

3. S. Thompson. Report at APS Meeting (Miami, 1968).
4. Г. Н. Флеров, С. А. Карамян. Препринт ОИЯИ Р6-4902, 1970.
5. A. Wyttensbach. Z. Naturforsch., 25a, 307 (1970).
6. P. Price, R. Fleischer. Phys. Letters, 30B, 246 (1970).
7. P. Price, R. Fleischer, R. Woods. Phys. Rev., 1, 1819 (1970).
8. Г. Н. Флеров, В. П. Перелыгин. «Атомная энергия», 26, 520 (1969).
9. Г. Н. Флеров и др. Препринт ОИЯИ Д6-4554, 1969.
10. Э. Цесляк. Препринт ОИЯИ Р-15-4738, 1969.
11. О. Отгонсурэн, В. П. Перелыгин, Г. Н. Флеров. «Докл. АН СССР», 189, 1200 (1969).
12. А. В. Подурская и др. ЖЭТФ, 28, 503 (1955).
13. Х. Абдуллаев. Диссертация. ОИЯИ, 1969.
14. Ю. А. Шуклюков. Деление урана в природе. М., Атомиздат, 1970.
15. D. Miller. Earth and Planetary Sci. Letters, 4, 379 (1968).
16. R. Fleischer, P. Price, R. Walker. Geochim. et cosmochim. acta, 32, 21 (1968).
17. С. А. Карамян и др. «Ядерная физика», 6, 494 (1967).
18. V. Perelegin et al. Nucl. Phys., A127, 577 (1969).
19. V. Perelegin et al. Proc. Intern. Conf. on Nuclear Track Registration (Clermont — Ferrand, 1969). Ed. by Faculte des Sciences UNIVERSITE DE CLERMONT. Vol. 1, 1969, p. 28.

## Распределение концентрации цезия в поверхностных водах Тихого океана

О. С. ЗУДИН, Б. А. НЕЛЕПО, А. Н. СПИРИНГ, А. Г. ТРУСОВ

УДК 551.46:539.16

В результате испытаний термоядерного оружия Мировой океан оказался загрязненным радиоактивными продуктами. Это прежде всего относится к акватории Тихого океана, где проведено наибольшее число испытаний.

Начиная с 1954 г. измерялась осколочная радиоактивность ( $Cs^{137}$ ,  $Sr^{90}$ ) Тихого океана и определялась закономерность формирования поля радиоактивности [1—4]. Однако экспериментальные данные были малочисленны; это обесценивало результаты анализа. В последующие годы методика и эффективность исследований улучшились, что позволило накопить обширный экспериментальный материал, представленный в нескольких работах [5—8]. Из-за нерегулярности и неравномерности измерений радиоактивности в океане пришлось разработать специальную теорию, позволяющую наилучшим образом восстановить поле радиоактивности [9].

На примере Атлантического океана были экспериментально подтверждены основные положения объективного анализа поля радиоактивности. Удалось также перейти от реальных измерений, неравномерно распределяемых по акватории океана, к восстановленным в узлах регулярной сетки значениям концентрации  $Sr^{90}$ . Это было осуществлено с помощью метода оптимальной интерполяции. Отклонение концентрации в узловой точке  $C'_0$  от среднего значения, полученного по всем измерениям в определенной области, вычислялось по формуле

$$C'_0 = \sum_{i=1}^N P_i C'_i.$$

Здесь  $C'_i$  — соответствующие отклонения концентраций для каждого пункта измерений от среднего значения;  $P_i$  — весовые множители, определяемые из условия

минимальности ошибок восстановления;  $\sum_{j=1}^N \mu_{ij} P_j = \mu_{0i}$ ,

где  $\mu_{ij}$  — нормированные коэффициенты корреляции для точек  $i, j$ . Вид нормированной корреляционной

функции (п. к. ф.) определялся в результате специальной обработки экспериментальных данных по формуле

$$\mu_{lk} = \frac{1}{2N_{lk}\sigma_{lk}^2} \sum_{j, i=1}^{N_{lk}} C'_i C'_j,$$

где  $N_{lk}$  — число произведений  $C'_i C'_j$  в точках, расстояние между которыми от  $r_k$  до  $r_k + \Delta r$  ( $\Delta r = 111$  км). Эта функция может быть аппроксимирована экспонентой (рис. 1).

