

АКАДЕМИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУК УКРАИНЫ

НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

РАЗРЕШАЮ

на депонирование

Зам.директора по научной работе

\_\_\_\_\_ проф. Пятак О.А.

УДК 539.1.074.83

ГАСНТИ

“МЕТОДЫ ЖИДКОСТНО-СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СЧЕТА В  
РАДИОЭКОЛОГИИ”, 1995. ВЫП.1.

СБОРНИК

Ответственный за сборник \_\_\_\_\_ М.Г.Бузынный

Киев-1995

## СОДЕРЖАНИЕ

МЕТОД АБСОЛЮТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЧЕРНИХ ПРОДУКТОВ РАСПАДА РАДОНА В СОСТАВЕ АЭРОЗОЛЕЙ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ЖИДКОСТНО-СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СЧЕТА.	3
ЭКСПРЕССНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ $^{212}\text{Pb}$ В СОСТАВЕ АЭРОЗОЛЕЙ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ЖСС.	12
ЭКСПРЕССНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА-222 И РАДИЦ-226 В ВОДЕ НА ОСНОВЕ ЭКСТРАКЦИИ И ЖИДКОСТНО-СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СЧЕТА.	22
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $^{90}\text{Sr}$ ПО ДРЕВЕСИНЕ.	28
ЭКСПРЕСС МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ $^{14}\text{C}$ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС.	36
ТРИТИЙ В ОСАДКАХ НА УКРАИНЕ В 1990-1995 Г.Г.	39
ЛИТЕРАТУРА.	44

АКАДЕМИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУК  
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

Сборник “Методы жидкостно-сцинтилляционного счета в радиоэкологии”, 1995. Вип.1.

Деп. в ГНТБ Украины

*БУЗЫННИЙ М.Г., ЛОСЬ И.П.*

МЕТОД АБСОЛЮТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЧЕРНИХ ПРОДУКТОВ РАСПАДА  
РАДОНА В СОСТАВЕ АЭРОЗОЛЕЙ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ЖИДКОСТНО-  
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СЧЕТА.

РЕФЕРАТ.

Описан метод абсолютных измерений удельной активности дочерних продуктов распада (ДПР) радона в воздухе путем измерения активности, осажденной на аэрозольном фильтре на основе жидкостно-сцинтилляционного счета (ЖСС). За основу взят модифицированный метод Tsivoglou [1], рекомендуемый NCRP [2]. Установлены корреляционные связи для  $\beta$ -  $\alpha$ + $\beta$ -счета по отношению к  $\alpha$ -счету для ЖСС метода, что дает возможность помимо  $\alpha$ -счета применять,  $\beta$ -,  $\alpha$ + $\beta$ -счет. В случае  $\beta$ -,  $\alpha$ + $\beta$ -счета проводится коррекция полученных отсчетов (перекалибровка), что соответствует переходу к  $\alpha$ -счету и последующий расчет ДПР согласно Рекомендациям NCRP.

Установлена возможность реализации предложенного метода для калибровки простых измерителей ДПР радона на примере  $\beta$ -радиометра фирмы Vicron в составе: Labtech +  $\beta$ -детектор (TRGM - 750В, E=45% для  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ). Высокая точность метода позволяет использовать его для калибровки портативных приборов для мониторинга ДПР и эффективной равновесной концентрации (ЭРК) радона.

Проведенные исследования позволили получить следующие значения для стандартных отклонений для величин ДПР радона и ЭРК для предлагаемых методов по отношению к методу  $\alpha$ -счета:  $\beta$ -счет  $^{218}\text{Po}$  - 17.38%,  $^{214}\text{Pb}$  - 4.68%,  $^{214}\text{Bi}$  - 13.9%, ЭРК - 3.0%;  $\alpha$ + $\beta$ -счет соответственно - 9.8%, 2.6%, 7.9%, 1.64%, и для калибровки полевых приборов для массовых измерений на основе  $\beta$ -счета - 22.99%, 26.47%, 29.35%, 22.71%.

ВВЕДЕНИЕ.

Облучение населения за счет радионуклидов естественного происхождения вызвано прежде всего короткоживущими дочерними продуктами распада (ДПР)  $^{222}\text{Rn}$ , которыми являются  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$  - соответственно А, В, С, и С' компоненты. В проблеме

дозиметрии радона существенно влияние нарушения равновесия ДПР, что вынуждает использовать для количественных оценок эффективную эквивалентную равновесную концентрацию (ЭРК) радона, которая дает возможность рассматривать дозы независимо от произвольного соотношения компонент ДПР. Взаимная обусловленность ДПР радона и относительно невысокие их уровни содержания требуют применения высокочувствительных активных методов измерений. Это определяет то, что в основе практически всех методов определения ДПР радона, лежит осаждение ДПР на фильтр с последующим многократным измерением активности, осажденной на фильтре.

Одной из проблем в измерениях ДПР радона является калибровка приборов для полевых исследований. Отсутствие стандартной атмосферы для ДПР радона требует сравнения показаний калибруемого прибора с результатами, полученными на приборах с известной эффективностью и большей точностью. Многочисленные разработки и исследования, касающиеся измерений ДПР радона обычно используют  $\alpha$ -детекторы, которые имеют существенно лучшие характеристики (по сравнению с  $\beta$ - детекторами) - стабильность и собственный фон.

Абсолютный метод жидкостно-сцинтилляционного суммарного  $\alpha+\beta$ -счета (ЖСС) предложил Chalupnik [3] в качестве метода для калибровки приборов по измерению ДПР радона, используя ЖСС  $\beta$ -счетчик. При этом оставалась нерешенной проблема калибровки самого прибора. Современные ЖСС приборы дают возможность получать отдельно спектры  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения, а следовательно позволяют реализовать как метод Tsivoglou [1] в чистом виде для  $\alpha$ -счета, так и рассмотреть его варианты для  $\beta$ - и  $\alpha+\beta$ -счета.

Разработка абсолютного метода измерения ДПР радона методами современного жидкостно-сцинтилляционного  $\alpha+\beta$ -счета явилась задачей проведенных исследований. Возможность использования и калибровка приборов для рутинных измерений ДПР радона рассматривалась на примере наиболее грубого -  $\beta$ -радиометра. Исследования сопровождались почасовыми измерениями концентрации радона в воздухе.

#### МЕТОДЫ.

Отбор проб. Для отбора проб аэрозолей воздуха применен высокопроизводительный пробоотборник типа TF1A-2 фирмы Staplex® в составе с держателем фильтров диаметром 10 см [4] в сочетании с аэрозольными бумажными фильтрами (Whatman 41). Использованы круглые фильтры диаметром 10 см. Отбор проб при отработке метода проводился в подвальном помещении. За время отбора проб концентрация радона колебалась в интервале от 100 до 600 Бк·м<sup>-3</sup>. При этом пробоотборник позволял

реализовать скорость отбора пробы воздуха 15 куб. футов за минуту т.е. 75 куб. футов (~2.01 м<sup>3</sup>).

Методы регистрации излучения.

Жидкостно-сцинтилляционный счет (ЖСС). Мы применяли низкофоновый жидкостно-сцинтилляционный спектрометр Quantulus 1220™ фирмы Wallac и 20 мл тефлоновые виалы стандартного образца, что позволило получить хорошее энергетическое разрешение спектров, а также отдельное рассмотрение  $\alpha$ - и  $\beta$ -спектров при измерении ДПР радона. Для подготовки каждой счетной пробы был использован жидкий сцинтиллятор на основе диоксана (ЖС-8<sup>∇</sup>). Запыленность воздуха обследуемого помещения и гасящее действие материала фильтра определили наиболее целесообразное использование сегмента в 1/4 фильтра, что в режиме прокачки 15 куб. футов в минуту в течении 5 минут давало возможность отбирать 0.503 м<sup>3</sup> воздуха. Использован прибор с конфигурацией с открытым окном обеспечивающим практически 100% эффективность при регистрации  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения.

В-счет. В качестве простого измерительного прибора, предполагаемого для рутинных измерений ДПР, мы рассматриваем  $\beta$ -радиометр фирмы Vicron в составе: Labtech +  $\beta$ -детектор (TPGM, 750В, E=45% для <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y). Счетные характеристики приведены на рисунке 1. Регистрация излучения велась с сегмента в 3/4 фильтра; регистрируемый активный участок фильтра коллимировался детектором.

Измерения. Метод Tsivoglou [1] предполагает выполнение следующего технологического сценария: отбор пробы воздуха - 5 минут, пауза - 1 минута; I-е измерение - 4 минуты; II-е измерение - 15 минут; III-е измерение - 10 минут. Для расчетов используются количества отсчетов, полученных за соответствующие измерительные интервалы. Параллельные измерения на различных приборах проводились по частям одних и тех-же фильтров, что позволило исключить из рассмотрения неопределенность, связанную с определением объема прокачанного воздуха.

---

<sup>∇</sup> Жидкий сцинтиллятор на основе диоксана, производства ПО “Монокристаллреактив”, Харьков, Украина.

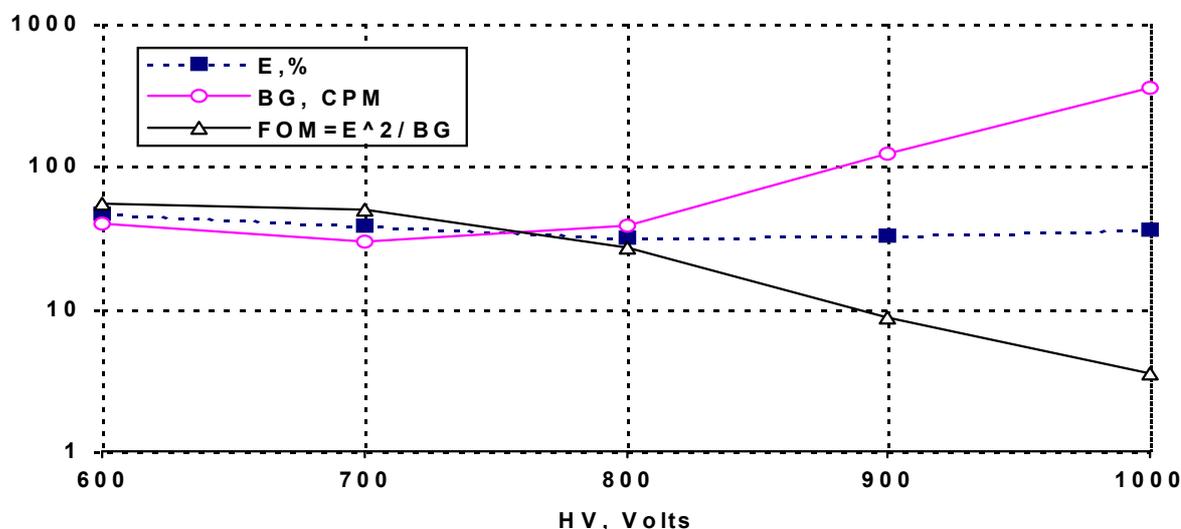


Рисунок 1. Счетные характеристики  $\beta$ -радиометра: E (%) - эффективность регистрации; BG(CPM) собственный фон, отсчеты за минуту; FOM( $E^2/BG$ ) - обобщенный показатель качества измерений.

Расчет удельных активностей ДПР радона. Рекомендуемый NCRP [2] модифицированный метод Tsivoglou [1] дает следующее выражение для расчета ДПР радона (Thomas, 1972).

$$^{218}\text{Po} \text{ (Бк}\cdot\text{м}^{-3}\text{)} = 37 \cdot [0.1689 \cdot C_1 - 0.0820 \cdot C_2 + 0.0775 \cdot C_3 - 0.0562 \cdot R_b] / (V \cdot E)$$

$$^{214}\text{Pb} \text{ (Бк}\cdot\text{м}^{-3}\text{)} = 37 \cdot [0.0012 \cdot C_1 - 0.0206 \cdot C_2 + 0.0491 \cdot C_3 - 0.1571 \cdot R_b] / (V \cdot E) \quad (1)$$

$$^{214}\text{Bi} \text{ (Бк}\cdot\text{м}^{-3}\text{)} = 37 \cdot [-0.0225 \cdot C_1 + 0.0332 \cdot C_2 - 0.0377 \cdot C_3 - 0.058 \cdot R_b] / (V \cdot E)$$

где,

- $C_1$  = количество отсчетов за I интервал 2-5 минут;
- $C_2$  = количество отсчетов за II интервал 6-20 минут;
- $C_3$  = количество отсчетов за III интервал 21-30 минут;
- $R_b$  = скорость счета фона, импульсы за минуту
- $V$  = объем прокачки воздуха;
- $E$  = эффективность регистрации излучения.

Выражение для ошибки вычисления при незначительной (1-3%) погрешности определения  $V$  и  $E$  принимает вид:

$$S(^{218}\text{Po}) = 3.7 \cdot [2.854 \cdot C_1 - 0.672 \cdot C_2 + 0.601 \cdot C_3 - 0.31 \cdot R_b] / (V \cdot E)$$

$$S(^{214}\text{Pb}) = 3.7 \cdot [0.00014 \cdot C_1 - 0.042 \cdot C_2 + 0.241 \cdot C_3 - 2.5 \cdot R_b] / (V \cdot E) \quad (2)$$

$$S(^{214}\text{Bi}) = 3.7 \cdot [-0.051 \cdot C_1 + 0.110 \cdot C_2 - 0.142 \cdot C_3 - 0.34 \cdot R_b] / (V \cdot E)$$

Эффективная эквивалентная равновесная концентрация радона при этом выражается:

$$\text{ЭРК (Бк}\cdot\text{м}^{-3}\text{)} = 0.105 \cdot ^{218}\text{Po} + 0.516 \cdot ^{214}\text{Pb} + 0.379 \cdot ^{214}\text{Bi} \quad (3)$$

где,

$^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$  определяются согласно (1).

Измерения концентрации радона. Исследования сопровождались почасовыми измерениями концентрации радона в воздухе. Для измерений использован измеритель радона Alphaquard фирмы Genitron instruments Gmb. Совместное рассмотрение полученных результатов по концентрациям радона, его ДПР и ЭРК предполагается для выявления корреляционных связей и определения коэффициента равновесия.

## РЕЗУЛЬТАТЫ.

Проведен отбор проб аэрозолей воздуха с последующим измерением количества отсчетов по временным интервалам в соответствии с методом Tsivoglou. Технологический сценарий метода Tsivoglou (прокачка 5 минут и пауза 1 минута) побудил реализовать в качестве полигона подвальное помещение лаборатории, позволяющее использовать стационарное низкофоновое оборудование. Рассмотрены корреляционные связи для количества отсчетов, полученных для случаев  $\beta$ -счета и  $\alpha+\beta$ -счета по отношению к  $\alpha$ -счету. Коэффициент корреляции для интервалов равен 0.99. Полученные средние значения и величины стандартного отклонения для соотношений сведены в Таблицу 1. Аналогичные измерения проведены на приборе для полевых исследований (Bicron, Labtech+ $\beta$ -детектор, TPGM), а данные усреднения сведены в Таблицу 1.

Как видно из таблицы СКО для отношений относительно невелико (менее 5.0%), что дает возможность использовать их для перекалибровки анализируемых методов измерений ( $\beta$ - и  $\alpha+\beta$ -счета ЖСС). Для метода суммарного  $\beta$ -счета на радиометре Bicron СКО <20%, что представляется вполне приемлемым для рутинных измерений ДПР.

Таблица 1.

Эмпирические значения для соотношения количества отсчетов, среднее квадратическое отклонение (СКО) по временным интервалам: I, II, III, полученных для различных модификаций метода Tsivoglou по отношению к методу с применением  $\alpha$ -счета.

Интервал/ /Метод		К			СКО			%			N
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	
Beta	1	1.25	1.37	1.30	0.063	0.054	0.050	5.0	3.9	3.9	53
Sum	2	2.25	2.37	2.30	0.063	0.054	0.050	2.8	2.3	2.2	53
Bicron B	3	0.60	0.66	0.63	0.101	0.117	0.126	16.7	17.7	20.0	36

Примечание:

К соотношение количества отсчетов

СКО	среднее квадратическое отклонение для интервала (I, II, III);
%	выражение СКО в процентах;
$\alpha$ -счет	метод суммарного $\alpha$ -счета на Quantulus 1220™ 1/4 фильтра;
Beta	метод суммарного $\beta$ -счета на Quantulus 1220™ 1/4 фильтра;
Sum	метод суммарного $\alpha+\beta$ -счета на Quantulus 1220™ 1/4 фильтра;
Bicron B	метод суммарного $\beta$ -счета на радиометре Bicron (Labtech™+TPGM) 3/4 фильтра;
N	количество проб.

