

А. Ю. ЛЕИН, М. В. ИВАНОВ

**ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СЕРЫ И СУЛЬФАТНЫХ МИНЕРАЛОВ
ЭКЗОГЕННЫХ СЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА**

(Представлено академиком Ф. В. Чухровым 3 III 1975)

Особенности изотопного состава самородной серы и сульфатов серных месторождений различного происхождения обсуждались в ряде публикаций В. А. Гриненко (¹⁻³). Нам представляется целесообразным заново рассмотреть этот вопрос с учетом новых фактических данных, полученных сотрудниками Института биохимии и физиологии микроорганизмов АН СССР.

На рис. 1 приведены величины $\delta^{34}\text{S}$ самородной серы и сульфатов серных месторождений, отнесенных нами к различным типам в соответствии с классификацией А. С. Соколова (⁴). Наиболее гомогенный изотопный состав самородной серы и гипсов характерен для руд инфильтрационных залежей типа выполнения (Гинк-Салган, часть руд Мишрака) и для серопосных илов некоторых озер, питающихся водами сероводородных источников (Серное озеро в Куйбышевской обл. и Киренаикские озера в Африке). К последней группе месторождений, которые мы предлагаем называть седиментационно-инъекционными, относится большинство серных руд Керченского полуострова, образовавшихся в водоемах чокракского времени за счет окисления сероводорода грязевых вулканов (⁵).

В инфильтрационных месторождениях замещения и седиментационно-диагенетических месторождениях наблюдаются значительно большие вариации величин $\delta^{34}\text{S}$ самородной серы, а парагенные сере гипс, целестин и барит этих двух типов месторождений всегда содержат больше изотопа $\delta^{34}\text{S}$, чем не затронутые процессом сульфатредукции гинсы и ангидриты того же возраста.

В качестве типичного примера распределения изотопов серы в инфильтрационных залежах типа замещения рассматриваются обычно данные по месторождениям в кэпроках соляных куполов США (^{1-3, 6}). При этом особое внимание привлекает к себе значительная неоднородность величин $\delta^{34}\text{S}$ сульфатов серных руд (рис. 1), которая оценивается как важнейшее доказательство локальности процессов сульфатредукции и фракционирования изотопов в толще ангидритового кэпрока при замещении его самородной серой и вторичным кальцитом.

Этот вывод может быть признан правильным только в том случае, если приведены убедительные минералого-петрографические доказательства одновременного образования самородной серы и сульфатных минералов серных руд. В том же случае, если сульфаты для изотопного анализа выделяются путем разложения пород соляной кислотой (⁶), в состав анализируемого суммарного сульфата попадают не только парагенные сере гипс, целестин и барит, но и седиментационные и пострудные сульфаты, вплоть до вторичного гипса, образующегося при окислении самородной серы и последующего ее изотопный состав.

Различия в изотопном составе парагенных сере и пострудных сульфатов хорошо иллюстрируются нашими данными по рудам Гаурдакского месторождения. На рис. 1 показано, что парагенные сере тонкокристалличе-

ские гипс и целестин имеют довольно однородный состав ($\delta^{34}\text{S}=23-25\text{‰}$), а пострудные крупнокристаллические сульфатные минералы, отлагавшиеся в кавернях и полостях уже сформированных сероносных пород, отличаются более разнообразным изотопным составом с заметным преобладанием изотопов ^{34}S . Аналогичная картина обнаружена нами и в рудах замещения Минирака (рис. 1).

Полученные данные позволяют считать, что значительные вариации величин $\delta^{34}\text{S}$ сульфатов серных руд отражают не столько локальные усло-

