

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

24 $\frac{53}{A-92}$

п БИБЛИОТЕКА

Атомная энергия

147612

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ,
Н. А. ВЛАСОВ (зам. главного редактора), И. Н. ГОЛОВИН,
Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН,
И. Ф. КВАРЦАВА, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ (зам. главного редактора),
А. К. КРАСИН, А. В. ЛЕБЕДИНСКИЙ, А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ,
М. Г. МЕШЕРЯКОВ, М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ (главный редактор),
И. И. НОВИКОВ, В. С. ФУРСОВ, В. В. ШЕВЧЕНКО,
К. Э. ЭРГИС, М. В. ЯКУТОВИЧ

МАРТ
ТОМ 14 1963 ВЫП. 3





Радиоактивные загрязнения воздуха над Индийским и Тихим океанами в 1959—1960 гг.

В. Н. Лавренчик, Г. Н. Софиев, В. М. Шубко

На основании обнаруженной корреляции между уровнем радиоактивных загрязнений воздуха и атмосферным давлением делается предположение, что наблюдающееся географическое распределение концентрации загрязнений обусловлено особенностями меридиональной циркуляции.

Схема Добсона, согласно которой выход активности из стратосферы предполагается в районе 60-х широт, исправляется введением потока из стратосферы в районе 30-х широт и на основании некоторых соображений метеорологического характера, замствованных у Пальмена.

Предлагаемая схема выведения активности из стратосферы соответствует наблюдающимся фактам.

Ядерные испытания привели к загрязнению атмосферного воздуха и поверхности Земли радиоактивными веществами. В связи с этим важно выявить основные закономерности очищения стратосферного резервуара во времени и пространстве. Сложность процессов выведения и недостаточность экспериментальных данных не позволили до сих пор сформулировать последовательную гипотезу, которая объяснила бы все наблюдавшиеся факты.

В настоящей работе собраны сведения о географическом распределении искусственно-радиоактивных загрязнений воздуха в западной части Тихого и северной и центральной частях Индийского океанов. Исследования проводились на борту экспедиционного судна «Витязь» во время его плавания с 6 октября 1959 г. по 28 апреля 1960 г.

Проведение работы на борту судна было обусловлено не только чрезвычайно скудными фактическими данными о концентрациях радиоактивных загрязнений над мировым океаном, занимающим около двух третей поверхности Земли, но и тем, что над океаном за счет большей термической стабильности воздушных масс легче обнаружить искомые закономерности, чем над сушей.

Несмотря на то что анализировались долгоживущие осколки деления, которые легче

было бы изучать в условиях стационарных наземных лабораторий, главная часть исследований проводилась на борту судна. Это связано с необходимостью влиять на условия проведения экспериментов сразу же после получения данных анализа.

Для определения объемной концентрации загрязнений воздуха на всем пути следования судна с помощью фильтрующей установки с расходом около 3000 м³/ч систематически собирались пробы активности воздуха. Радиоактивная пыль осаждалась на целлюлозном фильтре, который практически улавливал все частицы размером вплоть до сотых долей микрона. Фильтры меняли через каждые 1—2 суток. На рис. 1 приведена маршрутная карта. Цифры на карте соответствуют номерам проб. После сжигания фильтра при 400—500° С измеряли суммарную β- и γ-активность золь. Бета-излучение регистрировали с помощью торцевого газоразрядного счетчика с тонким окном, а γ-излучение — с помощью сцинтилляционного счетчика. Наряду с этим каждую пробу подвергали γ-спектрометрическому анализу. Разрешающая способность сцинтилляционного спектрометра с кристаллом NaI(Tl) для γ-квантов Cs¹³⁷ с энергией 661 кэВ составляла около 8%. Импульсы со сцинтилляционного счетчика поступали для анализа

