирит	Будина темно-серых алевролитов с массивным диагенетическим пиритом.
4	Ж-85-31	пирит	Будина 15x10 см. Массивные кристаллы пирита в деформированных прослойках и гнездах.
5	Ж-85-605	пирит	Прожилково-вкрапленная руда во вмещающих углеродистых сланцах с ранними кварцами (80-85%).
6	Ж-85-603	пирит	Богатая послойно-вкрапленная руда в переслаивании темно-серых алевролитов с мелкозернистым песчаником.
7	Ж-85-603	арсенопирит	Богатая послойно-вкрапленная руда в переслаивании темно-серых алевролитов с мелкозернистым песчаником.
8	Ж-85-121	пирит	Интенсивно березитизированная дайка.
9	Ж-85-122	арсенопирит	Интенсивно березитизированная дайка с прожилками кварца.
10	Ж-85-124	пирит + арсенопирит	Интенсивно березитизированная дайка с густой вкрапленностью сульфидов, рассеченная прожилками раннего кварца (не менее 40%).
11	Ж-85-503	пирит	Дайка послойная.
12	Ж-85-128	арсенопирит	Кварцевая брекчия.

*Месторождение Бакырчик (автор И.Г.Сыромятников (ИГН АНРК))*

1	РТ-20	арсенопирит	Карьер 4, гор. 33, бм
2	РТ-26-1	арсенопирит	Карьер 4, гор. 33, бм
3	РТ-26-II	арсенопирит	Карьер 4, гор. 33, бм
4	РТ-27	арсенопирит	Карьер 4, гор. 33, бм
5	РТ-151	арсенопирит	Скв. 3527, гл. 240м

*Месторождение Глубокий Лог (автор И.Г.Сыромятников (ИГН АНРК))*

1	РТ-201	арсенопирит	
---	--------	-------------	--

предполагать некоторое «омоложение» возраста, соответствующего ордовикской границе указанного интервала. То есть, модельный возраст свинца, связанного с органической фазой соответствует, практически, всему периоду формирования свинца (кроме мелового этапа), установленного для свинца сульфидных минералов.

Для свинца, ассоциирующегося с рассеянными сульфидами и самородным золотом (фазы:  $600^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ ) в углеродистых алевролитах, получен  $T_{\text{mod.}}$ ?  $270$  млн. лет. Аналогичный результат получен для свинца фазы  $\text{HNO}_3$  известняка № 10. Модельные возрасты для свинца карбонатных фаз алевролитов соответствуют интервалу  $420 - 150$  млн. лет. В этот же интервал попадает свинец карбонатной фазы известняка № 10 ( $150 \pm 40$  млн. лет).

В общем, ИСС терригенно-осадочных толщ, вмещающих золотое оруденение Бакырчинского рудного поля, не противоречит мнению [19] о том, что карбонатсодержащие и углеродосодержащие породы могли выступать в роли геохимических барьеров и экранов, где происходила разгрузка металлоносных растворов (рассолов). Возникающие при этом различные соотношения  $\text{U}/\text{Pb}$ , видимо, обуславливали вариации значений  $\mu$ , фиксируемые для одинаковых фаз в различных образцах. Фазы, наименее обогащенные рудной нагрузкой, имеют свинец с аномальным изотопным составом.

Наличие разнотипного свинца в различных сульфидах (и их фазах) в пределах одного образца (например, проба № 1160, табл. 1) также согласуется с многостадийным механизмом отложения (переотложения) рудного вещества под влиянием различных эпигенетических процессов – действия поровых вод в условиях катагенеза, гидротермально-метасоматической деятельности интрузий и метаморфизма. Имеющееся отличие в амплитуде вариаций ИСС органической и карбонатной фаз углистых алевролитов на данном этапе исследований не имеет однозначного объяснения. Это может быть как следствием различной концентрирующей способности этих фаз, так и разным временем и условиями их формирования.

Распределение ИСС в известняках так же не имеет однозначного объяснения. Лишь данные, полученные для образца № 10 табл. 5, позволя-

ют предполагать наличие в известняке свинца с изотопным составом близким к рудному (табл. 1). Если известняки выступали в роли промежуточных резервуаров рудного вещества, то нормальный ИСС и повышенные концентрации Pb (и возможно Au) могут служить аргументами в пользу этого предположения.

