

Исследования Rb-Sr и U-Pb изотопных систем при решении вопросов возраста и источников вещества рудных месторождений

В современных фундаментальных исследованиях, направленных на разработку проблем генезиса рудных месторождений, ключевую роль играют методы изотопной геологии, которые позволяют получать численные оценки времени развития минералообразующих процессов и изотопно-геохимические характеристики источников вещества и флюидов.

Трудности исследования месторождений с помощью изотопных методов обусловлены, как правило, сложной историей формирования этих объектов, последовательным наложением процессов, приводящих в ряде случаев к нарушению замкнутости изотопных систем в минералах, а также ограниченным выбором минеральных фаз, пригодных для изучения. В связи с этим весьма актуальным является получение достоверной геохронологической и изотопно-геохимической информации на основе применения обоснованных методик изотопного анализа, обработки и интерпретации данных.

Урановые месторождения относятся к числу наиболее благоприятных рудных объектов, для которых с помощью U-Pb метода успешно решаются задачи по расшифровке хронологии процессов минералообразования. Обширный опыт изучения этих объектов позволил к настоящему времени разработать геохимические модели поведения U-Pb изотопной системы урановых минеральных фаз в процессах рудообразования и обосновать методику их исследования, обеспечивающую достоверность получаемых результатов и выводов. Широко используемым в U-Pb геохронологии урановых месторождений является метод изохронных построений на основе изучения локальных проб урановых фаз [Чернышев и др., 1983; Чернышев, Голубев, 1996 и др.]. Данный подход основывается на изучении локальных микрообъемов минералов (<0.1 мм³), представляющих различные генетические и морфологические разновидности, что позволяет выявлять дифференциальный характер поведения U-Pb изотопных систем в процессах рудообразования.

В U-Pb исследованиях различных геологических объектов важным направлением является изучение вариаций изотопного состава Pb в минеральных фазах с низкими величинами U/Pb и Th/Pb отношений. Это направление (изотопная геохимия «обыкновенного» свинца или Pb-Pb метод) является одним из наиболее эффективных и давно применяемым в изотопной геологии. Pb-Pb метод применяется для выявления потенциальных источников рудного вещества месторождений. Изотопные характеристики «обыкновенного» свинца отражают не только особенности геологического строения территории, в пределах которой расположено месторождение, но позволяют также получить представление об истории развития региона, как геохимической провинции.

В геологических образцах изучается распространенность четырех изотопов свинца. Три из них имеют радиогенную природу – это ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb , являющиеся продуктами распада ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th соответственно. Относительную распространенность радиогенных изотопов свинца принято выражать в виде изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Наблюдаемые в природе вариации изотопного состава Pb могут быть вызваны целым рядом причин, такими как: радиоактивный распад U и Th, смешение Pb с разными изотопными отношениями в результате тех или иных геологических процессов. Интерпретация Pb-Pb данных, полученных для конкретного геологического объекта, является довольно сложной задачей и, как правило, основывается на определенных модельных построениях. При расшифровке генезиса рудных месторождений в изотопной геохимии свинца наиболее широко применяются двухстадийная модель эволюции Pb на Земле, разработанная Дж. Стейси и Дж. Крамерсом [Stacey, Kramers, 1975], и «плюмботектоника» Б. Доу и Р. Зартмана [Doe, Zartman, 1979], которые взаимодополняют друг друга.

Физическое обоснование Rb-Sr метода определения возраста впервые было дано в работах немецких исследователей [Hahn et al., 1937 и др.] еще в 30-х годах прошлого столетия. Rb-Sr метод основывается на явлении радиоактивного распада изотопа ^{87}Rb посредством α -распада, в результате которого происходит образование дочернего изотопа ^{87}Sr . При этом общее количество изотопа ^{87}Sr в образце определяется как сумма радиогенного ^{87}Sr и ^{87}Sr , изначально присутствовавшего в Rb-Sr системе. В последующем с использованием масс-спектрометрии, усиленно развивавшейся в 40-х–50-х годах прошлого века, были созданы методы масс-спектрометрического изотопного анализа, позволившие с приемлемой точностью и чувствительностью измерять изотопные отношения $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в горных породах и минералах. Эти методы дали возможность исследовать поведение Rb-Sr изотопной системы различных минералов и создать геохимические основы применения метода к изучению конкретных геологических объектов.

Rb-Sr метод, наряду с другими методами (K-Ar и Sm-Nd) изотопной геологии, широко применяется для датирования гидротермальных рудных месторождений. Однако для большей части объектов гидротермального типа Rb-Sr датирование осложнено тем, что в рудных телах, как правило, отсутствует достаточное количество и разнообразие минеральных фаз, пригодных для геохронологического изучения. В этой связи, при датировании гидротермальных образований применяются подходы, основанные на изучении валовых проб метасоматитов и минералов, нетрадиционных для Rb-Sr геохронометрии таких, например, как кварц и сфалерит.

Использование валовых проб как геохронометров в Rb-Sr датировании гидротермально-метасоматических процессов предполагает, что в ходе преобразования вещества вмещающих пород и различных новообразованных минералов, в том числе и прожилковых, гомогенизация изотопного состава стронция происходит во всем объеме изучаемого геологического тела. Уравновешивание изотопного состава стронция между минеральными компонентами породы, как отмечено в работе И. М. Горхова [1985], облегчается вследствие его высокой подвижности в процессах с участием флюидной фазы. Примерами успешного применения этого подхода являются результаты геохронологического изучения месторождений Мурунтау [Костицын, 1994], Сухой Лог [Лавров и др., 2007] и золоторудных объектов Карелии [Ларионова и др., 2013].

Наибольший интерес среди нетрадиционных минералов-геохронометров представляет кварц. Его привлекательность для геохронологического использования определяется уже хотя бы тем обстоятельством, что этот минерал широко развит на золоторудных и многих других месторождениях, где обычно представлен различными генерациями и морфологическими типами. Изучение Rb-Sr-изотопной системы кварца позволяет успешно решать как геохронологические, так и изотопно-геохимические задачи [Shepherd, Darbyshire, 1981; Лаверов и др., 2007; Чугаев и др., 2010; 2012]. Rb-Sr-изотопная система минерала характеризуется рядом особенностей, которые препятствуют широкому использованию его в изотопной геологии. Это, во-первых, низкий уровень содержания исследуемых элементов (<100 нг/г), требующий особого методического подхода к изучению кварца, и, во-вторых, многообразие форм нахождения Rb и Sr в этом минерале и, как следствие этого, сложное поведение Rb-Sr-изотопной системы под действием наложенных процессов. Rb-Sr-изучение кварца желательно сочетать с изучением вариаций изотопного отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в других гидротермальных минералах, характеризующихся низкими величинами отношения $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$.

В представленном докладе детально рассматриваются физические, методологические и геохимические основы U-Pb и Rb-Sr методов для целей датирования рудных месторождений и идентификации источников вещества. На примере крупных урановых и золоторудных месторождений России обсуждаются современные подходы, применяемые в U-Pb и Rb-Sr геохронологических и изотопно-геохимических исследованиях.

Литература

Горохов И. М. Рубидий-стронциевый метод изотопной геохронологии. М.: Энергоатомиздат, 1985. 153 с.

Костицын Ю. А. Rb-Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. Рудоносные метасоматиты // Геохимия. 1994. № 4. С. 486–497.

Лаверов Н. П., Чернышев И. В., Чугаев А. В. и др. Этапы формирования крупномасштабной благороднометальной минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь, Россия): результаты изотопно-геохронологического изучения // Доклады Академии наук. 2007. Т. 415. № 5. С. 810–814.

Ларионова Ю. О., Самсонов А. В., Шатагин К. Н., Носова А. А. Изотопно-геохронологические свидетельства палеопротерозойского возраста золоторудной минерализации в архейских зеленокаменных поясах Карелии (Балтийский щит) // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 5. С. 374–396.

Чернышев И. В., Голубев В. Н. Изотопная геохронология процессов формирования месторождения Стрельцовское, Восточное Забайкалье – крупнейшего уранового месторождения России // Геохимия. 1996. № 10. С. 924–937.

Чернышев И. В., Голубев В. Н., Троцкий В. А. и др. Изохронные построения и локализация отбора проб // Масс-спектрометрия и изотопная геология. М.: Наука, 1983. С. 90–108.

Чугаев А. В., Чернышев И. В., Гамянин Г. Н. и др. Rb-Sr-изотопная систематика гидротермальных минералов, возраст и источники вещества золоторудного месторождения Нежданкинское (Якутия) // Доклады Академии наук. 2010. Т. 434. № 4. С. 534–539.

Чугаев А. В., Бортников Н. С., Гоневчук В. Г. и др. Возраст оловянных руд кварц-турмалин-касситеритового месторождения Солнечное по результатам Rb-Sr датирования кварца и адуляра (Хабаровский край, Россия) // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 3. С. 280–288.

Doe B. R., Zartman R. E. Plumbotectonics I. The Phanerozoic // Geochemistry of hydrothermal ore deposits. New York. Wiley Interscience, 1979. Chap. 2. P. 22–70.

Hahn O., Strassman F., Walling E. Herstellung wagbarer Mengen des Strontiumisotops 87 als Umwandlungsprodukt des Rubidiums aus einem kanadischen Glimmer// Naturwissenschaft. 1937. V. 25. P. 189.

Shepherd T. J., Darbyshire D. P. F. Fluid inclusion Rb-Sr isochrons for dating mineral // Nature. 1981. Vol. 290. P. 578–579.

Stacey J. S., Kramers I. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth and Planetary Science Letters. 1975. Vol. 26. № 2. P. 207–221.