

Современное состояние и меры снижения радиоактивной загрязненности водной среды

ГЕДЕОНОВ Л. И., ИВАНОВА Л. М., НЕЛЕПО Б. А., ТРУСОВ А. Г.

УДК 551.46:539.16

Развернувшиеся в последнее время исследования по радиоэкологии позволили собрать большую информацию в этой области знаний. Радиация в той или иной форме и от различных источников воздействовала на живую материю с самого зарождения жизни на Земле. Как известно, она была одним из основных, если не главным мутагенным фактором, и, может быть, сама эволюция видов без радиации пошла бы иным путем.

Однако современная постановка проблемы радиоэкологии и даже название этой научной дисциплины сформировались совсем недавно. До настоящего момента продолжают споры при определении предмета радиоэкологии и ее подразделений. Тем не менее исследования ведутся все энергичнее [1—9] в связи с возникновением искусственной радиоактивности и распространением в окружающей среде ранее не содержавшихся радиоактивных веществ.

Искусственные радиоактивные вещества попадают в различные части биосферы. Под контролем человека в весьма концентрированном виде на грунте или в грунте хранятся миллиарды кюри радиоактивных отходов от переработки твэлов. Случайный или аварийный выброс хотя бы малой доли высокоактивных отходов недопустим: он создал бы районы очень опасного радиоактивного загрязнения. Одна только потенциальная возможность таких событий требует хорошо разработанных знаний о внешней среде и обитающих в ней организмах, т. е. развития радиоэкологии.

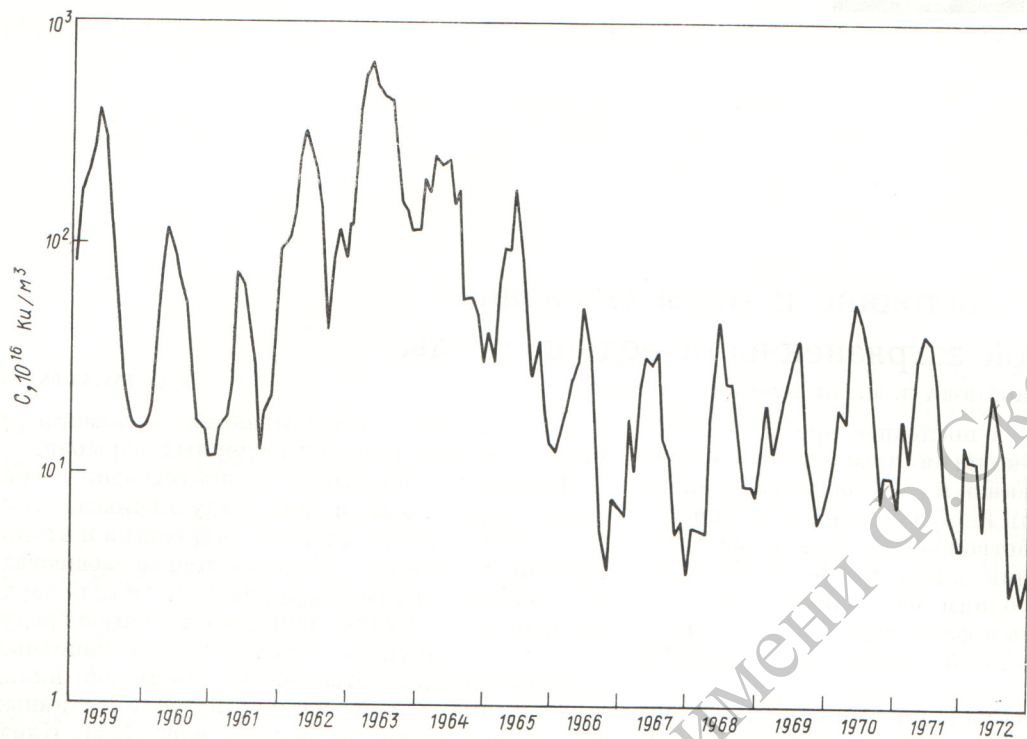
Громадные количества радиоактивных продуктов деления были сознательно выброшены в атмосферу при испытаниях ядерного оружия. Московский договор 1963 г. о запрещении ядерных испытаний в трех средах явился крупнейшей победой миролюбивых сил и прогрессивной науки [10]. К сожалению, не все державы присоединились к Московскому договору,

и до сих пор выбрасываются в атмосферу радиоактивные продукты ядерных взрывов.

