

Департамент образования и науки города Севастополя
Государственное бюджетное образовательное учреждение
Центр дополнительного образования
«Малая академия наук»

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ
ПИТЬЕВОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ И РОДНИКОВОЙ ВОДЫ**

Работу выполнил:

Минов Андрей Евгеньевич

учащийся творческого объединения
«Олимпиадная химия» ГБОУ ЦДО «Малая
академия наук», ГБОУ СОШ№57,
10 класс;

Научный руководитель:

Довгий Илларион Игоревич,

преподаватель д. о., руководитель
творческого объединения «Олимпиадная
химия» ГБОУ ЦДО «Малая академия
наук», к.х.н., с.н.с. отдела «Биогеохимии
моря» ФГБУН МГИ РАН

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
РАЗДЕЛ 1.ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	5
1.1 Радиационный контроль природных и технологических водных растворов.....	5
1.2 Описание и технические характеристики радиометра УМФ-2000.....	7
1.2.1 Назначение изделия.....	7
1.2.2 Технические характеристики.....	8
1.3 Устройство и работа радиометра УМФ-2000.....	10
1.4 Использование по назначению.....	12
1.5 Методика измерения.....	13
РАЗДЕЛ 2.ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	15
2.1 Описание эксперимента.....	15
2.2 Расчет суммарной альфа- и бета- активности питьевой воды.....	15
2.2.1 Экспериментальные данные.....	16
2.2.2. Расчетные данные	
ВЫВОДЫ.....	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	20

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Качество питьевой воды – это ежедневная и актуальная для всех стран мира проблема, поскольку здоровье людей напрямую зависит от того, какую воду они употребляют. Генеральная Ассамблея ООН объявила период с 2004 по 2013 год, как десятилетие «Вода для жизни». Уровень проблемы говорит сам за себя: с употреблением плохой питьевой воды связано развитие множества болезней, в том числе и тяжелых — заболеваний нервной системы, кожи, почек, суставов, органов кровообращения, гипертонии, холецистита, энтерита, колита, осложнений беременности и родов.

В Указе Президента РФ от 19.04.2017 № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» отмечено, что на сегодняшний день к внутренним вызовам экологической безопасности в России относятся: высокая степень загрязнения и низкое качество воды значительной части водных объектов, деградация экосистем малых рек. В связи с этим, вопрос обеспечения людей питьевой водой хорошего качества стоит весьма остро. Один из вариантов решения данной проблемы - это использование подземных источников (родников, скважин).

Установлено, что подземные воды в большей степени защищены от воздействия внешних факторов, по сравнению с поверхностными водами. Ранее проводимые исследования подземных вод г.Севастополя показывали, что эти воды по своему элементному составу, в большинстве, соответствуют нормативам, установленным для питьевой воды. Источники с наиболее благоприятной концентрацией элементов обнаруживались в районе мыса Фиолент [1].

Однако, питьевая вода, предназначенная для потребления человеком, должна не только иметь безвредный химический состав, но и быть безопасной в эпидемическом и радиационном отношении. Особое внимание должно уделяться исследованию радиологической безопасности воды, поскольку Севастопольский регион находится в зоне неблагоприятного влияния последствий аварии на Чернобыльской АЭС. При этом, радиоактивное излучение не устраняется на очистных сооружениях [2].

Целью работы являлось исследование показателей радиационной безопасности воды из скважины в районе мыса Фиолент, сравнение этих показателей с показателями воды из центрального водопровода г. Севастополя, и оценка возможности использования подземных вод данного источника.

Для достижения поставленной цели было запланировано решение таких **задач**, как:

- оценка соответствия питьевой воды критериям радиационной безопасности (определение удельной суммарной альфа- и бета-активности);
- исследование радионуклидного состава воды (при превышении контрольного уровня);
- оценка качества воды по радиологическим показателям;
- проведение сравнительного анализа полученных результатов.

Объект исследования: пробы воды из центрального водопровода г. Севастополя и воды из скважины в районе м. Фиолент.

Предмет исследования: уровни природной радиоактивности исследуемых проб воды.

Методы исследования: Во время оценки радиационной безопасности питьевой воды в местах водозаборов поверхностных и подземных источников питьевого водоснабжения предварительно определяются удельные суммарные альфа- и бета- активности. В случае установления превышения показателей следует проводить радиологические исследования питьевой воды по радиационным показателям. При этом, в случае установления превышения удельной суммарной альфа-активности в питьевой воде из подземных источников водоснабжения, необходимо определять удельную суммарную активность естественной смеси изотопов урана (U), удельные активности радия (^{226}Ra , ^{228}Ra) и радона (^{222}Rn), а в случае установления превышения удельной суммарной бета- активности в питьевой воде из поверхностных и подземных источников водоснабжения - удельные активности цезия (^{137}Cs) и стронция (^{90}Sr).

