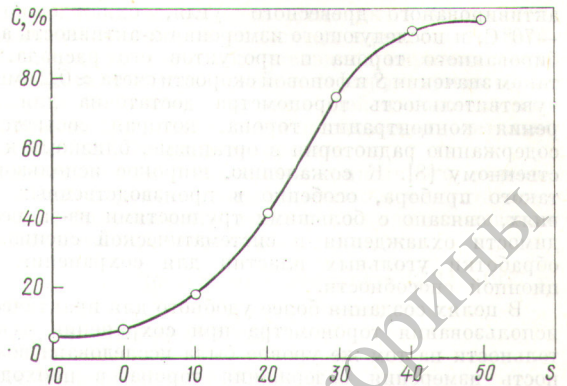
Р и с. 2. Зависимость концентрации ^{22}Ne от отбора

что позволяло начинать отбор продукта уже через 12 ч после запуска. Такое короткое время установления значительно повышает надежность эксплуатации и является одним из важных положительных свойств масс-диффузионного метода.

На рис. 2 показана зависимость концентрации ^{22}Ne от величины потока отбора. При оптимальном отборе 1,45 г/сут концентрация продукта составляла 92%. При получении ^{20}Ne производительность каскада составляла 17 г/сут с концентрацией 99,7%. На рис. 3 представлен профиль концентраций в каскаде при концентрировании ^{22}Ne . В ряде опытов при получении ^{22}Ne к головной части каскада была подключена параллельно дополнительная секция из 20 элементов, придавшая каскаду прямоугольно-ступенчатую форму. При этом в результате увеличения потока в головной части

Р и с. 3. Профиль концентраций ^{22}Ne в каскаде при отборе 1 г/сут

каскада удалось повысить отбор до 3,1 к/сут с концентрацией более 90%. Работа такого профилированного каскада также отличалась высокой устойчивостью.

Поступило в Редакцию 2/III 1977 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hertz G. «Phys. Z.», 1922, Bd 23, S. 433.
2. Hertz G. «Z. Physik», 1934, Bd 91, S. 810.
3. Гвердцители И. Г., Цхакая В. К. В кн.: Получение изотопов. Тр. Всесоюз. науч.-техн. конф. по применению радиоактивных и стабильных изотопов в народном хозяйстве и науке. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 113.
4. Гвердцители И. Г., Кучеров Р. Я., Цхакая В. К. II Женевск. конф., 1958. Докл. СССР P/2086.

УДК 550.835.08

Установка для измерения содержания торона в выдыхаемом воздухе

ШЕГУШКОВ А. А., ЗЕЛЬЦЕР М. Р.

Известно, что при оценке дозы внутреннего облучения определяющими являются сведения о содержании радиоактивных изотопов в теле человека. В случае тория и торийсодержащих материалов проблема определения дозовой нагрузки связана с оценкой депонирования в основном долгоживущих радионуклидов ториевого ряда и, в частности, радиотория ^{223}Th .

Одним из наиболее чувствительных методов определения радиотория, депонированного в организме человека, является эманационный метод, основанный на измерении торона в выдыхаемом воздухе [1]. Торон — радиоактивный газ с коротким периодом полураспада, образуется из ^{224}Ra — дочернего продукта радиотория. Вместе с продуктами распада торон дает около 80% энергии α -излучения всего ряда тория. Хотя количество торона в организме и в выдыхаемом воздухе не находится в равновесии с радиоторием, последний может быть определен по концентрации торона в выдыхаемом воздухе, если известна степень равновесности. Таким образом, в случае поступления радиотория в организм человека проблема определения дозо-

вой нагрузки этим методом сводится к измерению торона в выдыхаемом воздухе и установлению корреляции между его концентрацией и дозой. Эти задачи весьма различны по своему характеру и являются вполне самостоятельными.

Настоящая работа посвящена измерению торона в выдыхаемом воздухе. Опубликовано довольно много работ с описанием торонметров (приборов для измерения торона в выдыхаемом воздухе) и результатов их применения, в частности, на людях, которым когда-то было введено рентгено-контрастное вещество — торотраст [2]. Большинство описанных торонметров [3—6] имеют относительно низкую чувствительность вследствие неполного использования активности торона, поступающего на вход. Степень использования эманации характеризуется коэффициентом S имп·л/(пКи·мин), который показывает скорость счета прибора при единичной удельной активности торона.

Наибольшую величину $S = 3,3$ имп·л/(пКи·мин) имеет торонметр, описанный в работе [7]. Его действие основано на адсорбции торона тонким слоем

активированного древесного угля, охлажденного до -70°C , и последующего измерения α -активности адсорбированного торона и продуктов его распада. При таком значении S и фоновой скорости счета $\approx 0,2$ имп/мин чувствительность торонметра достаточна для измерения концентрации торона, которая соответствует содержанию радиотория в организме, близкому к естественному [8]. К сожалению, широкое использование такого прибора, особенно в производственных условиях, связано с большими трудностями из-за необходимости охлаждения и систематической специальной обработки угольных пластин для сохранения сорбционной способности.