В конечном итоге, используя для громоздких расчетов ЭВМ, удалось построить карту радиоактивности  $Sr^{90}$  на поверхности Атлантического океана [10].

Анализ данных о содержании  $Cs^{137}$  в водах Тихого океана [5] позволил получить сведения о его статистической структуре и значительно расширить имеющиеся представления о радиоактивности Мирового океана в целом.

Влияние отдельных факторов на точность восстановления статистических характеристик рассмотрено в работах [11—13]. Далее приводятся результаты ана-

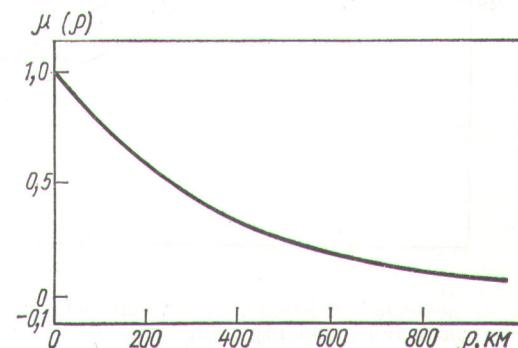
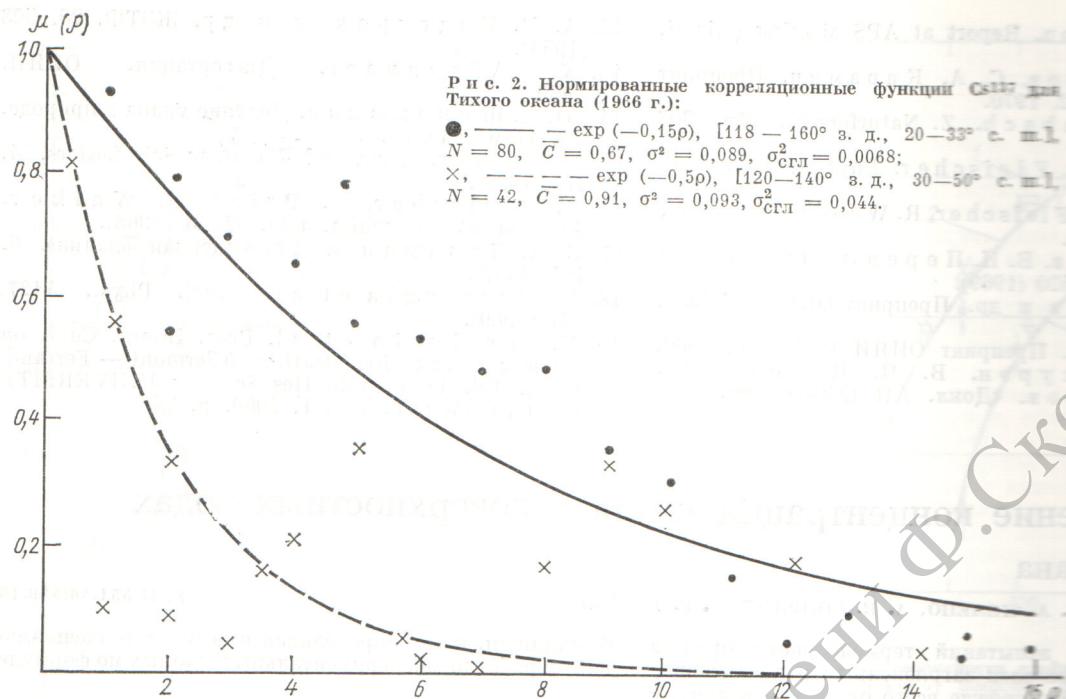


