ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК, 2019, том 484, № 3, с. 335–339

ГЕОХИМИЯ

УДК 550.4:552.57

ЕДИНАЯ НЕОПРОТЕРОЗОЙСКАЯ–РАННЕПАЛЕОЗОЙСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ РУДОНОСНЫХ ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮГА СИБИРСКОГО КРАТОНА

А. Е. Будяк[1,2,*], С. Ю. Скузоватов[1,3], Ю. И. Тарасова[1,5], К.-Л. Ванг (Kuo-Lung Wang)[3], член-корреспондент РАН Н. А. Горячев[1,4]

Поступило 07.05.2018 г.

Сопоставление отложений литолого-геохимических параметров отложений дальнетайгинской серии Бодайбинского синклинория (бужуихтинская и хомолхинская свиты) и Олокитской структурно-формационной зоны (итыкитская и ондокская свиты), вмещающей полиметаллические месторождения (Холоднинское, Йоко-Рыбачье), в совокупности с полученными геохронологическими LA-ICP-MS U–Pb-данными по возрасту ондокской свиты (~600 млн лет) указывает на их аналогичное стратиграфическое положение в неопротерозое юга Сибири. Предполагают, что приобретение сидеро-халькофильной специализации на первом этапе формирования полиметаллических и золоторудных объектов двух структурных зон было синхронным и может быть связано с гидротермальной деятельностью в задуговом бассейне Олокитской структуры.

Ключевые слова: Байкальская горная область, неопротерозой, задуговый бассейн, седиментация, Au, Ba, Zn, Pb.

DOI: https://doi.org/10.31857/S0869-56524843335-339

В пределах южного обрамления Сибирского кратона наиболее значимые рудные регионы — Ленский золоторудный район Бодайбинского синклинория (ЛЗР) и территориально с ним сопряжённый Олокитский полиметаллический (Ba–Pb–Zn) район (ОПР, рис. 1). Предмет дискуссий — вопрос возрастной принадлежности рудоносных горизонтов, корреляция источников полезного компонента и палеогеодинамических событий, способствовавших их формированию. В разрезе неопротерозойских углеродсодержащих толщ ЛЗР наиболее значимым является дальнетайгинский—жуинский горизонт, вмещающий ряд известных месторождений Au (Угаханское, Сухой Лог, Голец Высочайший и др.) [1–3]. Возраст отложений горизонта ~610–635 млн лет [4, 5] при мощности не более 3 км, в то время как суммарная мощность рифей-вендских толщ в регионе до 15 км. В сравнении с подстилающими и перекрывающими толщами отложения этого интервала обладают сидерофильной специализацией и надкларковыми содержаниями Au, Ag, Pb, Zn, Ba, P, Mn [2, 6–8]. В пределах ОПР все месторождения и рудопроявления (Pb–Zn — Холоднинское, Овгольское и др.; Ba–Pb–Zn — Йоко-Рыбачье, Ондоко и др.) также приурочены к единому горизонту, представленному итыкитской, ондокской свитами.

При сопоставлении общей стратиграфической последовательности рассматриваемых регионов (рис. 1б) маркирующий горизонт — отложения медвежевско-балаганахского горизонта ЛЗР, который чётко коррелируется с вулканогенно-осадочными отложениями тыйской свиты и перекрывающими октолахтинской, стойбищной свитами [1]. Отложения стойбищной свиты характеризуются сменой алевритистого материала на кварцевые песчаники и перекрыты карбонатным чехлом, который протягивается на север в Бодайбинскую, Патомскую зоны в виде мариинской свиты. Наиболее проблемный для сопоставления возрастной горизонт — дальнетайгинский уровень ввиду его крайней неоднородности в пределах ОПР. Сочетание в его пределах карбонатно-терригенного материала итыкитской, ондокской, асектамурской свит с вулканогенными и вулканогенно-осадочными комплексами, типичными для действующих островодужных систем, предполагает накопление данного стратоуровня в условиях развития задугового бассейна вплоть до полной его изоляции в условиях бассейна форланда в верхах асектамурской (ОПР), вачской (ЛЗР) свит.