Личный вклад учащегося. Минов А.Е., под руководством научного руководителя Довгого И.И., принимал участие в отборе проб воды, выполнял работы по подготовки проб к исследованию, участвовал в проведении измерений и в процессе обработки данных, выполнял анализ полученных результатов.

РАЗДЕЛ 1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Радиационный контроль природных и технологических водных растворов

Природные радионуклиды можно разделить на две большие группы: первичные, т.е. те, которые образовались одновременно со стабильным веществом Земли, и космогенные, которые образуются постоянно в результате ядерных реакций под действием космического излучения или поступают со внеземным веществом. Очевидно, к настоящему моменту в окружающей среде присутствуют только те первичные радионуклиды, период полураспада которых соизмерим с возрастом Земли.

Три первичных радионуклида – ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th – являются родоначальниками естественных радиоактивных рядов. С течением времени в естественных радиоактивных рядах установилось вековое равновесие – состояние, в котором активности (но не количества ядер) всех членов ряда равны между собой. Вековое равновесие между радионуклидами устанавливается в том случае, если период полураспада материнского радионуклида велик по сравнению с периодом полураспада дочернего. Для установления радиоактивного равновесия достаточен промежуток времени, равный 10 периодам полураспада дочернего радионуклида. Различные геохимические процессы могут приводить к фракционированию членов радиоактивных рядов, поэтому вековое равновесие сохраняется только в системе, замкнутой относительно материнского и дочерних радионуклидов.

По данным НКДАР ООН, вклад питьевой воды в суммарную дозу облучения населения не является преобладающим (за исключением отдельных регионов) и обусловлен, в основном, присутствующими в воде радионуклидами природных рядов урана и тория. Наибольший вклад в формирование дозы облучения за счет потребления питьевой воды вносят изотопы урана, радия, радон и полоний-210, в меньшей степени – свинец-210 и изотопы тория [3].

Для обеспечения радиационной безопасности питьевого водоснабжения населения необходима информация об удельной активности радионуклидов присутствующих в питьевой воде. В соответствии с рекомендациями ВОЗ в действующих нормативных документах установлены жесткие требования к содержанию радионуклидов и к порядку проведения радиационного контроля питьевой воды.

Проведение радиационного контроля воды является сложной задачей, поскольку сама вода является сложным объектом для анализа.

В силу чрезвычайной вариабельности радионуклидного состава и удельной активности природных радионуклидов, минерального состава и других характеристик природных вод необходимо использование, по возможности, прямых радиохимических методов определения содержания радионуклидов.

Следует подчеркнуть, что большинство известных радиохимических методик определения природных радионуклидов предусматривает их анализ из

одной пробы воды, из которой отбираются отдельные аликвотные части от 0,5 до 2,0 кг для определения удельной активности групп изотопов одного или двух элементов. Вместе с тем, информация, получаемая из одной пробы при последовательном выделении из нее радиоизотопов урана, радия, свинца и полония, более достоверна, особенно учитывая высокую степень вариабильности радионуклидного состава природных вод. Реализация этого подхода нуждается в серьезных радиохимических проработках по созданию схем последовательного разделения и идентификации различных нуклидов из одной пробы, что, помимо указанных выше преимуществ, позволяет сделать процесс более экономичным - сокращает время анализа, расход реактивов, энерго- и трудозатраты.

Настоящая работа обеспечивает определение суммарных радиологических показателей воды и удельной активности природных и техногенных радионуклидов из одной пробы воды, из которой отбираются аликвоты: 1 кг для определения удельной суммарной альфа- и бета-активности, 10 кг – для определения удельной активности природных радионуклидов и не менее 4 кг для определения удельной активности ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{40}K (4 кг на техногенно загрязненных территориях и 20 кг для определения удельной активности радионуклидов на уровне фоновых значений).

Радиационный контроль воды проводится в несколько этапов:

- отбор и доставка проб для анализа;
- предварительная оценка соответствия питьевой воды критериям радиационной безопасности (определение удельной суммарной альфа- и бета-активности);
- исследование радионуклидного состава воды (при превышении контрольного уровня);
- оценка качества воды по радиологическим показателям.

Для получения достоверной оценки радиологических показателей воды на каждом этапе контроля необходимо выполнять определенные требования.

На первом этапе, при отборе проб воды должны использоваться емкости из полимерных материалов для исключения сорбции микроколичеств радионуклидов [5]. Важно также, чтобы отобранная вода была подкислена (НСI) и своевременно подверглась процедуре пробоподготовки – срок хранения пробы перед определением суммарных показателей и удельных активностей природных радионуклидов не должен превышать 14 дней (при необходимости определения удельной активности ^{222}Rn срок хранения не должен превышать 2 дней). Нарушение указанных процедур может привести к неконтролируемым потерям радионуклидов, а значит к искажению результатов. В акте отбора проб должна содержаться вся информация, необходимая для идентификации источника водоснабжения.

