

В. И. ВИНОГРАДОВ, В. И. КОНОНОВ, Б. Г. ПОЛЯК

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СЕРЫ В ТЕРМОПРОЯВЛЕНИЯХ ИСЛАНДИИ

(Представлено академиком А. В. Пейве 22 IV 1974)

Исландия привлекает особое внимание геологов из-за своего положения на оси срединно-океанического хребта, и вполне естественны попытки выявления ее специфических геологических черт. Большие возможности в этом отношении предоставило изучение современной вулканической и гидротермальной деятельности, особенно интенсивной в данном регионе, выполненное в процессе работ Советской комплексной геолого-геофизической экспедиции АН СССР в Исландии в 1970—1973 гг. В результате на территории Исландии была обнаружена четкая, совпадающая с геоструктурной, зональность газового состава гидротерм, которая резко отличается от известной в вулканических районах континентов и островных дуг наличием особого типа водородных терм (¹). Последние приурочены исключительно к Срединной неовулканической зоне, считающейся наземным выражением океанического рифта (²). На всей площади Исландии газы гидротерм оказались резко отличными от континентальных газопроявлений по изотопному составу гелия, который здесь близок к метеоритному, считающемуся характерным для вещества мантии (³). Поэтому казалось принципиально важным выяснить также изотопный состав серы, принимая во внимание, что в уже изученных в этом отношении вулканических и гидротермальных проявлениях островных дуг этот состав не дает однозначных указаний на поступление к поверхности земли мантийной (ювенильной) серы.

В настоящее время считается, что средний изотопный состав серы Земли отвечает составу серы метеоритного троилита ($^{32}\text{S}/^{34}\text{S}=22,22$), который принимается за эталон сравнения ($\delta^{34}\text{S}=0\%$). Большинство исследователей принимают за очевидный факт, не требующий специальных доказательств, что сера вулканических и гидротермальных эксталяций выносятся из подкоровых частей Земли в результате продолжающейся дегазации мантии. Исходя из общих геохимических и космогонических соображений, единственной устойчивой формой серы в мантии должна быть сульфидная, и ювенильный H_2S должен содержать серу с $\delta^{34}\text{S}=0$. Окисление его создает предпосылки для перераспределения изотопов между различными соединениями серы таким образом, что окисленные формы будут обогащаться тяжелым изотопом ^{34}S , а восстановленные — обедняться им относительно исходного состава ювенильного H_2S . Вследствие этого сульфатная сера, накапливавшаяся в океанах, в процессе геологической эволюции утяжелилась до $\delta^{34}\text{S}=+20\%$, тогда как избыток ^{32}S связывался в осадочно-диагенетических сульфидах. Смещение серы с разными $\delta^{34}\text{S}$ и изотопное фракционирование могут привести к формированию уже в верхних слоях литосферы серы с изотопным составом, близким к метеоритному, и это препятствует однозначной генетической интерпретации значений $\delta^{34}\text{S}\approx 0$. В то же время значения $\delta^{34}\text{S}$, приближающиеся к $+20\%$, скорее всего обусловлены большей или меньшей примесью океанического сульфата, и поэтому изотопный спектр коровой серы оказывается значительно шире, нежели ювенильной.

Вулканический и гидротермальный процессы приводят к возникновению в земной коре тепловых очагов и тем самым возбуждают мощные конвективные движения подземных вод (⁴, ⁵). Известны многочисленные случаи подтягивания в береговые гидротермальные системы морских и океанических вод. Вместе с водами к тепловому очагу может поступать и сера, содержащаяся в них или экстрагированная ими из пород по пути циркуляции. Исследования в Курило-Камчатском регионе (⁶⁻⁸) и Новой Зеландии (⁹, ¹⁰) показали, что здесь в вулканический и гидротермальный процессы коровая сера вовлекается в таком количестве, что надежно выделить на ее фоне ювенильную компоненту не удается. Но оба эти региона характеризуются земной корой субконтинентального типа с довольно мощным осадочным слоем, и казалось, что в Исландии, сложенной практически одними базальтами (²), сера вулканических и гидротермальных эксгаляций должна быть менее загрязнена коровой составляющей. Вместе с тем, пересекающая остров Срединная неовулканическая зона изобилует рифтогенными линейными тектоническими разрывами, местами прямо продолжающимися в океан, что предопределяет возможность подсосывания морской воды в прибрежных геотермальных районах. Поэтому ожидалось, что изучение изотопного состава серы термопроявлений по простиранию Срединной зоны поможет оценить участие ювенильной и коровой компонент серы в гидротермальном и вулканическом процессах. Результаты измерений изотопного состава серы в термопроявлениях Исландии показаны на рис. 1.