[1] *Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск*

[2] *Иркутский научный центр Сибирского отделения Российской Академии наук*

[3] *Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan*

[4] *Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Магадан*

[5] *Иркутский национальный исследовательский технический университет*

**E-mail: budyak@igc.irk.ru*

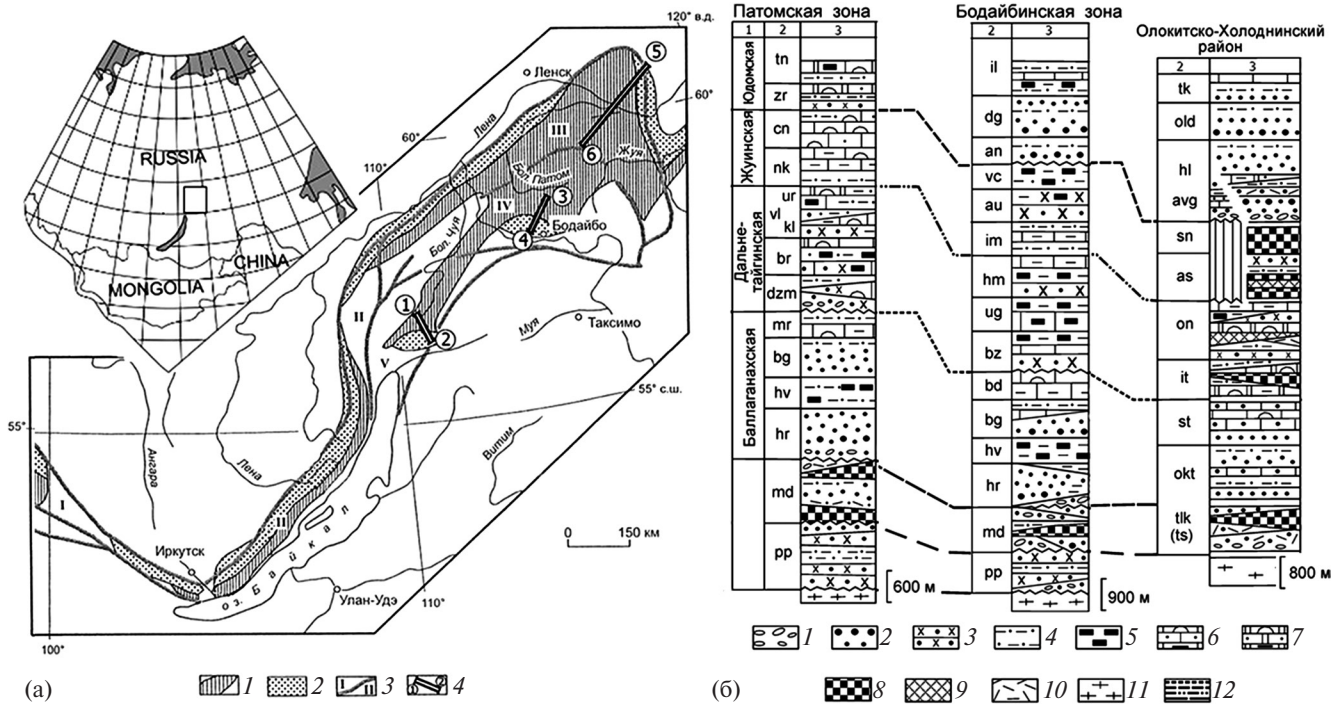

Рис. 1. (а) — распространение пород неопротерозоя в южном сегменте Саяно-Байкальской области (СБО). *1* — нерасчленённые отложения балаганахского — дальнетайгинского — жуинского стратоуровней (рифей—венд); *2* — отложения юдомского стратоуровня (венд—кембрий); *3* — контуры СБО, границы и номера структурно-формационных зон и поясов зоны: I — Присаянская, II — Прибайкальская, III — Патомская, IV — Бодайбинская, V — Олокитская; *4* — линии стратиграфических профилей, показанных на рис. 1б; (б) — корреляция отложений позднего протерозоя Байкало-Патомского региона. I — региональные горизонты [1]; II — свиты, толщи; III — породные комплексы; *1* — конгломераты; *2* — гравелиты, песчаники полимиктовые, аркозовые; *3* — песчаники кварцевые, полевошпатово-кварцевые; *4* — алевропелитовые отложения; *5* — углеродсодержащие отложения; 6 — известняки фитолитовые, песчаные, алевропелитовые; *7* — доломиты фитолитовые, песчаные, алевропелитовые; *8* — вулканические породы основного состава; *9* — вулканические породы кислого, среднего составов; *10* — туфы, туффиты; *11* — граниты, гнейсы, кристаллические сланцы нижнего докембрия; *12* — границы региональных горизонтов; обозначения свит и толщ: an — анангрская, as — асектамурская, au — аунакитская, avg — авгольская, bd — бодайбоканская, bg — бугарихтинская, br — баракунская, bz — бужуихтинская, cn — ченчинская, dg — догалдынская, dzm — джемкуканская, hl — холоднинская, hm — хомолхинская, hr — харлухтахская, hv — хайвергинская, il — илигирская, im — имняхская, it — итыкитская, md — медвежевская, mr — мариинская, nk — никольская, okt — октолахтинская, old — олдакитская, on — ондокская, pp — пурпольская, st — стойбищная, tlk — тулуокитская, tn — тинновская, ts — тыйская, ug — угаханская, vc — вачская, vl — валюхтинская, zr — жербинская.

Кроме того, согласно перекрывающие их отложения молассоидного типа авгольской (ОПР) и анангрской (ЛЗР) свит предполагают возникновение орогена на юге Сибири при закрытии северо-восточной части Палеоазиатского океана. Соответствующие метаморфические события регионального характера в интервале 550–520 млн лет максимально проявились в пределах Олокитской зоны (эпидот-амфиболитовая до амфиболитовой фации) [9], однако в отложениях Бодайбинского синклинория не превышали условий низкотемпературной зеленосланцевой фации [10].

Углеродистые сланцы в пределах рассмотренного уровня представлены графит-карбонат-кварц-слюдистыми, графит-кварц-слюдистыми сланцами (В4, $C_{орг}$ 3,4–3,7%) итыкитской, ондокской свит, в пределах рудной зоны Холоднинского месторождения — графит-гранат-кварц-двуслюдяными (В3, $C_{орг}$ ~1%). Оруденение выявлено в предрудной зоне месторождения и на некотором удалении от рудного тела (до 5 км). Увеличенные в 3–5 раз значения эксгалятивного модуля (Mn * Zn * Pb/Ti) в отложениях ондокской и хомолхинской свит относительно подстилающих отложений балаганахского горизонта (рис. 2) предполагают существование единой обстановки подводных эксгаляций при формировании рудовмещающих толщ в условиях спрединга задугового бассейна. Исходя из распределения значений эксгалятивного модуля в пределах Байкальской горной области (БГО) можно сделать вывод о протяжённой зоне активной гидротермальной деятельности, фрагментарно фиксирующейся от Олокит-