Источником поступления искусственных радионуклидов во внешнюю среду являются также развивающаяся ядерная энергетика и атомный транспорт. Радиоактивные вещества, выброшенные в атмосферу, на почву или поверхностные слои грунта, попадают в водную среду. Для долгоживущих радионуклидов конечным приемником является океан. Большой вклад в изучение путей миграции радиоактивных примесей в почвах и с водами внес В. М. Ключевский [11].

Как уже отмечено, радиоэкологическое исследование начинается с оценок видов и интенсивности излучений, воздействующих на организмы, находящиеся в природных условиях. Внешнее облучение можно оценить, измеряя мощность дозы или поглощенную дозу приборами с датчиками, помещаемыми во внешнюю среду *in situ*, а также можно определить, измеряя концентрацию тех или иных излучателей. Для определения внутреннего облучения, которое нередко представляет главную опасность для организма, необходимо знать концентрацию излучателей, т. е. радионуклидов, в объектах окружающей среды. Надо также знать пути проникновения радионуклидов в организм, миграцию их по пищевым цепочкам, коэффициенты концентрирования или дискриминацию при переходах от одних звеньев цепочки к другим, характер питания организмов и т. д. Таким образом, основой радиоэкологического исследования является определение концентрации радиоактивных примесей в объектах внешней среды, чему и посвящена настоящая статья.

В глобальном масштабе водная среда все еще остается загрязненной вследствие выпадения на акваторию океанов, морей и водоемов радиоактивных продуктов ядерных взрывов. На рис. 1 показано наличие в нижних слоях



Р и с. 1. Концентрация ^{137}Cs в приземном слое воздуха в Зеленогорске (близ Ленинграда)

атмосферы радиоактивных осколочных продуктов. Эти данные репрезентативны для очень большой зоны на земном шаре. Так, аналогичная картина наблюдалась в Милфорд-Хэйви ($51^{\circ}30'$ с. ш.; 5° з. д.), Чилтоне ($51^{\circ}30'$ с. ш.; 1° з. д.), Музони ($51^{\circ}16'$ с. ш.; $80^{\circ}30'$ з. д.), Нью-Йорке ($40^{\circ}48'$ с. ш.; $73^{\circ}58'$ з. д.).