Для практической оценки возможности использования полученных соотношений проводим перекалибровку для каждого интервала, для каждого метода и для каждого из измеренных фильтров.

$$C',(i,j,n) = \text{Ошибка!} \quad (4)$$

$i=I, II, III$ , (интервалы);

$j=1, 2, 3$  (методы);

$n=1...N$ , (фильтры,  $N=53, 53, 36$ ).

Использование эмпирических значений коэффициентов  $K$  в формуле 4 позволило произвести перекалибровку, а затем определить значения удельных активностей ДПР радона:  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  и ЭРК радона по формулам 1 и 3. Сравнение значений удельных активностей ДПР радона и ЭРК радона, полученных для предлагаемых методов с таковыми для метода  $\alpha$ -счета ЖСС (метод Tsivoglou) приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Сравнение значений ЭРК радона (усредненные данные, метод Tsivoglou) для различных вариантов измерения проб по отношению к  $\alpha$ -счету. Расчет по модифицированному методу, рекомендуемому NCRP (Thomas, 1972) [5].

Метод	Среднее соотношение				Стандартное отклонение, %				N
	A	B	C	ЭРК	A%	B%	C%	ЭРК%	
$\alpha+\beta$ -ЖСС	1.01	1.00	1.01	1.00	9.83	2.56	7.93	1.64	53
$\beta$ -ЖСС	1.02	1.00	1.02	1.00	17.38	4.68	13.36	2.99	53
$\beta$ -счет (Bicron)	1.02	1.03	0.92	1.00	22.99	26.47	29.35	22.71	36

Примечание:

A,B,C - ДПР  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  - соответственно компоненты A, B, и C;

N - количество проб.

По данным таблицы видно, что применение описанной процедуры перекалибровки для ЖСС методов обеспечивает расхождение в среднем не выше 1% (СКО < 9.9%) для  $\alpha+\beta$ -счета и менее 2% (СКО < 17.4%) для  $\beta$ -счета. Перекалибровка полевого прибора на основе  $\beta$ -счета (Vicron) в среднем дает расхождение, которое не превышает 8.0% (СКО < 29.4%). Сравнение соотношений, полученных для ЭРК радона показывает, что для всех предлагаемых методов ЭРК в среднем неотличимо от ЭРК для метода на основе  $\alpha$ -счета ЖСС (метод Tsivoglou). СКО для ЭРК по ЖСС методам указывает на их прецизионную калибровку (1.64% и 2.99%). СКО для метода рекомендуемого для полевых исследований не превышает требования точности, предъявляемого для подобных исследований (25-30%).

Кроме этого следует отметить особенность, полученную для зависимости ЭРК  $^{222}\text{Rn}$  от концентрации  $^{214}\text{Pb}$  (RaB), (см. рисунок 2). Как видно по всей выборке, эти величины практически равны. Были рассмотрены зависимости ЭРК  $^{222}\text{Rn}$  от концентрации  $^{222}\text{Rn}$  для всех методов. На рисунке 3 представлены эти зависимости для метода  $\alpha$ -счета. Аппроксимационная прямая проведена для найденного усредненного коэффициента равновесия  $f=0.18\pm 0.03$ .

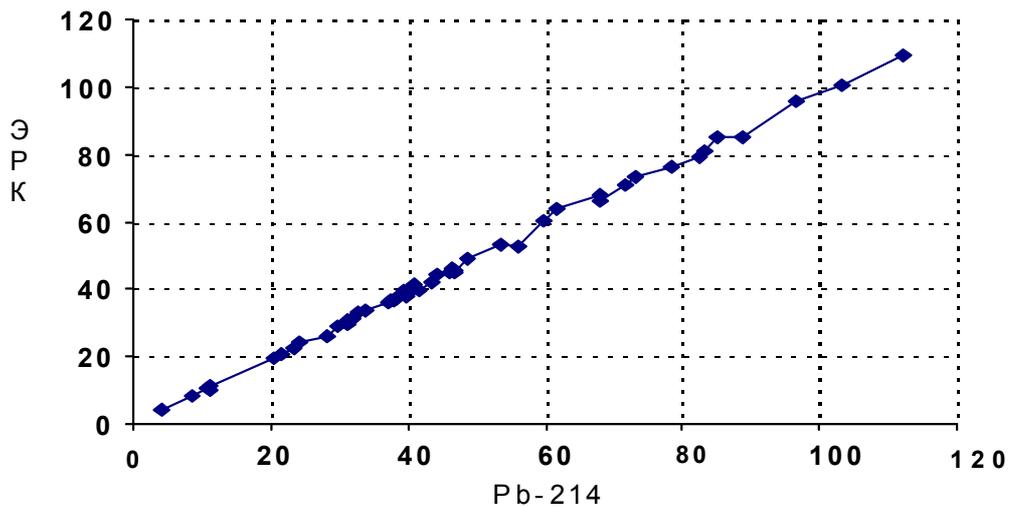


Рисунок 2. Зависимость ЭРК радона (Бк·м<sup>-3</sup>) от  $^{214}\text{Pb}$  (Бк·м<sup>-3</sup>).

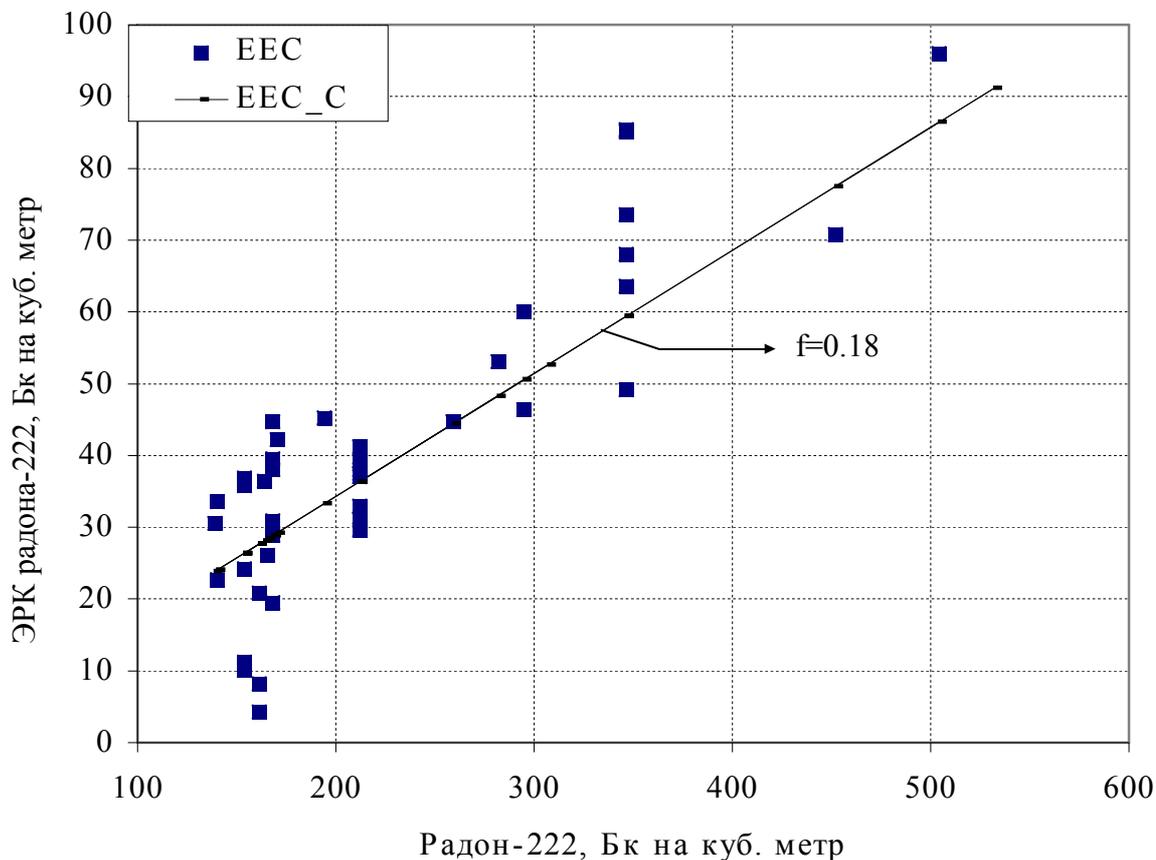


Рисунок 3. Зависимость ЭРК  $^{222}\text{Rn}$  от концентрации  $^{222}\text{Rn}$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Совместные измерения аэрозольных фильтров различными методами дают возможность разделить проведение фрагментов калибровки приборов, предназначенных для измерения ДПР радона (объем прокачки воздуха и измерение удельной активности).

Корреляционные связи, полученные по результатам измерения активности фильтров различными методами дают возможность делать взаимные перекалибровки, а кроме того использовать методы ЖСС  $\beta$ - и  $\alpha+\beta$ -счета в качестве модифицированного метода Tsivoglou для расчета удельных активностей ДПР радона и последующего расчета ЭРК радона. Что касается  $\beta$ -счета, реализованного на портативном оборудовании, то требуемая точность для рутинных измерений 25-30% на нем легко достижима.

Таким образом получена возможность калибровать приборы для измерения ДПР радона на основе  $\beta$ -счета. Результаты имеют практическое значение в особенности, если для отбора проб воздуха использовать высокопроизводительные пробоотборники. Для

приборов на основе  $\alpha$ -счета калибровка может быть проведена аналогичным образом, хотя в этом случае задача сводится только к определению эффективности регистрации и собственного фона  $\alpha$ -детектора.

АКАДЕМИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУК  
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

Сборник “Методы жидкостно-сцинтилляционного счета в радиоэкологии”, 1995. Вип.1.

Деп. в ГНТБ Украины

*БУЗЫННИЙ М.Г., ЛОСЬ И.П.*

ЭКСПРЕССНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ  $^{212}\text{Pb}$  В СОСТАВЕ АЭРОЗОЛЕЙ ВОЗДУХА  
НА ОСНОВЕ ЖСС.

РЕФЕРАТ.

Разработан экспрессный метод определения содержания  $^{212}\text{Pb}$  в воздухе жилых помещений на основе низкофонового жидкостно-сцинтилляционного счета. Применение фильтров на основе ткани Петрянова или бумажных фильтров совместно с высокопроизводительными пробоотборниками позволяет за время до 10 минут отобрать для последующего анализа пробу воздуха объемом до  $15 \text{ м}^3$ . Реализовать мониторинг  $^{212}\text{Pb}$  на обширной территории на основе стационарного оборудования позволяет использование принципа разделения во времени процессов отбора и измерения проб, что дает возможность проводить измерения проб через интервалы времени вплоть до 40 часов с момента отбора. Чувствительность метода составляет  $0.01-0.025 \text{ Бк м}^3$ , что соответствует рабочему уровню  $3.6 \cdot 10^{-5} - 9.1 \cdot 10^{-5}$ .

ВВЕДЕНИЕ.

Торон ( $^{220}\text{Rn}$ ), второй по радиологической важности изотоп радона имеет короткий период полураспада ( $T_{1/2}=54.0$  секунд). Это обуславливает крайнюю неравномерность его распределения в пределах помещения [6], затрудняет развитие методов его измерений и ставит под сомнение возможность оценки радиационного воздействия семейства торона по концентрации торона в воздухе жилых помещений.

$^{212}\text{Pb}$ , как наиболее долгоживущий среди дочерних продуктов распада (ДПР) торона ( $T_{1/2}=10.6$  часов), представляет собой наиболее важную дозообразующую компоненту ДПР торона. Именно уровень содержания  $^{212}\text{Pb}$  в составе аэрозолей воздуха определяет степень радиационной опасности связанной с семейством торона (92%, остальные 8% -  $^{212}\text{Bi}$ ). Относительно невысокие уровни содержания  $^{212}\text{Pb}$  в составе аэрозолей воздуха (доли-единицы  $\text{Бк м}^{-3}$ ) предполагают использование активных методов исследований (применение прокачки воздуха через фильтр). Жидкостно-сцинтилляционный метод

основан на применении аэрозольных высокоэффективных синтетических фильтров (ткань Петрянова<sup>1</sup>). Материал фильтра растворимый в растворителях (диоксан, толуол или бензол) позволяет применять для исследований экспрессную подготовку проб. Регистрация излучения может выполняться в составе жидкого сцинтиллятора методами жидкостно-сцинтилляционного счета (ЖСС) или методом Черенковского счета в названных растворителях. Применение бумажных фильтров дает несколько худшие характеристики и требует проведение всего комплекса методических и калибровочных работ.

Применение жидкостно-сцинтилляционного  $\alpha/\beta$  спектрометра для поставленной задачи, а кроме того существенное преобладание уровня активности ДПР радона по отношению к ДПР торона, накладывает необходимое условие проводить измерения фильтра после распада накопленных на нем ДПР радона (через 5 часов с момента отбора аэрозолей воздуха). Такие условия мешают определять  $^{212}\text{Bi}$ , что, на самом деле, не имеет существенного значения, поскольку предположение равновесия в цепи  $^{212}\text{Pb} - ^{212}\text{Bi}$  дает неопределенность при определении ЭРК торона не более 5%.

#### МЕТОДЫ.

Отбор проб. Для отбора проб аэрозолей воздуха применен высокопроизводительный пробоотборник типа TF1A-2 Staplex® в составе с 10-см держателем для фильтров [4]) идентичный описанному (К.Б.Брэстрап и Г.О.Уикофф, 1962) [7] в сочетании с аэрозольным фильтром на основе ткани Петрянова или бумажными фильтрами (Whatman 41). Использованы круглые фильтры диаметром 10 см. Отбор проб проводился в жилых помещениях в течении 2, 5 и 10 минут.

Цикл предварительных исследований проведен для фильтров на основе ткани Петрянова. Установлено, что в зависимости от толщины применяемого фильтра в 1, 2 и 3 слоя пробоотборник позволяет реализовать скорость отбора проб воздуха 50, 30 и 20 куб. футов в минуту, т.е. от 40 до 500 куб. футов ( $1.13-14.2 \text{ м}^3$ ) за указанное время отбора. Для подготовки каждой счетной пробы использовано 20 мл ЖС на основе диоксана (ЖС-8<sup>∇</sup>). При большой массе фильтра и относительно высокой запыленности воздуха обследуемых помещений наиболее целесообразно использовать сегмент в 1/4 фильтра в режиме прокачки 30 куб. футов в минуту в течении 10 минут, что дает возможность определять удельную активность  $2.12 \text{ м}^3$  воздуха. Указанный образец сохраняет свои

---

<sup>1</sup> Ткань Петрянова.

<sup>∇</sup> Жидкий сцинтиллятор на основе диоксана, производства ПО "Монокристаллреактив", Харьков, Украина.

свойства в течении не менее 7 дней без заметных изменений, что позволяет провести весь цикл его измерений.

Для определения влияния высокоскоростного режима отбора проб проведены измерения относительного распределения активности между слоями многослойного фильтра: 2, 3, 5 слоев. По нашим данным два первых слоя фильтра задерживают 80-85% активности аэрозолей. Это справедливо как для ДПР радона, так и для ДПР торона и не расходится с данными, приведенными в справочной литературе [8], где указано, что эффективность фильтров на основе ткани Петрянова при использовании скорости прокачки свыше  $0.001 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$  составляет 80-90%. В дальнейшем, при натуральных испытаниях метода мы использовали 2х-слойный фильтр и определенный для него коэффициент фильтрации.

На второй стадии исследований проведено испытание круглого бумажного фильтра диаметром 10 см. Для него использование указанного типа пробоотборника позволяет развивать скорость прокачки воздуха в интервале 15-20 куб. футов в минуту, а для достижения приемлемой чувствительности целесообразно использовать 5-10 минут для прокачки воздуха. Как и для случая ткани Петрянова для счетной пробы использована четверть фильтра. Многократные повторяемые измерения показали, что хорошая смачиваемость материала фильтра позволяет получить образцы, которые не отличаются по эффективности счета от образцов на основе ткани Петрянова. Это касается как ЖС измерения, так и измерения на основе Черенковского счета. Поэтому в качестве фильтра может быть использован бумажный фильтр, который становится прозрачным после его пропитки органическим растворителем (См. Рисунок 1). Хорошая воспроизводимость проб достигается растворением материала фильтра (ткань Петрянова) и воспроизведением геометрии измерения “конус” для сегмента бумажного фильтра.