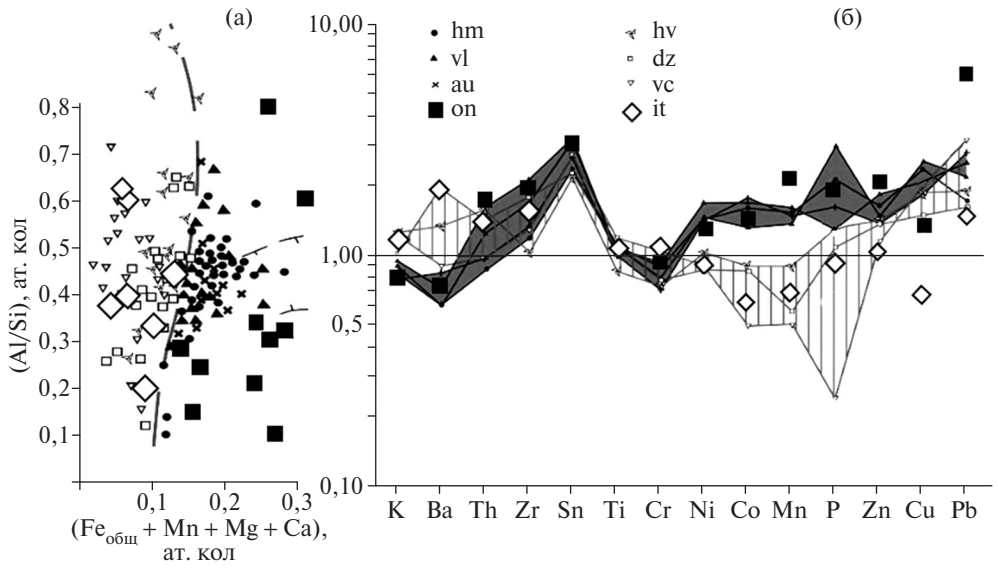

Рис. 2. Петрохимическая характеристика углеродистых отложений Байкало-Патомского бассейна (а) и распределение петрогенных и редких элементов в углеродистых алевропелитах Байкало-Патомского бассейна (б). Фигуративные чёрные точки характеризуют металлоносные отложения; фигуративные белые точки типичны для толщ литофильного уклона. Содержания элементов для (б) нормированы по стандартному образцу чёрных сланцев SCHS-1 [12]. Обозначения для свит см. на рис. 1.

ской зоны через Бодайбинский синклинорий. Близость вещественных характеристик хомолхинской и ондокской свит подтверждается рядом петро- и геохимических диаграмм (рис. 2), на которых отложения соответствуют области осадконакопления палеобассейнов дальнетайгинского—жуинского времени. Геохимическая специализация итыкитской свиты (ОПР) на элементы литофильного уклона резко отличается от отложений ондокской свиты, которая характеризуется повышенной халькосидерофильной геохимической специализацией (рис. 2), однако схожа с таковой для бужуихтинской свиты (ЛЗР), для которой маркирующее — высокое содержание Ba (до 0,2%) и отрицательные экскурсы сидерофильных элементов (Cr, Ni, Co, Mn) (рис. 2б). В свою очередь, ондокская свита повторяет рисунок распределения отложений хомолхинско-аунакитского уровня. Незначительное увеличение Mn, Zn, Pb и низкая концентрация Cu относительно пород дальнетайгинского горизонта, вероятно, продиктованы специализацией гидротермального флюида, связанного с задуговым спредингом [11].

Для определения возраста накопления ондокской свиты из образца углеродсодержащего глинистого сланца были выделено ~80 зёрен циркона в 50–100, крайне редко — 100–250 мкм. Из них проанализировано 46 зёрен с размером, достаточным для анализа (рис. 3). Локальный U–Pb-анализ методом масс-спектрометрии с лазерной абляцией выполнен в Институте наук о Земле г. Тайпей (Академия Синика, Тайвань) с использованием магнитосекторного масс-спектрометра Agilent 7900 и системы лазерного пробоотбора Photon Machines Analyte G2 с 193 нм лазером по точкам с размером 35 мкм. Даты зёрен с дискордантностью <10% преимущественно сгруппированы в кластеры с палеопротерозой-архейскими (2786–1771 млн лет) и неопротерозойскими значениями (980–597 млн лет), указывая на вендский возраст осадконакопления ондокской свиты (~600 млн лет) и значительный вклад “несибирского” источника, представленного породами Байкало-Муйского террейна. Особенности U–Pb-системы ряда дискордантных и некоторых конкордантных зёрен предполагают существенное влияние более позднего (не старше 569 млн лет) метаморфического события. Изотопный состав Pb толщ, вмещающих Ba-полиметаллическое месторождение Йоко-Рыбачье (итыкитская свита) и Pb–Zn-Холоднинское месторождение (ондокская свита) указывают на единый источник рудного Pb на всём этапе седиментации дальнетайгинского горизонта при различии модельного возраста в 10–20 млн лет [9], что схоже с предполагаемой разницей между отложениями бужуихтинской и хомолхинской свит в разрезе БГО [4, 5]. Таким образом, с учётом полученных возрастных данных можно констатировать факт синхронного накопления бужуихтинской, хомолхинской свит ЛЗР с итыкитской, ондокской свитами ОПР и их общего отнесения к дальнетайгинскому горизонту.

