



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

Измерения концентрации радона в пробах минеральной радоновой ВОДЫ

*Дилшод Хакимов, аспирант 1 года обучения
Научный руководитель: к.т.н И.В. Жук*

Цель и задачи работы

Целью данной работы являлось исследование содержания радона в подземной минеральной воде в санатории «Радон», использующему для лечебных процедур минеральную воду с содержанием радона природного происхождения.

Задачи:

- Провести измерения содержания радона в пробах воды, отобранных в измерительные емкости из различных материалов с отличающимися геометриями и различными способами герметизация емкостей используя метод , который базируется на гамма-спектрометрической регистрации дочерних продуктов радона-222 в пробах воды;
- Определить измерительные характеристики каждой емкости ;
- Выбрать наиболее подходящую измерительную емкость и способ герметизации этой емкости;
- Провести измерения содержания радона в пробах подземной минеральной воды, отобранных из скважин санатория «Радон».

- Радоновые ванны, применяемые для лечения различных заболеваний, содержат радиоактивный газ радон, растворенный в минеральной воде, и его дочерние продукты распада (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Bi , ^{210}Po и др.)
- Растворимость радона в воде составляет 460 мл/л.



Радон – радиоактивный одноатомный инертный газ, самый тяжелый из благородных газов: его плотность при 0°C равна 9.81 кг/м^3 , что почти в 7.6 раз больше плотности воздуха. Все изотопы радона радиоактивны и имеют короткие периоды полураспада: период полураспада радона-222 равен 3.82 суток, радона-220 (торона)– 55.6 с, радона-219 (актиона) – 3.96 с. Ввиду очень коротких периодов полураспада изотопов радона Rn-219 и Rn-220 4 и 55.6 с соответственно, в минеральной воде поступающей на процедуры содержится лишь 222й изотоп радона – Rn-222, который непосредственно образуется в результате альфа-распада ядер радия-226, содержащегося в земной коре.

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.



Радоновые ванны можно приготовить как искусственным образом из препарата радия-226, который имеется в виде растворённых солей, так и с использованием природных минеральных радоновых вод, добываемых их пробуренных скважин. Радоновые ванны, приготавливаемые из минеральных радоновых вод, наиболее ценятся из-за их уникального минерального состава.

Концентрации радона-222 в минеральных водах некоторых мировых курортов

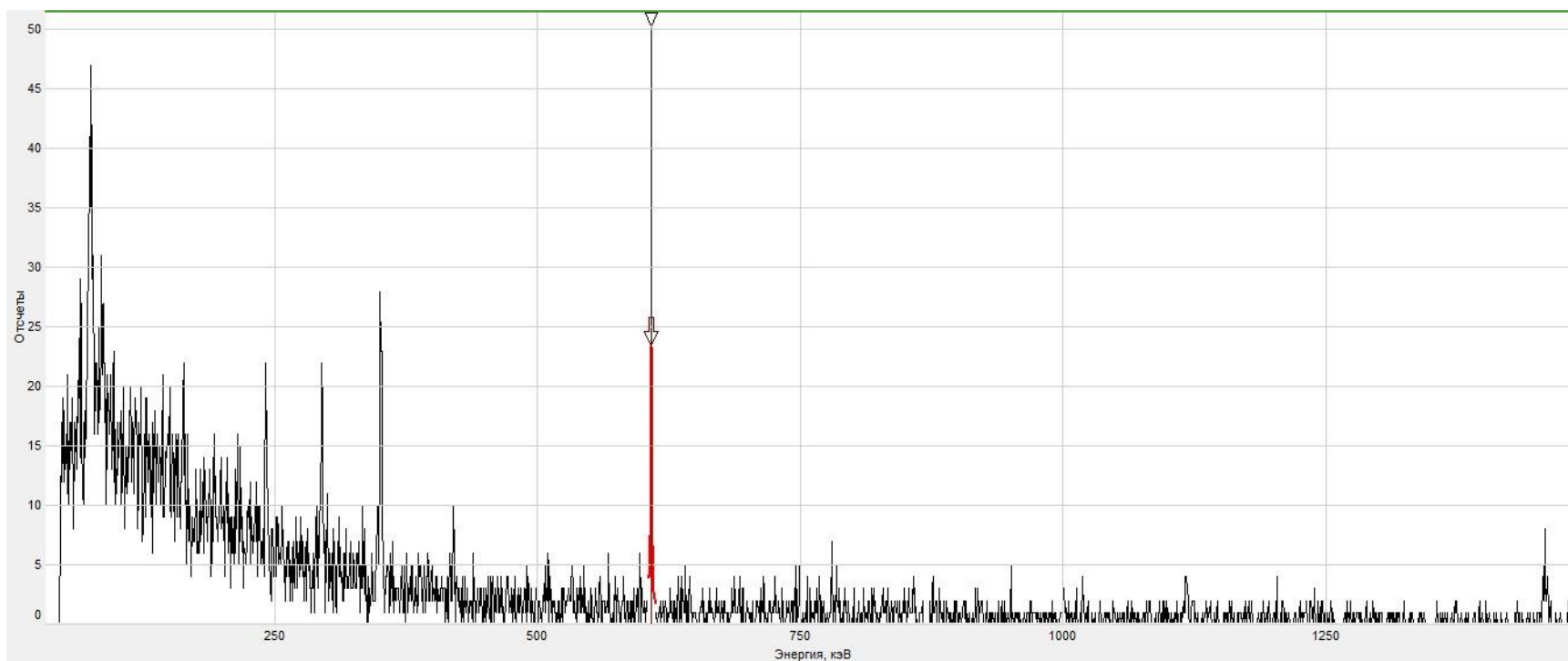
Название курорта	Концентрация радона в воде	Название курорта	Концентрация радона в воде
Россия		Германия	
г. Пятигорск	14-213 нКи/л или 500-7880 Бк/л	Брамбах	34-754 нКи/л или 1,3-27,9 кБк/л
п. Белокуриха	7-10 нКи/л или 240- 375 Бк/л	Баден-Баден	до 70 кБк/л
«Увильды» на южном Урале	250-475 нКи/л или 1,2-17,6 кБк/л	Шлёма	до 182 кБк/л
		Австрия	
Украина		Гаштейн	до 8 кБк/л
Хмельник, Винницкая обл.	100-200 нКи/л или 3,7-7,5 кБк/л	Бадгастайн	740 Бк/л (средняя)
Грузия		Япония	
Цхалтубо	13,8 нКи/л или 520 Бк/л)	Мисаса	82-3000 Бк/л
Чехия		Мастуоми, Икеда	130 кБк/л
Яхимов	19-170 нКи/л или 0,7-6,3 кБк/л	Другие страны	
		Венгрия, Хевиз	49-393 Бк/л
		Греция, Икара	до 8 кБк/л
		Италия, Исча	до 5 кБк/л