Таким образом, по результатам изотопно-свинцовых исследований сульфидных минералов и пород, вмещающих золотое оруденение на Бакырчикском рудном поле и месторождении Сузdal'ское Западной Калбы, можно сделать следующие выводы.

1. Изученные месторождения – полигенные и полихронные. Процесс рудообразования происходил, по крайней мере, в пять этапов: раннекембрийский ( $\mathbb{E}$ ); ордовик-силурский ( $\text{O}_3 - \text{S}_1$ ); среднекарбоновый ( $\text{C}_2$ ); триасовый ( $\text{T}_1 - \text{T}_2$ ) и позднемеловой ( $\text{K}_2$ ). Рудные компоненты извлекались из глубинного источника орогенного типа. В период  $\text{T}_1 - \text{T}_2$  синхронно с источником данного типа «работал» и мантийный. Не исключается возможность синхронного извлечения рудного вещества из указанных источников и на других этапах рудообразования.

2. Терригенно-кремнисто-известково-углистоглинистые толщи, вероятно, являлись геохимическим барьером, на котором происходило отложение (переотложение) рудного вещества.

3. Предполагается сложный, многостадийный механизм эпигенетических преобразований первичных рудных концентраций.

4. Изотопные данные по свинцу рудных минералов могут быть использованы для прогноза и поиска золотого оруденения в изученном районе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Arden J.W., Gale N.H. New electrochemical technique for the separation of lead at trace levels from natural silicates. *Anal Chem.*, 1974. V. 46, № 1. P. 56–63.
2. Gale N.H. Correlated errors in U – Pb geochronology. *Geochem J.*, 1979. V. 13, № 4. P. 167–172.
3. Gale N.H., Mussett A.E. Episodic uranium – lead models and the interpretation of variations in the isotopic composition of lead in rocks. *Rev. Geophys. Space Sci.* 1973. V. 11. № 1. P. 37–86.
4. Delevaux M.H., Doe B.R., Broun G.F. Preliminary lead isotope investigation of brine from the Red Sea, galena from the Kingdom of Saudi Arabia, and galena from United Arab Republic (Egypt). – *Earth Planet. Sci. Lett.* 1967. V. 3. P. 139 – 144.