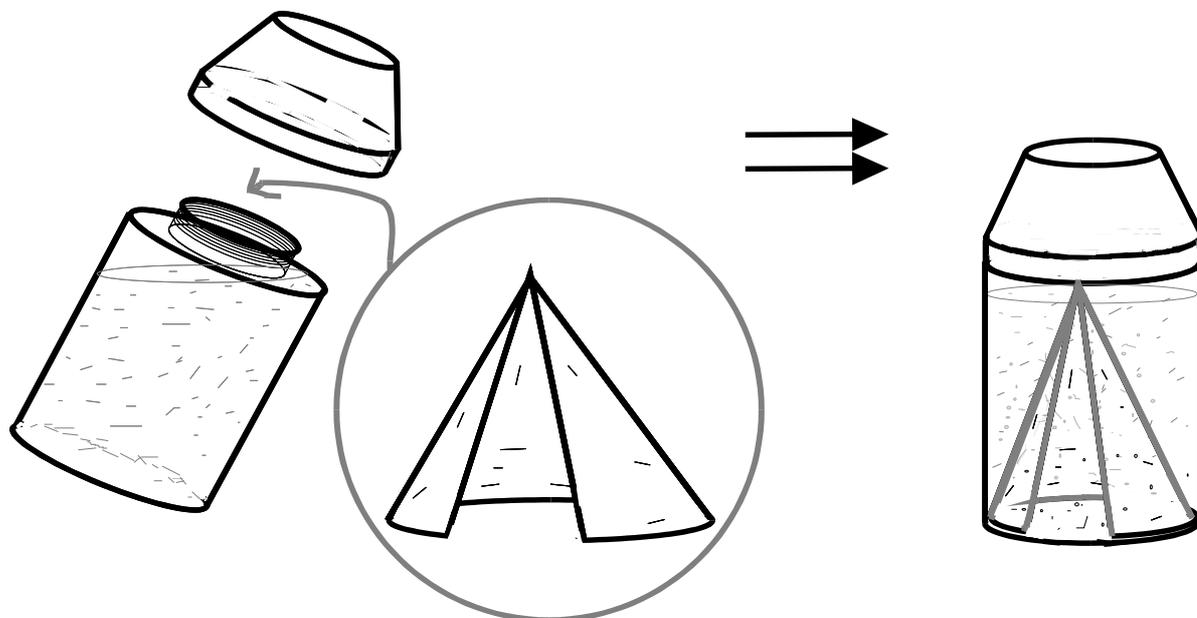


Рисунок 1. Схема помещения сегмента фильтра в измерительную виалу.

*Методы регистрации излучения.*

Мы применяли низкофоновый ЖС спектрометр Quantulus 1220™ фирмы Wallac и 20 мл тефлоновые виалы стандартного образца, что позволило получить хорошее энергетическое разрешение спектров при измерении ДПР радона и ДПР торона (См. Рисунок 2, часть 1 и 2). Разделение  $\alpha/\beta$  спектров обеспечивалось выбором параметра схемы анализатора длительности импульса (PSA) уровнем 85.

Как видно из рисунка 2, часть 2 в  $\alpha$ -спектре прибор регистрирует только излучение  $^{212}\text{Bi}$  (36%). Излучение  $^{212}\text{Po}$  ( $T_{1/2}=304$  нс), следующего за  $\beta$ -распадом  $^{212}\text{Bi}$ , для спектрометра происходит практически одновременно с  $\beta$ -излучением  $^{212}\text{Bi}$  (время интегрирования схемы PSA около 1 мкс), что приводит к тому, что большая часть распадов  $^{212}\text{Po}$  не регистрируется (Kaiholä, 1995) [9]. Второй пик, наблюдаемый в  $\alpha$ -спектре образуется очевидно за счет попадания в  $\alpha$ -спектр высокоэнергетического  $\beta$ -излучения (См. рисунок 2, часть 2).

Особенности изменения скорости счета фильтров. Мы отбирали от одной до 10 проб аэрозолей воздуха в подвале в течении дня и провели циклические измерения проб, подготовленных по описанному методу начиная с 1-2 минут и до истечения нескольких десятков часов с момента отбора проб. Рисунок 3 представляет подробный ход изменения скорости счета одной из проб за время наблюдения.

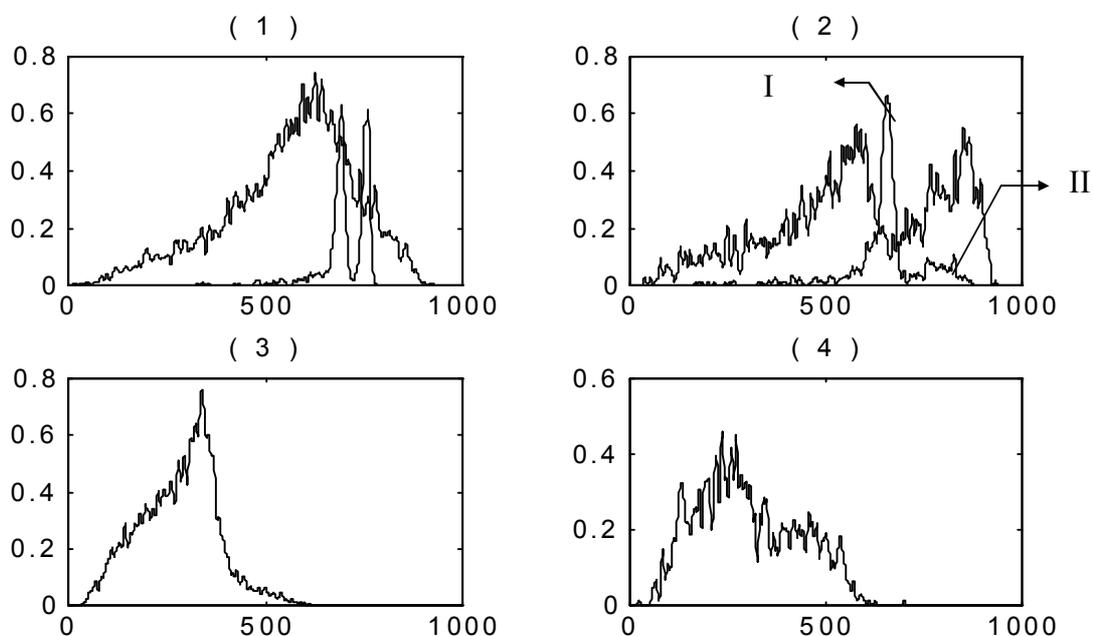


Рисунок 2. Нормированные ЖСС спектры  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения ДПР радона (1); ДПР торона - (2) и соответствующие нормированные спектры Черенковского излучения (3) и (4). По вертикали - отн. единицы; По горизонтали - номера каналов.

Как видно из рисунка 3, начиная с 5 часов с момента отбора пробы аэрозолей, скорости счета для  $\alpha$  и  $\beta$ -излучения зависят только от содержания  $^{212}\text{Pb}$  на фильтре. При дальнейших измерениях проб (далее 40-45 часов с момента отбора пробы) установлено, что закономерность изменения скорости счета нарушается. Начинает проявляться компонента ( $T_{1/2}=3.8$  суток), что соответствует радону, который, по-видимому, мы вносим в виалу с тканью. Наступление момента влияния радона-222 индивидуально для условий отбора проб и зависит как от величины, так и от соотношения удельных активностей компонент  $^{212}\text{Pb}$  и  $^{222}\text{Rn}$  в месте отбора пробы; для всех рассмотренных проб (более 200) он наступал не ранее чем через 40 часов с момента отбора пробы.

Таким образом в основе метода определения  $^{212}\text{Pb}$  на основе ЖСС заложен принцип, который заключается в том, что регистрация излучения пробы проводится в интервале времени от 5 до 40 часов с момента отбора пробы -т.е. в то время, когда скорость счета пробы определяется только  $^{212}\text{Pb}$ . Проводить измерения после 40 часов с момента отбора пробы аэрозолей нецелесообразно, поскольку нам не известна заранее удельная доля примесей, т.е. не известно соотношение  $^{212}\text{Pb}$  и  $^{222}\text{Rn}$ .

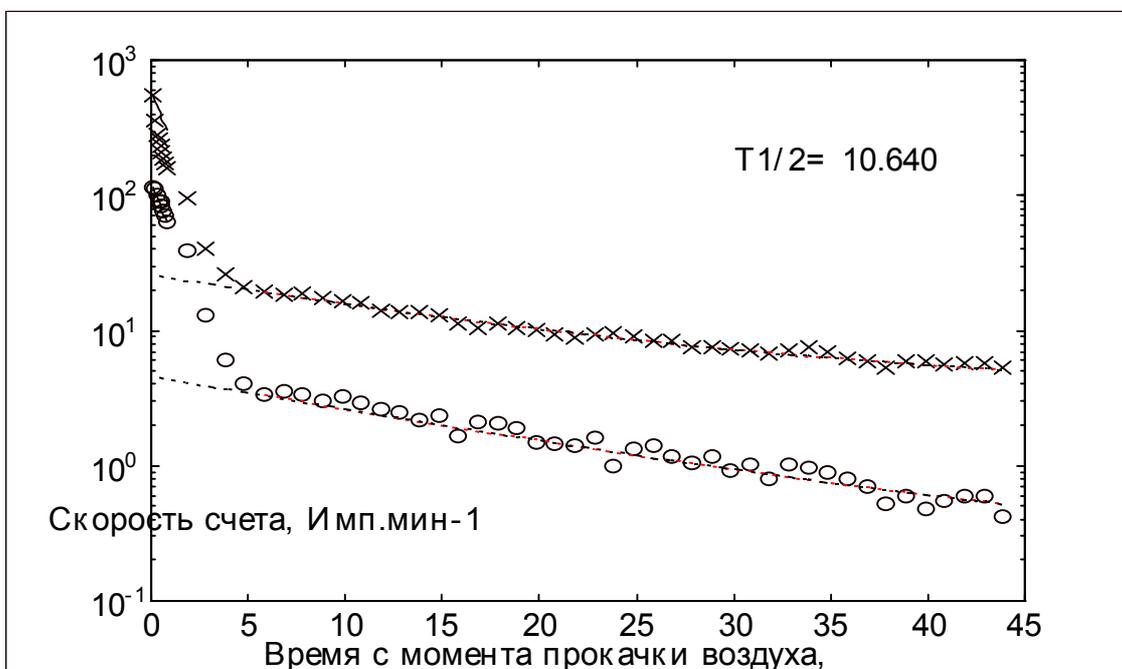


Рисунок 3. Зависимость скорости счета (Имп·мин<sup>-1</sup>) регистрации ДПР радона и торона от времени (часы) с момента прокачки пробы воздуха (Скорость счета приведена с учетом фона). Верхняя зависимость -  $\beta$ -излучение, нижняя зависимость -  $\alpha$ -излучение.

*Расчет удельной активности <sup>212</sup>Pb.*

Для расчета удельной активности <sup>212</sup>Pb нами проанализированы три варианта ЖСС:  $\alpha$ -спектрометрия <sup>212</sup>Pb (эффективность около 36%), измерение суммарного  $\beta$ -спектра (эффективность до 200%), суммарный  $\alpha+\beta$  спектр (эффективность до 236%). При регистрации  $\beta$ -спектров необходимо учитывать гашение образцов. Кроме того фон для  $\beta$ -излучения существенно выше фона для  $\alpha$ -излучения. В качестве альтернативы может быть использован вариант Черенковского счета. При этом для подготовки проб используется растворитель: толуол, бензол и др. Калибровки, анализ результатов и расчет активности проб выполняются традиционно. Счетные характеристики для всех предложенных вариантов измерений приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Счетные характеристики для различных вариантов измерения <sup>212</sup>Pb

Тип виалы	Тефлоновая			Пластиковая		
	Отн. эфф., (E)	Фон, (B)	FOM (E <sup>2</sup> /B)	Отн. эфф., (E)	Фон, (B)	FOM (E <sup>2</sup> /B)
<b>Ткань Петрянова</b>						
$\alpha$ -спектрометрия <sup>212</sup> Pb	36%	0.1	12960	36 %	1.0	1296
суммарный $\beta$ -спектр	169 %	3.5	8160	170 %	4.38	6598
суммарный $\alpha+\beta$ спектр	205 %	3.9	10775	206 %	5.80	7316

Черенковский счет	72 %	1.0	5184	72.5 %	2.57	2045
<b>Бумажный фильтр</b>						
$\alpha$ -спектрометрия $^{212}\text{Bi}$	36%	0.3	4320	35 %	0.9	1361
суммарный $\beta$ -спектр	169 %	11.40	2505	167 %	12.2	2285
суммарный $\alpha+\beta$ спектр	205 %	11.70	3591	202 %	14.0	2914
Черенковский счет	72 %	11.00	471	69 %	6.55	732

*Примечание:* Приведенные значения относительной эффективности (E), определены на основе абсолютной регистрации  $\alpha$ -спектра  $^{212}\text{Bi}$  ( $\kappa=36\%$ ).

Как видно по приведенным в Таблице 1 параметрам представляется возможным наиболее эффективно вести регистрацию активности  $^{212}\text{Pb}$  по  $\alpha$ -спектру  $^{212}\text{Bi}$ . Обобщенный параметр качества - Figure of merit (FOM) =12960 для ткани Петрянова и FOM=4320 для бумажного фильтра.

Собственно расчет активности  $^{212}\text{Pb}$  включает расчет активности на момент измерения и коррекцию к моменту отбора пробы.

Расчет уровня активности  $^{212}\text{Pb}$  на момент  $i$ -го измерения проводится по формуле:

$$A_i = \text{Ошибка!} \quad (1)$$

где,

$A_i$  - определяемая удельная активность  $^{212}\text{Pb}$  в воздухе;

CPM - скорость счета пробы (имп. за минуту);

B - скорость счета фона (имп. за минуту);

Eff - эффективность регистрации излучения пробы, зависит от используемого метода регистрации излучения ДПР торона:

$K_{\phi}$  - коэффициент фильтрации фильтра (для ткани Петрянова 0.8-0.85); 97.6-98% для фильтра Whatman N 41 (Fitzgerald and Detwiler, 1954 [9]);

K - квантовый выход регистрируемого излучения.

Грубый расчет уровня активности  $^{212}\text{Pb}$  на момент прокачки воздуха по результату одиночного измерения:

$$A_{уд} = A(i) \cdot \exp(0.693 \cdot T_i / T_{1/2}) \quad (2)$$

$T_i$  - суммарное время с момента окончания прокачки воздуха и до момента первого измерения, часы (больше 5 часов);

$T_{1/2}$  - период полураспада  $^{212}\text{Pb}$  (10.6 часов).

Точный расчет уровня активности ДПР торона проводится по результату нескольких одиночных измерений используя метод наименьших квадратов (МНК). Для случая двухкратного измерения проводится линейная аппроксимация для логарифмов величин:

$$A_{уд} = \exp(\ln(A(1)) + T_1 \cdot (\ln(A(2)) - \ln(A(1))) / \Delta T_{1,2}) \quad (3)$$

где,

$\Delta T_{1,2}$  - отрезок времени между 1 и 2 измерениями:

$T_1$  - отрезок времени между с момента отбора до первого измерения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ.

Описанный метод опробован на значительном массиве проб аэрозолей, отобранных в подвальном помещении (полигон). Для оценки измеряемой величины, ее вариабельности и значимости ее уровня, пробы отбирались в течении продолжительного времени года с зимы и по осень, причем в течении дня отбиралось от одной до двенадцати проб. Проведены оценки средней величины для удельной активности  $^{212}\text{Pb}$ , См. Таблица 2.

Оценена усредненная доля радиационного воздействия ДПР торона по отношению к ДПР радона. Для этой цели, при исследованиях для части проб проводились расчеты ЭРК и рабочего уровня WLR и WLT для радона и торона соответственно, была построена их зависимость WLT к WLR (См. Рис. 4) и установлена корреляционная связь. Относительный усредненный вклад торона в дозовую нагрузку, обусловленную ДПР торона и радона составил  $46.5 \pm 17.2\%$  для 47 проб.

Таблица 2.

