



Государственное научное учреждение
«Объединенный институт энергетических и
ядерных исследований – Сосны»
Национальной академии наук Беларуси

Радон в объектах окружающей среды на территории Гродненской области

Жук И. В.

*Канд. техн. наук, заведующий лабораторией
«Экспериментальных ядерно-физических
исследований и экспертных анализов
радиоактивных материалов»*

Радон (Rn) – это природный газ, дочерний продукт распада радионуклидов цепочки урана-238. Как и его ближайший предшественник, радий-226, распространенный повсюду в земной коре, радон присутствует во всех зданиях и подземных помещениях.

Радон является доминирующим источником облучения населения, его вклад в суммарную дозу составляет **более 50 %**. Тот факт, что радон является вторым по значимости после курения фактором риска рака легкого, определяет высокую значимость проблемы обеспечения радонобезопасности населения.

Потенциально радоноопасные территории охватывают около 40 % территории Беларуси. Территория Гродненской области по своим геофизическим особенностям относится к одной из наиболее потенциально радоноопасных в Республике Беларусь.

Мониторинг радона в помещениях в Республике Беларусь проводится научным учреждением «ОИЭЯИ - Сосны» с 2004 г. Целью является определение концентраций радона в воздухе помещений на соответствие нормативным требованиям и оценка вклада радона в годовую эффективную дозу облучения населения.

На протяжении 2011-2018 гг. специалистами ОИЭЯИ-«Сосны» проводятся исследования содержания радона в подземной минеральной воде трех санаториев Беларуси, использующих для лечебных процедур минеральную воду с содержанием радона природного происхождения: санаторий «Радон» ОАО «Белагроздравница»; санаторий «Альфа Радон» ООО «ТОРВЛАД» и санаторий «Озерный».

Карта распределения тектонических разломов в Гродненской области

Поскольку зоны разломов являются наиболее ослабленными участками земной коры, по ним происходит поступление из глубинных горизонтов земной коры к поверхности различных газовых, жидких и иных эманаций.

На территории Гродненской области выделена достаточно густая сеть подобных разрывных структур, с которыми может быть связано формирование радоновых аномалий, превышающих фоновые значения и 2-3 раза и более.

-  разломы, проникающие в платформенный чехол
-  разломы, не проникающие в платформенный чехол (суперрегиональные)
-  разломы, не проникающие в платформенный чехол (региональные и субрегиональные)





Радон в воздухе помещений

Метод определения концентрации радона в воздухе

Измерения радона выполняются с использованием интегрального метода пассивной трековой радиометрии и применением твердотельных трековых детекторов α -частиц.

Сущность метода – в некоторых диэлектрических материалах альфа-частицы радона и его ДПР (как и другие тяжелые ядерные частицы) производят радиационные повреждения (латентные треки), которые после протравливания в химических реагентах могут быть подсчитаны с помощью оптического микроскопа или другими методами.

В исследованиях в качестве детекторов использовалась **нитроцеллюлозная пленка Kodak LR-115, тип 2 (DOSIRAD, Франция), позволяющая применить относительно простой **искровой способ подсчета треков** на детекторах.**

Оборудование

Комплекс средств измерений интегральной объемной активности радона (OA_{Rn}) в воздухе трековым методом (**КСИОАР-01**) включает:



Прибор для травления трековых детекторов – термостат **ТРАЛ-1**

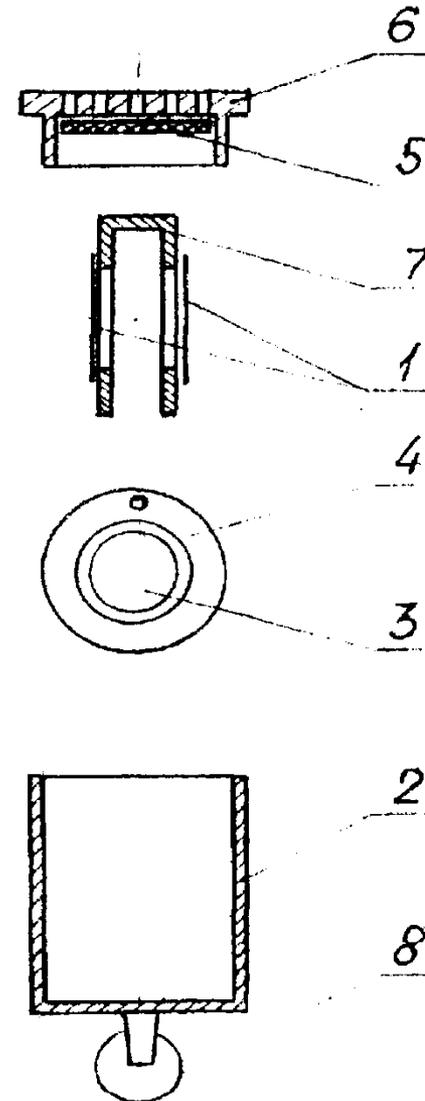
Прибор для автоматического электроискрового счета треков **АИСТ-2В**



Интегральный радиометр радона трековый (ИРРТ) с трековым детектором на основе пленки Kodak LR-115 Type 2

Схема интегрального радиометра радона трекового (ИРРТ)

- 1 - тормозящий фильтр
- 2 - корпус камеры
- 3 - трековый детектор
- 4 - держатель детектора по типу палец
- 5 - диффузионный фильтр
- 6 - крышка камеры
- 7 - направляющие
- 8 - кольцо для крепления



Химическое травление



В качестве устройства для химической обработки твердотельных трековых детекторов (ТТД) после их экспонирования используется **термостат ТРАЛ-1**, который предназначен для нагревания и поддержания фиксированной температуры в водно-щелочном растворе травителя во время химической обработки (травления) трековых детекторов.

Оптимальные условия химической обработки ТТД на основе пленки Kodak LR-115:

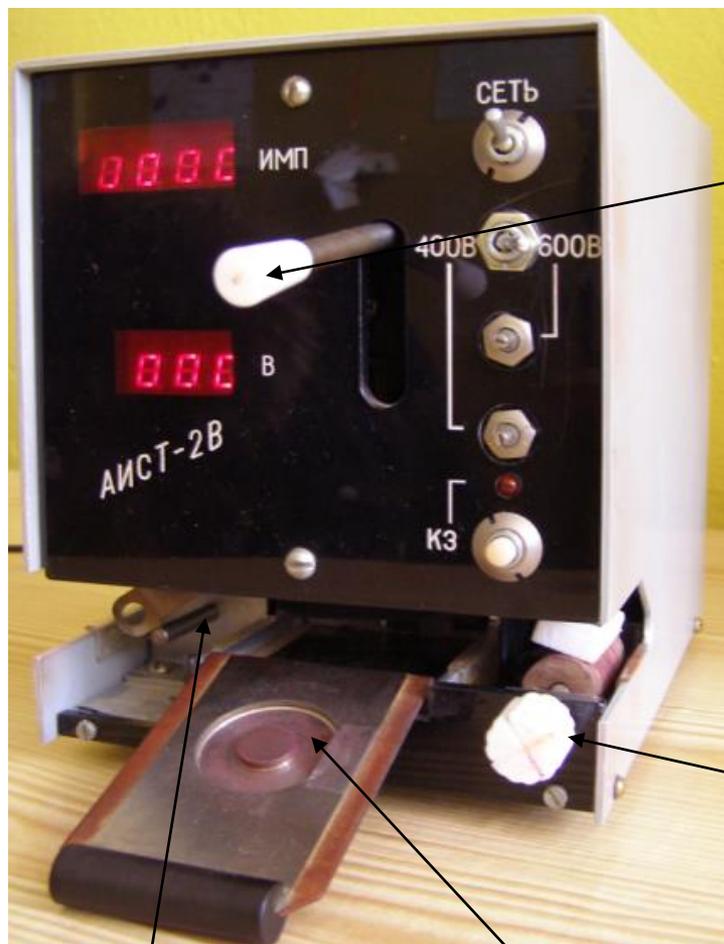
Плотность травящего реагента NaOH - (1.220 ± 0.002) г/см³;

Температура травления - (50 ± 0.5) °С;

Время травления - (170 ± 1) мин.

