

Член-корреспондент АН СССР Л. Н. ОВЧИННИКОВ, Т. В. РЯБОВА

К ВОПРОСУ О ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВАРИАЦИЙ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СЕРЫ ПРИРОДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Измерение отношения S^{32}/S^{34} прочно вошло в арсенал методов геологии, особенно в связи с изучением рудных месторождений. Накоплен уже значительный экспериментальный материал, позволяющий, в подкрепление теоретических основ приложения метода, провести статистическое сопоставление зависимости величины δS^{34} от условий образования соответствующего минерала. Было подвергнуто статистической обработке свыше 6 тыс. значений δS^{34} , опубликованных в нашей и зарубежной печати и относящихся к 22 распространенным серусодержащим минералам (пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, пирротин, барит, борнит, халькозин, ангидрит, гипс, кивоварь, антимонит, сера самородная, молибденит, арсенипирит, алунит и др.), которые характеризуют все известные генетические группы рудных месторождений, а также примесные сульфиды различных горных пород. Сравнивались данные и по различным серным компонентам (H_2S , SO_2 , SO_3 , SO_4^{2-}) вод разного происхождения, эвапоритов, вулканических эксгалляций. Распределение значений δS^{34} внутри групп и формаций, а также рудных провинций аппроксимируется нормальным законом.

Полученные результаты, отраженные на диаграмме (рис. 1), однозначно показывают, что не только по единичным значениям δS^{34} , но и по корректным средним совокупностей этих значений нельзя вынести суждение об условиях образования анализируемого минерала и о происхождении той рудной ассоциации, которая характеризуется данной совокупностью проб. Нельзя судить, конечно, и об источнике серы, формирующей то или иное месторождение или рудный парагенезис. Разброс значений δS^{34} в пирите или каком-либо другом рудообразующем минерале, в пробах, относящихся к разным участкам одного и того же месторождения, обычно перекрывает различие в величинах (не только единичных, но и средних) δS^{34} месторождений разных генетических типов. Это должно быть совершенно естественным, так как изотопный состав серы в исходном рудообразующем растворе и в отлагающихся серусодержащих минералах в пределах допустимых колебаний зависит от большого числа факторов и контролируется термодинамическими и физико-химическими условиями рудообразования.

Геологи, почему-то весьма преувеличивая роль бактерий, одновременно забывают о тех механизмах разделения изотопов серы, которые с успехом применяются в промышленности и в лабораторной практике (¹, ²) и которые должны неизбежно осуществляться в природе при движении рудообразующего раствора и отложении рудного вещества. К таким природным механизмам, в первую очередь, относится фильтрация растворов через пористую среду горных пород, сопровождающаяся неизбежным разделительным осадочно-хроматографическим эффектом, а также процессы диффузии и термодиффузии, изотопного обмена, осмоса, дистилляции.

Нельзя не подчеркнуть и того, что процессы, влекущие за собой изотопное фракционирование, регулируются теми же факторами и законами, что и обычные химические реакции. Как показано в (³, ⁴) и в ряде других работ, изотопный состав серы в гидротермальных (и иного происхождения) минералах в значительной мере контролируется температурой и pH