В распределении величины $\delta^{34}\text{S}$ легко увидеть довольно четкую зональность, совпадающую с общим структурным планом острова и зональностью химического состава гидротерм. В термопроявлениях, приуроченных к вулканически активным ветвям Срединной зоны, состав как сульфатной, так и сульфидной серы близок к метеоритному ($\delta^{34}\text{S} \approx 0$). За пределами неовулканической зоны в большинстве термопроявлений сульфатная сера характеризуется значениями $\delta^{34}\text{S}$ от +3,3 до +7,3‰, а вблизи береговой линии от +8,7 до +15,1‰.

Отмеченная зональность легко может быть объяснена смешением вод с разным исходным изотопным составом сульфатной серы. С одной стороны, это конденсаты парогазовых струй Срединной зоны, в которых сульфатная сера с $\delta^{34}\text{S} \approx 0$ накапливается в основном за счет окисления вулканического H_2S . Сама по себе реакция окисления H_2S не сопровождается изотопным эффектом, и равенство $\delta^{34}\text{S}$ сульфатной и сульфидной серы этих терм указывает на отсутствие здесь процессов, ведущих к разделению изотопов. С другой стороны, — это океаническая вода с $\delta^{34}\text{S}$ около +20‰.

Естественно, что максимальная примесь сульфата морского происхождения наблюдается в термопроявлениях прибрежных районов. Например, в гидротермах мыса Рейкьянес сульфат характеризуется $\delta^{34}\text{S} = +15,1$, а H_2S — значениями от +0,1 до +4,7‰. Здесь на глубине 1700 м температура достигает 292°. При такой температуре солевой комплекс морской воды может выступать как мощный фактор метасоматической переработки пород, подвергаясь изменениям. В частности, при такой температуре в присутствии H_2 сульфат восстанавливается (¹¹), что, согласно экспериментальным исследованиям (¹²⁻¹⁴), сопровождается изотопным эффектом. По-видимому, характерное для гидротерм мыса Рейкьянес высокое содержание H_2S и довольно большой разброс значений $\delta^{34}\text{S}$ сульфидной серы как раз и являются следствием частичной редукции морского сульфата. Подмешивание океанической воды ясно видно и в общем составе этих терм, — это хлоридно-натриевые воды с аномально высокой для Исландии минерализацией 42 г/л, вызванной подземным упариванием морской воды, затягиваемой в гидротермальную систему. Не исключено, что и в других термопроявлениях Исландии хлор в значительной степени имеет морское происхождение.

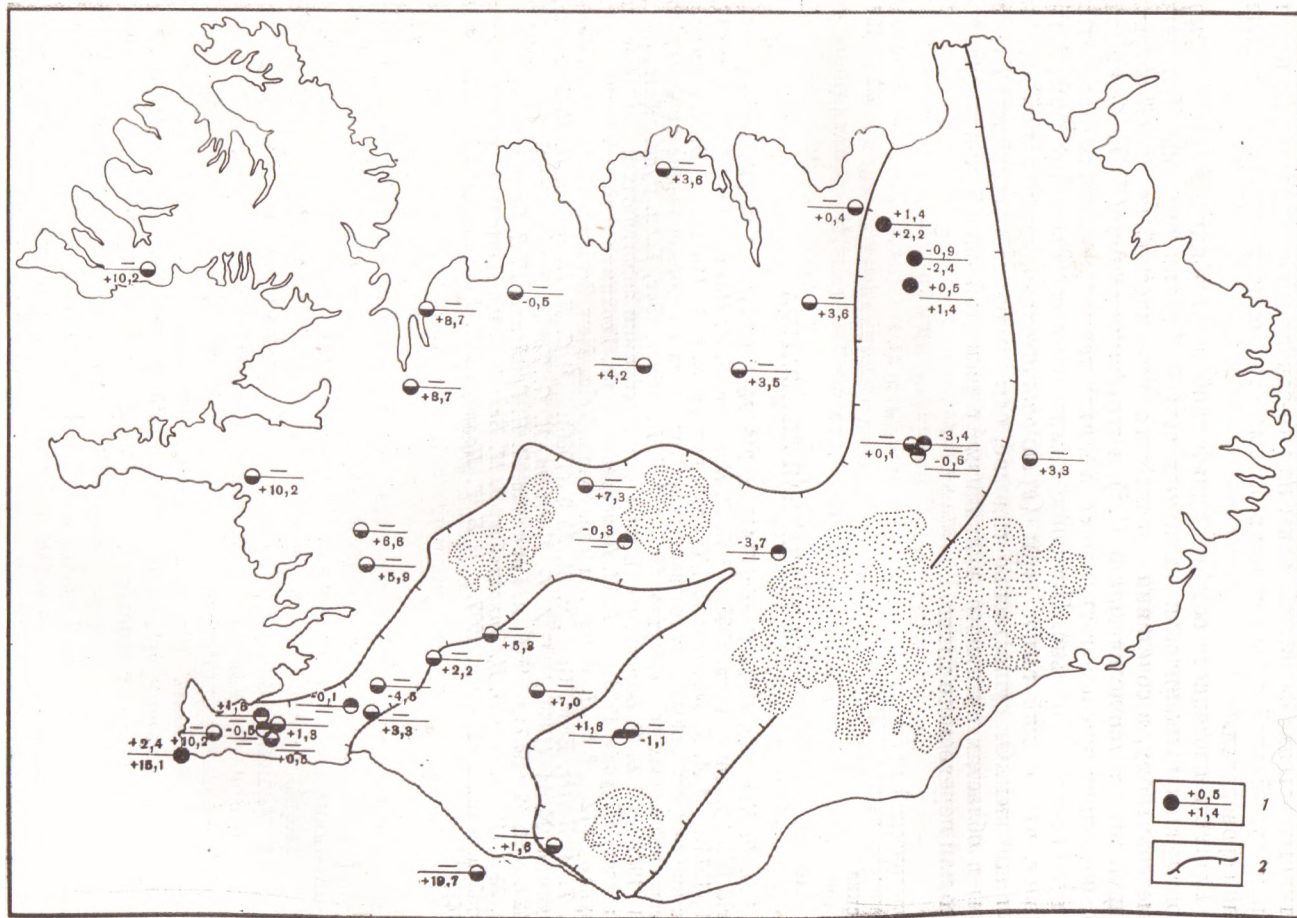


Рис. 1. Распределение значений $\delta^{34}\text{S}$ в термопроявлениях Исландии. 1 — точка отбора пробы (над чертой — сульфидная сера, а под чертой — сульфатная (%)); 2 — граница вулканически активных участков Срединной зоны (по К. Саймундссону)

Подтягивание океанической воды к тепловому очагу очень ярко проявилось недавно на о. Хеймаэй, лежащем на продолжении южной ветви Срединной зоны. В 1973 г. здесь после 7000-летней паузы произошло вулканическое извержение. Тепловая активизация недр острова отразилась на динамике подземных вод, которые начали интенсивно разгружаться в виде пара. Вода начала переливаться и из имевшейся здесь скважины глубиной 1565 м, расположенной в 4,5 км от центра нового извержения. Изотопный состав сульфатной серы в этой воде оказался идентичным составу серы океанического сульфата.

По мере удаления от береговой линии доля океанического сульфата в гидротермах падает. Особенно быстро это происходит в вулканически активных ветвях Срединной зоны на юго-западе и юге страны, где источником сульфатной серы в термах оказывается окисляющийся вулканический сероводород.

Близость изотопного состава сульфатной и сульфидной серы в термопроявлениях вулканически активных ветвей Срединной зоны Исландии к метеоритному, в сочетании с общей геотектонической позицией острова и другими его геохимическими (¹, ³) и геотермическими (¹⁵) особенностями, позволяет предполагать, что сера в этих термопроявлениях полностью или частично ювенильна. Изучение химического состава гидротерм показывает, что общий вынос серы (предположительно ювенильной) здесь незначителен. Он существенно меньше, чем вынос на поверхность Земли серы в областях активного вулканизма с развитой корой континентального или переходного типов.

Геологический институт
Академии наук СССР
Москва

Поступило
22 IV 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Кононов, Б. Г. Поляк, ДАН, т. 214, № 1 (1974). ² S. Thorarinsson, The World Rift System, Ottawa, 1935. ³ В. И. Кононов, Б. А. Мамырин и др., ДАН, т. 217, № 1 (1974). ⁴ А. М. Овчинников, Гр. лаб. вулканол., в. 19 (1961). ⁵ В. И. Кононов, Влияние искусственных и естественных очагов тепла на формирование химического состава подземных вод, «Наука», 1965. ⁶ В. И. Виноградов, Геол. рудн. месторожд., № 3 (1964). ⁷ В. И. Виноградов, В кн. Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов, «Наука», 1966. ⁸ В. И. Виноградов, В кн. Геохимия и минералогия серы, «Наука», 1972. ⁹ S. H. Wilson, Intern. Symp. Volc., New Zealand, 1965. ¹⁰ A. Steiner, T. A. Rafter, Econ. Geol., v. 61, № 6 (1966). ¹¹ С. Д. Малиник, Н. И. Хитаров, Геохимия, № 11 (1969). ¹² A. G. Harrison, H. G. Thode, Trans. Farad. Soc., v. 53, № 420, part. 12 (1957). ¹³ В. А. Гриненко, Л. Н. Гриненко, Г. Д. Загряжский, Геохимия, № 4 (1969). ¹⁴ В. И. Виноградов, В. М. Белый, В кн. Изотопы серы и вопросы рудообразования, «Наука», 1967. ¹⁵ Б. Г. Поляк, В. И. Кононов, ДАН, т. 216, № 6 (1974).