Усредненные данные опробования метода измерения удельной активности  $^{212}\text{Pb}$  в воздухе

Места отбора проб	$^{212}\text{Pb}$	SD	N
Подвал УНЦРМ	1.90	1.46	155
с. Степановка, Белоцерковский р-н	3.56	1.6	8
с. Керданы, Таращанский р-н	7.25	3.18	12

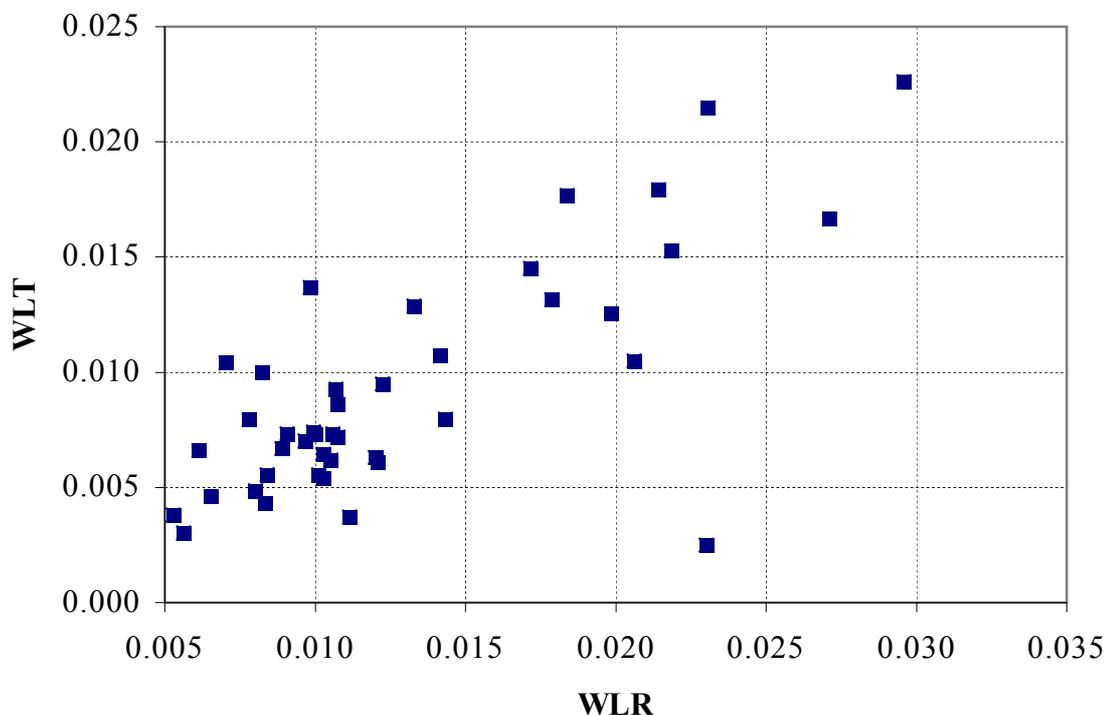


Рисунок 4. Зависимость рабочего уровня торона (WLT) от рабочего уровня радона (WLR) при их совместном определении.

Опробование метода проводилось кроме этого в двух населенных пунктах Киевской области. Усредненные уровни содержания  $^{212}\text{Pb}$  по местам опробований сведены в таблицу 2 совместно с данными по “полигону”. Видно, что усредненный уровень содержания  $^{212}\text{Pb}$  в населенных пунктах сельского типа (места опробования) в 2-4 раза выше таковых для “полигона” - подвала, что подтверждает необходимость проведения исследований уровней содержания  $^{212}\text{Pb}$ .

#### ВЫВОДЫ.

Разработан экспрессный метод определения содержания  $^{212}\text{Pb}$  в воздухе жилых помещений на основе жидкостно-сцинтилляционного счета чувствительностью 0.01-0.025 Бк $\cdot$ м $^3$ . Сочетание высокой чувствительности метода и разделения процессов отбора и измерения проб (измерения проводятся через 5-40 часов с момента отбора) позволяет вести мониторинг  $^{212}\text{Pb}$  на широкой территории. Уровни  $^{212}\text{Pb}$ , определяемые при помощи предложенного метода, позволяют вести оценку ЭРК торона с дополнительной погрешностью около 5%, что несущественно для большинства решаемых задач. Кроме того высокая чувствительность и точность измерений

(абсолютный метод) позволяет использовать предложенный метод для калибровки семейства приборов для измерения ДПР торона.

АКАДЕМИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУК  
 НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

Сборник “Методы жидкостно-сцинтилляционного счета в радиоэкологии”, 1995. Вип.1.

Деп. в ГНТБ Украины

*БУЗЫННИЙ М.Г., ЛОСЬ И.П., ГРЕГУЛЬ В.В.*

ЭКСПРЕССНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА-222 И  
 РАДИЯ-226 В ВОДЕ НА ОСНОВЕ ЭКСТРАКЦИИ И ЖИДКОСТНО-  
 СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СЧЕТА.

РЕФЕРАТ.

Приведено описание особенностей применения экстракционного метода для определения содержания  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в воде на основе жидкостно-сцинтилляционного счета. Метод ориентирован на применение стандартной стеклянной посуды как для отбора, так и для подготовки образцов. Чувствительность метода определяется используемым объемом воды и соотношением объемов вода/сцинтиллятор и составляет  $0.01-0.025 \text{ Бк л}^{-1}$ .

ВВЕДЕНИЕ.

Экстракционная система жидкость-жидкость. В состав экстракционной системы (жидкость-жидкость) входит органический экстрактант и водная фаза (исследуемая проба). Обмен ионами, находящимися в растворе, и достижению равновесия фаз осуществляется через границу раздела двух несмешиваемых фаз. Перераспределению экстрагируемого вещества способствует процесс глубокого перемешивания фаз, который весьма существенно увеличивает поверхность раздела фаз. Это в свою очередь позволяет очень быстро достичь равновесия фаз, обычно равновесие достигается за 1-2 минуты [11, 12, 13]. Коэффициент распределения (по концентрации) любого экстрагируемого вещества  $D_m$  в экстракционной системе определяется соотношением:

$$D_m = \frac{C_{\text{орг}}}{C_{\text{ақ}}} \quad (1)$$

где,

$(\text{Сопс. } M)_{\text{орг}}$  концентрация в органической фазе;

$(\text{Сопс. } M)_{\text{ақ}}$  концентрация в водной фазе.

Доля экстрагированного вещества  $F_r(\%)$  в двухфазной системе зависит, кроме этого, от соотношения фаз:

$$F_m = \text{Ошибка!} \quad (2)$$

$V_{org}$  - объем органической фазы 0.025 (25 мл);

$V_{aq}$  - объем водной фазы.

#### МЕТОДЫ.

##### Отбор проб.

Пробы для определения содержания  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в воде отбираются в стеклянные бутылки стандартного размера емкостью 0.5, 0.75 и 1.0 литра и закрываются герметично. Проводятся два измерения: первое при доставке в лабораторию и второе - после выдержки в течении 30 дней, времени необходимого для достижения равновесия между  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{222}\text{Rn}$ . В каждом случае производится измерение  $^{222}\text{Rn}$ .

##### Используемое оборудование и принадлежности.

Нами использован современный низкофоновый жидкостно-сцинтилляционный спектрометр (ЖСС) Quantulus 1220™. Для проведения измерений использованы тефлоновые виалы, что позволяет получить хорошее энергетическое разрешение спектров при измерении радона с дочерними продуктами. Использование альфа/бета разделения позволяет получить фон ниже 0.1 имп.·мин<sup>-1</sup> для всего альфа-спектра (фон включает радон, который попадает в счетный образец из воздуха и др.). В качестве экстрагента использован готовый жидкий сцинтиллятор (ЖС) на основе толуола ЖС-1<sup>#</sup>. Отметим, что применяемый метод ориентирован на конкретный сцинтиллятор, выпускаемый промышленно, а поэтому решает и проблемы оптимальных совместных измерений альфа- и бета-излучателей без какой либо модификации сцинтиллятора.

##### Выбор уровня PSA.

Совместные измерения альфа- и бета-излучения требуют оптимального выбора уровня длительности импульса PSA (Pulse Shape Analyzer). Выбор уровня PSA индивидуален для проб и зависит от их состояния (степени гашения). Для стандартизации применяется один и тот же уровень PSA=60, хотя условия разделения альфа/бета-спектров несколько различны (полнота регистрации альфа-спектра). Это отражается прежде всего на регистрации  $^{214}\text{Po}$  (см. рисунок 1). Практически нет влияния гашения на полноту регистрации альфа-спектра при регистрации излучения  $^{222}\text{Rn}+^{218}\text{Po}$ , что говорит в пользу предпочтительного использования для расчета активности проб суммы излучения  $^{222}\text{Rn}+^{218}\text{Po}$ . В пользу этого говорит еще и то, что для такого варианта момент

<sup>#</sup> ЖС на основе толуола, производства НПО Монокристалреактив, Харьков, Украина

установления равновесия определяется  $^{218}\text{Po}$  ( $T_{1/2}=3.06$  мин), что позволяет измерять пробы через 15-20 минут после экстракции, тогда как в случае использования  $^{214}\text{Po}$  это время составляет 2.5-3.0 часа.

#### Роль посуды.

Даже при незначительном загрязнении наряду с экстракцией радона в счетный образец переносятся органические примеси, которые вызывают “гашение” спектров (сдвиг и ухудшение энергетического разрешения, см. рисунок 2). Гасители, которые попадают в пробу во время экстракции радона особенно существенна при экстракции из большого объема (загрязнения воды) и чистоты используемой посуды (поверхностное загрязнение). На примере видно, что доля примесей уменьшается для последующих проб (I > II > III) по мере вымывания примеси, что отражается на форме спектров.

#### Выбор условий экстракции.

Для тестирования экстракционной способности сцинтиллятора ЖС-1 проводилась экстракция калибровочных образцов радона из фиксированного объема воды ( $V_{\text{aq}}=25, 100, 250, 500$  и  $1000$  мл). Объем сцинтиллятора для экстракции использован фиксированный ( $V_{\text{org}}=25$  мл, соотношение водной фазы к органической составило ряд значений: 1, 4, 10, 20 и 40), объем счетной пробы ( $V_s$ ) составил 20 мл.

#### Расчет удельной активности $^{222}\text{Rn}$ .

Для расчета удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  на момент измерения использована формула:

$$A_i = \text{Ошибка!} \quad (3)$$

где,

- $A_i$  - определяемая удельная актив-ность  $^{222}\text{Rn}$  в воде на момент измерения;
- СРМ - скорость счета пробы (имп. за минуту);
- ВГ - скорость счета фона (имп. за минуту);
- Eff - эффективность регистрации излучения пробы, ( $^{222}\text{Rn}+^{218}\text{Po}$ ) - 2.0 (200 %);
- $F_r$  - Доля экстрагированного  $^{222}\text{Rn}$  (см. формула 2).
- $k$  - соотношение объемов сцинтиллятора вносимого для экстракции к объему счетной пробы ( $k=V_s/V_{\text{org}}=20/25=0.8$ ).

Коррекцию на распад  $^{222}\text{Rn}$  проводим по формуле:

$$A = A_i \cdot e^{-\lambda T_1} \quad (4)$$

- $T_1$  - суммарное время с момента экстрагирования до момента измерения плюс время с момента отбора пробы и до момента подготовки при измерении  $^{222}\text{Rn}$ ; суммарное время с момента экстрагирования до момента измерения при измерении  $^{226}\text{Ra}$  (сутки);
- $T_{1/2}$  - период полураспада  $^{222}\text{Rn}$  (3.82 суток).

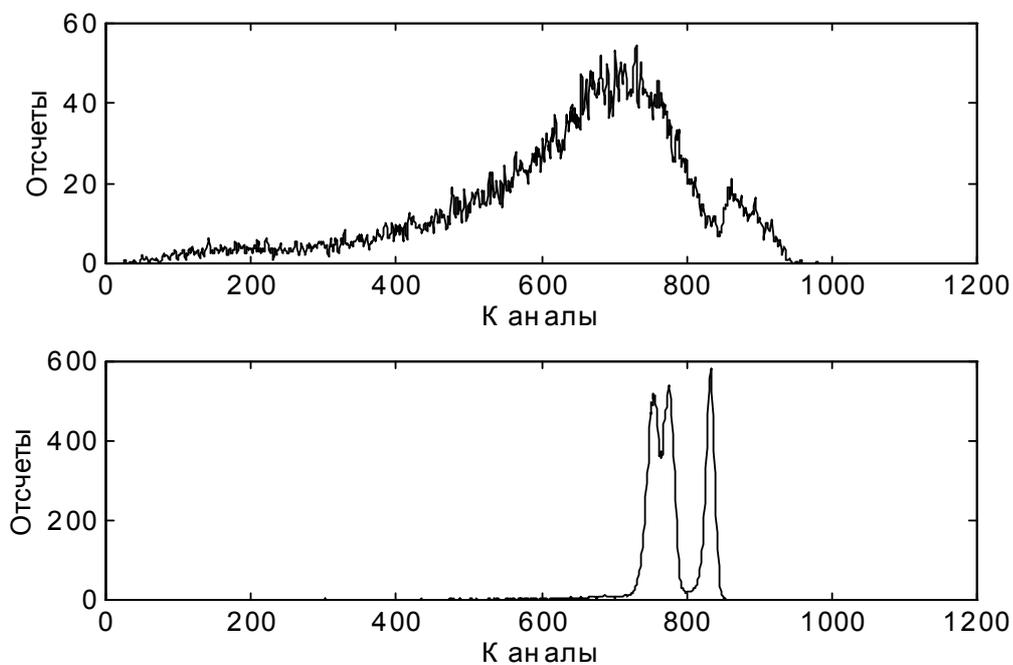


Рисунок 1.  $\beta$ - (верхний) и  $\alpha$ - (нижний) спектры при оптимальном выборе уровня PSA.

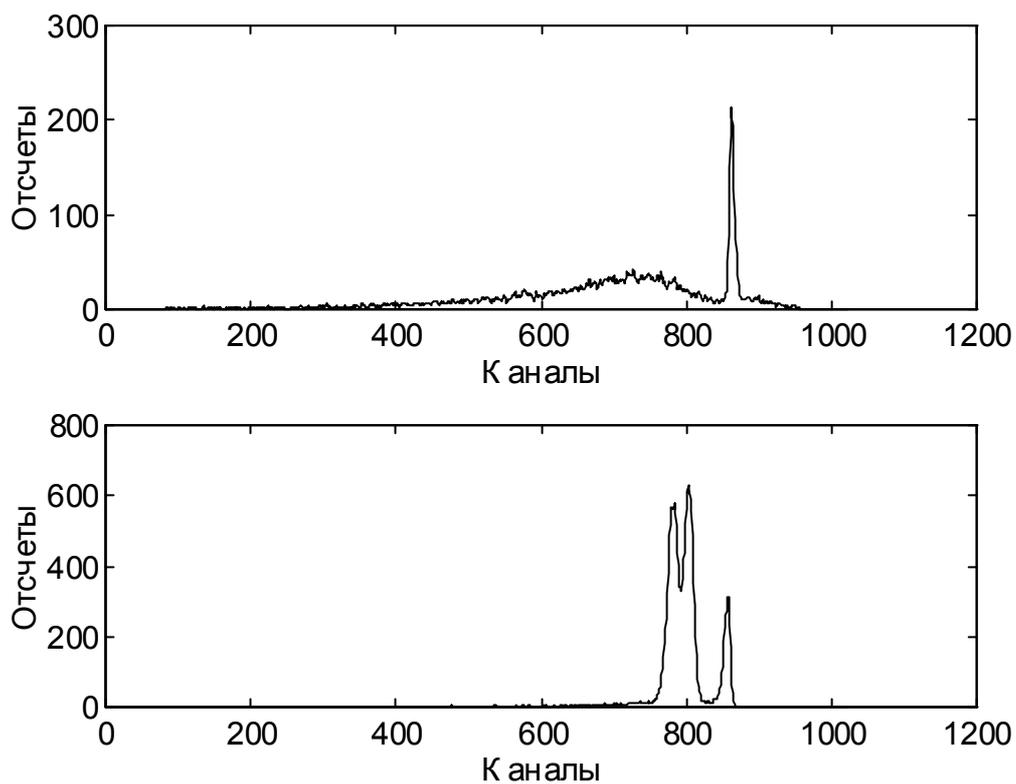


Рисунок 2.  $\beta$ - (верхний) и  $\alpha$ - (нижний) спектры для неоптимального уровня PSA.