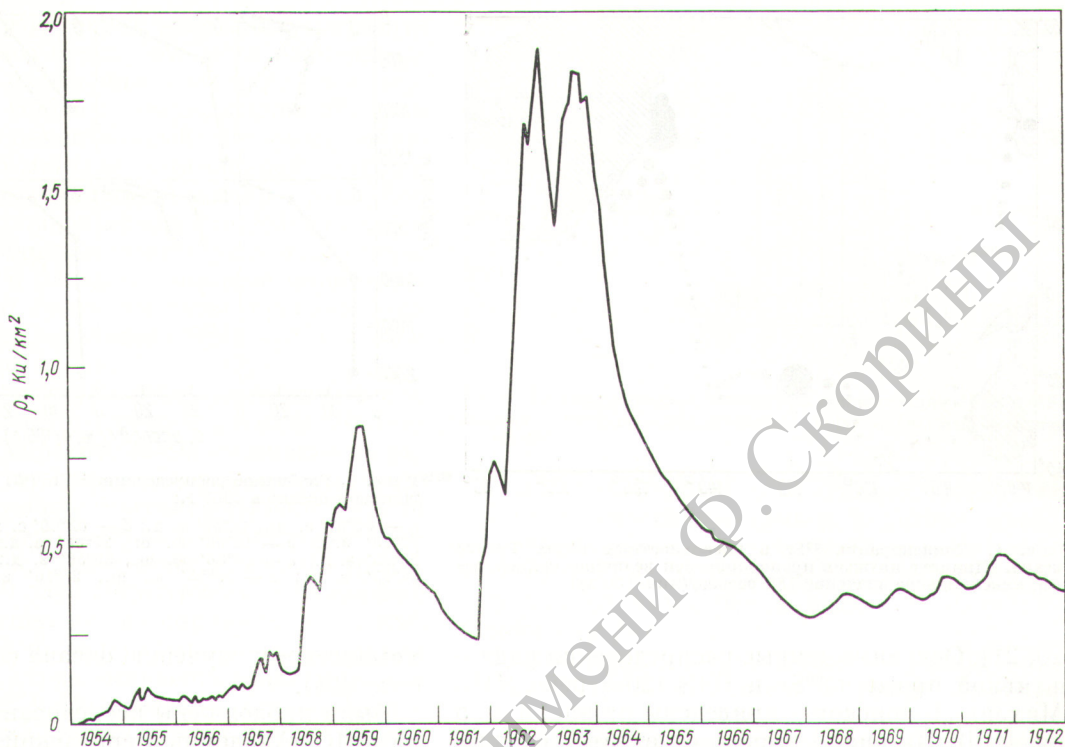
В открытом океане, как и на суше, радиоактивные продукты ядерных взрывов поступают в приземный слой воздуха, вскоре после испытаний ядерного оружия через тропосферу, а спустя более длительное время выпадают продукты из стратосферного резервуара. На рис. 2 показан ход изменения общего количества β -радиоактивных продуктов, отложившихся на земную поверхность в Зеленогорске, прослеженный с 1952 по 1972 г. [9, 12, 13]. Распределение накопившегося запаса ^{90}Sr показано на рис. 3 по состоянию на 1967 г. [14].

Картина глобальных радиоактивных загрязнений, естественно, должна быть дополнена данными по содержанию искусственных радионуклидов в водной среде. Итоги всех этапов исследований в этом направлении представлены в работах [15—17]. К 1967 г. были завершены сбор фактических данных в отдельных не-

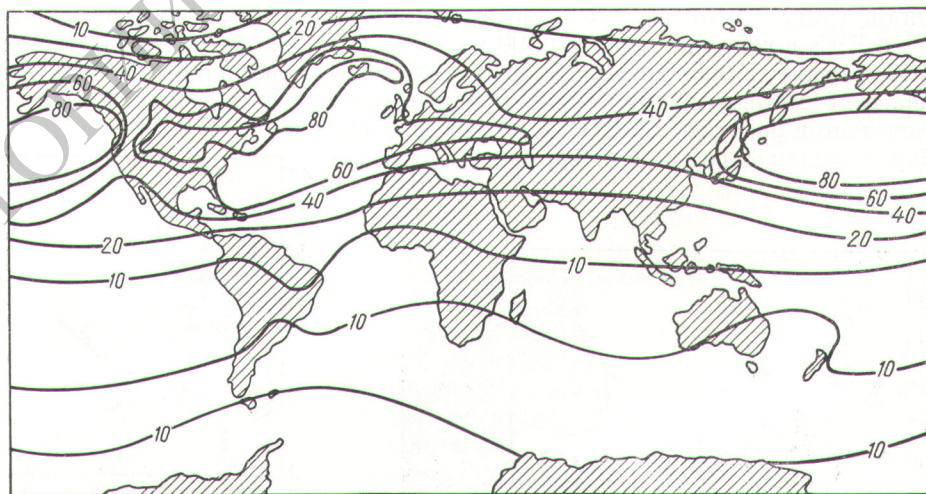
многих пунктах Мирового океана и их регистрация. Применение метода объективной интерполяции к восстановлению поля радиоактивности в точках, не обследованных экспериментально, привело к возможности воссоздания полной картины загрязнения поверхностных вод Атлантики радиоактивным ^{90}Sr [18] по состоянию на 1967 г. Интересно, что и в капитальном обобщении Академии наук США рассматриваются данные до начала 1967 г. [19].

На последнем этапе исследований, определивших современное состояние радиоактивной загрязненности водной среды, в 1966—1967 гг. была проведена специальная кругосветная экспедиция НИС «Михаил Ломоносов» с основной задачей исследовать радиоактивность Мирового океана. (Несколько ранее были проведены интенсивные исследования радиоактивной загрязненности Ирландского моря вследствие сброса Великобританией жидких радиоактивных отходов.)