5. Дой Б. Р., Зартман Р.Е. Плюмботекtonика фанерозоя. В кн.: Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М.: Мир, 1982. С. 28–70.
6. Дой Б.Р., Стейси Дж. Обзор исследований по применению изотопов свинца для решения проблем происхождения руд и оценки возможности поисков рудных месторождений. М.: Мир, 1977. С. 11–57.
7. Zartman R.E., Doe B.R. Plumbotectonics – the model tectonophysics, 1981. V. 75, № 1-2. P. 135–162.
8. Канасевич Э.Р. Интерпретация и геологическое значение данных об изотопном составе свинца. – В кн.: Радиометрическое датирование. М.: Атомиздат, 1973, с. 116–169.
9. Cannon R.S., Pierce. Lead isotope guides for Mississippi valley lead-zinc exploration/ – U.S. Geol. Surv. Bull., 1969. 1313 – G, G1 – G20.
10. Carr G.R., Dean J.A., Suppel D.W., Heithersay P. Precise lead isotope fingerprinting of hydrothermal activity associated with Ordovician to carboniferous metallogenetic events in the Lachlan Fold Belt of the New South Wales. 1996. P. 1467–1505.
11. Cumming G.L., Richards J.R. Ore lead isotope ratios in a continuously changing Earth. Earth Planet. Sci. Lett., 1975. V. 28. P. 155–171.
12. Young L.E. Empirical applications of common lead – isotope ratios to exploration. Society of Economic Geologists, 1995, № 22, p. 1–12.
13. Кошевой О.Г., Сыромятников Н.Г. Источники и возраст рудного свинца Казахстана с позиций современных моделей свинцово-изотопной эволюции. – Изв. АН КазССР, Сер. геол., 1983, № 4. С. 17–29.
14. Кошевой О.Г. Изотопный состав свинца на полиметаллических и свинцово-цинковых месторождениях Центрального и Южного Казахстана в связи с их возрастом и генезисом. Автореферат кандидатской диссертации. Алматы, 1984.
15. Кошевой О.Г. Применение двумерного статистического анализа при изучении изотопного состава рудного свинца. Изв. АН КазССР, Сер. Геол., 1986, № 6. С. 75–85.
16. Кэннон Р.С., Пирс А.П., Антвейлер Дж. К. Применение изотопов свинца при поисках месторождений полезных ископаемых // Геохимические поиски, М.: Мир, 1973. С. 228–236.
17. Ladwig K.R. Calculation of uncertainties of U – Pb isotope data. Earth Planet. Sci. Lett., 1980. V. 46, № 2. P. 212–220.
18. Manhes G., Allegre C.Y., Dupre B., Hamelin B. Lead – lead systematic, the «age of the Earth» and the chemical evolution of our planet in a new representation space. – Earth Planet. Sci. Lett., 1979. V. 44, № 1. P. 91–104.
19. Нарсеев В.А., Фогельман Н.А., Курбанов Н.К. и др. Эндогенные месторождения золота // Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. – В кн.: Геология Казахстана. Том 1. Геология и геохимия. Материалы научно-практической конференции. Алматы, 1984. С. 103–110.
20. Нехорошев В.П. Геология Алтая. М., 1958, 262 с.
21. Неймарк Л.А. Количественные модели эволюции системы кора-мантия по изотопам Pb // Геохимия радиогенных изотопов на ранних стадиях эволюции. М.: Наука, 1983. С. 151–167.
22. Oversby V.M. Lead – lead systematic: a discussion of the I,S diagram propose by Manhes, C.Y.Allegre, B.Dupre, and B. Hamelin. Earth Planet. Sci. Lett., 1980, vol. 49, p. 252–258.
23. Richards J.R. Lead isotopes at Dugald River and Mount Isa, Australia. – Geochim. Cosmochim. Acta, 1967, vol. 3, № 1, p. 51–62.
24. Ричардс Дж. Р. Некоторые соображения об изменении изотопного состава свинца во времени. – Геохимия, 1981, № 1, с. 17–37.
25. Stacey Y.S., Doe B.R., Roberts B. Y. et al. A lead isotope study of mineralization in the Saudi Arabian Shield. – Contrib. Mineral. Petrol., 1980, vol. 74, № 2, p. 175–188.
26. Stacey Y.S., Kramers Y.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. – Earth Planet. Sci. Lett., 1975, vol. 26, p. 207–221.
27. Stanton R.L., Russell R.D. Anomalous leads and the emplacement of lead sulfide ores. – Econ. Geol., 1959, vol. 54, № 4, p. 588–607.
28. Steiger R.H., Jager E. Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. – Earth Planet. Sci. Lett., 1977, vol. 36, № 3, p. 359–362.
29. Сыромятников Н.Г., Замятин Н.И., Яренская М.А. и др. Генетические особенности и возраст колчеданных месторождений Майкайн и Сувенир по изотопным данным. – Изв. АН КазССР, Сер. Геол., 1976, № 5, с. 1–15.
30. Сыромятников Н.Г., Ковалский В.С., Остапова Н.В. и др. Изотопно-свинцовое изучение некоторых золоторудных месторождений Казахстана. – Изв. АН КазССР, сер. Геол., 1988, № 3, с. 3–11.
31. Сыромятников Н.Г., Ковалский В.С., Кошевой О.Г. и др. Изотопно-свинцовое изучение колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая в связи с их генезисом. – В кн.: Изотопная геохимия процессов рудообразования. М.: Наука, 1988, с. 117–135.
32. Фор Г. Основы изотопной геологии, М.: Мир, 1989, 590 с.
33. Чернышев И.В., Троцкий В.А., Агапова А.А. и др. Изотопный анализ субмикрограммовых проб свинца. – В кн.: Масс-спектрометрия и изотопная геология. М.: Наука, 1983, с. 16–29.
34. Щерба Г.Н. Месторождения атасуйского типа в Казахстане. – В кн.: Эндогенные рудные месторождения. М.: Наука, 1968, с. 185–196.