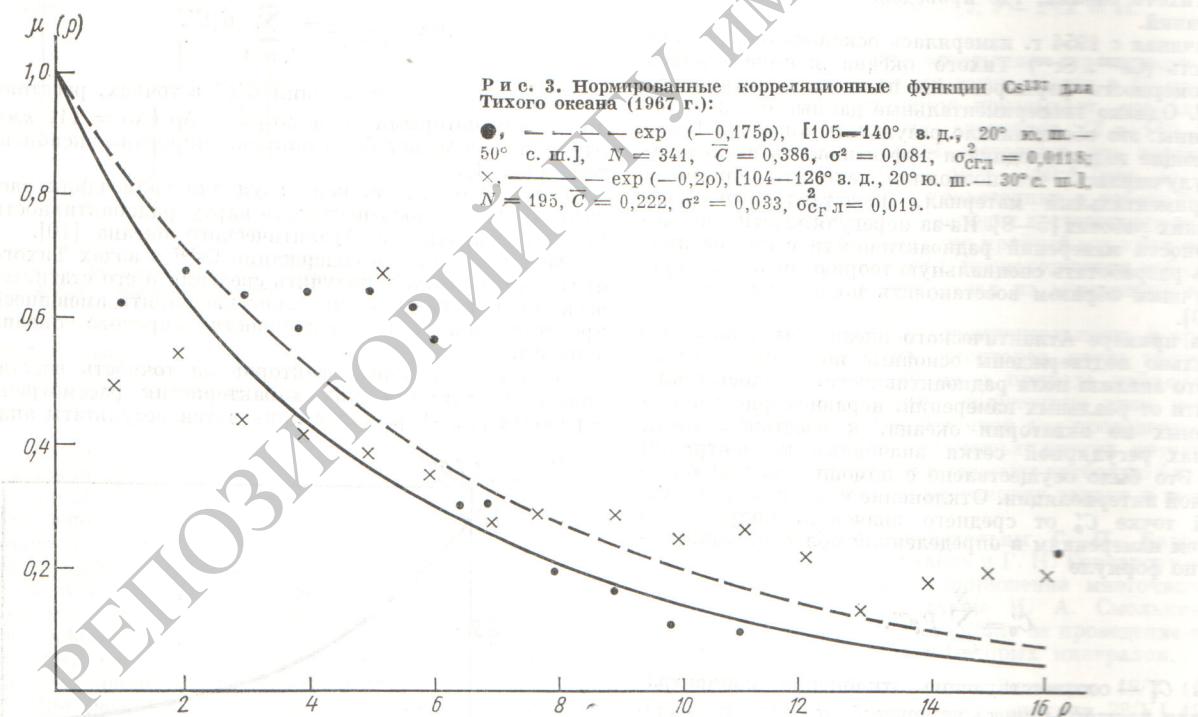
Рис. 1. Нормированная корреляционная функция  $Sr^{90}$  для Атлантического океана.

Рис. 2. Нормированные корреляционные функции Cs<sup>137</sup> для Тихого океана (1966 г.):

●, — — —  $\exp(-0,15\rho)$ , [118—160° з. д., 20—33° с. ш.],  
 $N = 80$ ,  $\bar{C} = 0,67$ ,  $\sigma^2 = 0,089$ ,  $\sigma_{\text{спл}}^2 = 0,0068$ ;  
 ×, — — —  $\exp(-0,5\rho)$ , [120—140° з. д., 30—50° с. ш.],  
 $N = 42$ ,  $\bar{C} = 0,91$ ,  $\sigma^2 = 0,093$ ,  $\sigma_{\text{спл}}^2 = 0,044$ .