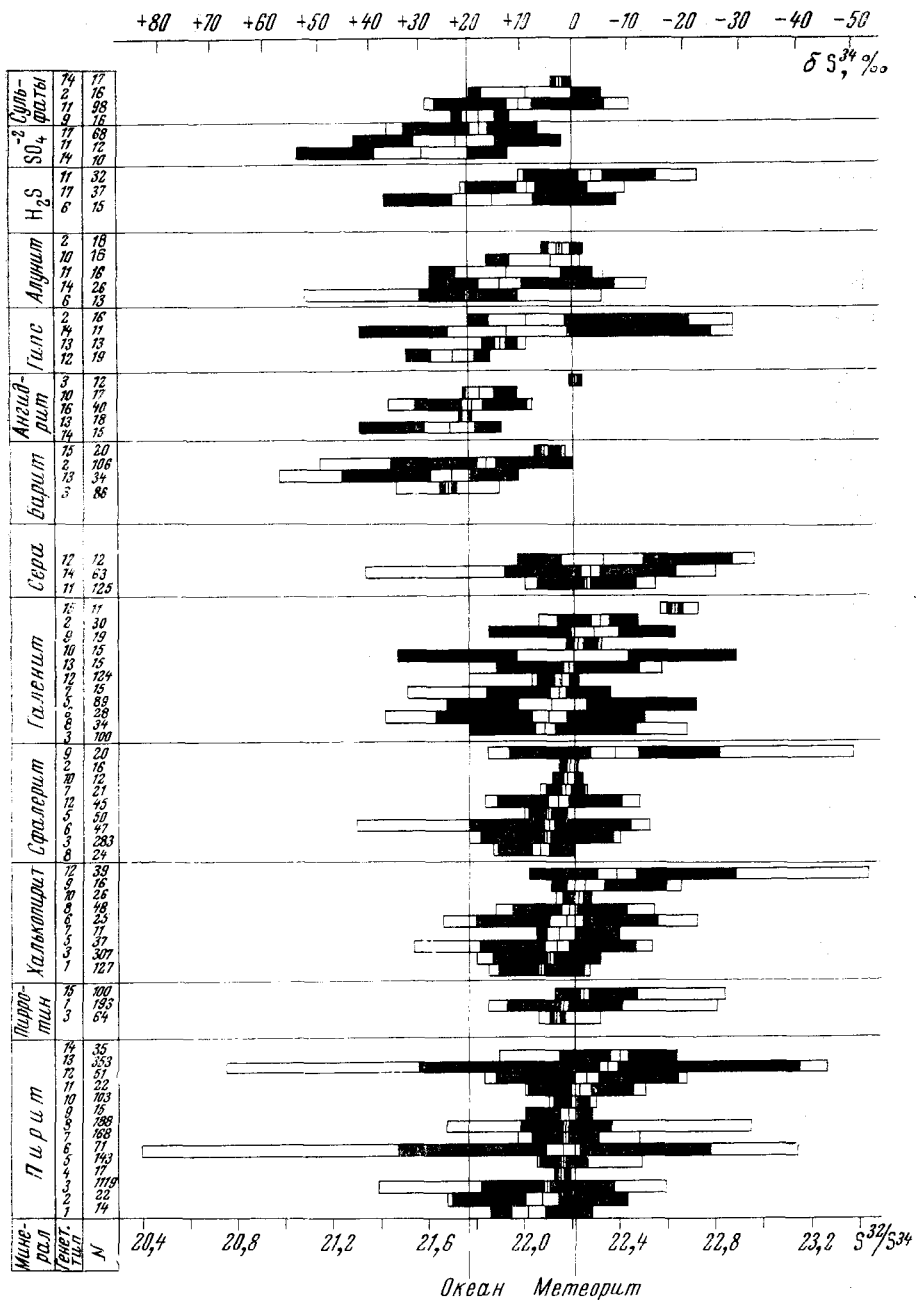


Рис. 1. Изотопный состав серы месторождений и ассоциаций различного генезиса. Показаны: фактический разброс значений, среднее, точность среднего, толерантные пределы при уровне значимости $q=0,05$ (зачернено). 1 – магматические месторождения; 2 – телетермальные ртутные месторождения; 3 – колчеданные месторождения; 4 – золотоносные конгломераты; 5 – жильные полиметаллические месторождения; 6 – скарновые месторождения; 7 – кварцево-жильные золоторудные месторождения; 8 – вкрапленность в интрузивных породах; 9 – метасоматические полиметаллические месторождения; 10 – месторождения медно-порфирового типа; 11 – вулканические экзскалляции; 12 – стратиформные медные и полиметаллические месторождения; 13 – сингенетичная вкрапленность в осадочных породах; 14 – месторождения самородной серы; 15 – карбонатитовые месторождения; 16 – эвапориты; 17 – воды нефтеносных областей