Были исследованы важнейшие районы Тихого и Атлантического океанов. В этой экспедиции изучались не только искусственные радиоактивные загрязнения, но и природная радиоактивность вод и донных отложений океана



Р и с. 2. Накопление — распад β -активных продуктов ядерных взрывов в Зеленогорске



Р и с. 3. Мировое распределение выпавшего ^{90}Sr , $\text{мКи}/\text{км}^2$

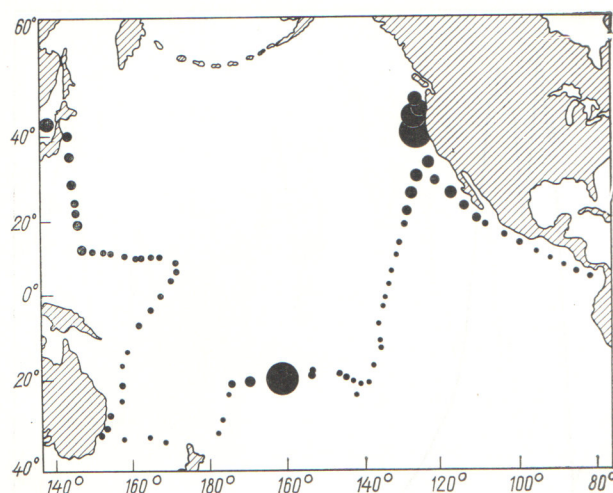


Рис. 4. Концентрация ^{90}Sr в поверхностных водах Тихого океана. (Диаметр кружков пропорционален величине концентрации; максимальное значение 180 распад/(мин·100 л)]

[20, 21]. Основные данные распределения радиоактивной примеси ^{90}Sr и ^{137}Cs (20-й рейс НИС «Михаил Ломоносов») приведены на рис. 4 и 5 (см. [16]). На рис. 4 весьма отчетливо обозначен район локального радиоактивного загрязнения Мирового океана сбросами радиоактивных отходов у устья р. Колумбии.

Исследованию подвергались не только поверхностные воды, но и воды с различных глубин. Интегрирование кривых глубинного распределения (рис. 6) позволило определить запас ^{90}Sr и ^{137}Cs в водах до глубины 500 м.

Обобщение аналогичных данных с использованием метода оптимальной интерполяции проведено в работах [22, 23]. Об автоматизации сбора и анализа научной информации по радио-

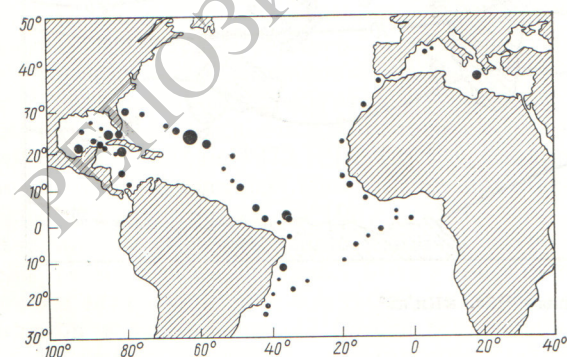


Рис. 5. Концентрация ^{90}Sr в поверхностных водах Атлантического океана

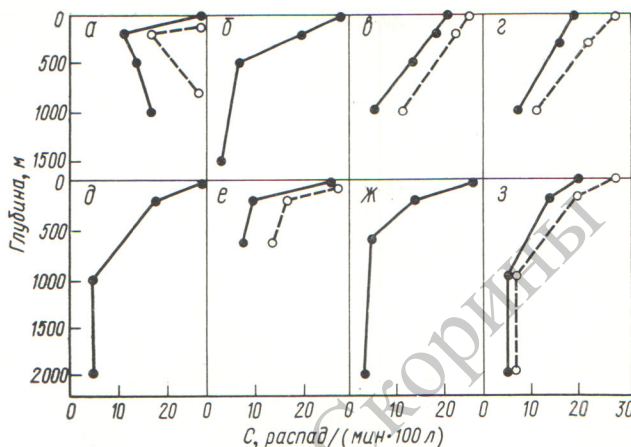


Рис. 6. Глубинное распределение ^{90}Sr (●) и ^{137}Cs (○) в Атлантическом океане в 1967 г.:

а — $05^{\circ}57'$ с. ш., $44^{\circ}59'$ в. д.; б — $03^{\circ}00'$ с. ш.; в — $09^{\circ}03'$ ю. ш., $32^{\circ}23'$ в. д.; г — $10^{\circ}00'$ ю. ш., $25^{\circ}00'$ в. д.; д — $00^{\circ}03'$ ю. ш., $25^{\circ}05'$ в. д.; е — $00^{\circ}06'$ ю. ш., $39^{\circ}56'$ в. д.; ж — $06^{\circ}55'$ ю. ш., $34^{\circ}13'$ в. д.; з — $06^{\circ}53'$ ю. ш., $25^{\circ}10'$ в. д.

химическому изучению океана сообщается в работе [24].

Были продолжены исследования в Атлантике на НИС «Академик Вернадский», «Михаил Ломоносов» и «Академик Курчатов». Результаты представлены на рис. 7. Отметим, что несмотря на уменьшение интенсивности проведения ядерных взрывов в северном полушарии, уменьшения радиоактивной загрязненности поверхностных вод океана и морей почти не наблюдается. В южном полушарии растет радиоактивное загрязнение. Вовлечение водных масс в экваториальные течения и частичный перенос при-

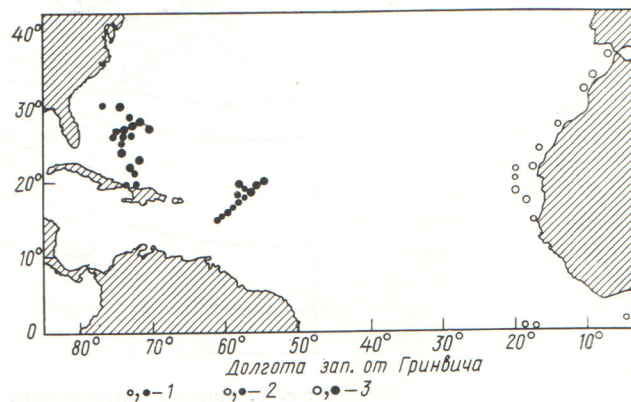


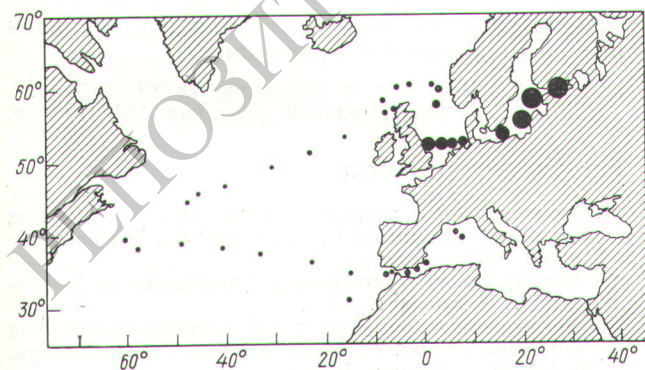
Рис. 7. Концентрация ^{90}Sr в поверхностных водах Атлантического океана, по данным 12-го рейса НИС «Академик Курчатов» в 1972 г. (●):

1 — 10; 2 — 20; 3 — 30 распад/(мин·100 л)

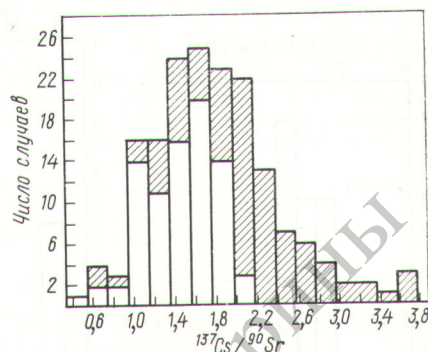
месяц в атмосфере через зону экватора ведут к проникновению некоторой части радиоактивных примесей из южного полушария в северное и обратно. Наблюдения последних лет дали большой экспериментальный материал, обработка которого методом оптимальной интерполяции выявит устойчивые различия в распределении радионуклидов между отдельными районами океана, если они существуют. Уже сейчас ясно, что, как и раньше, закрытые моря отличаются гораздо более высоким уровнем концентрации долгоживущих ^{90}Sr и ^{137}Cs , чем открытый океан.