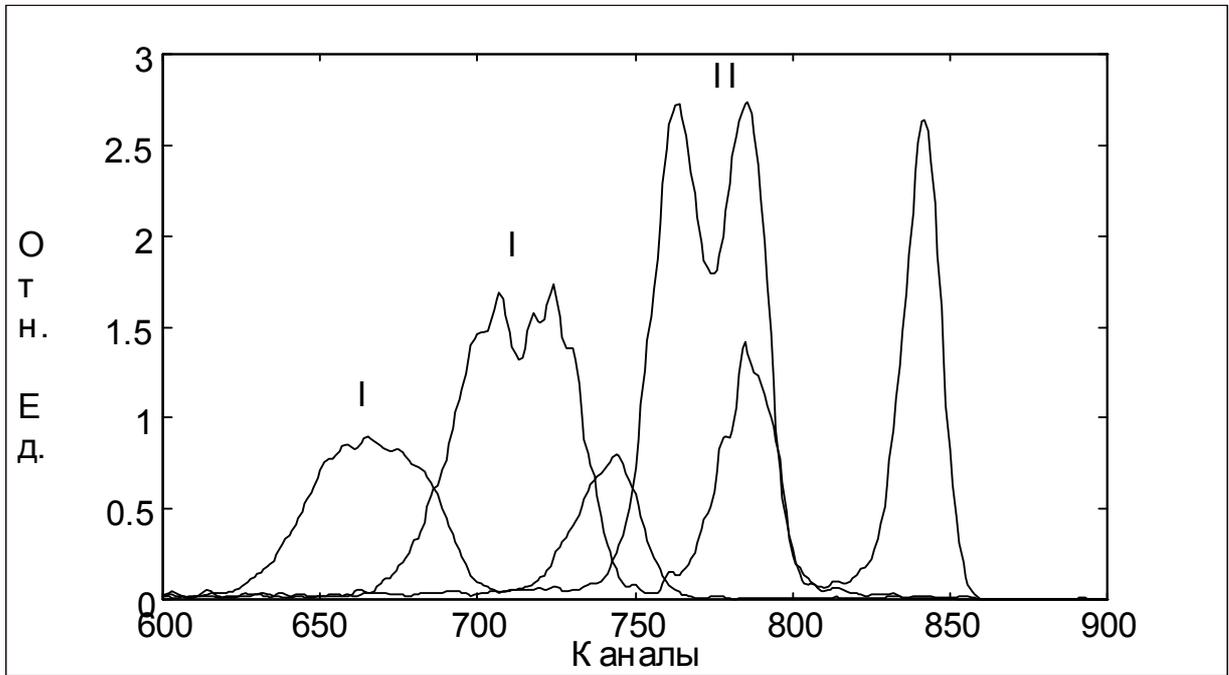


Рисунок 3. Нормированные альфа-спектры радона с дочерними для трех последовательно приготовленных проб (I, II, III) в одной и той же посудине. Амплитуда спектров подобрана для удобства отображения. По вертикали - отн. единицы; по горизонтали - номера каналов.

### ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ.

Проведенные исследования экстракционной способности сцинтиллятора для ряда значений соотношения фаз водной к органической ( $V_{aq}/V_{org}=1, 4, 10, 20$  и  $40$ ) дали следующую зависимость от объема пробы (см. рисунок 4). Как видно минимальный разброс результатов достигается в случае применения посуды на 0.5 и 1.0 литра. Влияние загрязнений весьма существенно при подготовке проб и отражается прежде всего на энергетическом разрешении спектров. При отборе проб для исследований уровня радона следует учитывать, что максимальное время до измерений не должно превышать 3-5 дней.

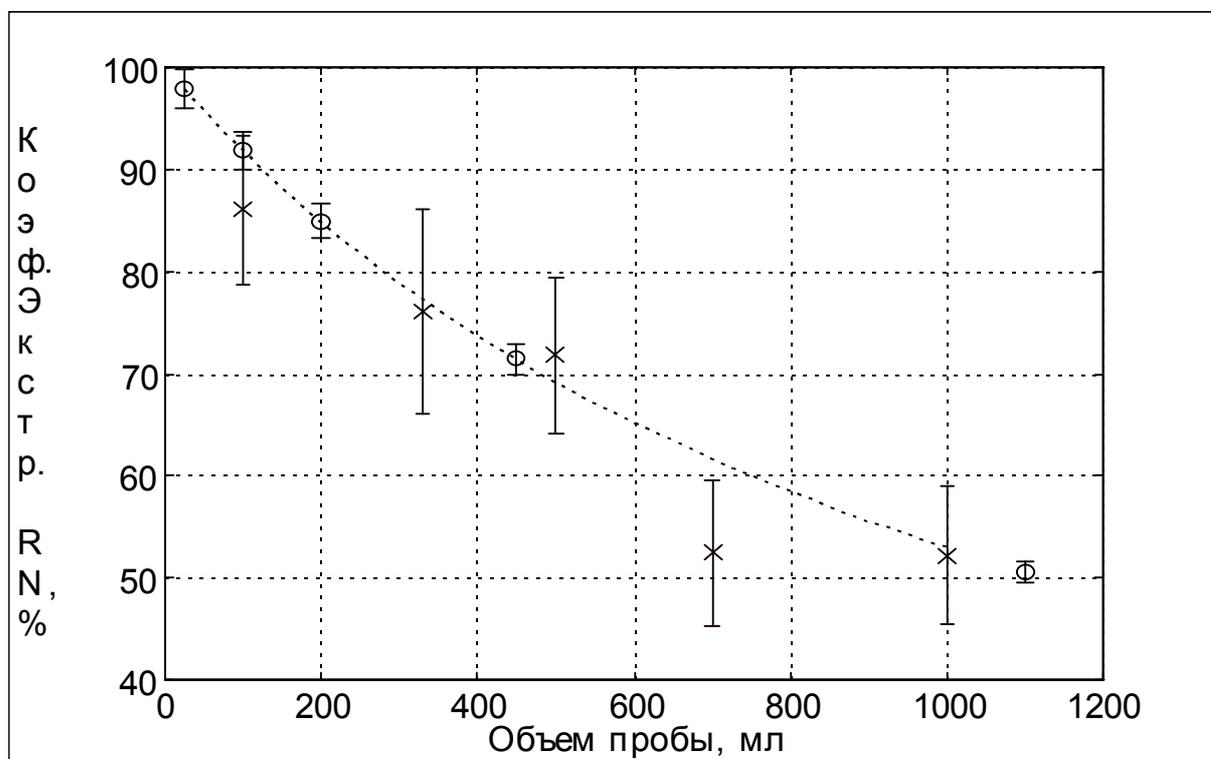


Рисунок 4. Зависимость ( $F_T$ ) для радона от объема водной фазы пробы, рассчитанная для  $Dm=45$  (СКО=4%) и экспериментальные значения для ряда значений объема проб: 330, 500, 750, 1000мл.

АКАДЕМИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУК  
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

Сборник “Методы жидкостно-сцинтилляционного счета в радиоэкологии”, 1995. Вып.1.

Деп. в ГНТБ Украины

БУЗЫННИЙ М.Г., ЛОСЬ И.П.

*Научный центр радиационной медицины АМН Украины, г.Киев*

НЕСВЕТАЙЛО В.Д.

*Институт биологии и биофизики Томского госуниверситета, г.Томск*

ДЕМЧУК В.В.

*Институт радиоэкологии академии аграрных наук Украины, г.Киев*

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  $^{90}\text{Sr}$  В ДРЕВЕСИНЕ.

РЕФЕРАТ.

Для выяснения особенностей распределения  $^{90}\text{Sr}$  в древесине выбраны деревья в характерных местах с высоким загрязнением почв  $^{90}\text{Sr}$  в 30-км зоне ЧАЭС по Западному следу аварийного выброса ЧАЭС. Проведены исследования содержания  $^{90}\text{Sr}$  в годичных слоях сосны. Отобраны для анализа пробы почв. Проведено тщательное разделение древесины (щепление) по годичным слоям исключая взаимное влияние древесины соседних колец более чем на 1%. Однотипно приготовленные “тонкие” образцы помещались в гелеобразный сцинтиллятор (10мл воды +10мл Luma Gell) и измерялись при помощи жидкостно-сцинтилляционного спектрометра Quantulus 1220<sup>TM</sup>. фирмы Wallac. Для расчета активности проб анализировался высоко-энергетичный участок спектра, соответствующий  $^{90}\text{Y}$ . Чувствительность определялась соответствующим временем измерения, которое подбирались в зависимости от удельной активности образцов. Статистическая погрешность измерений составляла 1.0-2.0% для 95% доверительного интервала. Для оптимального “окна” эффективность регистрации составила 65% при значении фона - 1.6 имп·мин<sup>-1</sup>. Максимальная концентрация  $^{90}\text{Sr}$  обнаружена в лубе. Обнаружено, что распределение по глубине ствола крайне неравномерно, имеет определенные закономерности. Есть основание считать, что обнаруженные закономерности удастся использовать для построения модели переноса.

ВВЕДЕНИЕ.

Годичные слои деревьев несут информацию об усвоении в них в течении года целого ряда микроэлементов и радионуклидов. Касаясь радионуклидов следует отметить прежде всего радиоуглерод и тритий. Эти радионуклиды как и их стабильные элементы включаются в структуры древесины, которые, в дальнейшем не подвержены влиянию обменных процессов.

Хотя  $^{90}\text{Sr}$ , как один из наиболее важных дозообразующих радионуклидов включается в биологические структуры: растения и живые организмы, нет определенного установившегося мнения о его распределении в дереве. Слабое проникновение в березу (в годовые слои глубже момента начала загрязнения) описана Р.А.Федоровым и соавт., 1991. В более ранних работах указывалось на его равномерное загрязнение древесины.

Он имеет тенденцию к образованию устойчивых структур, которые после формирования годового слоя только частично разрушаются (размываются), т.е. он имеет тенденцию к формированию некоторого следа, возможно - хронологического. Выявлению возможных закономерностей в распределении  $^{90}\text{Sr}$  в древесине сосны и их дальнейшему использованию для целей ретроспективной оценки хронологии его поступления посвящена настоящая работа.

## МЕТОДЫ.

Пробы древесины тщательно разделялись по годовым слоям, что исключало взаимное влияние древесины соседних колец более чем на 1%. Однотипно приготовленные "тонкие" образцы помещались в гелеобразный сцинтиллятор (10мл воды +10мл Luma Gell) и измерялись при помощи жидкостно-сцинтилляционного спектрометра Quantulus 1220<sup>TM</sup>. фирмы Wallac. Для расчета активности проб анализировался высоко-энергетичный участок спектра, соответствующий  $^{90}\text{Y}$ . Для калибровки использованы пробы приготовлены аналогично счетным образцам на основе стандартных растворов  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  и  $^{137}\text{Cs}$  (См. рисунок 1). Для выбора наиболее оптимального энергетического окна проанализированы результаты множественной обработки спектров (10 вариантов по 150 спектрам). Оптимизация проведена по следующим параметрам: устойчивость результата, максимальное значение параметра качества измерений ( $\text{FOM}=\text{E}^2 \cdot \text{BG}^{-1}$ ), минимальное влияние на результат активности  $^{137}\text{Cs}$ . Результаты оптимизации сведены в таблицу 1. В таблице выделена часть более оптимальных вариантов и варианты с максимальными значениями параметров оптимизации. В дальнейшем при анализе использованы результаты, полученные для окна с нижней границей равной 570. На рисунке 2 представлены частотные распределения выражающие относительное различие результатов расчета активности проб по различным окнам по отношению к наиболее оптимальному окну.

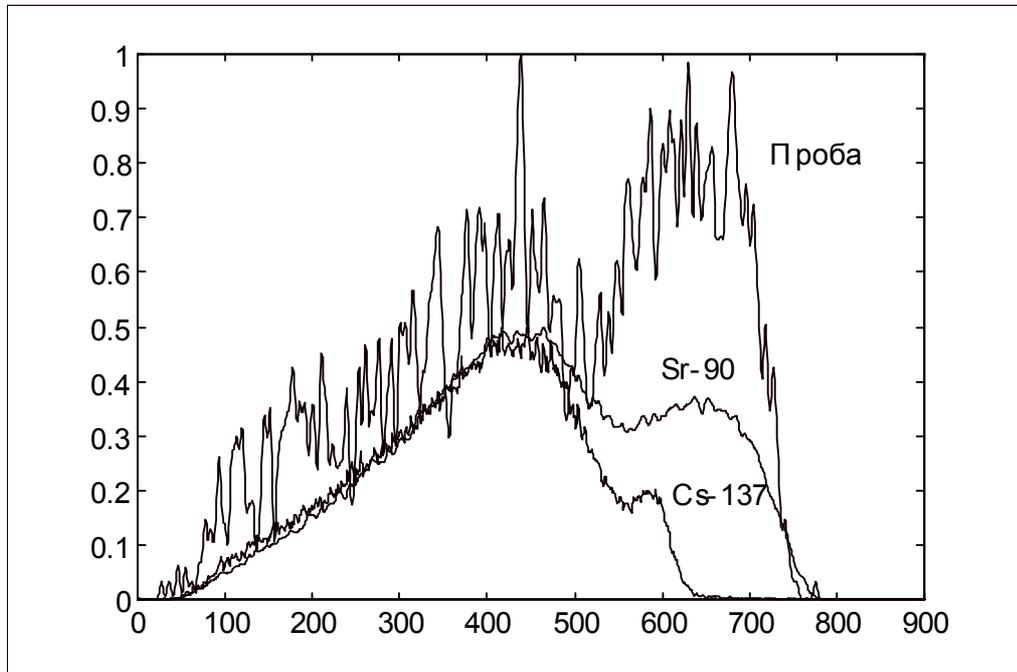


Рисунок 1. Спектры бета-излучения наиболее значимых радионуклидов составляющих загрязнение древесины, и одной контрастной пробы.

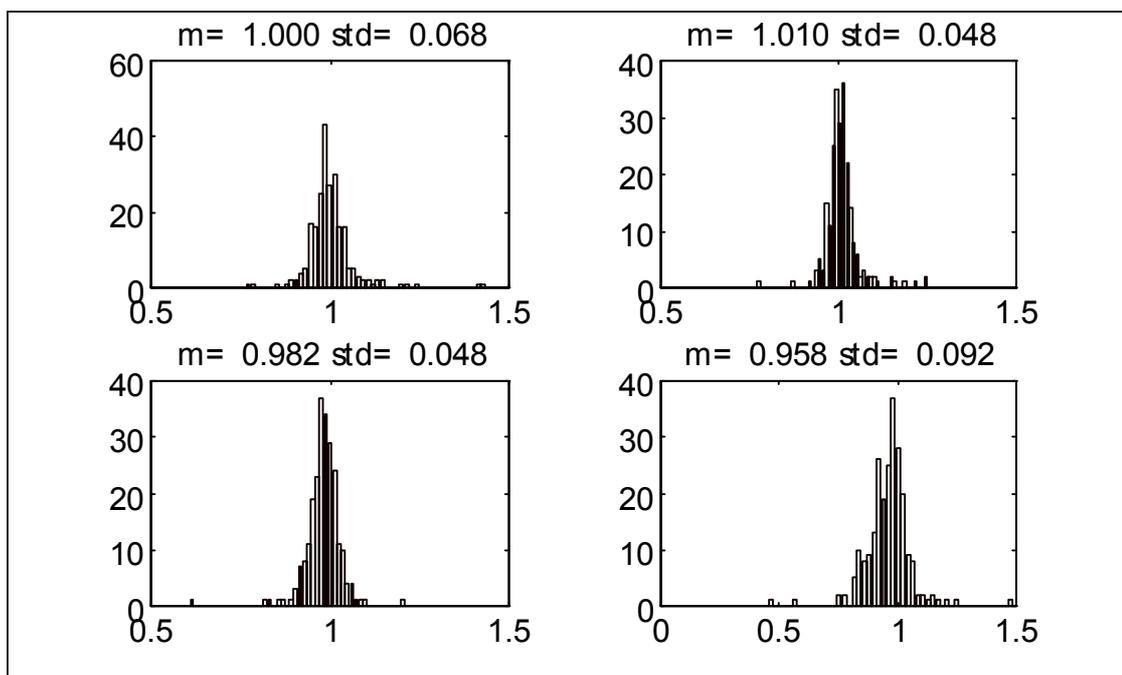


Рисунок 2. Частотное распределение относительного отличия расчетов активности по массиву проб (150 шт.) для окна 570 -1024 каналов.

