

| Описание образца | I ₀ /U ²³⁴ | Pa/U ²³⁸ | Возраст (тыс. лет) по | |
|--|----------------------------------|---------------------|-----------------------|----|
| | | | I ₀ | Pa |
| Верховья р. Куры, купол конуса Шатского | | | | |
| Туф | 0,35±0,13 | 0,15±0,30 | 110 | 68 |
| Кальцит | 0,52±0,07 | 0,30±0,21 | 127 | 63 |
| Пепел | 0,50±0,10 | 0,06±0,11 | 144 | 16 |
| АрмССР Гора Арагац | | | | |
| Андезит, средняя часть конуса | 0,50±0,04 | 0,34±0,08 | 102 | 34 |
| Туф, гора Нора-мберд. | 0,22±0,06 | 0,14±0,07 | 49 | 16 |
| Дацит, плато вулкана | 0,45±0,01 | 0,46±0,07 | 75 | 45 |
| Вулкан Галгат | | | | |
| Туф, большой конус | 0,77±0,06 | 0,54±0,13 | 269 | 78 |
| То же, другой образец | 0,17±0,03 | 0,02±0,06 | 31 | 8 |
| Гора Богутлу | | | | |
| Липарит | 0,60±0,12 | 0,68±0,51 | 227 | ∞ |

ному, если в данную породу при ее образовании не вошел протактиний.

Другой ограничивающий фактор — очень низкая удельная активность исследуемых вулканических пород. При содержании урана $\sim 3 \cdot 10^{-7}$ г/г и 100 г навески исследуемого образца, при 50%-ном радиохимическом выходе и времени измерения 24 ч минимально измеряемая величина максимального возраста составляет 2 тыс. лет. Это значение может оказаться меньше при исследовании более активных пород или при увеличении времени измерения.

Результаты измерений приведены в таблице. Если имеются различия в значениях t_m , полученных для одного образца разными методами или для разных образцов из одного района одним методом, то очевидно, что наименьшее из них — максимальная оценка возраста породы. При вычислении максимального возраста мы исходим из найденных отношений I₀/U²³⁴ или Pa/U²³⁵,

добавляя к ним удвоенную стандартную погрешность измерений, т. е. значение максимального возраста устанавливается при 95%-ной доверительной вероятности. Изменением изотопного состава урана за время существования породы мы пренебрегали, поскольку исследовался возраст только молодых пород, а отношение U²³⁴/U²³⁸ для них близко к равновесному.

Приведенные в таблице результаты определения возраста по протактинию показывают, что максимальный возраст пород некоторых угасших вулканов Кавказа очень мал (Эльбруса — меньше 14 тыс. лет, Казбека — меньше 9,2 тыс. лет, Арагаца и связанного с ним конуса Галгат — меньше 16 и 8 тыс лет соответственно, Кабарджико — меньше 12 тыс. лет). С помощью этого метода удается отличить древние лавовые потоки Казбека в Чхерском ущелье от более молодых. Наименьшее значение возраста по иониту установлено для андезита р. Ксани — меньше 14 тыс. лет [2].

Таким образом, можно полагать, что деятельность некоторых кавказских вулканов продолжалась даже в последнединовое время (граница голоцена около 10—9 тыс. лет). Для пепла конуса Шатского в верховьях р. Куры получен максимальный возраст по протактинию 16 тыс. лет, а истинный возраст кальцита карбонатопаловой жилы купола 55 ± 20 тыс. лет [2].

Нижний предел времени активности некоторых вулканических очагов устанавливается по иониевому возрасту травертинов, выпавших из горячих вод этого района (Джермук — 11 ± 1 тыс. лет, Арзни — 5,0 ± 0,5 тыс. лет [3]). Неожиданно малым оказался максимальный возраст трахилиаритов лакколита горы Железной Кавказских Минеральных Вод (34 и 41 тыс. лет соответственно по протактинию и ионию), в то время как возраст других лакколитов этого района больше 300 тыс. лет. Определение возраста древних травертинов криптолакколита горы Машук по U²³⁴ дало значение больше 1,25 млн. лет [3], что согласуется с палеонтологическими данными (находки южного склона, фауна виллафранка). Полученные результаты дают основание для вывода о том, что лакколиты Кавказских Минеральных Вод образовались в разное время на протяжении верхнего плиоцена — плейстоцена.