Рис. 3. Нормированные корреляционные функции Cs<sup>137</sup> для Тихого океана (1967 г.):

●, — — —  $\exp(-0,175\rho)$ , [105—140° з. д., 20° ю. ш.—50° с. ш.],  $N = 341$ ,  $\bar{C} = 0,386$ ,  $\sigma^2 = 0,081$ ,  $\sigma_{\text{спл}}^2 = 0,0118$ ;  
 ×, — — —  $\exp(-0,2\rho)$ , [104—126° з. д., 20° ю. ш.—30° с. ш.],  
 $N = 195$ ,  $\bar{C} = 0,222$ ,  $\sigma^2 = 0,033$ ,  $\sigma_{\text{спл}}^2 = 0,019$ .



лиза исходной информации, а также найденные средние значения концентраций, дисперсий и их нормированные корреляционные функции. Предварительное сравнение результатов измерений Cs<sup>137</sup>, относящихся к различным сезонам и даже годам, показывает, что

поле концентрации цезия в исследуемые периоды было относительно стабильным. Таким образом, возможно объединение данных, относящихся к различным периодам времени.

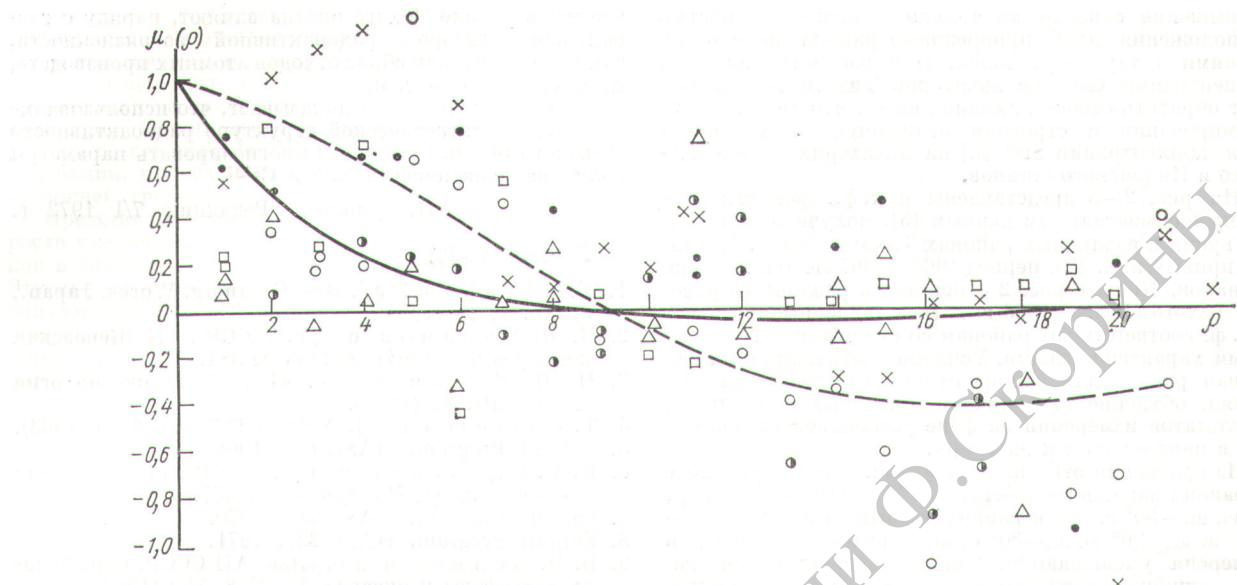


Рис. 4. Нормированные корреляционные функции Cs<sup>137</sup> для Тихого океана:  
 $\text{---} \exp(-0.05\rho)$ , [104°–126° з. д., 20° ю. ш.–30° с. ш.],  
 $\sigma_{\text{срл}}^2 = 0.05$  (точки ●, ✕, ○); —  $\exp(-0.3\rho)$ , [104°–126° з. д., 20° ю. ш.–18° с. ш.],  $\sigma_{\text{срл}}^2 = 0.06$  (точки ●, Δ для  $0^\circ \leq \theta < 60^\circ$ ; ✕, □ для  $-60^\circ \leq \theta < 120^\circ$ ; ○, ● для  $-120^\circ \leq \theta < 180^\circ$ ).