Таблица 1

Оптимизация выбора участка спектра для расчета активности  $^{90}\text{Sr}$  в пробах древесины: среднее и стандартное отклонение для взаимных соотношений различных вариантов счетных окон

Среднее значение												
Окно	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1.103	1.092	1.117	1.167	1.288	0.728	1.789	1.054	1.290	2.137
550	2	0.965	1	<b>0.992</b>	1.005	1.035	1.104	0.891	1.302	1.183	1.385	2.154
570	3	0.975	<b>1.010</b>	1	<b>1.013</b>	1.041	1.105	0.933	1.351	1.193	1.391	2.182
590	4	0.970	1.001	<b>0.990</b>	1	1.027	1.081	0.954	1.333	1.199	1.405	2.198
610	5	0.954	0.980	0.969	0.978	1	1.045	0.984	1.307	1.193	1.380	2.144
630	6	0.930	0.955	0.943	0.951	0.969	1	0.990	1.275	1.187	1.319	2.037
650	7	0.892	0.911	0.899	0.905	0.919	0.941	1	1.210	1.156	1.265	1.935
670	8	0.830	0.838	0.828	0.832	0.843	0.857	0.945	1	1.102	1.186	1.776
690	9	0.764	0.774	0.764	0.767	0.777	0.788	0.881	0.963	1	1.023	1.540
710	10	0.673	0.686	0.677	0.679	0.691	0.707	0.717	0.896	0.874	1	1.312
730	11	0.506	0.516	0.510	0.512	0.520	0.532	0.536	0.667	0.639	0.720	1
Стандартное отклонение												
Окно	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	0	0.417	0.380	0.460	0.626	1.505	6.877	6.784	6.467	4.505	6.572
550	2	0.180	0	<b>0.044</b>	0.087	0.161	0.611	2.910	1.536	2.740	2.553	4.650
570	3	0.190	<b>0.044</b>	0	<b>0.057</b>	0.122	0.494	2.549	1.911	2.821	2.531	4.415
590	4	0.207	0.071	<b>0.051</b>	0	0.078	0.331	2.177	1.749	2.559	2.277	4.025
610	5	0.218	0.098	0.079	0.058	0	0.189	1.383	1.702	2.235	2.083	3.780
630	6	0.231	0.138	0.119	0.112	0.080	0	0.951	1.738	1.748	2.157	3.790
650	7	0.252	0.179	0.165	0.159	0.144	0.153	0	1.600	1.295	1.980	3.429
670	8	0.277	0.216	0.208	0.204	0.200	0.244	0.384	0	0.389	1.479	3.134
690	9	0.306	0.260	0.250	0.245	0.244	0.282	0.508	0.763	0	1.505	2.393
710	10	0.330	0.314	0.306	0.306	0.313	0.321	0.596	1.611	0.333	0	2.176
730	11	0.351	0.348	0.357	0.362	0.370	0.384	0.528	1.251	0.370	0.227	0

## РЕЗУЛЬТАТЫ.

Характерные места пробоотбора выбраны с ориентиром по Западному следу для расстояний от ЧАЭС от 2 до 32 км соответственно, см. таблица 2. Полученные распределения  $^{90}\text{Sr}$  по годичным слоям дерева для ряда анализируемых образцов приведены на рис. 3 и рис. 4. Распределение  $^{90}\text{Sr}$  в годичных слоях характеризуется следующими характерными особенностями.

### Западный след:

- удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в коре в 2.0-3.0 раза выше активности  $^{90}\text{Sr}$  в первых наружных слоях;

- удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в лубе в 5.0-10.0 раз выше активности  $^{90}\text{Sr}$  в наружных слоях;
- наблюдается спад активности  $^{90}\text{Sr}$  по мере заглубления внутрь ствола, за которым следует плато;
- за плато наблюдается выраженный пик и дальнейший относительно резкий спад активности по мере углубления к сердцевине дерева до величины, которая составляет при максимальном заглублении в середину дерева до 1/10 - 1/100 от максимальной;
- в зависимости от возраст дерева (количества колец в исследуемом дереве) наблюдаемая картина реализуется вся или только ее часть.

Таблица 2.

Характеристики мест отбора проб по Западному следу

Точка отбора	МЭД, мР/час	h, мм	D, км	Географические координаты N,E	$^{137}\text{Cs}$ Ки·км <sup>-2</sup>
Рз 1/1_95	31.9	100	2.56	51°23'02" 30°03'52"	520
Рз 2/1_95	2.48	100	5.44	51°22'33" 30°01'19"	380
Рз 3/1_95	1.72	100	7.28	51°22'39" 29°59'38"	490
Рз 4/1_95	1.51	100	13.81	51°23'02" 29°50'50"	350
Рз 5/1_95	0.69	100	17.45	51°23'02" 29°50'50"	180
Рз 6/1_95	0.44	100	23.09	51°23'06" 29°45'59"	120
Рз 7/2_95	0.54	50	32.38	51°23'13" 29°42'16"	15

Некоторое отличие от этой картины наблюдается для распределения  $^{90}\text{Sr}$ , полученного для ели (проба 95\_8): спад активности  $^{90}\text{Sr}$  по мере продвижения внутрь ствола после максимума менее выражен, менее контрастна картина внутри ствола- наблюдается плато.

Для образцов, отобранных по диаметрально-противоположным направлениям относительно центра дерева, общая закономерность соблюдается, хотя наблюдаются устойчивые отличия, см. рис. 4, заключающиеся в неравномерности распределения активности  $^{90}\text{Sr}$  по одному годичному слою (различные участки).

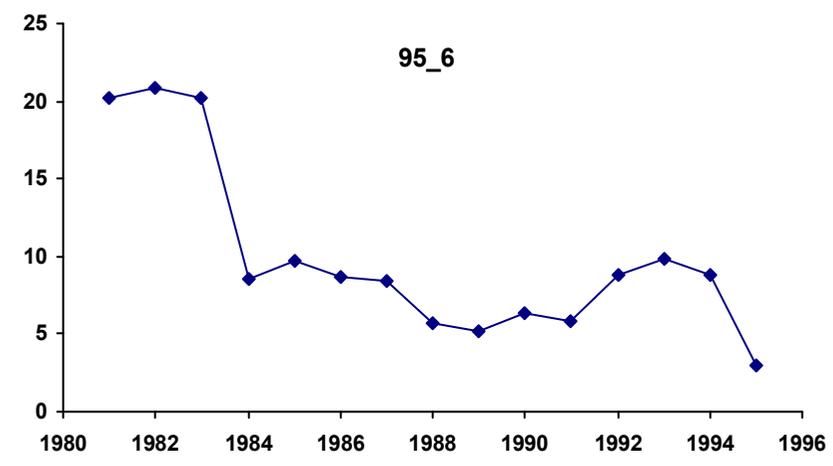
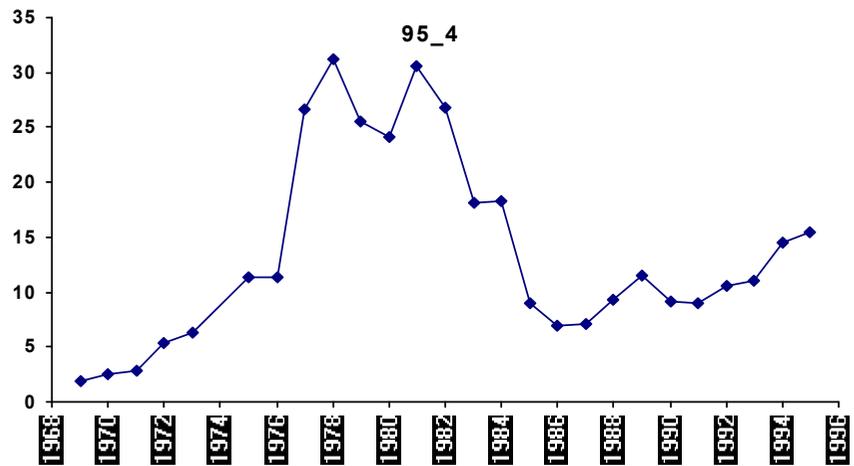
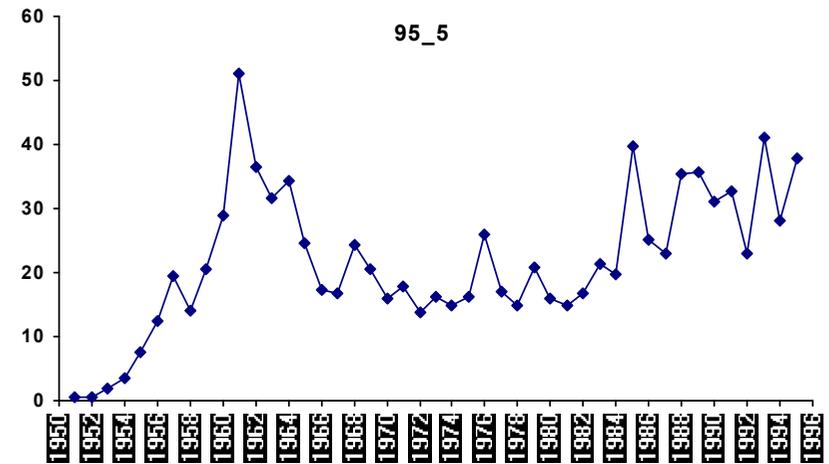
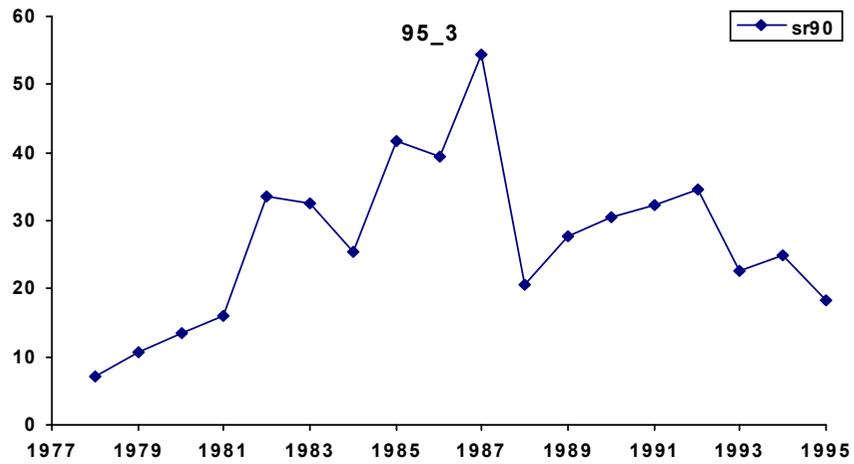


Рисунок 3. Распределение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  по годичным слоям сосны (КБк·кг<sup>-1</sup>).

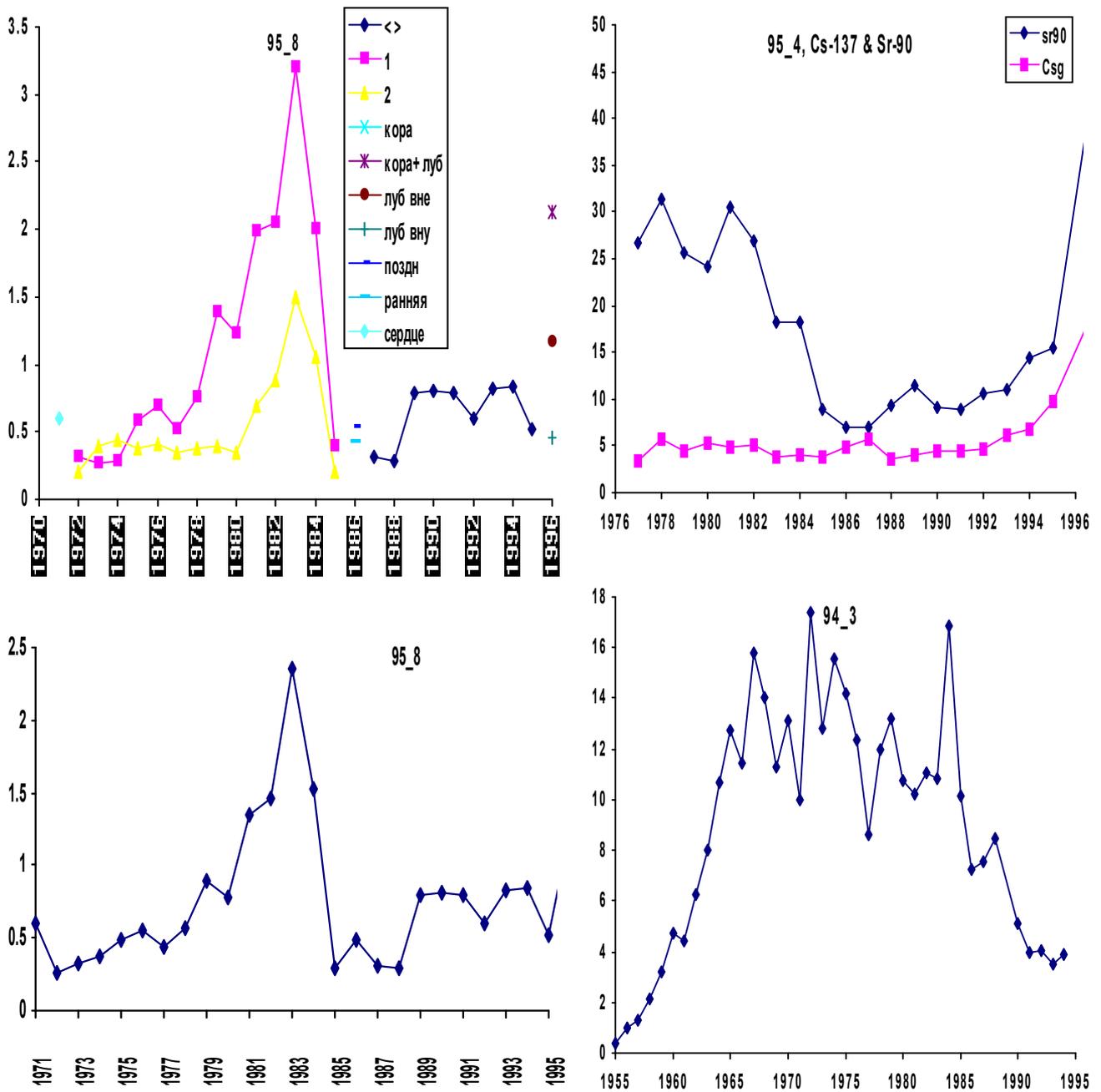


Рисунок 4. Распределение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  по годичным слоям дерева (КБк·кг<sup>-1</sup>). Слева - ель: сверху - результаты для диаметрально противоположных вариантов щепления, снизу- усреднение по всем пробам. Справа: Сравнение распределения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  по годичным слоям одного дерева; снизу- распределение стронция для дерева: отобранного по юго-западному направлению от ЧАЭС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Приведены данные о распределении  $^{90}\text{Sr}$  по глубине ствола дерева и их предварительная описательная характеристика. Установлена существенная неравномерность распределения  $^{90}\text{Sr}$  по глубине ствола дерева, что дает основание считать, что в процессе переноса  $^{90}\text{Sr}$  по стволу сосны участвуют все годовичные слои дерева. Перераспределение  $^{90}\text{Sr}$  между годовичными слоями дерева в случае сосны есть и весьма существенное.

Наличие выраженного пика в распределении  $^{90}\text{Sr}$  по годовичным слоям указывает как на неравномерность поступления так и на неравномерность распределения  $^{90}\text{Sr}$  в годовичных слоях дерева. Установлено, что за 10 послеаварийных лет в процессы переноса  $^{90}\text{Sr}$  вовлечено вплоть до 45 годовичных слоев сосны (по исследованным образцам деревьев). При этом максимальная удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  соответствует годовичным слоям древесины сформированным задолго до начала поступления  $^{90}\text{Sr}$ . Особенности распределения  $^{90}\text{Sr}$  в годовичных слоях сосны дают предположение о возможности использования их для решения задачи ретроспективного определения динамики и других особенностей миграции  $^{90}\text{Sr}$  выпадений.

Запланировано выяснить особенности распределения стронция-90 по стволу: комель, средний и верхний участок ствола; ветки, хвоя различного возраста. Сопоставить с уровнями загрязнения почвы.

Предполагается рассмотреть возможность проведения анализов по смоле и клетчатке дерева после изъятия экстрактивных веществ, выяснить информативность этих анализов для задач ретроспективных исследований.

АКАДЕМИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУК  
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

Сборник “Методы жидкостно-сцинтилляционного счета в радиоэкологии”, 1995.

Вып. 1.

Деп. в ГНТБ Украины

*БУЗЫННИЙ М.Г., ЛОСЬ И.П.*

ЭКСПРЕСС МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ  $^{14}\text{C}$   
ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС.

РЕФЕРАТ.

Разработан экспресс-метод определения  $^{14}\text{C}$  в составе газообразных выбросов АЭС. Метод заключается в применении термопластичного сцинтилляционного материала Meltilex<sup>TM</sup> [15] в составе миниатюрной сцинтилляционной камеры, которая работает совместно с современным жидкостно-сцинтилляционным спектрометром [16, 17, 18]. Регистрация излучения осуществляется в тонком слое термопластичного сцинтиллятора MeltiLex<sup>TM</sup> (Wallac), покрывающем внутреннюю поверхность тефлоновой виалы. Простота использования камеры позволяет оперативно вести мониторинг выбросов  $^{14}\text{C}$ . Применение азотной ловушки для избирательного накопления  $\text{CO}_2$  и других соединений позволяет на 2-3 порядка повышать чувствительность определения  $^{14}\text{C}$  до уровня характерного для воздуха окружающей среды.

ВВЕДЕНИЕ.