Повышенная искусственная радиоактивность в районе Ирландского моря и устья р. Колумбии заставляет обратить особое внимание на радиационную обстановку Балтийского и Черного морей. Изучение Балтийского моря (рис. 8) за последнее время показало, что присутствующие в нем ^{90}Sr и ^{137}Cs в концентрации, превышающей в 6—10 раз концентрацию в Атлантике на тех же широтах, до сих пор поступали в составе глобального радиоактивного выпадения на акваторию и стока выпавших радионуклидов с водами рек [25]. Воздействие сбросов радиоактивных отходов невелико и не превышает погрешности методики определения содержания радионуклидов в морской воде.

Проблемы радиоэкологии не позволяют бесстрастно фиксировать наблюдаемые уровни радиоактивного загрязнения. Одно из современных требований состоит в определении формы нахождения радионуклидов в воде. Опубликованы сведения об отношении концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в водах Мирового океана [26]. На примере более трехсот определений установлено, что это отношение остается одинаковым



Р и с. 8. Концентрация ^{90}Sr (в отн. ед.) в поверхностных водах Балтийского моря и Атлантического океана в 1970 г., по данным 2-го рейса НИС «Академик Вернадский»



Р и с. 9. Распределение отношений концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr : светлые участки — Тихий океан; заштрихованные — Атлантический

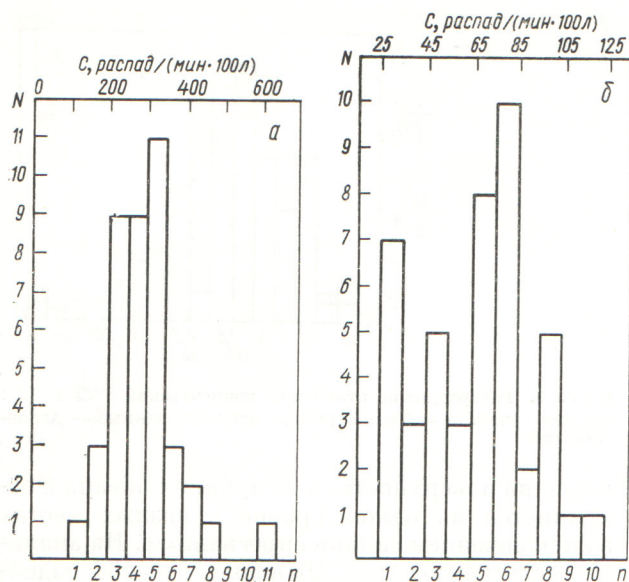
и на поверхности, и в глубинах океана и сохраняется на одном уровне в разных местах за исключением сильно опресненных. Из анализа гистограммы (рис. 9) видно, что оба радионуклида не выпадают в осадок и находятся в ионной форме.

Совсем иная картина в почти пресных водах Невской губы и восточной части Финского залива (рис. 10). Гистограммы показывают, что преимущественно цезий удерживается почвами и донными отложениями.

Изучение радиоактивных загрязнений внутренних морей неразрывно связано с наблюдениями за радиоактивностью пресноводных водоемов. В этой связи внимание привлекли, в первую очередь, Нева и Волга, а ввиду большой заинтересованности стран — членов СЭВ разворачивается программа совместных исследований радиоактивности водной системы Дуная [27]. Выяснено, что предстоящее развитие ядерной энергетики, потенциальная возможность попадания ряда радионуклидов в водную среду требуют поиска мер, снижающих радиоактивную загрязненность водной среды. Необходимо, чтобы сбросные воды не содержали радиоактивных примесей больше, чем это предусматривается нормами для воды открытых водоемов, используемых населением.

Кроме того, следует принять все меры для предотвращения утечки радиоактивных веществ при работе атомных электростанций. Примером может служить Ленинградская АЭС [28].

Газовые выбросы из вентиляционных каналов реакторов неизбежны. Выпадая на акватории водоемов, они тоже могут быть причиной поступления радиоактивных примесей в воду. Чтобы снизить выбросы, используются фильтрация и другие виды очистки сбрасываемого воздуха и отстой его в резервуарах для ликви-



Р и с. 10. Распределение концентраций ^{90}Sr (а) и ^{137}Cs (б), наблюдавшихся в восточной части Финского залива в 1971 г. (N — число случаев; n — номер интервала значений концентрации)

дации короткоживущих радиоактивных компонентов путем распада. Следует детально изучать метеорологические и гидрологические условия и их возможное влияние на распространение выбросов АЭС. Для сброса газов необходимо выбирать наиболее приемлемую гидрометеобстановку.

Должно быть уделено внимание проблеме улавливания инертных газов и легколетучих веществ, в особенности иода и рутения. Необходимо вовремя приостановить нарастание содержания ^{85}Kr в атмосфере планеты. На очереди также детальное изучение трития в экологических системах и поиск технических решений по удержанию трития от выхода во внешнюю среду. В настоящее время содержание трития в водах рек, озер и источниках водопользования непрерывно растет. В недалеком будущем тритиевая проблема может стать очень серьезной, если не будут выработаны и проведены в жизнь необходимые меры.

Трудность решения этих задач очевидна. В одном случае надо выделить из огромных масс воздуха и удержать на десятилетия инертный газ. В другом случае требуется выделять тритий из сотен и тысяч кубометров воды или из вентиляционного воздуха. При этом отделять надо один изотоп водорода от другого; выпарка или химические процедуры здесь бессильны; производительность электролиза низка. Несомненно, эти трудности будут преодолены, как и мно-

гие другие, стоящие перед наукой и техникой. Радиэкологи должны помочь в решении проблемы, представляя по возможности детальную и точную информацию о радионуклидах во внешней среде.

В настоящее время радиационная обстановка окружающей среды в целом удовлетворительна. И хотя наблюдаемые уровни концентрации радионуклидов в воде и воздухе составляют $\sim 10^{-3}$ уровня естественной радиоактивности этих сред, все же попадание в биосферу искусственных радиоактивных изотопов, как правило, приводит к нарушению исторически сложившихся уровней радиоактивности ее соответствующих субстратов. Мигрируя в биосфере по тем же путям, что и естественные изотопы, искусственные радиоактивные вещества повышают радиоактивность соответствующих компонентов биосферы и этим самым увеличивают интенсивность радиационного воздействия на живые организмы.

Существуют локальные пятна радиоактивного загрязнения водной среды, оказывающие заметное влияние на отдельные регионы Мирового океана. Через МАГАТЭ принимаются меры к контролю сбросов на основе нормативов МКРЗ, обеспечивающих безопасность населения.

В конце XX в. предполагается бурный рост ядерной энергетики и, как следствие, размещение большого числа атомных электростанций и предприятий на берегах рек и морей, что приведет к огромному количеству радиоактивных отходов, «изоляция» которых от окружающей среды — большая научно-техническая проблема. При этом, по-видимому, неизбежно попадание в гидросферу какого-то количества радионуклидов.

Дальнейшие экологические исследования поведения радионуклидов в различных объектах гидросферы будут представлять большой интерес для науки и практики.

Поступил в Редакцию 26/XI 1974 г.
В окончательной редакции 16/I 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиоактивные загрязнения внешней среды. Под ред. В. П. Шведова и С. И. Широкова. М., Госатомиздат, 1962.
2. Перцов Л. А. Природная радиоактивность биосферы. М., Атомиздат, 1968.
3. Исследование радиоактивной загрязненности вод Мирового океана. Сборник под ред. Н. И. Попова. Т. 82. М., «Наука», 1966.
4. Шведов В. П., Патин С. А. Радиоактивность океанов и морей. М., Атомиздат, 1968.
5. Поликарпов Г. Г. Радиэкология морских организмов. М., Атомиздат, 1966.