В целях создания более удобного для практического использования торонметра при сохранении чувствительности на том же уровне была исследована возможность измерения содержания торона в проходящем воздушном потоке с помощью торонметра, конструкция которого изображена на рис. 1. Он состоит из герметичной металлической камеры цилиндрической формы, в торцах которой расположены детекторы α -частиц: сцинтилляционные экраны на основе $\text{ZnS}(\text{Ag})$ толщиной слоя 10 мг/см^2 , нанесенного на подложку из плексигласа. Экраны (площадь каждого составляет $\approx 200 \text{ см}^2$) просматриваются фотоумножителями ФЭУ-49. Увеличению эффективности регистрации торона способствует большая площадь детекторов α -частиц, а также наличие электрического собирающего поля, которое образуется между заземленными стенками камеры и отрицательно заряженными фотокатодами ФЭУ (часть атомов $\text{Th} - \text{A}$, образующихся в результате распада торона, является положительными ионами). Для улучшения сбора ионов посередине камеры параллельно торцам расположена металлическая сетка.

Коэффициент использования эманации для данного метода можно рассчитать по формуле

$$S = 2,22Q/\lambda_{\text{Th}}(1 - \exp(-V_k\lambda_{\text{Th}}/Q))(\bar{\eta}_{\text{Th}} + \bar{\eta}_{\text{ThA}}),$$

где V_k — объем камеры; $\bar{\eta}_{\text{Th}}$ и $\bar{\eta}_{\text{ThA}}$ — средние эффективности регистрации торона и ThA в камере; Q — скорость прокачки воздуха (л/мин); λ_{Th} — постоянная распада торона. Без электрического поля в объеме камеры можно считать, что $\bar{\eta}_{\text{Th}} = \bar{\eta}_{\text{ThA}}$. В этом случае расчетное значение при $V_k = 3 \text{ л}$ и $Q = 7 \text{ л/мин}$ составляет $S = 1,7 \text{ имп}\cdot\text{л}/(\text{пКи}\cdot\text{мин})$. Эта величина хорошо совпадает с экспериментальной, когда использовались экраны с заземленным токопроводящим слоем. При

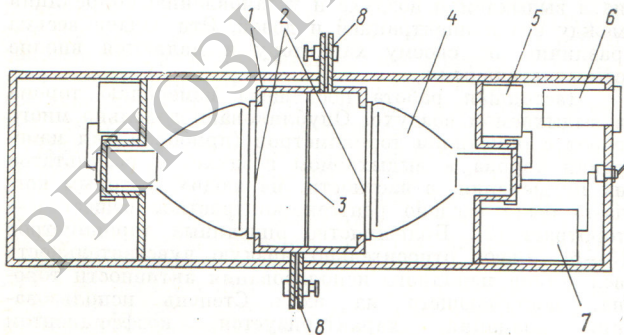


Рис. 1. Схема устройства торонметра:

1 — камера прибора; 2 — сцинтилляционные экраны; 3 — металлическая сетка; 4 — фотоумножители; 5 — блок регистрации; 6 — электромеханический счетчик; 7 — блок питания; 8 — вентили

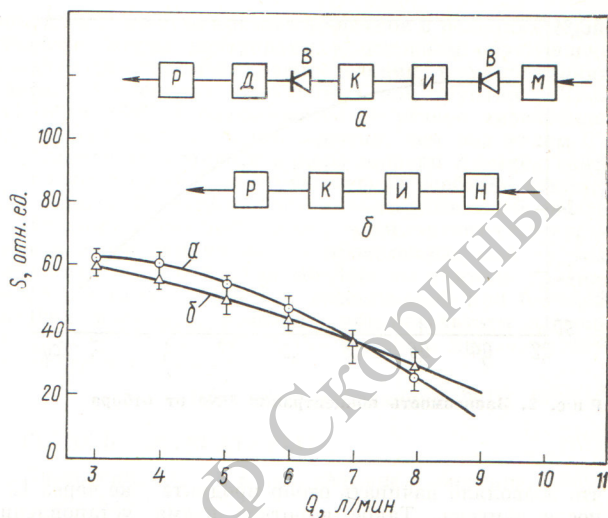


Рис. 2. Зависимость коэффициента использования эманации S от средней скорости прокачки Q при постоянном (Δ) и пульсирующем (\circ) (с частотой дыхания) потоке воздуха через камеру торонметра:

V — вентиль; P — реометр; M — маска; D — демпфер; K — камера торонметра; I — источник торона; H — насос

создании между этим слоем и корпусом камеры разности потенциалов 1000 В значение S возрастало до $S = 3,3 \text{ имп}\cdot\text{л}/(\text{пКи}\cdot\text{мин})$. Если принять, что для ThA , находящегося на поверхности сцинтиллятора, $\eta_{\text{ThA}} = 0,5$, то это соответствует доле положительно заряженных ионов $\text{ThA} \approx 60\%$. (По опубликованным данным работ [8—11] эта величина сильно зависит от газовой среды и колеблется в пределах от 17 до 90%.)

Поскольку в камере происходит собирание ионов ThA , казалось бы увеличение ее объема должно привести к возрастанию S , однако экспериментально установлено отсутствие этого эффекта, что, по-видимому, связано с возрастанием роли рекомбинации.