Развитие и применение сцинтилляционных камер для определения удельной активности газов связано прежде всего с измерениями альфа-излучателей: радон и торон (камера Лукаса) [19]. Необходимость измерения относительно низких уровней, а кроме того изготовления функционально законченного устройства обуславливала относительно большие размеры камер. Принципиально отличное решение предложено *Kaihola et. all.* в 1992 году для измерений  $^{222}\text{Rn}$  на основе термопластичного сцинтилляционного материала Meltilex<sup>TM</sup> (*Oikary et. all.*) [16, 17, 15]. Материал в настоящее время коммерчески доступен (EG&G, Wallac Oy). Это миниатюрная сцинтилляционная камера, изготовленная на основе тефлоновой виалы, стенки которой изнутри покрыты термопластичным сцинтиллятором. Измерения активности в камере выполняются при помощи современного жидкостно-сцинтилляционного спектрометра Quantulus 1220<sup>TM</sup>. Выбор тефлоновой виалы связан с ее применимостью для жидкостно-сцинтилляционного счета: она обеспечивает наилучшие характеристики:

фон и эффективность. Некоторое улучшение характеристик этой камеры, связанное с измерениями альфа-активности были предложены *Зеленским и Бузынным* [18]. Что же касается измерений бета-излучателей, то *Kaihila et al.* предложили как вариант использовать эту камеру не только для альфа, но для бета и совместных альфа-бета измерений радона, *Бузынный* провел испытания счетных характеристик и герметичности виал для  $^{85}\text{Kr}$  [20]. Причем эффективность составила до 75% при оптимальном фоне, а время в течении которого половина  $^{85}\text{Kr}$  улетучивалась по трем образцам составило: 60, 77 и 92 дня.

## РЕЗУЛЬТАТЫ.

Мы использовали алюминий-тефлоновые виалы покрытые термопластичным сцинтилляционным материалом Meltilex™ (*Oikary et. al.*) [17] и современный жидкостно-сцинтилляционного спектрометра Quantulus 1220™. производства фирмы Wallac, Финляндия. Покрытие внутренних стенок виалы тонкопленочным регистрирующим слоем MeltiLex™ сводится к тому, что пластина термопластичного сцинтиллятора помещается в виалу (заготовки соответствующей формы для боковых стенок и дна). Виала затем помещается в термостат с  $T > 60^\circ\text{C}$  для нагрева. После расплавления MeltiLex™ равномерно ложится на стенки виалы (обволакивая стенки). Виала вынимается из термостата и остывает при комнатной температуре, после чего она готова к использованию.

Пробы воздуха отбирались из вентиляционных труб Запорожской АЭС. Наши испытания показали, что несмотря на малый объем пробы воздуха (22.5 мл) вышеописанные камеры могут быть использованы для экспрессных оценок выбросов радиоуглерода (значимые отличия скорости счета проб над фоновыми). Кроме этого мы испытали возможности камер для измерений активности  $\text{CO}_2$  выделенного из воздуха. При этом мы использовали азотную ловушку для отбора проб  $\text{CO}_2$  из воздуха, см. рис. 1. Получен результат  $0.5 \pm 0.15$  имп·мин<sup>-1</sup>. за вычетом фона, что позволяет вести прямые измерения для проб воздуха (время измерения пробы не менее 5 часов). Учитывая то, что удельная активность выбросов АЭС в 20-1000 раз выше, применение ловушки делает измерение выбросов выполнимым за несколько минут.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Простота использования камеры позволяет оперативно вести мониторинг выбросов  $^{14}\text{C}$ . Применение азотной ловушки для избирательного накопления  $\text{CO}_2$  позволяет на 2-3 порядка повышать чувствительность определения  $^{14}\text{C}$  вплоть до уровня  $^{14}\text{C}$  в воздухе окружающей среды. Это позволяет вести пробоотбор, связанный с мониторингом  $^{14}\text{C}$  как в вентиляционной трубе АЭС, так и на некотором расстоянии, давая возможность определять пространственное распределение  $^{14}\text{C}$  вокруг источника выброса.

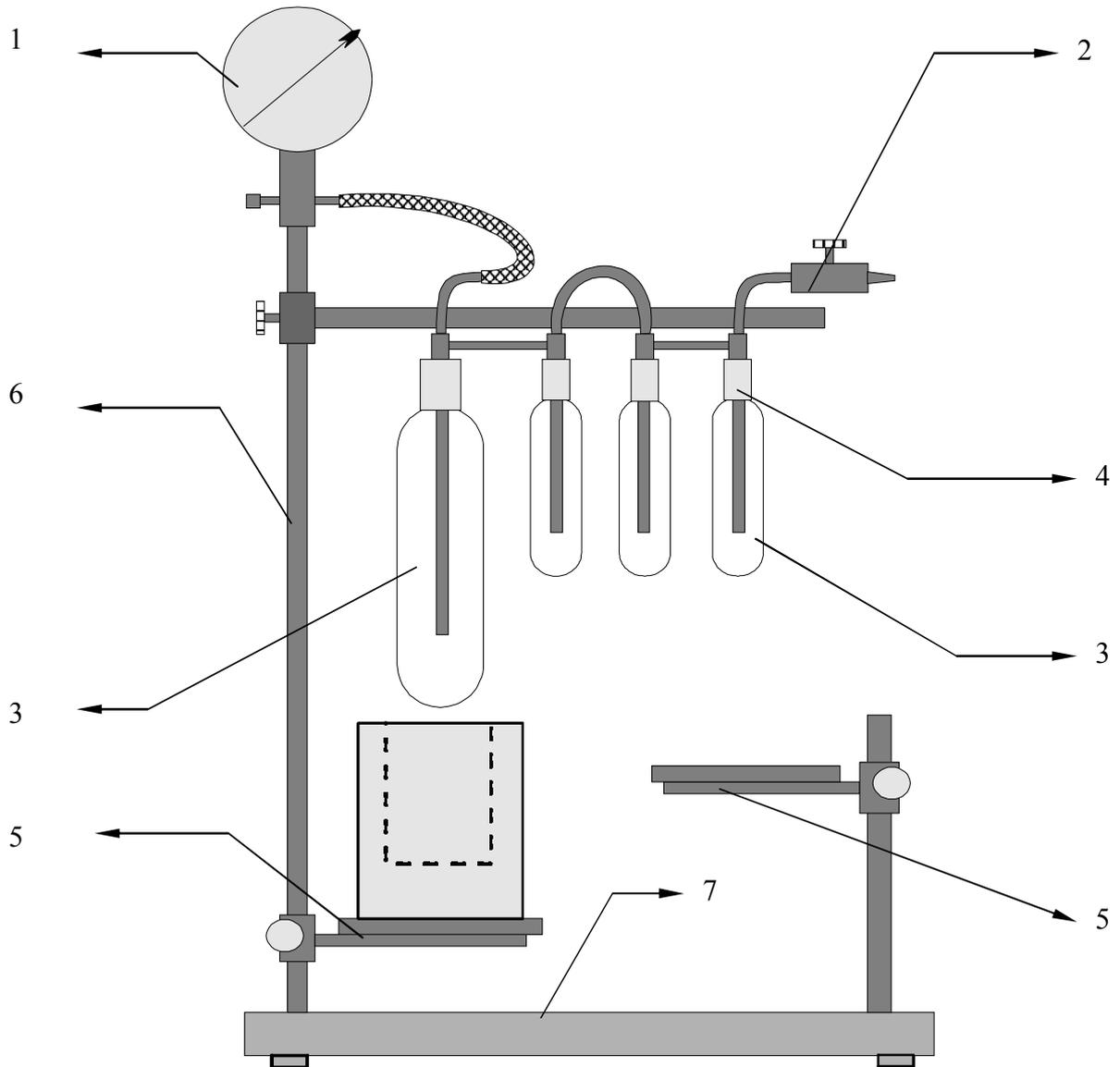


Рисунок 1. Схема азотной ловушки для отбора проб CO<sub>2</sub> [21].

1 - манометр; 2 - запорный вентиль; 3 - стеклянный сосуд; 4 - тефлоновый соединительный узел 5 - подставка для термоса 6 - термос с жидким азотом; 7 - штатив с подставкой.

АКАДЕМИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУК  
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

Сборник “Методы жидкостно-сцинтилляционного счета в радиоэкологии”, 1995.

Вип. 1.

Деп. в ГНТБ Украины

*БУЗЫННИЙ М.Г., ЛОСЬ И.П.*

Научный центр радиационной медицины АМН Украины (НЦРМ)

*СКУДНОВА Л.В.*

Республиканский центр наблюдений за состоянием природной среды (РЦСПС)

ТРИТИЙ В ОСАДКАХ НА УКРАИНЕ В 1990-1995 Г.Г.

Исследования содержания трития в осадках проводилась в рамках совместных исследований НЦРМ и РЦСПС, начиная с конца 1990 года. За основу взяты около 50-ти наблюдательных метеорологических пунктов по территории Украины, Молдовы и республики Крым. В качестве образцов использовались части усредненных за месяц проб осадков. За время исследований проанализировано более 1500 образцов. Счетный образец готовился для измерений методом жидкостно-сцинтилляционного счета: 8 мл дистиллированной пробы и 12 мл жидкого сцинтиллятора Optiphase Hisave 3 в пластиковой виале. Время измерения проб - 120 минут для обычных проб, при повышенной активности счет пробы ограничивался при наборе 500 - 1000 отсчетов, что давало погрешность счета 4.5-3.0 процента соответственно.

На рисунке 1 отображена представительность выборки проб по пунктам отбора. Видно, что за время мониторинга по 36 пунктам предоставлено на анализы от 10 до 50 проб. Усреднение результатов мониторинга нами представлены на рисунке 2. Для анализа результаты рассматривались по месяцам мониторинга: среднее по выборке и “усы” колебания - стандартное отклонение по выборке.

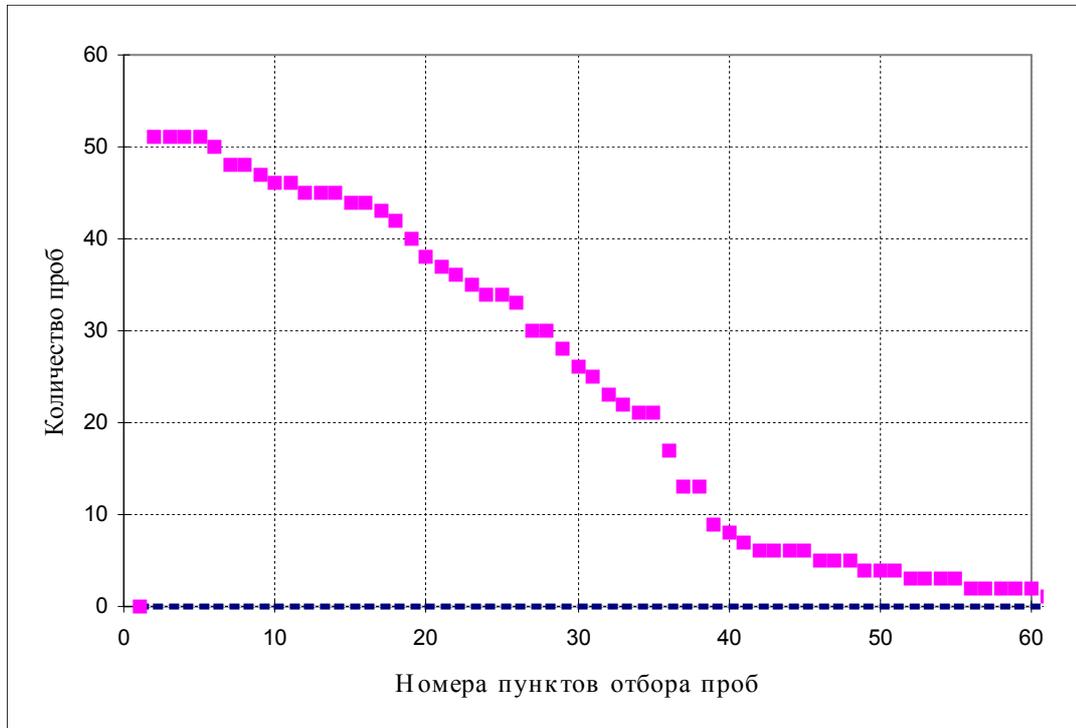


Рисунок 1. Представительность проб осадков.

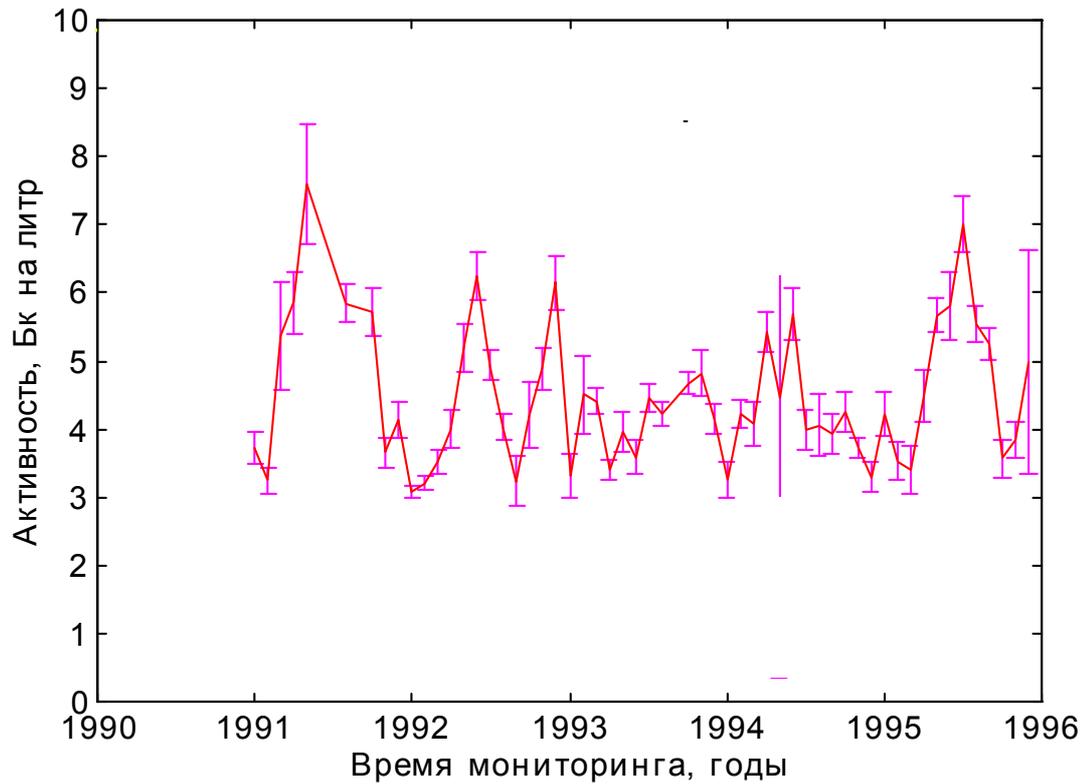


Рисунок 2. Колебания трития в осадках по месяцам за время наблюдений.

Важно обратить внимание на колебания в содержании трития в течении года (см, рис. 2. по годам 1991, 1992 и 1993.). Для 1991 года характерна картина повышения

уровня содержания трития в осадках в летние месяцы, что хорошо согласуется с данными литературы [22, 23, 24]. В 1992 и 1993 годах эта тенденция в основном сохраняется, хотя в августе уровни существенно ниже от ожидаемых, что указывает на некоторый дополнительный фактор, который следует определить.

Подавляющее большинство проб лежит в диапазоне активности от 1-2 и до 8-10 Бк·л<sup>-1</sup> (см. рис. 3. и рис. 4), а имеющиеся повышенные уровни - свыше 10 Бк·л<sup>-1</sup>, и в том числе свыше 100 Бк·л<sup>-1</sup> достаточно редки, обусловлены техногенными выбросами и прежде всего характерны для г.Киева, (см. рис. 3.). Для удобства отображения данных об изменениях уровня содержания трития по Киеву приведены в логарифмическом масштабе. Эти повышенные уровни трития в осадках в Киеве обусловлены влиянием выбросов тритиевой лаборатории НИИ ядерных исследований АН Украины, расположенной вблизи точки отбора проб. Привлечение данных результатов отбора проб в 1993 г. для продублированных точек в более удаленном от места выброса месте, можно уверенно говорить, что в локальности влияния этого источника выброса трития нет сомнения.

При рассмотрении данных по другим точкам пробоотбора (см. рис. 3 и рис. 4.) видно, что основной диапазон изменения содержания трития в осадках составляет от 2 до 7 Бк·л<sup>-1</sup>. Видна устойчивая тенденция к снижению уровня содержания трития в осадках, что соответствует данным литературы [22, 23, 24, 25], а имеющиеся повышенные уровни (от единиц до нескольких десятков Бк·л<sup>-1</sup>) редки для всех точек пробоотбора и, очевидно, соответствуют перемещению воздушных масс, ранее контактировавших с выбросами или пересекавшими зоны влияния АЭС. Для более глубокого анализа необходимо привлечение большей статистики результатов, а также подробных погодных данных по всем наблюдательным пунктам.