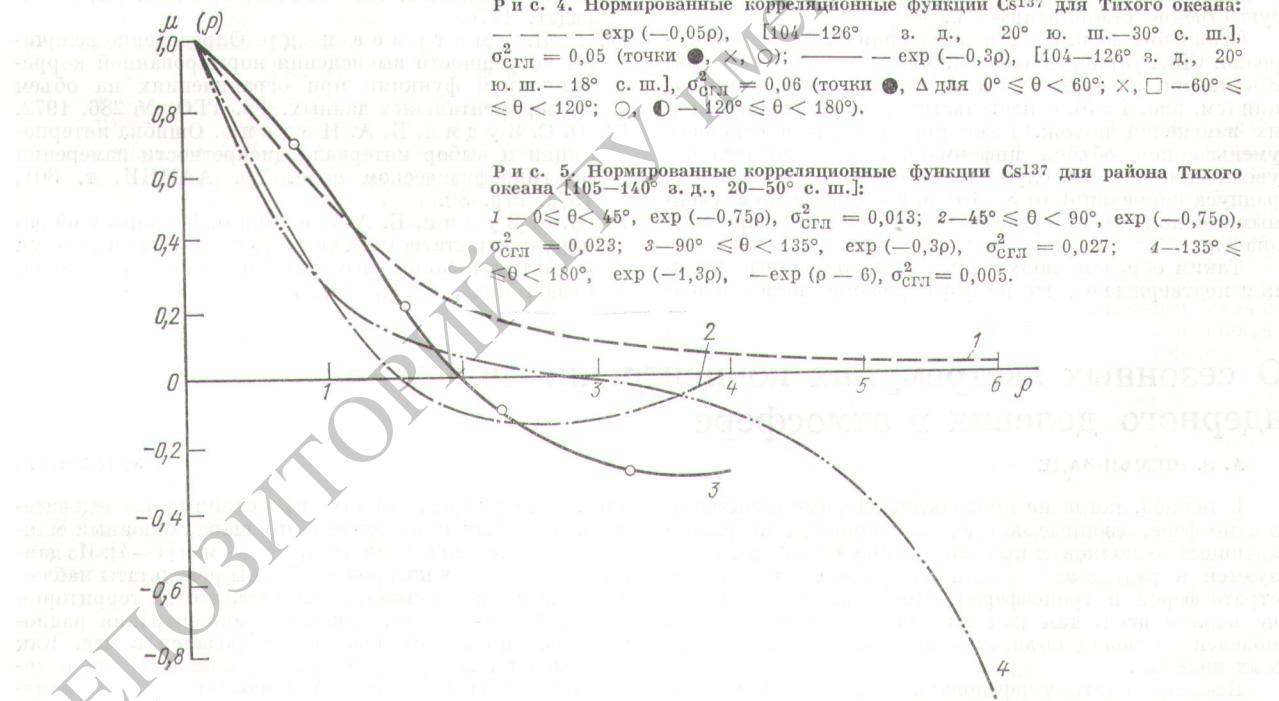


Рис. 5. Нормированные корреляционные функции Cs<sup>137</sup> для района Тихого океана [1105°–140° з. д., 20°–50° с. ш.]:

1 —  $0^\circ \leq \theta < 45^\circ$ ,  $\exp(-0.75\rho)$ ,  $\sigma_{\text{срл}}^2 = 0.013$ ; 2 —  $45^\circ \leq \theta < 90^\circ$ ,  $\exp(-0.75\rho)$ ,  $\sigma_{\text{срл}}^2 = 0.023$ ; 3 —  $90^\circ \leq \theta < 135^\circ$ ,  $\exp(-0.3\rho)$ ,  $\sigma_{\text{срл}}^2 = 0.027$ ; 4 —  $135^\circ \leq \theta < 180^\circ$ ,  $\exp(-1.3\rho)$ , —  $\exp(\rho - 6)$ ,  $\sigma_{\text{срл}}^2 = 0.005$ .