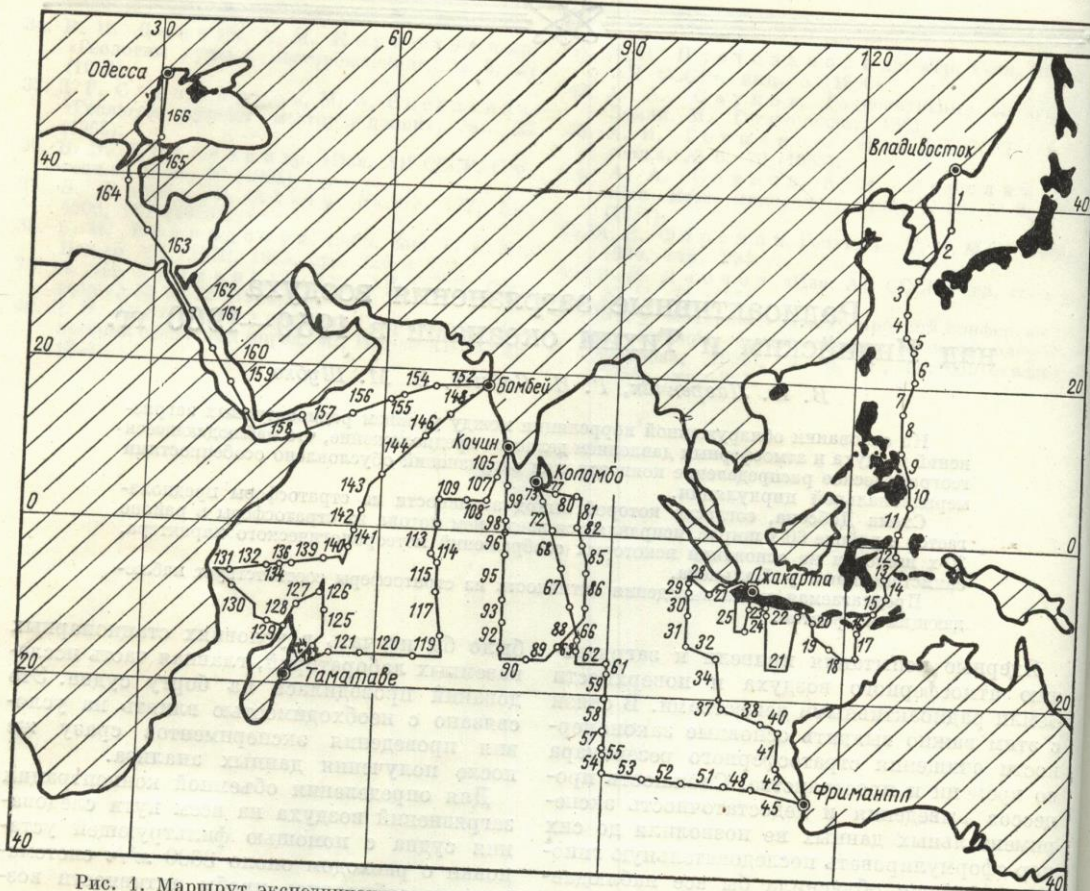


Рис. 1. Маршрут экспедиционного судна «Витязь». Цифрами помечены пункты сбора проб.

на 50-канальный амплитудный анализатор. Спектрограммы каждой пробы регистрировались в двух энергетических интервалах: 7—180 кэв и 25—900 кэв. Вследствие весьма стабильного состава загрязнений была применена ранее разработанная методика определения концентраций γ -излучающих изотопов, входящих в состав проб. Сущность этой методики состоит в учете доли импульсов от комптоновских электронов, накладывающихся на импульсы от фотоэлектронов. На спектрограммах проб, полученных в первые пять месяцев плавания, хорошо проявились линии с энергиями 80 и 134 кэв, соответствующие Ce^{144} , линия с энергией около 500 кэв, соответствующая Be^7 , Ru^{106} , Sb^{125} , а также линия с энергией 650 кэв, соответ-

ствующая Ru^{106} и Cs^{137} . Все названные изотопы, за исключением Be^7 , возникли в результате ядерных испытаний. Изотоп Be^7 рождается главным образом на высотах 14—23 км над уровнем моря благодаря взаимодействию ядер азота и кислорода воздуха с протонами и нейтронами, входящими в состав космического излучения на этих высотах [1].

Кроме анализа физическими методами, свыше 40 проб было подвергнуто развернутому радиохимическому анализу для определения концентраций Sr^{90} , Ce^{144} и т. д. Сложность радиохимического выделения Ru^{106} , Sb^{125} и Be^7 не позволила систематически измерять концентрации этих изотопов. Окончательно концентрации $\text{Ru}^{106} + \text{Sb}^{125}$ и Be^7

Результаты анализа 110 проб радиоактивных аэрозолей, собранных над Тихим и Индийским океанами

Место сбора проб	Суммарная удельная активность воздуха, $\text{кюри/л} \times 10^{18}$		Отношение β -активности к γ -активности воздуха	Удельная активность отдельных изотопов, $\text{кюри/л} \times 10^{18}$				Отношение удельных активностей			
	β -излучатель	γ -излучатель		Ce144	Sr90	Ru106 + Sb125	Cs137	Ce144/Sr90	Ce144/Ru106	Ce144/Cs137	Cs137/Sr90
Северное полушарие . . .	44,6	30,0	1,5	11,3	1,3	5,3	1,4	8,7	2,1	8,1	1,1
Южное полушарие	21,5	20,6	1,0	6,3	0,8	3,5	1,0	7,5	1,8	6,3	1,2
Отношение удельных активностей воздуха, измеренных в северном и южном полушариях . . .	2,1	1,5	—	1,8	1,6	1,5	1,4	—	—	—	—

были определены при повторном снятии γ -спектрограмм спустя девять месяцев после окончания плавания, когда Be^7 , содержащийся в отобранных пробах, практически весь распался.