Метод измерения

- Измерения проводились в лабораторных условиях в лаборатории экспериментальных ядерно-физических измерений и экспертных анализов радиоактивных материалов НУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАНБ на стационарном гамма-спектрометре на основе полупроводникового Ge(Li) детектора ДГДК-80Б (Свидетельство № ВУ 01 204-48; действительно до 28.06.2020 г.; энергетическое разрешение – 2.6 кэВ для линии 609.3 кэВ). Для нахождения значения активности радона-222 использовалась Методика выполнения измерений объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов на гамма-спектрометрах с полупроводниковыми детекторами МВИ.МН 3421-2010. Линия, по которой определялась активность радона-222, принадлежит Bi-214 , дочернему продукту Rn-222 , с энергией гамма-квантов 609 кэВ (квантовый выход 46.1 %).



Гамма-спектр пробы минеральной радоновой воды, сделанный с помощью гамма- спектрометра на основе полупроводникового Ge(Li) детектора ДГДК-80Б



Расчет удельной активности радона-222

Расчет удельной активности радона-222 в пробе производился по формуле:

$$YA(Rn^{222}) = \frac{n_{\text{пробы}} \cdot \left(\frac{A}{n}\right)_{st}}{m_{\text{пробы}}} \cdot e^{\lambda t}, \text{ Бк/кг}$$

где $n_{\text{пробы}}$ – скорость счета в пике полного поглощения для линии с энергией 609,3 кэВ для искомой пробы, имп./с

$m_{\text{пробы}}$ – вес искомой пробы, кг

$\left(\frac{A}{n}\right)_{st}$ – коэффициент, полученный при помощи образцового

радиоактивного раствора, содержавшим радионуклид Cs-137.