Поступило в Редакцию 10/IV 1967 г.
В окончательной редакции 2/IV 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Чердынцев, Г. И. Кислицына, В. Л. Зверев. «Докл. АН СССР», 172, 456 (1967).
2. В. В. Чердынцев и др. «Геохимия», № 7, 755 (1967).
3. В. В. Чердынцев и др. «Геохимия», № 12, 139 (1966).

К вопросу об использовании для изучения движений в атмосфере радиоактивных изотопов

В. Д. ВИЛЕНСКИЙ, А. Ф. КУЗЕНКОВ

УДК 621.039.85

При использовании радиоактивных примесей в качестве «метки» воздушной массы и при изучении процессов их перемещения особый интерес представляют продукты деления и продукты распада радона. По-видимому, изменения концентраций изотопов в периоды, свободные от ядерных испытаний, связаны с вариациями

атмосферных условий и адвективными перемещениями воздушных масс. Данные о содержании различных радиоактивных изотопов в свободной атмосфере пока еще очень ограничены [1, 2]. В связи с этим представляло интерес провести одновременные определения Sr⁹⁰ и Pb²¹⁰ на различных высотах в верхней тропосфере

Средние концентрации Sr^{90} , Pb^{210} и их отношения

| Период отбора проб в 1963 г. | Высота отбора проб, км | Место отбора проб | $\text{Sr}^{90} \times 10^{-12}$, кюри/кг | $\text{Pb}^{210} \times 10^{-15}$, кюри/кг | $\frac{\text{Sr}^{90}}{\text{Pb}^{210}}$ |
|------------------------------|------------------------|-------------------|--|---|--|
| 20/V—7/VI | 9,0 | Район Тбилиси | 1,8 | 21,0 | 85,7 |
| | 12,0 | То же | 6,5 | 3,3 | 1969 |
| 29—31/VII | 9,0 | Район Москвы | 0,24 | 20,6 | 11,6 |
| | 12,0 | То же | 0,18 | 18,0 | 10,0 |
| 11—18/X | 9,0 | Район Тбилиси | 0,17 | 12,7 | 13,4 |
| | 12,0 | То же | 0,28 | 4,5 | 62,2 |

и проследить роль крупномасштабных вертикальных движений воздуха в переносе этих изотопов в атмосфере.

Для анализа были использованы пробы атмосферных аэрозолей, отобранные при полетах на самолете на высотах 9—12 км путем фильтрации воздуха под действием динамического напора через фильтр типа ФП. Отбор проводился в 1963 г. в районах Москвы и Тбилиси.

При отборе пробы вес фильтруемого воздуха составлял около 1000 кг. Определение Sr^{90} и Pb^{210} проводилось в образцах, объединенных за длительный период. Полученные данные приведены в таблице.

Отметим, что концентрации Sr^{90} в районе Тбилиси в период наблюдений увеличиваются с высотой и, кроме того, в весенний период в 10—20 раз превышают значения, наблюдавшиеся осенью. Эти результаты соответствуют общим представлениям о вертикальном распределении продуктов деления и сезонных изменениях их концентраций в атмосфере [3].

Найденные нами концентрации Pb^{210} значительно превышают значения, полученные в других районах на высотах, близких к указанным [1, 4]. Можно было бы предположить, что аномально высокие концентрации Pb^{210} в этот период связаны частично с образованием этого изотопа при ядерных испытаниях 1962 г. [4]. Однако наблюдаемое резкое увеличение отношения концентраций Sr^{90} и Pb^{210} с ростом высоты в верхней тропосфере, а также сезонное уменьшение этого отношения в районе Тбилиси позволяют считать, что вклад Pb^{210} , образовавшегося при ядерных взрывах 1962 г., в общий баланс был крайне незначителен.

Весной 1963 г. в районе Тбилиси наблюдалось особенно резкое уменьшение концентраций Pb^{210} с ростом высоты. Основная масса данных по вертикальному распределению Pb^{210} в атмосфере получена в районах, близких к морю [4]. Обнаруженные нами относительно высокие значения концентраций Pb^{210} , по-видимому, объясняются глубоко континентальным расположением области наблюдений. Об этом свидетельствует также соответствие найденных нами максимальных концентраций Pb^{210} в верхней тропосфере и величин, характерных для приземного воздуха континентальных районов [5]. Поэтому предположение о малом влиянии материков на содержание Pb^{210} на высотах больше 5—7 км [1], по-видимому, не всегда верно.

Анализ метеорологических процессов показал, что характерным для периода наблюдений с 20 мая по 7 июля является наличие в течение нескольких предшествующих дней обширного малоподвижного холодного гребня с нисходящими движениями на уров-

нях 300 и 100 мбар на наветренном потоке к западу от пункта измерений. Воздушная масса, приходящая к пункту наблюдений в день регистрации повышенных концентраций, поступает из района, охваченного нисходящими движениями. (Отбор проб во всех случаях осуществляется в тропосфере.) Подтверждением этому служит повышенное содержание Sr^{90} (см. таблицу) и очень высокое отношение концентраций Sr^{90} и Pb^{210} в пробе аэрозолей.

В период наблюдений с 28 по 31 июля одновременно с максимальными концентрациями Pb^{210} было зарегистрировано уменьшение содержания Sr^{90} , отношение концентраций $\text{Sr}^{90}/\text{Pb}^{210}$ было очень низким. Из анализа термобарических полей следует, что примерно в 80% случаев измерений в этот период к западу от пункта наблюдений в наветренном потоке располагалась теплая барическая ложбина с восходящими движениями на высотах 9—12 км. Можно полагать, что в этом случае движения в атмосфере на пространствах большого масштаба приносили из нижних слоев атмосферы воздух, обогащенный Pb^{210} , но обедненный Sr^{90} . Характерно, что в районе Москвы в атмосферных выпадениях этого периода отношение концентраций $\text{Sr}^{90}/\text{Pb}^{210}$ равнялось в среднем 13 [6], т. е. было близко к найденному нами для верхней тропосферы.

Значительная роль упорядоченных вертикальных движений в переносе примесей отмечается в работах 1965—1966 гг., касающихся распределения озона и естественно радиоактивных продуктов в стратосфере [7] и профилей пассивных аэрозолей в тропосфере [8]. Статистические исследования, описанные в работе [9], также подтверждают определенную связь радиоактивных выпадений с вертикальными движениями в верхней тропосфере.

Таким образом, приведенные данные показывают, что одновременные измерения естественно и искусственно радиоактивных продуктов могут быть использованы для изучения крупномасштабных вертикальных движений в атмосфере.

Поступило в Редакцию 14/XII 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

- И. Л. Кароль. В сб. «Радиоактивные изотопы в атмосфере и их использование в метеорологии». М., Атомиздат, 1965, стр. 132.
- R a m a, M. H o n d a. J. Geophys. Res., 66, 3227 (1961).
- В. Н. Лавренчик. Глобальное выпадение продуктов ядерных взрывов. М., Атомиздат, 1965.
- D. P e i r s o n, R. S a m b r a y, G. S p l i c e r. Tellus, 18, 427 (1966).
- В. Д. Виленский, Е. Н. Давыдов, С. Г. Малахов. В сб. «Радиоактивные изотопы в атмосфере и их использование в метеорологии». М., Атомиздат, 1965, стр. 120.
- В. И. Баранов, В. Д. Виленский. В сб. «Исследование процессов самоочищения атмосферы от радиоактивных изотопов». Вильнюс, «Минтис», 1968, стр. 144.
- И. Л. Кароль. В сб. «Атмосферный озон». Л., Гидрометеоиздат, 1965, стр. 52.
- Е. С. Селезнева. Диссертация. Ленинград, 1966.
- Г. В. Дмитриева, В. И. Касаткина. В сб. «Радиоактивные изотопы в атмосфере и их использование в метеорологии». М., Атомиздат, 1965, стр. 293.