Результаты анализа 110 проб, собранных за первые пять месяцев плавания (до начала ядерных испытаний, проводившихся Францией в Сахаре), представлены в таблице.

К этому следует добавить, что γ -активность, обусловленная Be^7 , составляла около $15 \cdot 10^{-15}$ кюри/л и в пределах 10% точности была в среднем одинакова как для северного полушария, так и для южного. Точность определения концентраций изотопов в самых неблагоприятных условиях не выходила за пределы $\pm 20\%$ (10% за счет статистической ошибки и 10% за счет методических ошибок).

Различие отношений суммарной β -активности к суммарной γ -активности в северном и южном полушариях связано с тем, что вклад Be^7 в суммарную γ -активность «свежих» проб, собранных в южном полушарии, сравнительно больше, чем в северном.

Отношение концентраций отдельных изотопов, измеренных в пробах, собранных в северном и южном полушариях, составляет около 1,6. Таким образом, несмотря на длительный, почти двухгодичный период времени, прошедший с момента прекращения ядерных испытаний, наблюдается заметное различие в величинах концентраций, что указывает на известную автономию страто-

сферных резервуаров активности северного и южного полушарий.

Рассмотрение отношений различных изотопов показывает, что «возраст» активности в обоих полушариях весьма близок. Наблюдаемое различие связано с несколько более «молодым» возрастом активности в северном полушарии, чем в южном.

Изучение изменений величин концентраций радиоактивных аэрозолей по пути следования судна показало, что в направлении долготы изменения невелики, а в направлении широты — весьма значительны. Оказалось, что максимумы концентраций расположены в районе 35° с. ш. (периферия северного тихоокеанского максимума высокого атмосферного давления) и в районе 25° ю. ш. (южноиндийский максимум высокого атмосферного давления). В районе экватора зарегистрирован минимум концентраций. Максимальные величины концентраций отличались от минимальных в несколько десятков раз. Нам представлялось, что географическое распределение загрязнений связано со знаком и величиной скорости воздушных масс в вертикальном направлении в месте отбора пробы. Известно, что области повышенного атмосферного давления характеризуются, как правило, нисходящими потоками воздушных масс, хотя иногда абсолютная величина атмосферного давления в разрушающихся антициклонах не указывает величины и знака вертикальной составляющей скорости ветра. Это справедливо и по отно-

шению к областям пониженного атмосферного давления.

Сопоставление концентраций радиоактивных загрязнений воздуха с атмосферным давлением в месте отбора пробы показало, что, за редким исключением, увеличению атмосферного давления соответствует увеличение концентрации загрязнений. Особенно отчетливо это проявляется вдали от берегов, в зонах действия субтропических динамических антициклонов (северный тихоокеанский максимум, южноиндийский максимум, аравийский максимум).

Указанный эффект можно объяснить, основываясь на том, что, во-первых, концентрация загрязнений в нижней части стратосферы в десятки раз выше, чем в тропосфере [2], и, во-вторых, радиоактивные пылинки малы и скорость их седиментации меньше скорости броуновского движения. Радиоактивные пылинки, двигаясь как одно целое с окружающими их воздушными массами, участвуют, в частности, и в нисходящих движениях, характеризующих антициклоны, что в свою очередь приводит к повышению концентрации загрязнений в местах антициклонов.

Следует отметить, что Койки и Муриями в 1959 г. на Японских островах также обнаружили связь между приходом антициклонов и повышением концентрации радиоактивных загрязнений воздуха [3].

Скорости оседания воздуха в антициклонах невелики (несколько сантиметров в 1 сек) по сравнению со скоростями в горизонтальном направлении (несколько метров в 1 сек), поэтому отбираемая на уровне моря проба не дает информации о фактической загрязненности нижней части стратосферы в данном месте.

Дальнейшие исследования, дополненные вычислениями обратных траекторий масс воздуха, опустившихся в район отбора проб, позволят оценить географическое распределение загрязнений в нижней части стратосферы.

Во время плавания было установлено влияние метеорологических фронтов — поверхностей раздела между двумя воздушными массами — на состав и величину активности. Наиболее отчетливо это проявилось при неоднократном пересечении тропического фронта севернее о. Мадагаскар в марте 1960 г., когда южнее фронта не было и следов «свежей» активности, а севернее — концентра-

ция загрязнений (от испытаний, проведенных Францией в Сахаре) возросла в сотни раз.