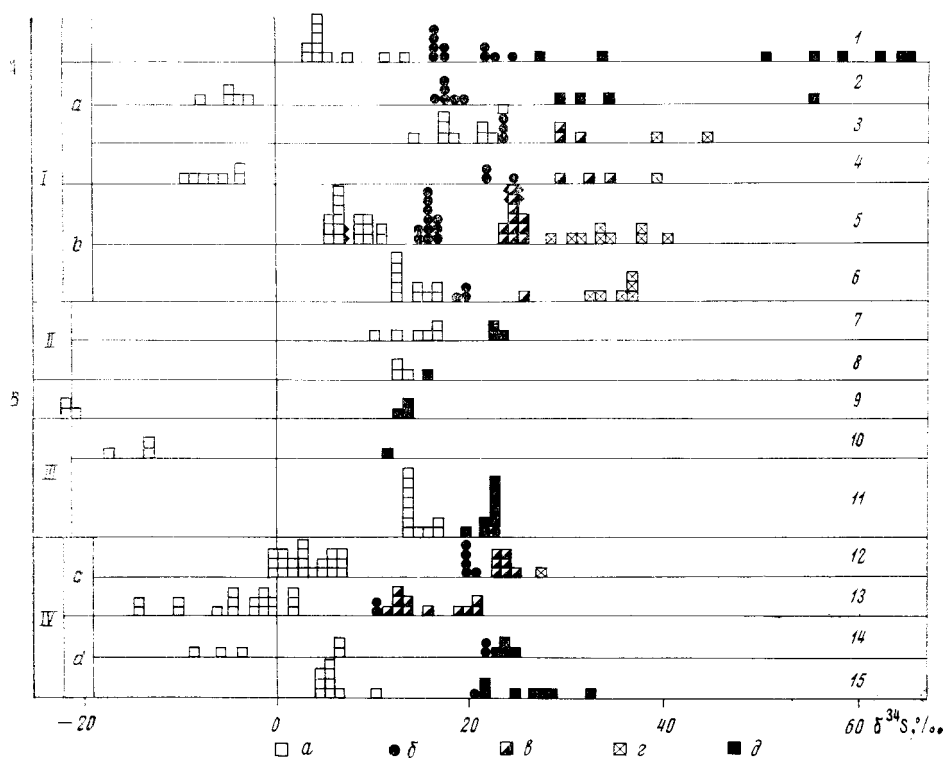


Рис. 1. Гистограммы распределения величин $\delta^{34}\text{S}$ самородной серы и сульфатов в экзогенных серных месторождениях различного генезиса. А — нифльтрационные месторождения: I — типа замещения (а — в кавроках соляных куполов, б — в толщах эвапоритов); II — типа выполнения. В — осадочные месторождения: III — седиментационно-инъекционные; IV — седиментационно-диагенетические (с — в осадках различных водоемов, d — в осадках лагун). 1-15 — месторождения и серопроявления: I — Спиндтоп (6); 2 — Мос-Блаф (6); 3 — Ефремовское и Адамовское; 4 — Ромненское (9); 5 — Гаурдак; 6 — Минирак — руды замещения (10); 7 — Минирак — руды выполнения (10); 8 — Гипс-Салган; 9 — Серное озеро (11); 10 — Киренаикие озера (12); II — Крым; 12 — Ак-Оба и Красноводское; 13 — Новодмитровка (8); 14 — Боранто (7); 15 — Коззодизи (7). а — самородная сера; б — седиментационные гипсы; в — д — сульфатные минералы серных руд: в — сульфатные минералы, парагенные сере, г — пострудные крупнокристаллические сульфатные минералы, д — общий сульфат породы, выделенный химическими методами

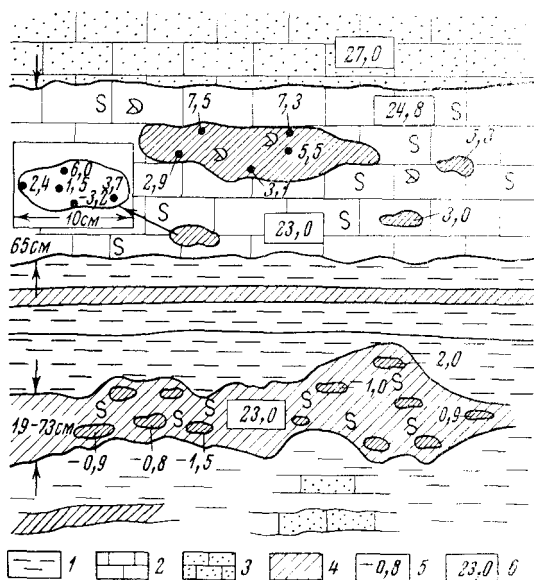
вия сульфатредукции в период серообразования, сколько последовательные этапы этого процесса, зафиксированные в различных по формам выделения, химическому составу и величинам $\delta^{34}\text{S}$ сульфатных минералах.

Изотопные критерии для сингенетических месторождений серы сформулированы В. А. Гриненко (1-3) на основе данных по изотопному составу серы сульфидов и сульфатов осадков современных сероводородных водоемов, в большинстве которых, как известно, самородная сера обнаруживает-

ся лишь в следах. На рис. 1 приведены данные по изотопному составу самородной и сульфатной серы седиментационно-диагенетических залежей Италии ⁽⁷⁾, а также серопроявлений Западной Туркмении (Красноводское и Ак-Оба) и месторождения Новодмитровка в Донбассе, исследованных нами ⁽⁸⁾.