Обработка измерений позволяет провести физическую интерпретацию эмпирических результатов. Например, для неравномерного расположения проб на поле, ограниченном областью  $100^\circ$ – $140^\circ$  з. д. и  $10^\circ$ – $40^\circ$  с. ш., при числе проб  $N = 365$ ,  $C_{\text{макс}} = 1,89 \text{ пкюри/л}$ ,  $C_{\text{мин}} = 0,05 \text{ пкюри/л}$  (где  $C$  — концентрация цезия), т. е. при 40-кратном различии по концентрации, ошибки определения среднего арифметического значения по всем пробам существенно выше, чем для равномерного размещения. Величина

этого превышения зависит от расположения проб, элементарной формы осреднения и в худшем случае достигает 100%. Дисперсия может быть во много раз больше, чем в случае равномерного расположения.

Для района западного побережья США ( $110^\circ$ – $120^\circ$  з. д. и  $32^\circ$ – $36^\circ$  с. ш.) среднее значение концентрации равно  $0,8$ – $0,9 \text{ пкюри/л}$ , дисперсия  $\sigma^2 = 0,05$ – $0,1$ , в то время как в районах открытого океана ( $104^\circ$ – $126^\circ$  з. д. и  $20^\circ$  ю. ш.– $30^\circ$  с. ш.) среднее значение равно  $0,1$ – $0,15 \text{ пкюри/л}$ , а  $\sigma^2 = 0,008$ – $0,01$ . Однако это

превышение связано не только с неравномерностью расположения проб прибрежного района, но и с различиями в характере полей. При рассмотрении поля концентрации  $Cs^{137}$  на акватории Тихого океана следует обратить особое внимание на то, что характер его формирования и строения отличается от характера поля концентрации  $Sr^{90}$  [6] на акватории Атлантического и Индийского океанов.

На рис. 2—5 представлены н. к. ф., рассчитанные по экспериментальным данным [5], полученным в разное время в различных районах Тихого океана. Характер кривых н. к. ф. в период 1966—1967 гг. практически одинаков. Кривые рис. 2 относятся к различным районам Тихого океана (1966 г.). Представленные на рис. 3 н. к. ф. соответствуют районам со сходными статистическими характеристиками. Усиление затухания (нижняя кривая рис. 3) для района открытого океана, на наш взгляд, объясняется наличием отдельных аномальных результатов измерений на фоне устойчивой стабилизации в направлении к экватору.

Из сравнения этих кривых видно, что при переходе от района западного побережья США ( $105^{\circ}$ — $140^{\circ}$  з. д.,  $20^{\circ}$  ю. ш.— $30^{\circ}$  с. ш.) к району открытого океана ( $104^{\circ}$ — $126^{\circ}$  з. д.,  $20^{\circ}$  ю. ш.— $30^{\circ}$  с. ш.) среднее значение и дисперсия уменьшаются, разброс ординат н. к. ф. растет, ошибка сглаживания становится соизмеримой с дисперсией поля ( $N$  уменьшается). Характер поля существенно стабилизируется.

Сравнение н. к. ф. для акватории западного побережья США (прибрежного района и открытого океана) с кривыми, рассчитанными по направлениям корреляции (см. рис. 4 и 5), свидетельствует о том, что характер их изменений похож. Различия вызваны в основном уменьшением объема информации, а следовательно, увеличением роли случайных ошибок. Уменьшение радиуса корреляции от  $8^{\circ}$ — $10^{\circ}$  до  $2^{\circ}$ — $3^{\circ}$  вызвано случайными ошибками в определении отклонений от среднего значения.

Таким образом, полученные корреляционные функции подтверждают, что на формирование поля концен-

трации в районе Тихого океана влияют, наряду с глобальным фактором радиоактивной загрязненности, такие факторы, как сброс отходов атомных производств, их захоронение и т. п.

Выполненная работа показывает, что использование сведений о статистической структуре радиоактивности Мирового океана позволяет прогнозировать параметры поля радиоактивности  $Sr^{90}$  и  $Cs^{137}$ .

Поступило в Редакцию 7/I 1972 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Y. M i u a k e et al. Res. Oceanorg. Works. Japan., 2, No. 1, 18 (1955).
2. B. I. Баранов и др. (СССР). IV Женевская конференция (1964), доклад № 384.
3. Н. И. Попов и др. «Тр. Ин-та океанологии АН СССР», 82 (1966).
4. T. F o l s o m et al. Nature, 187, No. 4736 (1963).
5. Fallout Program. HASL-197, 1968.
6. B. M. Довенеко и др. (СССР). IV Женевская конференция (1974), доклад № 457.
7. Fallout Program. HASL-217, 1970.
8. Fallout Program. HASL-227, 1971.
9. B. I. Беляев и др. «Изв. АН СССР. Сер. физика атмосферы и океана», V, № 8, 860 (1969).
10. Б. А. Нелепо. Ядерная гидрофизика. М., Атомиздат, 1970.
11. B. I. Дмитриев и др. Определение величины погрешности вычисления нормированной корреляционной функции при ограничениях на объем экспериментальных данных. Тр. ГГО, № 286, 1972.
12. О. С. Зудин, Б. А. Нелепо. Ошибка интерполяции и выбор интервала дискретности измерений на гидрофизическем поле. Тр. АНИИ, т. 301, 1972, стр. 80.
13. О. С. Зудин, Б. А. Нелепо. К вопросу об обнаружении статистических структур (4-й симпозиум по автоматизации исследований морей и океанов. Севастополь, МГИ, 1971).

## О сезонных экстремумах концентрации продуктов ядерного деления в атмосфере

А. Э. ШЕМЬИ-ЗАДЕ

В период, когда не проводятся ядерные испытания в атмосфере, сезонные экстремумы концентрации радиоактивных осколков в приземном слое атмосферы образуются в результате обмена воздушных масс между стрatosферой и тропосферой. Механизм этого обмена не вполне ясен, так как ни одна из существующих моделей не может объяснить многообразия наблюдаемых явлений.

Исследуя картину чередования максимумов и минимумов концентрации радиоактивных осколков в приземном слое воздуха, можно сделать некоторые выводы относительно интенсивности перехода стратосферных воздушных масс, загрязненных осколками деления, в тропосферу.

Согласно опубликованным данным, максимум загрязненности приземного слоя атмосферы радиоактивными аэрозолями наблюдается весной, а минимум — осенью. Проведенные автором исследования показали, что в Ташкенте максимумы последовательно проявляются в июне, а минимумы — в декабре — январе (см. рису-

нок). В некоторых работах, проделанных исследователями в разных пунктах земного шара, сезонный максимум отмечается весной, в апреле — мае [1—4]. Из данных работы [4], в которой обобщены результаты наблюдений на девяти станциях, следует, что на территории ГДР в 1963—1964 гг. максимум концентрации радиоактивных продуктов деления наблюдался в мае. Как показывает анализ, годичный ход концентрации осколочных продуктов в нижней тропосфере таких различных районов планеты, как западная Европа (ГДР) и Средняя Азия (УзССР), оказывается в значительной мере идентичными.

В годы, непосредственно следующие за мощными инъекциями радиоактивных осколков в стратосферу, сезонные экстремумы проявляются очень четко. В дальнейшем чем меньше суммарная активность осколков деления во всей атмосфере, тем менее отчетливо проявляются сезонные экстремумы. При некотором достаточно низком значении суммарной активности сезонные экстремумы могут вообще не обнаружиться, как это