Искровой счетчик АИСТ-2В

Прибор для автоматического истрогого счета треков АИСТ-2В предназначен для измерения плотности сквозных треков, оставленных альфа-частицами в тонких пластиковых пленочных детекторах



Прижимной рычаг

Привод перемотки ленты

Катушка с алюминизированной лентой

Кассета

Искровой счетчик АИСТ-2В (принцип работы)

- Через сквозные треки в детекторе происходит искровой пробой. Каждый измерительный цикл включает в себя два режима: “предварительный пробой” и “счетный пробой”, которые осуществляются при разных значениях высокого напряжения, подаваемого на электроды.
- Режим “предварительный пробой” (с повышенным напряжением) предназначен для искрового пробоя максимального количества сквозных треков.
- В режиме “счетный пробой” (с пониженным напряжением) мощность разряда, как правило, достаточна для пробоя только одного трека. Второй разряд на этом же треке не происходит из-за локального испарения металла алюминизированной ленты, поэтому пробивается следующий трек и так далее хаотически по площади детектора пробиваются все сквозные треки.

Комплекс КСИОАР-01 внесен в Государственный реестр средств измерения Республики Беларуси и ежегодно калибруется в БелГИМ

Республиканское унитарное предприятие
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ»
(БелГИМ)



Аттестат аккредитации № ВУ/112 5.0100 от «31» октября 2003 г.
действителен до 31.10.2021 г.



СВИДЕТЕЛЬСТВО № МА 01 004 - 48
о метрологической аттестации
от 30 октября 2017 г.

Комплекс средств измерений интегральной объёмной активности ^{222}Rn в воздухе трековым методом КСИОАР-01 №03/01 производства НПО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина» (г. Санкт-Петербург, Россия)
(наименование средства измерения, тип, заводской номер, изготовитель)

Заказчик Научное учреждение «ОИЭЯИ-Сосны», 223063, Минский р-н, Луговослободской с/с, р-н д. Прилесье, 47/22, лабораторно-технический корпус, каб. 205.
(наименование юридического, физического лица, адрес)

Назначение средства измерений Измерение интегрального средневзвешенного значения ОА радона в воздухе жилых и производственных помещений трековым методом с использованием интегральных радиометров радона трековых с твердотельными трековыми детекторами на основе нитратцеллюлозных плёнок «Kodak LR type II».
(краткая характеристика объекта и условий эксплуатации)

Программа и методика метрологической аттестации ПМА МН 2722-2017
(обозначение программы и методики аттестации)

Эталонные средства измерений (исходные) Эталонный радиометр объёмной активности ^{222}Rn в воздухе Alpha Guard mod. PQ2000 № EF-1481 с погрешностью $\pm 8\%$ при доверительной вероятности $P = 0,95$; комплект эталонных жидкостных генераторов радона №№ 04, 05, 06 активностью изотопа ^{226}Ra соответственно 495 Бк, 2530 Бк, 10900 Бк с погрешностью $\pm 6\%$ при доверительной вероятности $P = 0,95$.
(наименование, тип, идентификационный номер, разряд, класс точности)

Условия проведения метрологической аттестации
- температура окружающей среды: $21,4\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- атмосферное давление: 992 гПа,
- относительная влажность воздуха: 54 %,
- внешний радиационный фон: 0,12 мкЗв/ч.
(условия окружающей среды и другие влияющие факторы)

Результаты метрологических исследований

| Наименование метрологических характеристик | Значение метрологических характеристик |
|--|--|
| 1 | 2 |
| Коэффициент преобразования электроискрового счётчика «АИСТ-2В» $K_{\text{кр}}$, трек $\text{см}^2 \cdot \text{имп}^{-1}$ | $0,81 \pm 0,15$ |
| Уровень собственного фона твердотельных трековых детекторов на основе нитратцеллюлозных плёнок «Kodak LR type II» $R_{\text{фн}}$, трек см^2 | 28 ± 6 |
| Чувствительность твердотельных трековых детекторов на основе нитратцеллюлозных плёнок «Kodak LR type II» к альфа-излучению изотопа ^{222}Rn $\xi_{\text{в}}$, трек $\text{см}^2 \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{сут}^{-1}$ | $0,045 \pm 0,007$ |
| Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения интегральной объёмной активности радона в воздухе (при доверительной вероятности $P = 0,95$) в диапазоне от 20 до 10^5 Бк/м 3 , % | ± 30 |
| Среднеквадратическое отклонение при определении погрешности счёта сквозных треков (воспроизводимость показаний электроискрового счётчика), %, не более | 5,0 |
| Нестабильность показаний электроискрового счётчика за время непрерывной работы G, %, не более | 5,0 |

Все измерения имеют прослеживаемость к единицам Международной системы СИ, которые воспроизводятся национальными эталонами БелГИМ.

Республиканское унитарное предприятие
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ»
(БелГИМ)
Republican unitary enterprise «Belarusian state institute of metrology» (BelGIM)



Свидетельство о калибровке КОМЕТ
Calibration certificate



Номер свидетельства ВУ 01 049-48 Дата калибровки 30.10.2017 Страница 1 из 2
Certificate number Date when calibrated Page of

Объект калибровки Комплекс средств измерений интегральной объёмной активности ^{222}Rn в воздухе трековым методом «КСИОАР-01» № 03/01.
Item calibrated Name of the method / identification

Заказчик Научное учреждение «ОИЭЯИ-Сосны», 223063, Минский р-н, Луговослободской с/с, р-н д. Прилесье, 47/22, лабораторно-технический корпус, каб. 205.
Customer Description of measurement standard / measuring instrument / identification

Калибровочное клеймо-наклейка 028990
Calibration mark порядковый номер / serial number

Метод калибровки Калибровка выполнена методом экспонирования группы интегральных радиометров радона трековых в условиях атмосферы с известным средне-взвешенным значением объёмной активности радона в воздухе и определением коэффициента чувствительности твердотельных трековых детекторов на основе нитратцеллюлозных плёнок «Kodak LR type II» к альфа-излучению изотопа ^{222}Rn в соответствии с методикой МРП МК 48 17.492-2017.
Method of calibration Name of the method / identification

Все измерения имеют прослеживаемость к единицам Международной системы СИ, которые воспроизводятся национальными эталонами БелГИМ. Данный сертификат может быть воспроизведен только полностью. Любая публикация или частичное воспроизведение содержания сертификата возможны с письменного разрешения БелГИМ, выданного сертификатом.

All measurements are traceable to the SI units which are realized by national measurement standards of BelGIM. This certificate shall not be reproduced, except in full. Any publication extracts from the calibration certificate requires written approval of the issuing BelGIM.

Начальник отдела
МП



С.А. Сорока
Ф.И.О.

Дата выдачи 30.10.2017
Date of issue

Аттестат аккредитации калибровочной лаборатории по СТБ ИСО/МЭК 17025 № ВУ/112 5.0100 от 31 октября 2003 г. действителен до 31.10.2021 г.

Certificate of calibration laboratory accreditation according to ISO/IEC 17025 № ВУ/112 5.0100 from the 31 of October, 2003, valid till 31.10.2021.