#### Выводы.

Общие закономерности изменения содержания трития в осадках хорошо согласуется с данными литературы о том, что содержание трития снижается. Аномальные повышенные уровни трития в осадках свидетельствуют о влиянии выбросов техногенных источников трития. Данные о колебании уровня содержания трития в осадках могут быть использованы для решения ряда гидрогеологических задач и контроля источников потенциального выброса трития в окружающую среду.

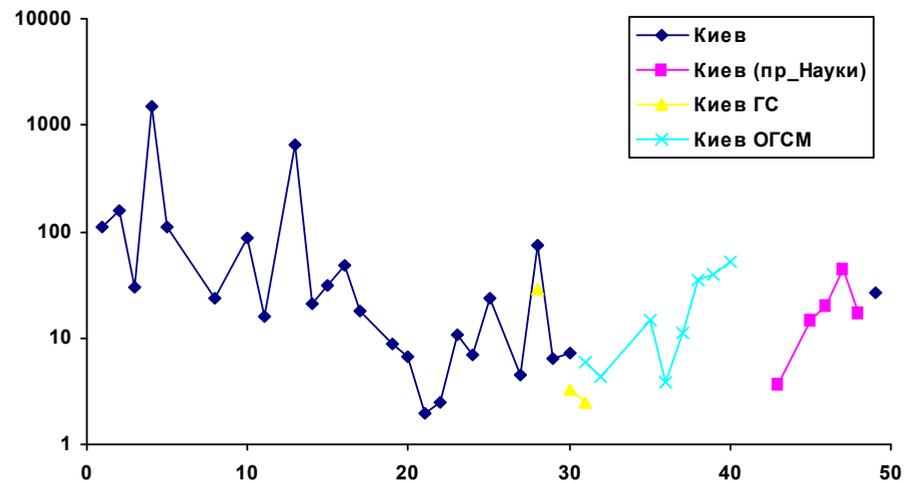
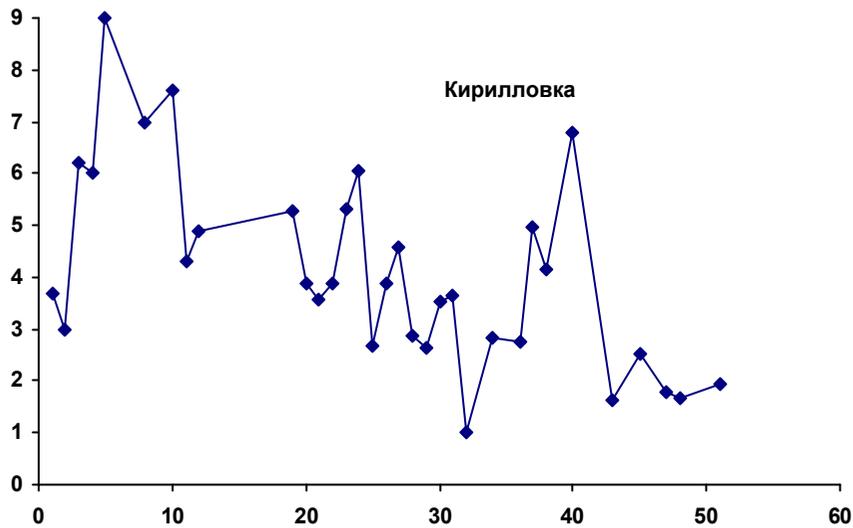
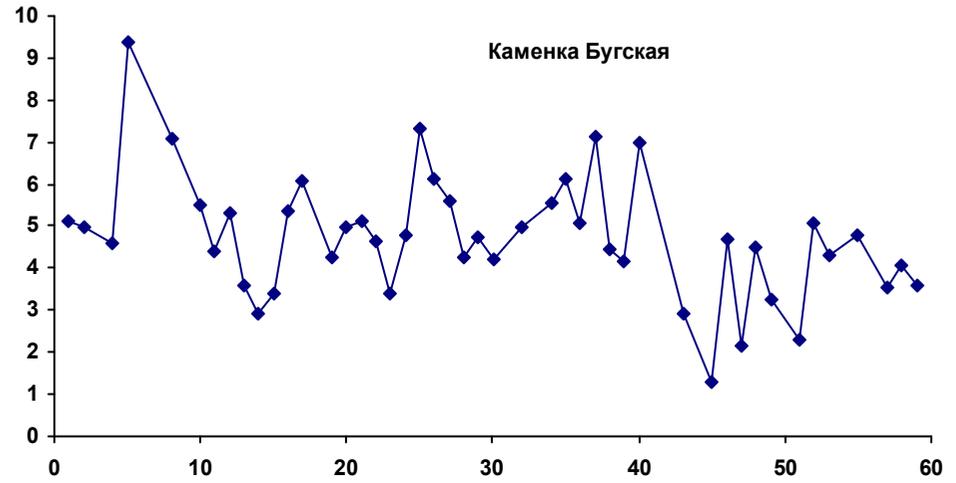
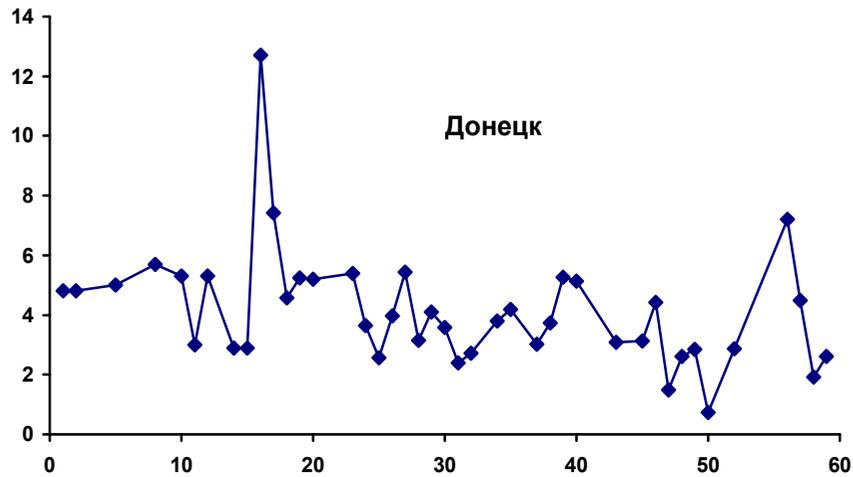


Рисунок 3. Особенности изменения содержания трития в осадках на Украине за период с декабря 1990 года по точкам отбора проб (Бк на литр).

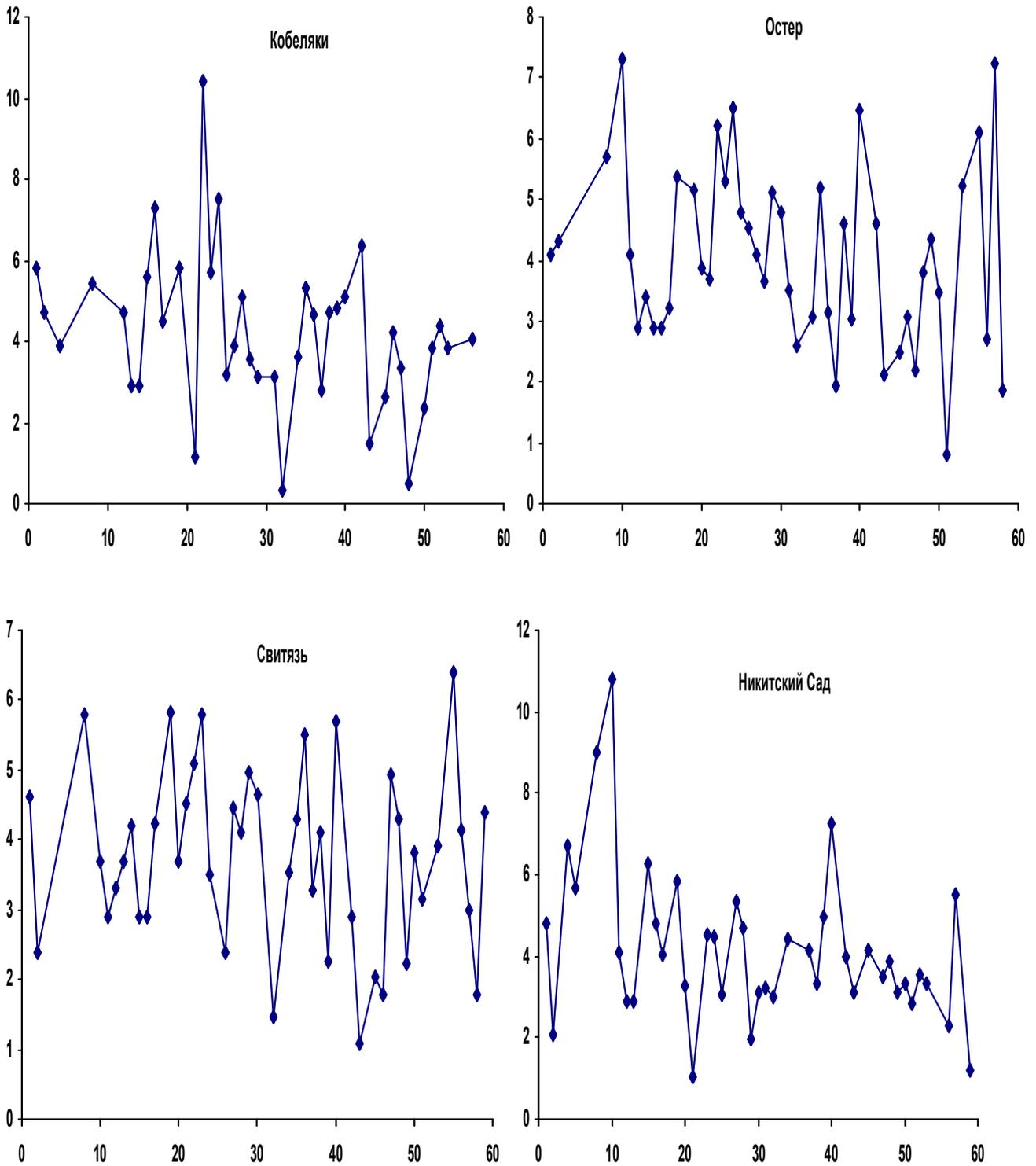


Рисунок 4. Особенности изменения содержания трития в осадках на Украине за период с декабря 1990 года по точкам отбора проб (Бк на литр).

## ЛИТЕРАТУРА.

1. Tsivoglou, E.C., Ayer, H.E., Holaday, D.A., Occurrence of nonequilibrium atmospheric mixtures of radon and its daughters. *Nucleonica*, 11, (1953). 40.
2. Measurement of radon and radon daughters in air. NCRP REPORT No.97.
3. S. Chalupnik, K. Skubacz, J. Lebecka. A Method of Absolute Measurement of Daughters Concentration in Air. In *Low Level Counting and Spectrometry. Proceedings of the Third International Conference Low Radioactivities'85. Bratislava 1995.* Edited by P. Povinec. VEDA. Publisher House of the Slovak Academy of Sciences. Bratislava 1987. pp. 289-291.
4. HI-Q ENVIRONMENTAL PRODUCTS COMPANY. Air sampling, Laboratory and Radiation Monitoring Instruments and Supplies. Division of the La Jolla Scientific Company Inc. PO Box 2847, La Jolla Calif., 92038-2847. 43 p.
5. Thomas J.W. Measurement of radon daughters in air, *Health Phys.* 23, 783. 1972.
6. Q. Doi, M.; Kobayashi S. et al. Spatial distribution of thoron and radon concentrations in the indoor air of a traditional Japanese wooden house. *Health Phys.* 66(1):43-49;1994
7. К.Б. Брэстрап и Г.О. Уикофф, Руководство по радиационной защите. Перевод с английского под редакцией Ф.Г. Кроткова и Ю.В. Сивинцева. Медгиз. Москва. 1962. 332с. (Radiation protection. by Carl B. Braedstrup and Harold O. Wyckoff. Charles C. Thomas - Publisher. 1958. 332p.)
8. Сборник радиометрических и дозиметрических методик. Под ред. Н.Г. Гусева, У.Я. Маргулис, А.Н. Марья. Н.Ю. Тарасенко, Ю.М. Штуккенберга. Медгиз., М. 1959. 460 с.
9. Персональное сообщение (Lauri Kaihola, E-mail: lkai@mail.wallac.fi).
10. Fitzgerald J. J., Detwiller C.G. Collection efficiency of aircleaning and air sampling filter media. KAPL-1088(U). Schenestagy, 1954.
11. W.J. McDowell, "Alpha Liquid Scintillation Counting; Past, Present and Future," in *Liquid Scintillation Counting, Recent Applications and Developments*, C.T. Peng, D.L. Horrocks, and E.L. Alpen, Eds., pp 315-346, Academic Press, New York (1974).
12. W.J. McDowell, "Alpha Counting and Spectrometry Using Liquid Scintillation Methods," p 43, NAS-NS-3116, Technical Information Center, U.S. Dept. of Energy, P.O. Box 62, Oak Ridge, TN 37831 (1986).
13. W. Jack McDowell and Betty L. McDowell. The Growth of a Radioanalytical Method: Alpha Liquid Scintillation Spectrometry. In *Liquid Scintillation Spectrometry 1992*, edited by I. E. Noakes, F. Schonhofer and H.A. Polach. *RADIOCARBON* 1993, pp. 193-200.

14. Р.А.Федоров, В.З.Мартюшон,Е.Г.Смирнов, В.А.Аникина. / Накопление  $^{90}\text{Sr}$  в годичных слоях березы бородавчатой. / Экология. №1. 1991 г.
15. Timo Oikary, Jari Suontausta, Stuart Webb and Laury Kaichola. Use of A New Melttable Scintillator for Solid Scintillation Counting by LSC. A paper submitted to American Nuclear Society Winter Meeting, San Francisco, November 10-14, 1991.
16. Laury Kaichola, Timo Oikary and Jari Suontausta. Direct Detection of Radon Gas in Air with A Liquid Scintillation Counter. Presented at the 3rd Inter-national Conference on Nuclear and Radiochemistry, Vienna, September 7-11, 1992
17. Jari Suontausta, Timo Oikary and Stuart Webb. A Melttable Thermoplastic Scintillator. International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry. September 14-18, 1992. Vienna, Austria. Radiocarbon 1993.
18. Зеленский А.В., Бузынный М.Г. / Совершенствование метода измерения Rn-222 в воздухе на основе использования термопластичного сцинтиллятора Meltilex<sup>TM</sup>. // Актуальные проблемы ликвидации медицинских последствий аварии на Чернобыльской АЭС: Тезисы докладов Украинской научно-практической конференции, Киев, 20-22 апреля 1993 г. - Киев: Часть I. М.З. Украины, Украинский научный центр радиационной медицины, 1993.- С. 122-123.
19. H.F.Lucas, Rev. Sci.Instr.28(1957)680.
20. Michael G. Buzinny. New Approach To Determine  $^{222}\text{Rn}$  In Air Using Liquid Scintillation Spectrometry. In Liquid scintillation Spectrometry 1994, edited by G.T.Cook, D.D.Harkness and B.F.Miller. RADIOCARBON 1995, pp.00-00
21. Ковалюх Н.Н., Скрипкин В.В. Химическая подготовка образцов для радиоэкологических исследований радиоуглерода. В кн. Радиоизотопы в экологических исследованиях. Киев, 1992. СС.93-101.
22. Изотопный состав атмосферных осадков в центральной и восточной Европе.//Материалы метеорологических исследований. №12. Москва. 1987. Межведомственный геофизический комитет АН СССР. 1987. - 88 с.
23. Rank D., Rainer V., Lust G. Evidence of local tritium releases in the drainage area of the River March (Morava). //Rare Nuclear Processes. / Proceedings of 14th Euvrophysics Conference on Nuclear Physics. Bratislava, Czechoslovakia 22-26 October 1990. World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd. 1992. - p. 367-370.

24. Rank D., Rainer V., Lust G. Tritium in Precipitation: "Altitude effect" in the Alps ?. //Rare Nuclear Processes. / Proceedings of 14th Euvrophysics Conference on Nuclear Physics. Bratislava, Czechoslovakia 22-26 October 1990. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1992. - pp. 371-375.
25. Behavior of Tritium in the Environment. Proceedings of a Symposium San Francisco, 16 - 20 October, 1978 y. - Vienna, IAEA, 1979. - 711 p.