Анализ этих данных и сопоставление их с результатами, полученными для инфильтрационных месторождений типа замещения, показывает, что пределы колебания величин $\delta^{34}\text{S}$ в обеих группах месторождений практи-

Рис. 2. Вариации значений $\delta^{34}\text{S}$ самородной серы и целестина в разрезе акчагыльских отложений (N_3^2ak) серопроявления Ак-Оба. 1 — мелоподобные известняки; 2 — известняки основного рудного горизонта; 3 — песчанистые известняки; 4 — серные прослои и желваки серы в известняках; 5, 6 — значения величин $\delta^{34}\text{S}$ самородной серы (5) и целестина (6)



чески одинаковы. Утверждение В. А. Гриненко ^(2, 3) о том, что самородная сера, обогащенная изотопом ^{32}S , характерна только для седиментационно-диагенетических залежей, опровергается данными по типичным инфильтрационным месторождениям в кэпроках соляных куполов Мос-Блаф и Ромны ^(6, 9). Вместе с тем богатые серные руды седиментационно-диагенетического месторождения Коззодизи в Италии ⁽⁷⁾ имеют те же величины $\delta^{34}\text{S}$ самородной серы, что и руды кэпрока Спиндлтон в США ⁽⁶⁾.

Таким образом, простое сопоставление пределов колебания величин $\delta^{34}\text{S}$ самородной серы различных месторождений не позволяет уверенно различать два наиболее важных типа: инфильтрационные и седиментационно-диагенетические, — так как и те, и другие месторождения образовались в результате микробиологического восстановления сульфатов на месте залегания серных руд.

На примере серопроявления Ак-Оба мы исследовали вариации величин $\delta^{34}\text{S}$ по вертикальному разрезу сероносных пород. При этом оказалось (см. рис. 2), что как самородная сера, так и сульфат целестина обогащаются изотопом ^{34}S от подошвы к кровле. Максимальное обогащение сульфата изотопом ^{34}S ($\delta^{34}\text{S}=27,0\text{‰}$) обнаружено в породах, перекрывающих сероносный горизонт.

Такое распределение величин $\delta^{34}\text{S}$ объясняется с позиций седиментационно-диагенетической гипотезы, согласно которой серообразование происходит в полузамкнутом водоеме и должно приводить к постепенному накоплению изотопа ^{34}S в воде и к утяжелению изотопного состава серосодержащих минералов, образующихся на поздних этапах существования такого водоема.

Приведенные в настоящей работе материалы показывают, что для успешного использования изотопных данных при выяснении деталей генезиса месторождений необходимо анализировать изотопный состав мономинеральных фракций из определенных парагенетических минеральных ассоциаций, с четкой их геологической привязкой в разрезе залежей.

Поступило
28 II 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. A. Grinenko, Ber. Deutsch. Ges. Geol. Wiss., Mineral. Lagerstätten, B. 12, 1 (1967). ² В. А. Гриненко, Сб.: Геохимия и минералогия серы, «Наука», 1972. ³ В. А. Гриненко, Л. Н. Гриненко, Геохимия изотопов серы, «Наука», 1974. ⁴ А. С. Соколов, Сб.: Геохимия и минералогия серы, «Наука», 1972. ⁵ А. Ю. Леин, В. А. Самаркин и др., Геохимия, № 7 (1975). ⁶ H. W. Feely, G. L. Kulp, Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., v. 41, 8 (1957). ⁷ G. Dessau, M. L. Jensen, N. Nakai, Econ. Geol., v. 37, 3 (1962). ⁸ А. Ю. Леин, М. В. Иванов и др., Сб.: Минералогия осадочных образований, в. 1, Киев, «Наукова думка», 1974. ⁹ М. В. Иванов, А. Ю. Леин и др., Литол. и полезн. ископ., № 5 (1974). ¹⁰ А. Ю. Леин, Г. П. Мамчур и др., Изв. АН СССР, сер. геол., № 3 (1974). ¹¹ Р. Г. Панкина, В. Л. Мехтиева, Геохимия, № 5 (1969). ¹² I. A. Kaplan, T. A. Rafter, J. R. Hulton, N. Z. J. Sci., v. 3 (1960).