Источниками фоновой скорости счета $N_{\text{ф}}$, также определяющей чувствительность торонметра, могут быть электрические наводки и высокоамплитудные шумы ФЭУ; загрязненность внутренней поверхности камеры и сцинтилляторов α -активными веществами; радон и торон, проникающие в объем камеры из атмос-

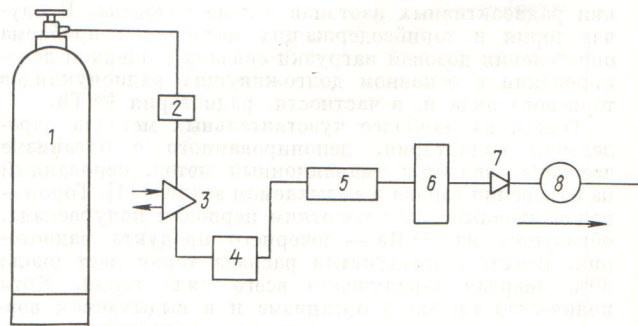


Рис. 3. Схема включения аспирационного оборудования:

1 — баллон со сжатым воздухом; 2 — редуктор давления; 3 — маска с клапанами; 4 — осушитель; 5 — камера эманометра; 6 — измеритель средней скорости потока; 7 — вентиль; 8 — насос

феры; радон, поступающий в прибор с выдыхаемым воздухом; космическое излучение. Для уменьшения влияния электрических наводок в описываемом приборе использовано автономное питание от аккумуляторов. Высокоамплитудные шумы ФЭУ подавляются с помощью электронной схемы разделения импульсов по форме. Это позволило установить порог регистрации импульсов, эквивалентный 80 экВ. Проникновение радона и торона из атмосферы исключено вследствие высокой герметичности камеры и всей аспирационной системы. В результате для камеры, продутой очищенным безрадоновым воздухом, $N_{\phi} \approx 8$ имп/ч. Для уменьшения фона, который обусловлен радоном, поступающим в прибор с выдыхаемым воздухом, контролируемый человек предварительно должен дышать очищенным безрадоновым воздухом в течение 20—30 мин [12]. Использование промежуточной емкости между человеком и измерительной камерой эманометра показало, что радон, остающийся в выдыхаемом воздухе при таких условиях, дает $N_{\phi} \approx 2$ имп/ч.

Таким образом, в описываемом торонометре при измерении выдыхаемого воздуха суммарная величина $N_{\phi} \approx 10$ имп/ч. Приняв среднюю величину коэффициента экскаляции торона из организма $\omega = 0,04$, $S = 3,3$ имп·л/(пКи·мин) = 200 имп·л/(пКи·ч) можно заключить, что данный прибор позволяет за 100 мин измерить ≈ 20 пКи радиотория в организме (что соответствует естественному содержанию радиотория) с погрешностью $\pm 25\%$.

Торонометр является частью аспирационной системы. Обычно в такой системе имеется демпфирующий объем для создания равномерного потока воздуха через рабочую камеру торонометра [4, 5, 8]. Между тем, теоретический анализ показывает, что если в процессе измерения $\lambda T \ll 1$ и $V_T \ll V_h$ (T — период одного дыхания; V_T — объем воздуха, поступающего в камеру за время T), то пульсирующее с частотой дыхания и равномерное прохождение воздуха через рабочую

камеру со средней скоростью эквивалентны. Для описываемого торонометра эти условия выполняются. Экспериментальная проверка, схема и результаты которой показаны на рис. 2, подтвердила справедливость такого вывода. На рис. 3 показана структурная схема аспирационной системы, отличающейся физиологическим комфортом и позволяющей проводить относительно длительные (до 60 мин) измерения.

Практическое использование описанного торонометра для обследования людей показало, что установка удобна в эксплуатации и пригодна для использования в производственных условиях.

Поступило в Редакцию 10/III 1977 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Recommendation of ICRP, 1968.
2. Stenstorm W. «Health Phys.», 1966, v. 12, N 1, p. 101.
3. Rundo J. «Phys. in med. biol.», 1958, v. 3, p. 101.
4. Jacobi W. In: Proc. Symp. IAEA «Assessment of Radioactivity in Man», Vienna, 1964, v. 2, p. 473.
5. Grillmair R. e.a. Ibid., p. 473.
6. Tai-Pow I. «Health Phys.», 1969, v. 16, p. 3.
7. Hursh I., Lovaas A. «Health Phys.», 1963, v. 9, p. 621.
8. Stahlhofen W., Kaul A. In: Proc. Symp. IAEA «Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials», Vienna, 1964, v. 2, p. 475.
9. Aub I. e.a. «Medicine». Patent, 1952, v. 31, p. 221.
10. Patent England N 967.293, 1964.
11. Горбушина Л. В., Тиминский В. Г., Спиридонов А. В. В сб.: Ядерно-геофизические, геохимические и изотопные методы в геологии. М., ВНИИЯГ, 1968, с. 228.
12. Хультквист Б. Ионизирующее излучение естественных источников. М., «Наука», 1959, с. 101.