Измерение объемной активности радона ($ОА_{Rn}$) в воздухе помещений по данной методике включает следующую последовательность операций:

- подготовка ИРРТ к экспонированию в воздухе исследуемых помещений;
- размещение ИРРТ в исследуемых помещениях;
- экспонирование ИРРТ;
- сбор ИРРТ после окончания экспонирования;
- разрядка ИРРТ для последующей обработки ТТД;
- химическая обработка (травление) ТТД;
- подсчет числа импульсов и определение плотности треков на ТТД;
- расчет объемной активности радона в воздухе по формуле:

$$A = \frac{\overline{N} - N_0}{\varepsilon_0 T_{\text{э}}}$$

где A – объемная активность радона, Бк·м⁻³;

\overline{N} – плотность треков на детекторе, трек·см⁻²;

T – длительность экспозиции, сут.;

N_0 – уровень собственного фона трекового детектора, трек·см⁻²;

ε_0 – чувствительность комплекса КСИОАР-01, трек·см⁻²·Бк⁻¹·м³·сут⁻¹.

Преимущества метода пассивной трековой радиометрии:

- возможность одновременных массовых исследований помещений;
- получение информации о средней концентрации радона, интегрированной за длительный период экспозиции детекторов (до месяца и более), что позволяет учесть сезонные колебания эксхалляции радона из почвы и реальные режимы эксплуатации помещений (частоту проветривания помещений, условия вентиляции и др.);
- возможность экспрессного снятия информации с десятков и сотен детекторов;
- надежное сохранение информации во время длительных экспозиций.

Мониторинг радона в помещениях на территории Беларуси за период 2004–2017 гг.

- Стратегия выбора населенных пунктов и зданий для мониторинга радона в воздухе помещений: до 2010 г. выбор населенных пунктов проводился на потенциально радоноопасных территориях (в зонах с тектоническими разломами (на или вблизи разломов)); после 2010 г. осуществлялся произвольный выбор населенных пунктов (без учета геолого-геофизических особенностей территорий).
- За период 2004-2017 гг. мониторинг радона проведен в 5086 зданиях.
- Время экспозиции составляло 2 месяца в основном в холодное время года.
- Большинство исследованных помещений расположены на первом этаже зданий.
- Обследованные помещения включают: жилые и административные здания, больницы, школы.
- Большая часть исследованных помещений (до 90%) – одноэтажные жилые дома, поскольку критическими по уровням радона в воздухе помещений являются одноэтажные сельские дома.

Нормируемым параметром в Республике Беларусь является среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона ($\overline{ЭРОА}_{Rn}$)

Согласно требованиям нормативных документов, действующих в Республике Беларусь, среднегодовая $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ не должна превышать:

- 200 Бк/м³ в жилых помещениях, находящихся в эксплуатации;
- 100 Бк/м³ для построенных зданий (после реконструкции, капитального ремонта).

Для расчета среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона используются измеренные значения OA_{Rn} для каждого i -го помещения:

$$\left(\overline{ЭРОА}_{Rn}\right)_i = \left(OA_{Rn}\right)_i \cdot \left\{V_{Rn}(t)\right\}_i \cdot F_{Rn} \cdot (1 + \delta) + 4,6 \cdot \overline{ЭРОА}_{Th}$$

где F_{Rn} – коэффициент, характеризующий сдвиг радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР в воздухе, принятый равным 0,5;

$\{V_{Rn}(t)\}_i$ – коэффициент вариации, зависящий от продолжительности экспозиции радонметров в воздухе помещений и сезона года, в котором проводилась эта экспозиция (0,75 - холодное время года, 1,5 - летний сезон);

δ – основная погрешность измерения, принимаемая по свидетельству о метрологической аттестации средств измерений и равная 30%;

$\overline{ЭРОА}_{Th}$ – вклад от ^{220}Rn (торона), оцененный в 3,2 Бк/м³.

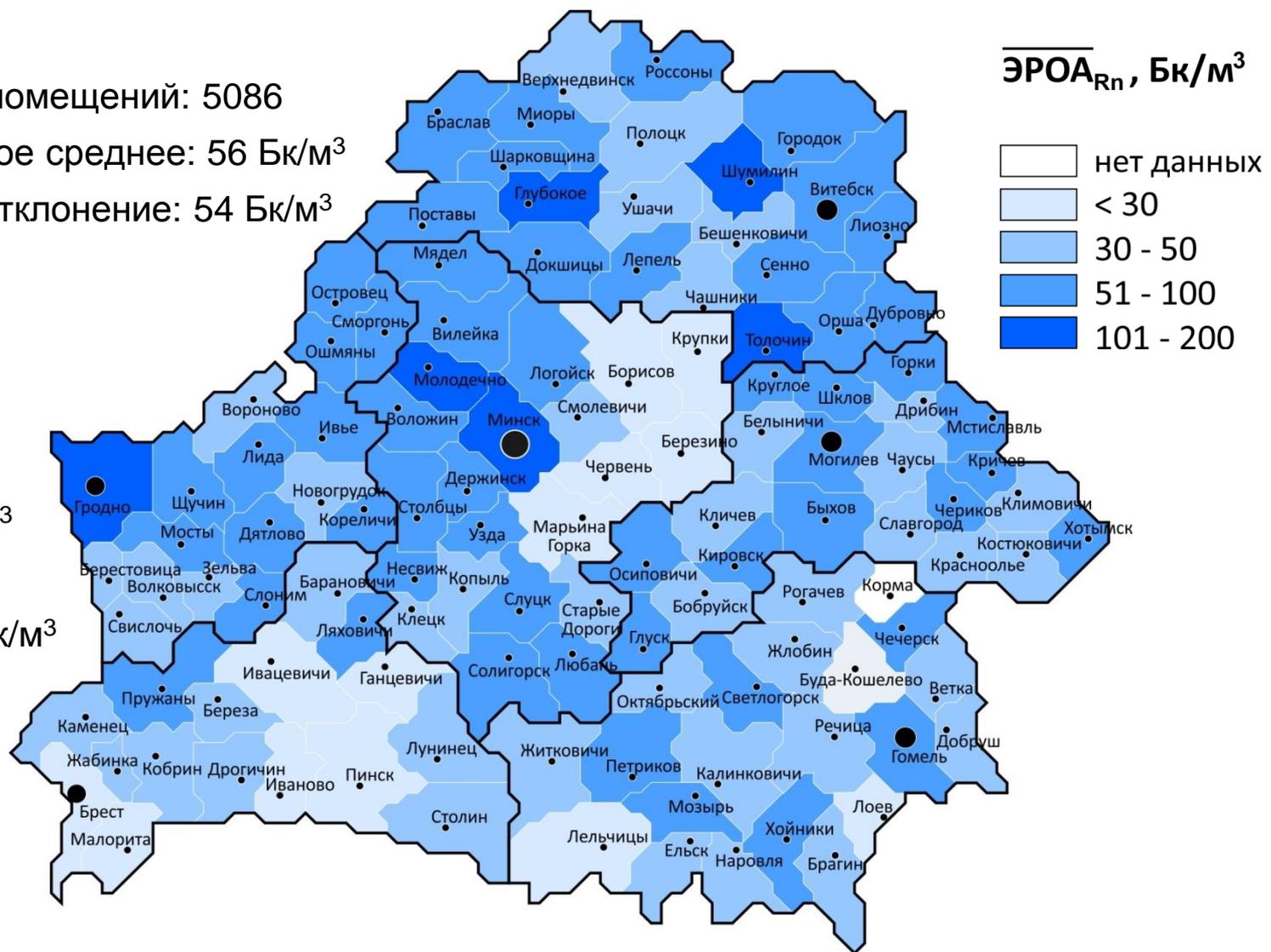
Статистика измерений ЭРОА радона по областям Беларуси

| Область | Кол-во обследованных помещений | Среднегодовая ЭРОА _{Rn} , Бк/м ³ | | Доля обследованных помещений с ЭРОА _{Rn} >200 Бк/м ³ , % |
|--------------|--------------------------------|--|-------------|--|
| | | средняя | максим. | |
| Брестская | 413 | 37 | 225 | 0,7 |
| Витебская | 665 | 73 | 515 | 2,7 |
| Гомельская | 1024 | 36 | 635 | 0,8 |
| Гродненская | 900 | 62 | 808 | 3,3 |
| Минская | 669 | 56 | 1052 | 2,4 |
| Могилевская | 1001 | 58 | 313 | 1,4 |
| г. Минск | 414 | 75 | 377 | 2,4 |
| Всего | 5086 | 56 | 1052 | 2,2 |

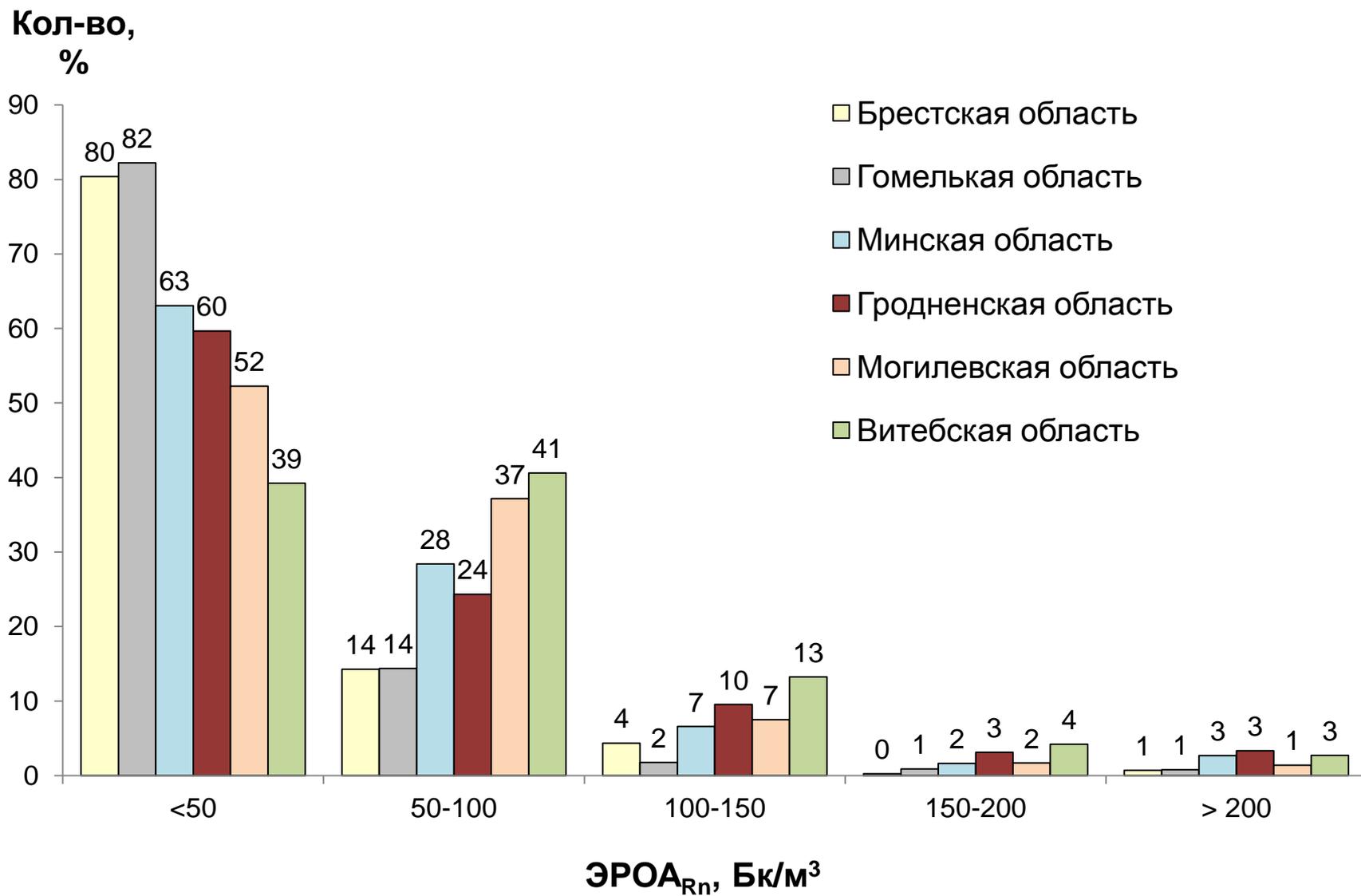
Распределение среднегодовой ЭРОА radона в помещениях по административным районам Беларуси

- Обследовано помещений: 5086
- Арифметическое среднее: 56 Бк/м³
- Стандартное отклонение: 54 Бк/м³

- Max: 1052 Бк/м³
- Min: 13 Бк/м³
- Медиана: 42 Бк/м³



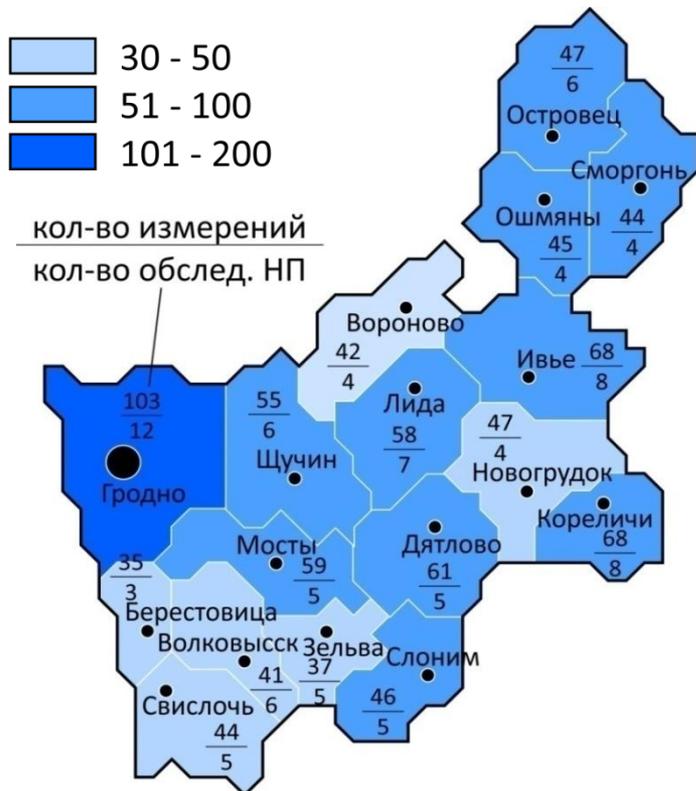
Распределение частот среднегодовой ЭРОА radона по областям Беларуси



Распределение среднегодовой ЭРОА_{Rn} в помещениях по районам Гродненской области и доли зданий (% от обследованных) с ЭРОА > 200 Бк/м³

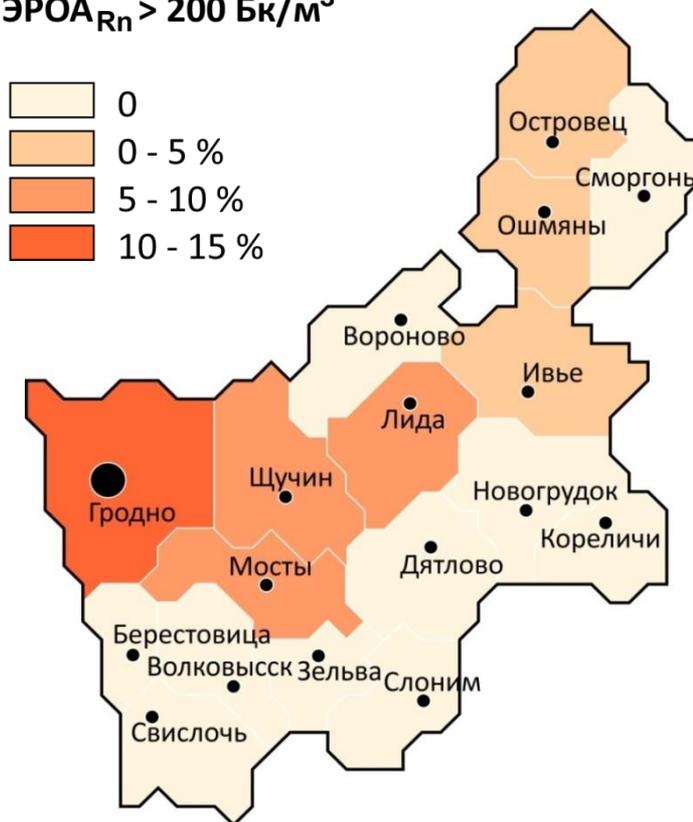
ЭРОА_{Rn} в помещениях, Бк/м³

а)



Доля зданий с ЭРОА_{Rn} > 200 Бк/м³

б)

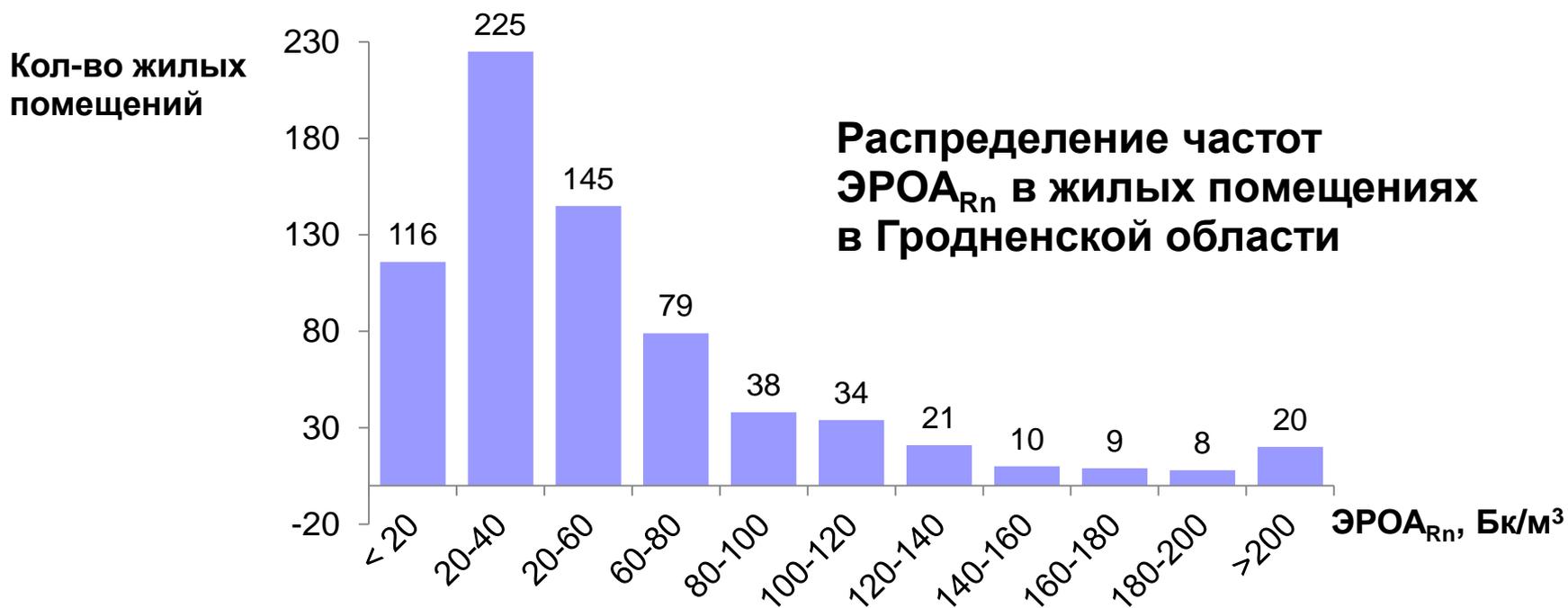


- Обследовано помещений: 900
- Арифметическое среднее: 62 Бк/м³
- Стандартное отклонение: 55 Бк/м³

- Max: 808 Бк/м³
- Min: 14 Бк/м³
- Медиана: 40 Бк/м³

Результаты измерений концентраций радона в воздухе жилых помещений в Гродненской области

| Кол-во обследованных населенных пунктов, шт. | Объем выборки исследованных помещений, шт. | | $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ в жилых помещениях, Бк/м ³ | | Доля жилых помещений с $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}} > 200$ Бк/м ³ , % |
|--|--|-------|--|---------|---|
| | всего | жилые | средняя | максим. | |
| 97 | 900 | 705 | 59 | 808 | 2,8 |



Годовая эффективная доза облучения населения Беларуси радоном и его ДПР

Согласно требованиям нормативных документов Республики Беларусь при оценке индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения, значение коэффициента дозового перехода принято равным $9 \times 10^{-6} \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1} / (\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3})$ или $0,063 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1} / (\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3})$, что соответствует рекомендациям Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР) и Международной организации по радиологической защите (МКРЗ).

| Область | Эффективная доза от радона, мЗв/год | Эффективная доза от чернобыльских нуклидов, мЗв/год | Примечание |
|---------------------|-------------------------------------|---|---|
| Брестская | 2,3 | 0,44 | Согласно публикациям 103 и 126 МКРЗ, риск возникновения рака легкого вследствие облучения радоном и ДПР, пренебрежимо мал при годовой дозе до 10 мЗв . |
| Витебская | 4,6 | 0,11 | |
| Гродненская | 3,9 | 0,19 | |
| Гомельская | 2,2 | 0,38 | |
| Минская | 3,6 | 0,19 | |
| Могилевская | 3,7 | 0,31 | |
| Вся Беларусь | 3,4 | 0,34 | |

* – данные Каталога годовых эффективных доз облучения населения Беларуси 2014 г.

Годовая эффективная доза облучения населения районов Гродненской области радоном и его ДПР

| Район | Эффективная доза от радона, мЗв/год | | Район | Эффективная доза от радона, мЗв/год | |
|---------------|-------------------------------------|--------|--------------|-------------------------------------|---------|
| | средняя | максим | | средняя | максим. |
| Берестовицкий | 2,4 | 4,8 | Мостовский | 4,1 | 21,9 |
| Волковысский | 2,5 | 5,2 | Новогрудский | 2,3 | 6,4 |
| Вороновский | 2,2 | 5,0 | Островецкий | 4,2 | 14,2 |
| Гродненский | 6,2 | 50,9 | Ошмянский | 5,3 | 14,0 |
| Дятловский | 4,0 | 12,5 | Свислочский | 2,1 | 5,7 |
| Зельвенский | 3,1 | 12,5 | Слонимский | 3,9 | 11,3 |
| Ивьевский | 3,6 | 14,3 | Сморгонский | 3,2 | 11,1 |
| Кореличский | 3,5 | 12,5 | Щучинский | 4,8 | 23,0 |
| Лидский | 4,6 | 22,5 | | | |

По Гродненскому району: средняя: 3,9 мЗв/год
максимальная: 50,9 мЗв/год



Минеральные радоновые воды санаториев Гродненской области

Во всем мире сегодня насчитывается более 300 источников радоновых вод, 30 из которых находятся в России и странах СНГ. За рубежом около 300 радоновых курортов, из них 130 в Японии.

Первый в мире радоновый курорт был построен в 1911 г. в чешском городе Яхимов, где проводили свои опыты с урановой рудой лауреаты Нобелевской премии 1903 г. Пьер и Мария Кюри.

В России исследования в области радиоактивности вод и природных объектов начались в 1903 г. под руководством профессора Московского университета А.П. Соколова. В начале 1912 г. А.П. Соколов создал при Физическом институте Московского университета радиологическую лабораторию. Работы в основном были посвящены изучению радиоактивности природных объектов — вод, лечебных грязей и горных пород территорий России.

В России курорты расположены в районах месторождений радоновых вод — в горных (Забайкалье, Тува, Алтай, Урал, Кавказ и др.) и равнинных областях с крупными массивами изверженных пород (Карелия).

Первый российский радоновый курорт Белокуриха был открыт в 1867 г. на горячих источниках. Газы и воды Белокурихинских источников были изучены в 1907-1908 г. учеными Томского технологического института — они относятся к слаборадоновым водам (530 Бк/л).



Настоящим богатством России являются естественные высокоактивные радоновые воды на курорте «Увильды» (по степени эффективности лучшие в России).

Курорт расположен на южном Урале и начал функционировать с 1944 г. Благодаря высокой концентрации радона, которая составляет 140-475 нКи/л (5-8 кБк/л) увильдинский радон оставляет далеко позади такие знаменитые курорты, как Белокуриха, Пятигорск.

На курорте «Увильды» радоновая вода поступает в лечебницу из естественного подземного источника (эксплуатационной скважины № 44) с глубины 161,3 м.

Увильдинская радоновая вода, согласно действующим критериям оценки лечебных минеральных вод, является слабоминерализованной (М. 0.2-0.6 г/дм³), хлоридно-карбонатно-кальциево-магниевой, содержит селен, железо, кислород, кремниевую кислоту.

Многолетняя практика, эффективного лечебного использования этой воды на курорте "Увильды", послужила основанием для выделения особого типа минеральных вод - Увильдинского («Методические указания №2000/34», Минздрав России).



В Беларуси природные минеральные радоновые воды до настоящего времени обнаружены лишь в Гродненской области: в Дятловском и Гродненском районах. Так, в 1989 г. пробурены и введены в эксплуатацию 4 скважины, принадлежащие санаторию «Радон». Глубина скважин от 296 до 307 метров. Минеральной радоновой водой из этих же скважин обеспечивается санаторий «Альфа Радон».

В санатории «Озерный» пробурена и эксплуатируется одна скважина. Добытая из этих скважин подземная минеральная вода используется с целью организации лечебных процедур в виде радоновых ванн, ванн для орошения, для подводного вытяжения и других процедур.

По содержанию (объемной активности) радона, до 280-3150 Бк/л, минеральные воды санаториев Беларуси классифицируются как очень слабо-, слабо- и среднерадоновые.



В литературе минеральные радоновые воды по концентрации в них радона подразделяют на 5 групп:

- 1 – очень слабой концентрации 37,5–375 Бк/л;
- 2 – слабой концентрации 375–1500 Бк/л;
- 3 – средней концентрации 1,5–4,5 кБк/л;
- 4 – сильной концентрации 4,5–7,5 кБк/л;
- 5 – очень сильной концентрации 7,5 кБк/л.

В науке, занимающейся минеральными водами, принято, что минеральная вода имеет право называться радоновой, если содержание радона в ней превышает 666 Бк/кг.

Исследование содержания радона в подземной минеральной воде санаториев Гродненской области

Санаторий «Радон»: за 2011–2018 гг. проведены исследования содержания радона в подземной минеральной воде из скважин № 1Р, 2Р, 3Р, 4Р, бойлерных емкостей, процедурных ванн, ванн для орошения, 4-камерной ванны, ванны для подводного вытяжения.

Санаторий «Альфа Радон»: исследования содержания радона в подземной минеральной воде проводились перед открытием санатория в 2015 г.

Санаторий «Озерный»: исследования содержания радона в подземной минеральной воде проводились 2016 году.

Перед отбором проб из скважин в течение не менее **4 ч** проводилась выкачка подземной минеральной воды из ствола скважины для исключения отбора проб воды с пониженной концентрацией радона-222 из-за ее уменьшения в результате радиоактивного распада радона ($T_{1/2}(\text{Rn-222}) = 3,82 \text{ сут}$).

Глубина радоновых скважин составляет **295–371 м**.

Температура подземной минеральной воды в скважинах составляет около **14 °С**.

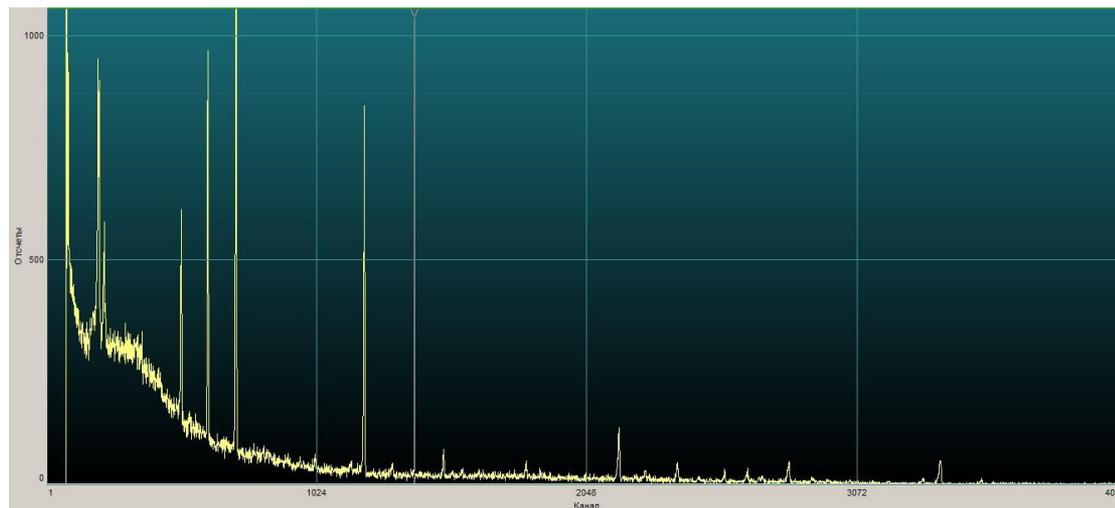
Из каждой скважины отбиралось по две пробы в стеклянные банки объемом 500 мл с закруткой.

В дальнейшем пробы в течение дня отбора транспортировались (около 4 ч) в ОИЭЯИ-«Сосны» для проведения лабораторных анализов.

Определение удельной активности радона в воде гамма-спектрометрическим методом

Измерения проб подземной минеральной воды проводились в лабораторных условиях в ОИЭЯИ-«Сосны» на стационарном гамма-спектрометре на основе полупроводникового Ge(Li)-детектора ДГДК-80Б (энергетическое разрешение – 2,6 кэВ для линии 609,3 кэВ). Калибровка гамма-спектрометра по эффективности осуществлялась с помощью образцового радиоактивного раствора для геометрии – стеклянная банка 500 мл.

Для нахождения значения активности Rn-222 учитывалась как основная линия с энергией **609,312 кэВ** (квантовый выход 46,1 %), принадлежащая ^{214}Bi , так и линии с энергиями 295,22 (19,30 %); 351,93 (37,60 %) кэВ, принадлежащие другому дочернему продукту – ^{214}Pb , а также линия ^{214}Bi – 1120,29 (15,1 %) кэВ.

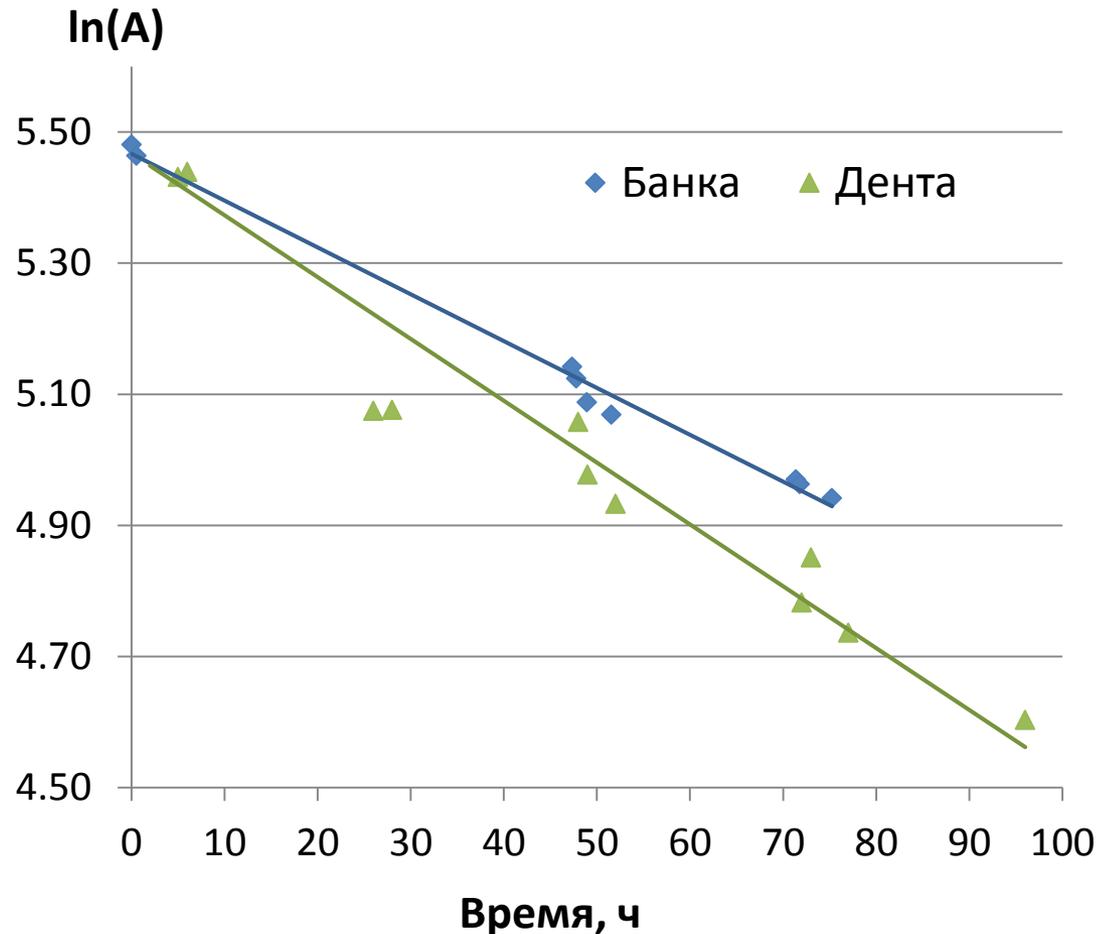


Гамма-спектр пробы подземной минеральной воды санатория «Радон» (скважина № 4Р, время измерения 3780 с)

Определение удельной активности радона в воде

Для контроля возможности утечки Rn-222 из измерительной емкости пробы воды помещались в **полиэтиленовую ДЭНТУ** с закручивающейся крышкой и **стеклянную банку** с металлической крышкой-закруткой.

Измерения удельной активности Rn-222 повторялись несколько раз и строились кривые зависимости логарифма удельной активности от времени измерения. Результаты измерений хорошо описываются прямой линией.



Определение удельной активности радона в воде

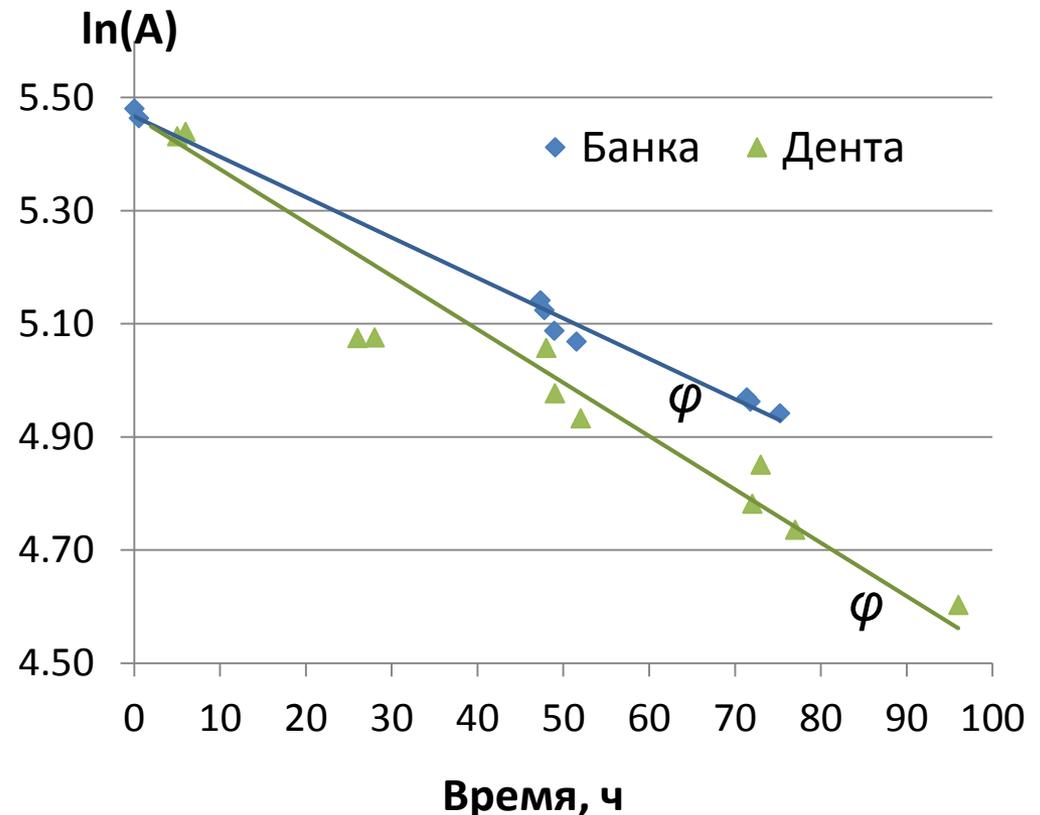
При определении периода полураспада Rn-222 из экспериментальных данных оказалось, что для пробы воды в стеклянных банках величина периода полураспада близка к справочной: 3,9 и 3,82 суток. А для проб в измерительных сосудах ДЭНТА 2,8 суток.

Это позволяет сделать вывод что **утечка радона из стеклянной измерительной емкости с металлической крышкой-закруткой практически отсутствует**. Что нельзя сказать о пластмассовых измерительных емкостях (ДЕНТА, сосуд Маринелли и др.).

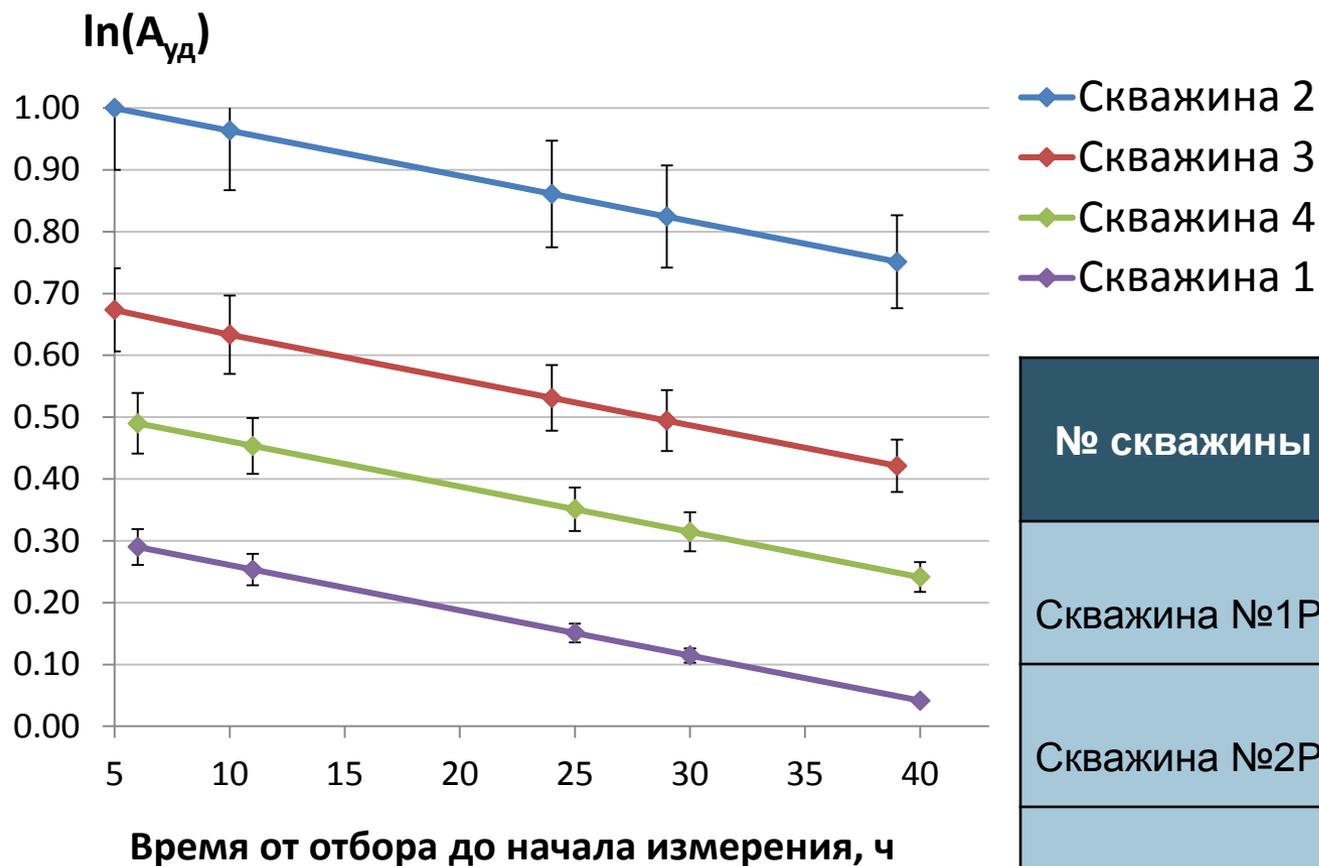
$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\ln(A_0) / \ln(A) = \lambda t$$

$$\lambda = \operatorname{tg} \varphi \quad T_{1/2} = \ln 2 / \operatorname{tg} \varphi$$



Результаты измерений содержания радона-222 в подземной минеральной воде санатория «Радон»



| № скважины | УА Rn-222, Бк/кг | ОА Rn-222, нКи/л |
|--------------|-------------------|-------------------|
| Скважина №1Р | 610 ± 120 | 16,5 ± 3,3 |
| Скважина №2Р | 2070 ± 410 | 56 ± 11 |
| Скважина №3Р | 1340 ± 270 | 36 ± 7 |
| Скважина №4Р | 1010 ± 200 | 27,4 ± 5,5 |

Результаты измерений содержания радона-222 в подземной минеральной воде и в процедурных ваннах санатория «Радон»

| Шифр пробы | Удельная активность радона-222, Бк/кг | Объемная активность радона-222, нКи/л |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Скважина № 1Р | 610 ± 120 | $16,5 \pm 3,3$ |
| Скважина № 2Р | 2070 ± 410 | 56 ± 11 |
| Скважина № 3Р | 1340 ± 270 | 36 ± 7 |
| Скважина № 4Р | 1010 ± 200 | $27,4 \pm 5,5$ |
| Процедурная ванна № 2 | 1170 ± 230 | 32 ± 6 |
| Процедурная ванна № 13 | 1100 ± 220 | 30 ± 6 |
| 4-камерная ванна | 760 ± 150 | $20,6 \pm 4,1$ |
| Ванна для подводного вытяжения | 600 ± 120 | $16,3 \pm 3,3$ |
| Ванна для орошения № 3 | 730 ± 150 | $19,7 \pm 3,9$ |

Результаты измерений содержания радона-222 в подземной минеральной воде санатория «Альфа радон»

| Шифр пробы | Удельная активность радона-222, Бк/кг | Объемная активность радона-222, нКи/л |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Процедурная ванна № 1 | 1130 ± 230 | 30 ± 6 |
| Процедурная ванна № 7 | 950 ± 190 | $25,7 \pm 5,1$ |
| Процедурная ванна № 8 | 1080 ± 220 | 29 ± 6 |
| Процедурная ванна № 12 | 1040 ± 210 | 28 ± 6 |
| Ванна для орошения № 1 | 860 ± 170 | $23,1 \pm 4,6$ |
| Ванна для орошения № 2 | 760 ± 150 | $20,5 \pm 4,1$ |
| 4-камерная ванна | 870 ± 170 | $23,4 \pm 4,7$ |

Результаты измерений содержания радона-222 в подземной минеральной воде санатория «Озерный»

| Шифр пробы | Удельная активность радона-222, Бк/кг | Объемная активность радона-222, нКи/л |
|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Скважина № 03/06 | 340 ± 70 | 9,2 ± 1,8 |
| Процедурная ванна | 290 ± 60 | 7,8 ± 1,6 |



Аккредитованным испытательным центром природных лечебных ресурсов России выдан протокол (от 18.04.2007 г.), согласно которому содержание Rn-222 в пробе воды из скважины составило **378 Бк/л**.

Заключение

- За период 2004–2017 гг. интегральным методом пассивной трековой радиометрии с использованием твердотельных трековых детекторов α -частиц в Беларуси обследовано 5086 эксплуатируемых жилых и административных зданий.
- Среднее значение среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона в помещениях на территории Беларуси составляет 56 Бк/м³, что соответствует средней годовой эффективной дозе облучения радоном 3,4 мЗв.
- Гродненская область относится к одной из потенциально радоноопасных в Беларуси. Среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность на территории Гродненской области составляет 62 Бк/м³. Среднегодовая ЭРОА_{Rn} выше установленного норматива 200 Бк/м³ обнаружена в 3,3 % обследованных помещений (5 административных зданий, 22 жилых дома, 1 детский сад, 2 школы).
- Среднегодовая эффективная доза облучения населения Гродненской области радоном составляет 3,9 мЗв/год.
- Удельная активность радона-222 в пробах подземной минеральной воды, отобранных из скважин санатория «Радон», варьируется от минимального значения 610±120 Бк/кг для скважины № 1Р до максимального 2070±410 Бк/кг для скважины № 2Р.
- Удельная активность радона-222 для проб подземной минеральной воды, отобранной из скважины № 03/06 в санатории «Озерный», составляет 340±70 Бк/кг.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