растворов, концентрацией (фугитивностью) и изотопным составом серы, привносимой этими растворами, фугитивностью кислорода растворов (f_{O_2}) и еще многими факторами. Так, например, по расчетам (4), увеличение значения f_{O_2} или рН на единицу может уменьшить δS^{34} у отлагающихся серосодержащих минералов на 20‰, т. е. на величину, близкую к максимальному расхождению средних значений δS^{34} разных генетических групп месторождений (различие средних δS^{34} пирита магматических месторождений и осадочных пород, например, составляет всего лишь 15,34‰). Отражением влияния фугитивности кислорода является отчетливая зависимость изотопного состава серы от типа соединения, в которое она входит. В ряду элементарная сера — сероводород — сульфат — сульфид — серой компонент, тем он более обогащен тяжелым изотопом (рис. 2).

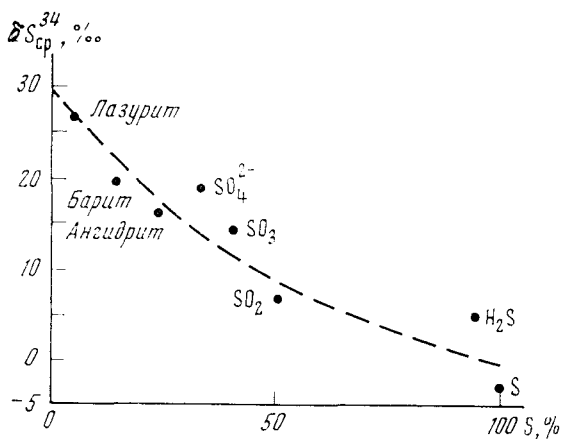


Рис. 2. Зависимость изотопного состава серы от типа соединения

Варьирующая скорость движения рудообразующего раствора, меняющаяся температура его, в сочетании с меняющимися физическими свойствами вмещающих пород как фильтрующей среды, создает дополнительные благоприятные условия, с одной стороны, для различия однотипных месторождений, а с другой — для фракционирования изотопов в пределах конкретной рудной зоны и единичного рудного тела с возникновением контрастной изотопной зональности в направлении движения растворов.

Размеры статьи не позволяют предпринять детальный анализ диаграммы рис. 1. Однако некоторые закономерности все же заслуживают внимания. Для серы пирита, аналитические данные по которому составляют наиболее представительный массив ($N=2321$), по сравнению с метеоритным стандартом наблюдается обогащение тяжелым изотопом почти во всех месторождениях и ассоциациях, за исключением обогащенных легким изотопом стратиформных месторождений, залежей самородной серы и сингенетичной вкрапленности в осадочных породах. Сера пирита медно-порфировых месторождений и вулканических эксгаляций имеет среднее соотношение изотопов, приближающееся к стандарту. Наиболее обогащен тяжелым изотопом пирит магматических, колчеданных и телетермальных ртутных месторождений. Несомненная ювенильная (мантийная) сера в них первично наиболее отфракционирована, вероятно в связи с выплавками их первично наиболее отфракционирована, вероятно в связи с выплавками базальта или отделением интрателлурических растворов. В качестве другого крайнего члена такого мантийного фракционирования могут рассматриваться карбонатиты, в которых пирротин и особенно галенит обогащены более легким изотопом серы.

Наименьшие вариации изотопного состава серы наблюдаются для всех анализированных минералов медно-порфировых месторождений. Малый разброс значений характерен также для пирита золотоносных конгломератов, пирротина и ангидрита колчеданных месторождений, сфалерита ртутных и полиметаллических месторождений, галенита и барита карбонатных, сульфатов серных залежей. Это является также определенным отражением условий образования соответствующих месторождений и соответствующих сульфидных минералов в них.

Поступило
19 VII 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Н. Гайсинский, Ядерная химия и ее приложение, ИЛ, 1961. ² А. М. Розен, Теория разделения изотопов в колонках, М., 1960. ³ Hitoshi Sakai, *Geochem. J.*, v. 2, 29 (1968). ⁴ Hiroshi Ohmoto, *Econ. Geol.*, v. 67, № 5 (1972).