λ – постоянная распада радона-222, равная 0,181 сут⁻¹,

t – время, прошедшее от отбора пробы до измерения, сут

$e^{\lambda t}$ – поправка на распад радона

Исследуемые емкости для измерений

Стеклянная измерительная емкость с металлической крышкой под закатку $V=0.55$ л



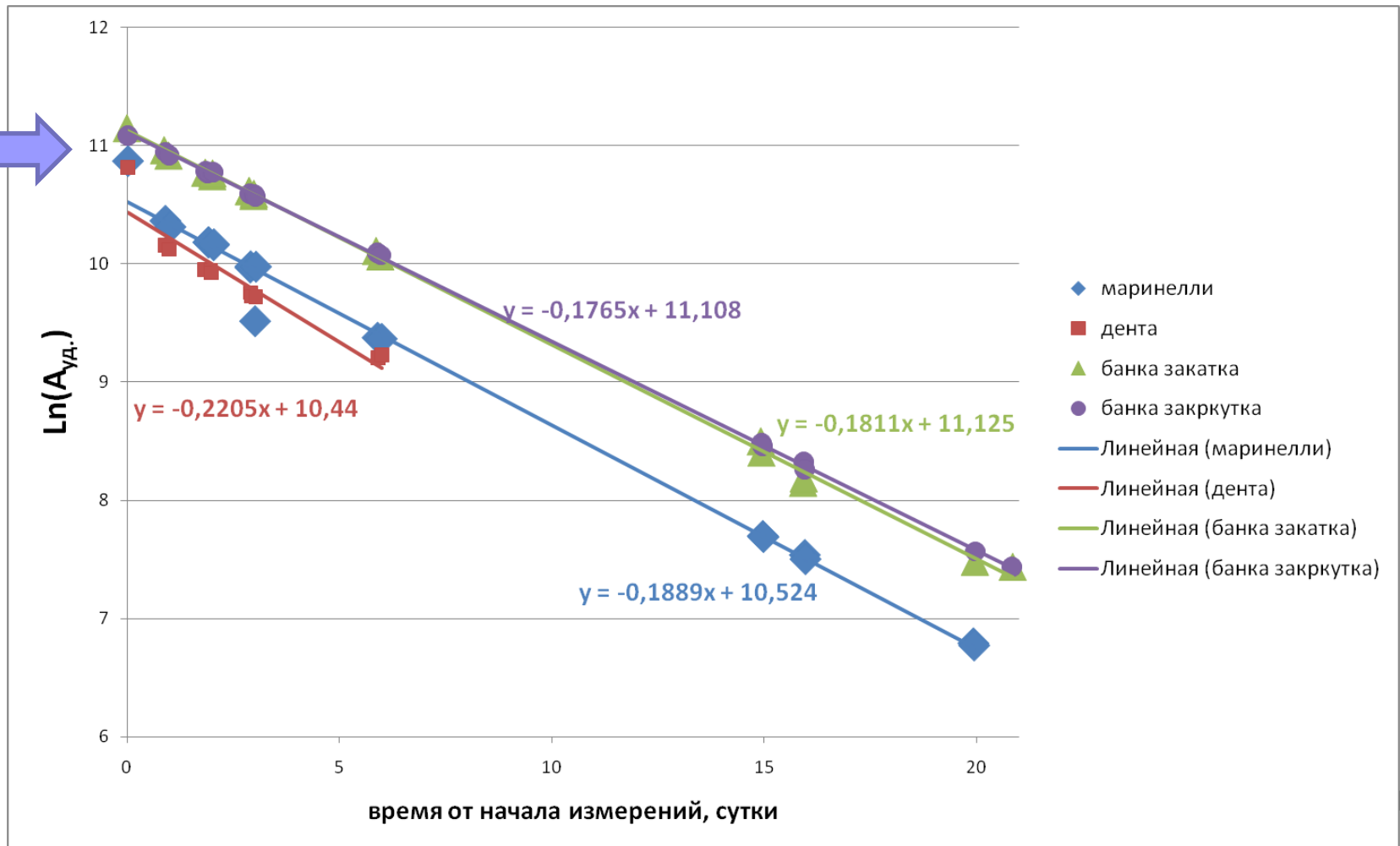
Стеклянная измерительная емкость с металлической крышкой под закатку. $V=0.55$ л

Пластиковая измерительная емкость «Дента» с крышкой под закатку. $V=100$ мл

Пластиковая измерительная емкость «Сосуд Маринелли». $V=1$ л

- Калибровка гамма-спектрометра по эффективности регистрации в геометриях измерений, соответствующим исследуемым емкостям, осуществлялась с помощью образцового радиоактивного раствора, содержавшего радионуклиды Mn-54, Co-57, Co-60, Cd-109, Ce-139, Cs-137 и Am-241 с известными активностями.
- Данные калибровки по линии Cs-137 661,6 кэВ использовались для расчета коэффициента $\left(\frac{A}{n}\right)_{st}$ используемого в формуле для расчета удельной эффективности радона в воде для каждой геометрии измерений (стеклянная банка, «Дента», «Сосуд Маринелли») с учетом отношения квантовых выходов для линии 609,3 и 661,6 кэВ (46,1% и 85,1% соответственно)

В каждую из исследуемых емкостей были помещены пробы радоновой воды из одного и того же источника. Пробы многократно измерялись через промежутки времени на протяжении 20 дней и определялась удельная активность радона-222 на момент измерения. Зависимость логарифма измеренной активности от времени, прошедшего с момента пробоотбора, а также линейная аппроксимация этой зависимости представлена на графике.



Из графика видно

- Линия у пластиковых сосудов («Дента» и «Маринелли») лежит ниже стеклянных
 - Измеренная удельная активность радона в пробах воды в этих сосудах оказалась в 2-2,4 раза ниже, чем измеренная в стеклянных банках
- Первые измерения в геометриях «Дента» и «Маринелли» не лежат на их прямых
 - Это показывает что в первые сутки после помещения проб воды в пластиковые емкости активность радона резко падает (в 2 раза).
 - Тангенс наклона равен постоянной распада λ . Постоянная распада у радона-222 равна $0,181 \text{ сут}^{-1}$, т.о. наилучший результат показывает проба из стеклянного измерительного сосуда под закрутку.
- данные хорошо аппроксимируются прямыми линиями
- Тангенс наклона прямых линий отображен в уравнениях линейной аппроксимации
 - для пробы воды в стеклянных банках величина постоянной распада близка к справочной. Это позволяет сделать вывод, что утечка радона из стеклянной измерительной емкости с металлической крышкой под закатку практически отсутствует.

Отбор проб минеральной радоновой воды из санатория «Радон»

- Отбор проб минеральной радоновой воды санатория «Радон» (Дятловский район, Гродненская область) проводился 25.03.2020 г. с 9 до 12 часов.
- Были отобраны пробы минеральной радоновой воды из скважин №1, 3, 4, а также в воде питьевого фонтанчика, организованного в беседке на территории санатория.
- Перед отбором проб из скважины в течение не менее 4-х часов проводилась выкачка радоновой воды из ствола скважины для исключения отбора радоновой воды с пониженной концентрацией радона-222 из-за ее уменьшения в результате радиоактивного распада радона ($T_{1/2}(\text{Rn-222})=3.82$ суток).
- Из каждого места отбора отбиралось от 1 до 5 проб. Пробы отбирали в стеклянную банку объемом 0,5 литра, после чего банку закрывали жестяной крышкой с помощью ручной закаточной машинки. Такой способ, как было показано ранее, обеспечивает герметичность пробы и исключает улетучивание радона.
- После отбора пробы транспортировались в течение дня (около 4 ч) в НУ «ОИЭЯИ-Сосны» (г. Минск) для проведения лабораторных анализов.

Измерения проб минеральной радоновой воды из санатория «Радон»

Скважин а №	Глубина, м	Глубина установк и Насоса, м	Произво дительн ость насоса, м ³ /час	УА, Бк/м ³ Год измерения			
				2012	2015	2018	2020
1	306	85	10	590±120	610±120	655±140	760±160
2	307	85	2	1930±390	2070±410	1550±310	
3	295	85	4	1360±270	1340±270	1400±300	1500±300
4	304,6	85	10	990±200	1010±200	900±180	1250±250
Самоизл ив ¹			самоизли в			150±20	180±40

1 – питьевой фонтанчик примерно в 300 метрах от территории санатория «РАДОН»

В последнем столбце представлены результаты измерений проб минеральной радоновой воды, отобранной для данной работы 25.03.2020

Как видно из таблицы, полученные результаты хорошо согласуются с данными измерений минеральной воды в санатории «Радон» в этих же скважинах, полученных ранее (в 2012, 2015 и 2018 годах).

Выводы

- В ходе исследования различных измерительных емкостей было показано, что стеклянная банка с металлической крышкой под закатку обладает наилучшими показателями для измерений проб минеральной радоновой воды, что позволило сделать вывод, что утечка радона из данной измерительной емкости практически отсутствует. Этот метод пробоотбора был в дальнейшем использован в работе для измерения удельной активности проб минеральной радоновой воды
- Измерительная емкость в виде стеклянной банки с металлической крышкой под закрутку также имеет схожие характеристики и также может быть использована для измерений содержания радона в пробах воды
- Измерительные емкости из пластика показывают двухкратное снижение активности радона в первые сутки после пробоотбора. Эти измерительные емкости можно использовать (при невозможности использовать другие или отсутствия калибровочных измерений в данных геометриях измерений) при соблюдении выдержки проб воды в них в течении суток и использовании поправки в 200% для сосуда Маринелли и 240% для денты.
- Полученные в ходе работы результаты измерений удельной активности радона-222 в пробах минеральной радоновой воды из скважин санатория «Радон» (760-1500 Бк/м³) хорошо согласуются с данными измерений в этих же скважинах, полученных ранее в 2012, 2015 и 2018 годах



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