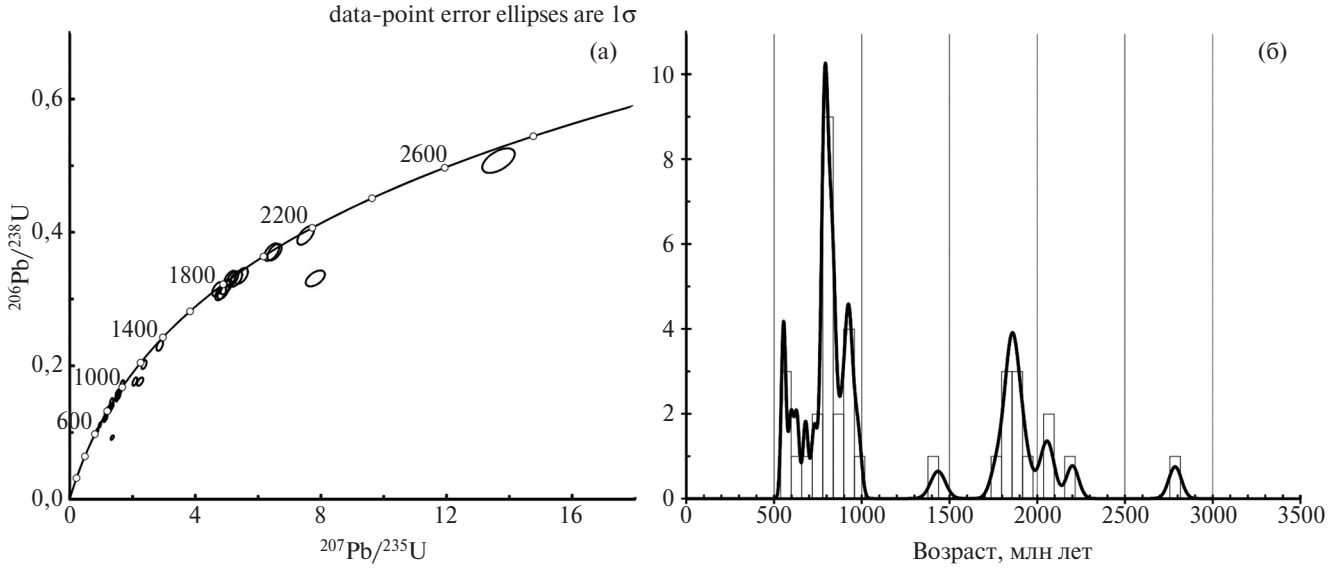

Рис. 3. Результаты геохронологических U–Pb-исследований глинистых сланцев ондокской свиты: (а) — диаграмма с конкордией, (б) — кривая вероятности и гистограмма распределения возрастов.

Условия формирования дальнетайгинского горизонта в истории развития южной окраины Сибирского континента характеризовались специфическим сочетанием геодинамических и палеогеографических обстановок седиментогенеза, определивших металлогенический потенциал отложений [6]. При литолого-геохимическом анализе реконструируется последовательный фациальный ряд обстановок осадконакопления ЛЗР, ОПР от задугового бассейна на севере [7, 13] к островодужной системе на юге [14]. Эксплозивная деятельность вулканических аппаратов Байкало-Муйской зоны и подводные эксгаляции зоны спрединга задугового бассейна с большой вероятностью могли оказывать влияние на геохимические особенности амагматичных отложений Бодайбинской, Приленской, Прибайкальской зон. Руды гидротермально-стратиформного полиметаллического месторождений Йоко-Рыбачье, Холоднинское (ОПР) формировались непосредственно вблизи зоны спрединга задугового бассейна в пределах связанного с ним гидротермального поля синхронно с осадконакоплением. Источником обогащения рудной зоны месторождения Ba, Zn, Pb, Ag и другими элементами, свойственными для низко- и среднетемпературных ассоциаций, являлся гидротермальный раствор задуговых бассейнов. Этот процесс имел распространение в северном направлении, формируя сидерохалькофильную специализацию амагматичных черносланцевых толщ дальнетайгинского горизонта ЛЗР.

Седиментогенное накопление продуктов гидротермальной деятельности — первый этап формирования месторождений и рудопроявлений в Байкало-Патомском задуговом палеобассейне [6, 15]. Образование промышленно значимых месторождений Au происходило при дальнейшей эволюции специализированных углеродистых осадков с их постседиментационным перераспределением и накоплением рудных компонентов вплоть до рудных концентраций в условиях каледонского орогенеза.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту IX.130.3.1. (0350–2016–0032) и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18–05–00081).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Станевич А.М.*, *Немеров В.К.*, *Чатта Е.Н.* Микрофоссилии протерозоя Саяно-Байкальской складчатой области. Обстановки обитания, природа и классификация. Новосибирск: Гео, 2006. 204 с.
2. *Немеров В.К.*, *Станевич А.М.*, *Развозжаева Э.А. и др.* // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 5. С. 729–747.
3. *Иванов А.И.* Золото Байкало-Патама (геология, оруденение, перспективы). М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014. 215 с.
4. *Powerman V.*, *Shatsillo A.*, *Chumakov N.*, *et al.* // Precambr. Res. 2015. V. 267. № 1. P. 39–71.
5. *Чумаков Н.М.*, *Капитонов И.Н.*, *Семихатов М.А. и др.* // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2011. Т. 19. № 2. С. 115–119.
6. *Будяк А.Е.*, *Горячев Н.А.*, *Скузоватов С.Ю.* // ДАН. 2016. Т. 470. № 5. С. 562–565.
7. *Чугаев А.В.*, *Будяк А.Е.*, *Чернышев И.В. и др.* // Геохимия. 2017. № 1. С. 17–25.

8. *Чугаев А.В.*, *Будяк А.Е.*, *Чернышев И.В. и др.* // Петрология. 2018. Т. 26. № 3. С. 213–244.
9. *Неймарк Л.А.*, *Рыцк Е.Ю.*, *Гороховский Б.М. и др.* // Геология руд. месторождений. 1991. № 6. С. 33–49.
10. *Юдовская М.А.*, *Дистлер В.В.*, *Родионов Н.В. и др.* // Геология руд. месторождений. 2011. Т. 53. № 1. С. 32–64.
11. *Богданов Ю.А.*, *Лисицын А.П.*, *Сагалевич А.М. и др.* Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.
12. *Petrov L.L.*, *Kornakov Y.N.*, *Korotaeva I.I.*, *et.al.* // Geoanal. Res. 2004. V. 28. № 1. P. 89–102.
13. *Станевич А.М.*, *Мазукабзов А.М.*, *Постников А.А. и др.* // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 1. С. 60–79.
14. *Цыганков А.А.* Магматическая эволюция Байкало-Муйского вулканоплутонического пояса в позднем докембрии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 306 с.
15. *Немеров В.К.*, *Спиридонов А.М.*, *Развозжаева Э.А. и др.* // Отеч. геология. 2005. № 3. С. 17–24.

COMMON NEOPROTEROZOIC–EARLY PALEOZOIC EVOLUTION OF ORE-BEARING SEDIMENTARY COMPLEXES IN THE SOUTHERN SIBERIAN CRATON

A. E. Budyak, S. Yu. Skuzovatov, Yu. I. Tarasova, Kuo-Lung Wang, Corresponding Member of the RAS N. A. Goryachev

Received May 7, 2018

A comparison of the lithological-geochemical parameters for the deposits of the Dalnetaiga series of the Bodaibo synclinorium (the Buzhuikhta and Khomolkho suites) and the Olokit structural-formation zone (the Itykit and Ondok suites), hosting polymetallic deposits (Kholodnin, Ioko-Rybach'e), along with the obtained geochronological LA-ICP-MS U–Pb age estimates of the Ondok suite (~600 Ma), indicates their similar stratigraphic position in the Neoproterozoic in Southern Siberia. At the first stage of formation of polymetallic and gold-ore objects, the siderochalcophylic trend is considered to have appeared synchronously in the two structural zones, which could have been caused by the hydrothermal activity in the backarc basin of the Olokit structure.

Keywords: Baikal Mountainous Region, Neoproterozoic, backarc basin, sedimentation, Au, Ba, Zn, Pb.