Связь между атмосферным давлением и концентрацией загрязнений в тропическом и субтропическом районах, обнаруженная во время плавания экспедиционного судна «Витязь», позволяет предложить в некоторых отношениях новую схему выведения активности из стратосферы.

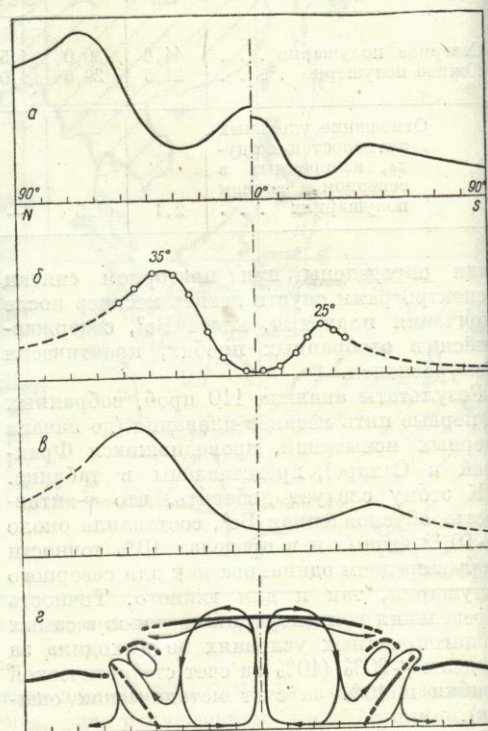


Рис. 2. Влияние меридиональной циркуляции на процесс выведения активности из стратосферы в тропосферу.

Согласно этой схеме сильно разогретые воздушные массы экваториального района поднимаются и частично проникают в нижнюю часть стратосферы, как уже предполагали Добсон [4] и Брюер [5]. Из стратосферы эти воздушные массы опускаются в районе 25—35° южного и северного полушарий в тех местах, где в океанах наблюдаются квазистационарные динамические субтропические антициклоны, характеризующиеся нисходя-

щими потоками воздушных масс. В связи с этим на широтах субтропических максимумов высокого давления обоих полушарий наблюдаются и максимумы концентраций загрязнений. В соответствии с гипотезой Пальмена [6] воздушные массы, опускающиеся в районе 30-х широт, совершают меридиональное движение до встречи с полярным фронтом. Натекание этих воздушных масс на холодный клин полярного воздуха приводит к тому, что они поднимаются и очищаются от радиоактивных загрязнений за счет облакообразования и следующего за ним вымывания дождями. Здесь не рассматриваются вопросы сезонной миграции зон высокого давления и полярных фронтов.

На рис. 2, а приведено распределение концентраций радиоактивных загрязнений в стратосфере по данным Фили (ноябрь 1958 г.) [7], на рис. 2, б — распределение концентраций загрязнений в приземном воздухе по нашим данным (октябрь — ноябрь 1959 г.), на рис. 2, в — распределение концентрации радиоактивных выпадений на почве по дан-

ным Александра (май 1959 г.) [8], на рис. 2, г дана схема меридиональной циркуляции Пальмена и Добсона с введением дополнительной струи из стратосферы в районе 30-х широт.

Сдвиг максимума концентраций выпадений на почве по отношению к максимуму концентраций загрязнений приземного воздуха можно объяснить меридиональной циркуляцией и более подходящими условиями для выпадения активности на почву в средних широтах, чем в субтропических, за счет роста турбулентной скорости осаднения и вымывания дождями.

Авторы выражают благодарность И. К. Кишину, по инициативе которого была поставлена эта работа, В. Г. Богорову, Б. В. Курчатову, В. А. Бугаеву, В. М. Курганской и Я. А. Смородинскому за важные дискуссии, а также Н. С. Буханистому и Г. С. Моисееву, приложившим много сил и умения для проведения экспериментов.

Поступила в Редакцию 9/IV 1962 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Venioff. Phys. Rev., 104, 4, 1122 (1956).
2. J. Holland. U. N. No. 2825 (1959).
3. R. Koike, N. Murauma. Papers Meteorol. and Geophys., 11, No. 1 (1960).
4. G. Dobson. Proc. Roy. Soc. A236, 187 (1956).
5. A. Brewer. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 75, 351 (1949).
6. E. Palmén. J. Roy. Met. Soc., 77, 337 (1951).
7. J. Feely. Science, 131, 3401, 645 (1960).
8. L. Alexander. Report USAEC M-7089, 1959.



РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорины