

2. A Fusion Power Plant. Ed. by R. Mills. Princeton University Plasma Physics Laboratory. Princeton, New Jersey, 1974.
3. UWMAK-III, A noncircular Tokamak. Power Reactor Design, Nuclear Engineering Dept. Rep. UWFOM-150 University of Wisconsin. Madison, Wisconsin, 1976.
4. Dory R., Peng Y. «Nucl. Fusion», 1977, v. 17, N 1, p. 21.
5. Kadomtsev B., Pogutse O. «Nucl. Fusion», 1971, v. 11, N 1, p. 67.
6. Kesner J., Conn R. «Nucl. Fusion», 1976, v. 16, N 3, p. 397.
7. Ohnishi M., Tokunaga H., Wakabayashi J. Ibid., N 4, p. 690.
8. Пистунович В. И. «Атомная энергия», 1973, т. 35, вып. 1, с. 11.
9. Васильев Н. Н. и др. Термоядерная электростанция с реактором типа токамак и МГД-системой преобразования энергии. Докл. на I Всес. конф. по инженерным проблемам термоядерных реакторов. Л., июнь 1977.

УДК 621.039.7.13.766

## Тритий в атмосферных осадках, реках и морях, омывающих территорию Советского Союза

ВАКУЛОВСКИЙ С. М., ВОРОНЦОВ А. И., КАТРИЧ И. Ю., КОЛОСКОВ И. А., РОВИНСКИЙ Ф. Я., РОСЛЫЙ Е. И.

Содержание трития в природных средах изучается уже многие годы, начиная с первых испытаний термоядерного оружия. В настоящее время внимание не ослабевает в связи с тем, что в окружающую среду поступает значительное количество трития при мирном использовании ядерной энергии [1, 2, 3], в то время как требования к чистоте окружающей среды становятся все более строгими.

В рамках МАГАТЭ и ВМО ведутся постоянные наблюдения в 65 странах за содержанием трития в атмосферных осадках примерно по 100 метеостанциям [4]. Аналогичные наблюдения в СССР систематически проводятся со второй половины 1969 г. вначале на 12, а с 1973 г. на 18 метеостанциях, расположенных в основных климатических зонах страны. Результаты этих наблюдений [5—8] позволили выявить некоторые пространственные и временные закономерности распределения трития в осадках.

Для выяснения закономерностей миграции трития в природных водах на территории СССР информацию о содержании трития в осадках необходимо было дополнить информацией о содержании трития в реках и морях. С этой целью в 1975—1976 гг. наряду с отбором проб атмосферных осадков был проведен отбор воды в реках (21) и морях, омывающих территорию СССР.

Содержание трития \* в пробах воды измерялось на жидкостном сцинтилляционном спектрометре «Mark-II» после предварительного обогащения методом электролиза [9]. Чувствительность установки при использовании сцин-

тиллятора ЖС-8 составляла  $5,0 \cdot 10^{-9}$  Ки/л, а относительная погрешность измерений при 90%-ной достоверности для концентрации  $5 \cdot 10^{-9} - 1,0 \cdot 10^{-7}$  Ки/л — от 30 до 5% соответственно.

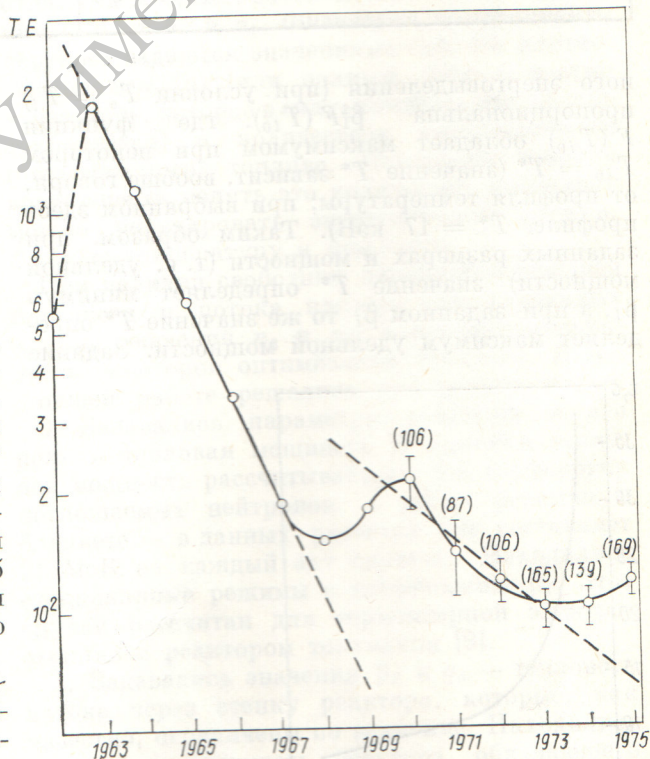


Рис. 1. Динамика среднегодовой концентрации трития в атмосферных осадках в северном полушарии: 1963—1969 гг.— данные ВМО [4]; 1970—1975 гг.— территория СССР; в скобках указаны среднемесячные усредненные значения

\* В связанной форме (тритированной воды НТО).

## Концентрация трития в реках (осень — весна 1975—1976 гг.) и осадках

Таблица 1

Регион	Концентрация трития в реках, ТЕ	Пункт сбора осадков	Концентрация трития в осадках	
			среднегодовая	средняя за август — сентябрь
Прибалтика (Даугава, Неман)	$65 \pm 15$ (4) *	Рига	60	—
Север ЕТС (Сев. Двина, Печора)	$98 \pm 11$ (10)	Архангельск	67	74
Центр ЕТС (Волга, Кама, Вишера, Дон, Днепр, Урал)	$94 \pm 7$ (25)	Москва, Пермь, Ростов-на-Дону, Одесса	105	82
Север Сибири (Обь, Енисей, Лена)	$166 \pm 18$ (9)	Енисейск, Якутск, Дудинка, Салехард	159	163
Юг Сибири (Иртыш, Ульба, Селенга, Обь, Ангара)	$150 \pm 31$ (4)	Новосибирск, Омск, Иркутск, Сковородино	152	141
Дальний Восток (Амур)	$160 \pm 21$ (4)	Сковородино, Хабаровск	145	142
Средняя Азия (Аму-Дарья, Сыр-Дарья)	$127 \pm 5$ (3)	Ташкент	98	—

\* В скобках — число пунктов отбора проб.

На рис. 1 представлена динамика среднегодовой концентрации трития в атмосферных осадках. Для каждой точки указаны средние квадратические отклонения от среднего значения. Видно, что спад концентрации трития в 1963—1967 г. (по северному полушарию) хорошо описывается экспонентой с периодом полувыведения  $\tau = 1,2$  года [6]. Если изменение концентрации трития в атмосферных осадках над территорией СССР в 1970—1973 гг. аппроксимировать одиночной экспонентой, то  $\tau = 2,8 \pm 0,44$

года, что примерно в 2,3 раза больше. Это увеличение  $\tau$ , а также рост концентрации трития в 1968—1970 гг. и в 1973—1975 гг. обусловлены инъекциями трития в атмосферу от проведенных в эти периоды термоядерных взрывов в южном и северном полушариях [10, 11]. На рис. 2 показан сезонный ход средней по территории СССР концентрации трития в осадках (среднемесячные концентрации нормированы к среднегодовой). Сопоставление концентрации с данными о проведении ядерных взрывов

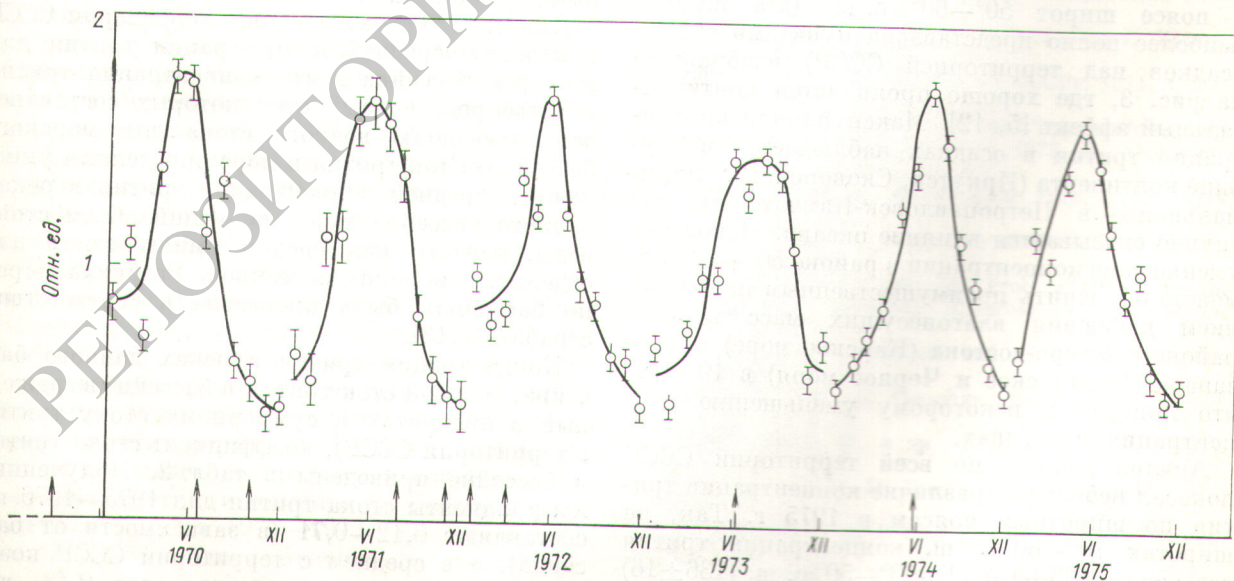
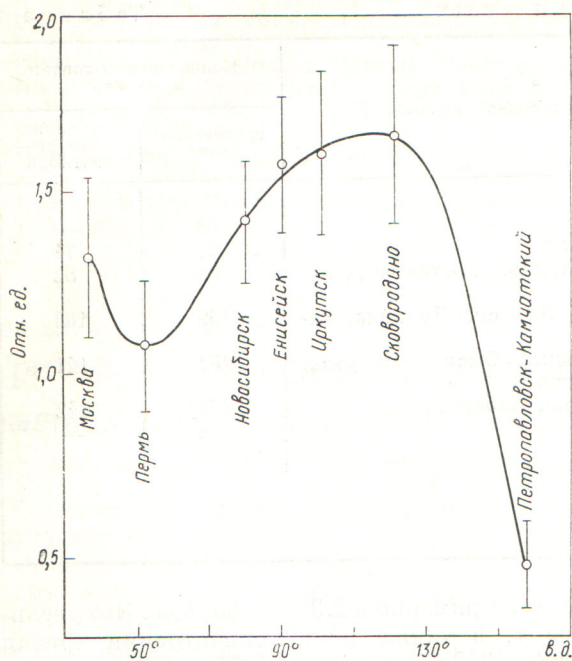


Рис. 2. Сезонный ход концентраций трития в осадках в 1970—1975 гг. над территорией СССР; стрелки — даты взрывов [10, 11]



Р и с. 3. Меридиональное распределение концентрации трития в 1975 г. в поясе широт 50°–60° с. ш.

вов [10, 11] показывает, что, несмотря на проводимые испытания, общий вид сезонного хода остается однотипным с максимумом в мае — июне и лишь взрыв в 1973 г. расширил весенне-летний максимум.

Меридиональное распределение среднегодовой концентрации трития в осадках в 1975 г. в поясе широт 50°–60° с. ш. (эта широта наиболее полно представлена пунктами отбора осадков над территорией СССР) изображено на рис. 3, где хорошо проявляется континентальный эффект [5, 12]. Максимальная концентрация трития в осадках наблюдается в глубине континента (Иркутск, Сковородино), минимальная — в Петропавловск-Камчатском, где сильно сказывается влияние океана. Некоторое уменьшение концентрации в районе 50°–70° в. д. можно объяснить преимущественным направлением движения влагонесущих масс в этом районе с северо-востока (Карское море) и юго-запада (Каспийское и Черное моря) в 1975 г., что привело к некоторому уменьшению концентрации в осадках.

Анализ данных по всей территории СССР показал небольшое различие концентрации трития по широтным поясам в 1975 г. Так, на широтах 70°–60° с. ш. концентрация трития составила  $(125 \pm 15)$  ТЕ, 60°–50° с. ш.  $(136 \pm 16)$  ТЕ, 50°–40° с. ш.  $(80 \pm 10)$  ТЕ, что дает основа-

ние усреднить значения выпадений трития с осадками на территории бассейнов рек, текущих в меридиальном направлении, при малом числе пунктов отбора осадков на площади бассейна.

Усредненная по территории СССР среднегодовая концентрация трития в атмосферных осадках в 1975 г. оказалась равной  $115 \pm 13$  ТЕ, что соответствует  $(3,7 \pm 0,4) \cdot 10^{-10}$  Ки/л ( $1 \text{ ТЕ} = 3,25 \cdot 10^{-12}$  Ки/л). Выпадение трития с осадками за год составило 4 МКи на всю территорию СССР, или  $180 \pm 17$  МКи/км<sup>2</sup>.

В табл. 1 представлены экспериментальные данные по содержанию трития в реках и осадках, усредненные по географическим регионам СССР. Пробы речной воды отбирали осенью 1975 г. и весной 1976 г. Измеренная концентрация трития усреднялась за оба периода. Ее значение со средними квадратическими отклонениями приведено в таблице. Для сравнения указаны также данные о концентрации в осадках, выпавших в августе — сентябре 1975 г. Видно, что концентрация трития в реках данного региона мало отличается от концентрации в осадках как в августе — сентябре, так и среднегодовой. В реках и озерах наблюдается ясно выраженное повышение концентрации в направлении с северо-запада на юго-восток и вглубь континента. Это позволяет на более полном экспериментальном материале подтвердить ранее сделанный вывод [8] о том, что содержание трития в обследованных реках обусловлено глобальными выпадениями трития с атмосферными осадками.

При оценке стока трития с территории СССР в качестве средней концентрации трития для всех рек бассейна взята концентрация трития в устье рек, водный сток которых составляет основную долю водного стока для морского бассейна. Сток трития в море определяли умножением средней концентрации трития в реках данного бассейна моря на общий объем стока воды, взятого как средний многолетний для отдельных морских бассейнов. Разбивка морей по бассейнам была проведена в соответствии с работой [13].

Концентрация трития в реках данного бассейна, годовой сток трития в бассейн (выраженный в процентах к суммарному стоку трития с территории СССР), коэффициент стока трития в бассейне приведены в табл. 2. Полученные коэффициенты стока трития для 1975–1976 гг. составляют 0,12–0,71 (в зависимости от бассейна), а в среднем с территории СССР коэффициент стока трития оценивается 0,43, что

Годовой сток трития с территории СССР в моря в 1975 г.

Таблица 2

Бассейн	Средняя концентрация в реках данного бассейна, 10 <sup>-10</sup> Ки/л	Годовой сток трития в бассейне, % годового	Коэффициент стока		Концентрация трития в морской воде	
			трития	воды	Год	10 <sup>-10</sup> , Ки/л
Балтийское море	2,2	2,0	0,32	0,34	1974 1975	2,6±0,5 (11) 2,5±0,4 (8)
Белое море	2,4	2,5	0,62	0,48	1974	1,7±0,5 (12)
Баренцево и Печорское моря	3,5	6,0			1974	1,2±0,4 (14)
Карское море	5,2	40,0	0,54	0,36	—	—
Море Лаптевых	4,1	15	0,55	0,49	—	—
Тихий океан (сев. часть)	4,9	28,0	0,71	0,42	1974	0,26±0,09 (48)
Черное море	1,2	0,5	0,12	0,12	1973	1,7±0,4 (43)
Азовское море	2,9	0,5			1975	1,2±0,3 (4)
Каспийское море	3,2	5,5	0,22	0,24	1973	3,5±0,7 (16)
Вся территория СССР	—	100%			0,43	0,37

примерно в 1,2 раза выше коэффициента водного стока, равного 0,37 [14]. Это справедливо, если учесть, что при испарении коэффициент разделения изотопов водорода трития и протия составляет 1,1—1,2 при умеренной температуре [5]. Из табл. 2 видно также, что ~63% трития, выпавшего с осадками на территорию Советского Союза, стекает с реками в моря Северного Ледовитого океана (за счет повышенной концентрации трития в реках, несущих континентальные воды больших площадей водосборов), 28% трития стекает в моря Тихого океана и лишь 9% трития стекает в остальные моря и бессточные водоемы Средней Азии. Для сравнения с табл. 2 приведены также данные о средней по морю концентрации трития в поверхностных водах со средними квадратическими отклонениями и числом усредненных измерений (в скобках) в 1973—1975 гг.

В морях с пониженным водообменом между поверхностными и глубинными водами, а также имеющих ограниченный водообмен с океанами (Балтийское, Черное), концентрация трития в поверхностных водах близка к концентрации трития во впадающих в них реках. В Белом и Баренцевом морях, имеющих хороший водообмен с океаном, концентрация трития ниже, чем во впадающих реках. Концентрация трития в Азовском море в 1973 г. выше концентрации трития в других морях в 1974—1975 гг. и практически совпадает со средним значением концентрации трития в осадках по бассейну рек Азовского моря в 1970—1973 гг., составляющим 115±20. Это объясняется мелководностью моря, относительно малой величиной

общего объема водной массы, которая обновляется в среднем за 8 лет, большой долей речного стока в водном балансе моря [15]. Концентрация трития в поверхностных водах северной части Тихого океана на порядок ниже, чем в омывающих сушу морях.

Поступила в Редакцию 31/III 1977 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Budnitz R. «Health Phys.», 1974, v. 26, N 2, p. 165.
2. Amano X. «Censhiryoko Kogyo», 1975, v. 21, N 8, p. 27.
3. Aurand K. e.a. «Atomwirtschaft-Atomtechn.», 1973, Bd 18, N 11, S. 529.
4. In: Proc. «Environmental Isotope Data», Vienna, IAEA, 1969—1973, N 1—4.
5. Сойфер В. Н. и др. «Докл. АН СССР», 1971, т. 201, № 1, с. 78.
6. Жигаловская Т. Н. и др. В кн.: Труды Междунар. симп. в Тбилиси, 15—20 окт. 1973. Л., Гидрометиздат, 1975, с. 223.
7. Сойфер В. Н. и др. Труды ИЭМ. Вып. 3 (42). 1974, с. 85.
8. Жигаловская Т. Н. и др. Труды ИЭМ. Вып. 4 (56), 1976, с. 21.
9. Ostlund H., Werner E. In: Proc. «Tritium in the physical and biological sciences», Vienna, IAEA, 1965, v. 1, p. 95.
10. Mishra V. e.a. «J. Scient. Ind. Res.», 1974, v. 33, p. 216.
11. Mishra V. e.a. «J. Geophys. Res.», 1975, v. 80, N 36, p. 5045.
12. Ферронский В. И. и др. «Водные ресурсы», 1975, № 6, с. 1.
13. Воскресенский К. П. Труды ГГИ. Вып. 200, 1972, с. 88.
14. Соколовский Д. Л. В кн.: Речной сток. Л., Гидрометиздат, 1968, с. 109.
15. Добровольский А. Д., Залогин Б. С. В кн.: Моря СССР. М., «Мысль», 1965, с. 142.