На втором этапе измеряется удельная суммарная альфа- и бета-активность воды для предварительной оценки соответствия питьевой воды критериям радиационной безопасности. Для питьевой воды подземных источников водоснабжения одновременно с измерением удельной альфа- и бета-активности

требуется определять содержание ^{222}Rn . Время от отбора до доставки пробы воды в лабораторию с целью определения удельной активности ^{222}Rn должно быть не более двух суток.

При превышении контрольных уровней удельной суммарной α - и β -активности выполнение радионуклидного анализа воды обязательно, причем желательно с привлечением радиохимических методов, позволяющих дать точную количественную характеристику того или иного радионуклида в исследуемой пробе. Несмотря на сложность и трудоемкость радиохимических методов, необходимость привлечения специалистов высокой квалификации, преимущество использования радиохимических приемов для контроля и гигиенической оценки питьевой воды по показателям радиационной безопасности очевидно.

Радиохимический анализ позволяет с высокой степенью надежности выделять радиохимически чистые изотопы, избегать косвенных оценок содержания радионуклидов, обладает высокой чувствительностью, точностью и информативностью.

При оценке радиационной безопасности питьевого водоснабжения населения радиохимический анализ питьевой воды должен обеспечить определение основных дозообразующих природных радионуклидов с обязательным повторным определением удельной суммарной активности α - и β -излучающих радионуклидов из объема водной пробы, представленной для радиохимического анализа, для подтверждения соответствия суммарной альфа- и бета-активности и суммарной активности выделенных радионуклидов.

Радиохимическая подготовка, как правило, включает стадию концентрирования (при определении содержания природных радионуклидов в воде — это выпаривание 10 кг до 1 кг), затем следует селективное выделение группы изотопов одного или нескольких элементов, отделение их от макрокомпонентов, радиохимическая очистка каждого радионуклида, приготовление счетного образца для измерения активности.

Проведение радионуклидного анализа воды с использованием 10 кг исходного материала позволяет обеспечивать минимально измеряемую удельную активность не более 0,2 от величины уровня вмешательства (УВ) для каждого радионуклида, что и требуется в нормативных документах, в частности в методических указаниях МУ 2.6.1.1981-05 «Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов».

1.2. Описание и технические характеристики радиометра УМФ-2000

1.2.1. Назначение изделия

Альфа-бета радиометра для измерений малых активностей УМФ-2000 изготавливается в соответствии с требованиями ТУ 4362-003-31867313-2008.

Радиометр предназначен для измерений:

- суммарной активности бета-излучающих нуклидов в счетных образцах из проб

- пищевых продуктов, почвы, воды, на воздушных фильтрах и сорбентах, а также измерения активности нуклидов в пробах, полученных после селективной радиохимической экстракции;

- суммарной активности альфа-излучающих нуклидов в «толстых» и «тонких» счетных образцах проб объектов окружающей среды.

Радиометр применяется в лабораториях контроля водных объектов.

1.2.2. Технические характеристики

1) Диапазон энергии регистрируемого альфа-излучения - от 3500 до 8000 кэВ.

2) Диапазон энергии регистрируемого бета-излучения - от 50 до 3500 кэВ.

3) Диапазон измерений активности:

- альфа-излучения - от 0,01 до 103 Бк;

- бета-излучения - от 0,1 до $3 \cdot 10^3$ Бк.

4) Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений активности равен $\pm 15\%$.

5) Радиометр сохраняет работоспособность при воздействии внешнего фонового гамма-излучения мощностью поглощенной дозы - 0,50 мкГр/ч.

Пределы допускаемой дополнительной погрешности измерений активности, вызванной воздействием внешнего фонового гамма-излучения равен 15 %.

6) Скорость счета фоновых импульсов:

- для детекторов площадью 450 и 1000 мм² в канале регистрации альфа-излучения не более 0,001 с⁻¹;

- для детекторов площадью 450 мм² в канале регистрации бета-излучения не более 0,03 с⁻¹;

- для детекторов площадью 1000 мм² в канале регистрации бета-излучения не более 0,07 с⁻¹.

7) Вклад в счет бета-канала от альфа-канала для тонкого альфа-источника не более $\pm 0,8\%$.

8) Время установления рабочего режима при постоянных внешних условиях не превышает 30 мин.

9) Радиометр допускает непрерывную работу в течение 24 ч.

10) Нестабильность показаний за 8 часов непрерывной работы не превышает 5% относительно среднего значения показаний за этот промежуток времени.

11) Электропитание радиометра осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением 220 $\pm \frac{22}{33}$ В, частотой 50 $\pm \frac{1}{1}$ Гц. Пределы допускаемой дополнительной погрешности измерений активности, вызванной отклонением напряжения или частоты электропитания от номинального значения $\pm 5\%$.

13) Потребляемая радиометром мощность не превышает 40 ВА.

14) Рабочие условия эксплуатации радиометра:

- диапазон температур от +10 до +35°C;
- предельное значение относительной влажности 75 % при +30°C;
- атмосферное давление в диапазоне от 84,0 до 106,7 кПа;
- содержание в воздухе коррозионно-активных агентов соответствует типу атмосферы I.

Пределы допускаемой дополнительной погрешности измерений активности при отклонении температуры окружающего воздуха от нормальных условий до предельных рабочих значений ± 5 %.

15) Радиометр во время эксплуатации не должен подвергаться вибрационным, ударным и другим механическим воздействиям.

16) Степень защиты, обеспечиваемая оболочками радиометра от проникновения твердых предметов и воды, IP23.

17) По влиянию на безопасность радиометр относится к элементам нормальной эксплуатации класса безопасности 4Н в соответствии с ОПБ-88/97.

18) Радиометр устойчив к воздействию электромагнитных помех в соответствии с ГОСТ Р 50746-2000 группа исполнения II, критерий функционирования В и удовлетворяет нормам помехоэмиссии по ГОСТ Р 51318.22-2006.

19) По степени защиты человека от поражения человека электрическим током радиометр относится к классу I по ГОСТ 12.2.007.0-75.

20) По противопожарным свойствам радиометр соответствует ГОСТ 12.1.004-91 с вероятностью возникновения пожара не более 10^{-6} в год.

21) Радиометр стоек к воздействию дезактивирующего раствора - 5 % раствора лимонной кислоты в ректификованном этиловом спирте C_2H_5OH (плотности 96 %).

22) Габаритные размеры 321×286×190 мм.

23) Масса не более 21,6 кг.

1.3. Устройство и работа радиометра УМФ-2000

Радиометр собран в едином корпусе и состоит из:

- устройства детектирования;
- управляющей части;
- активной защиты;
- электронной части;
- двухканального пересчетного устройства с таймером.

На передней панели радиометра расположены кнопочные переключатели «ПУСК» и «СТОП» пересчетного устройства, индикаторы, переключатель режимов счета и два сигнальных светодиода, индицирующих включение радиометра в сеть и процесс счета (Рис.1.1). На задней панели радиометра расположены: предохранительная колодка, сетевой выключатель, разъёмы «ВЫХОД» и «RS-232» для технологических целей. Схема электрическая соединений, схема электрическая подключений, габаритные и присоединительные размеры приведены в приложениях Б, В, Г.



Рис. 1.1 Общий вид радиометра

Устройство детектирования содержит:

- полупроводниковый детектор из высокоомного кремния, легированного алюминием, размерами 20×20 мм или 32×32 мм, в оправке из хромированной латуни;

- держатель счетных образцов с устройством для подачи их в фиксированное положение вблизи детектора.

Полупроводниковый детектор преобразует энергию попадающих в него альфа- и бета-частиц в электрические импульсы с помощью зарядочувствительного предусилителя. Детектор способен регистрировать бета-частицы в диапазоне энергий от 50 кэВ. При этом он работает как пролетный детектор, т. е. информации об энергии пролетевшей частицы нет. При регистрации альфа-излучения детектор способен давать спектрометрический сигнал. Соединение детектора с предусилителем осуществляется посредством встроенного в оправку детектора разъема типа «LEMO». Держатель счетных образцов имеет четыре посадочных места для размещения кювет для счетных образцов (далее - подложек) с внешним диаметром 45 мм. Барабан имеет четыре фиксированных положения для измерения, которые можно определить по легкой блокировке барабана при его вращении. При этом для размещения счетного образца в фиксированном положении относительно детектора необходимо повернуть барабан до следующего положения. Радиометр с детектором площадью 1000 мм² поставляется с устройством подачи счетных образцов «ящичного» типа. Для измерения необходимо выдвинуть устройство подачи, установить в него счетный образец и затем вдвинуть на место до отказа.

Управляющая часть состоит из блока питания и блока формирователей, который служит для разделения импульсов от альфа- и бета-частиц и имеет в составе схему анти совпадений, блок высокого напряжения для питания активной защиты и схему защиты от сетевых помех. Блок питания служит для преобразования переменного напряжения 220 В сети в +12 В, -12 В и 5 В

постоянного напряжения для работы электронных устройств. Кроме того, блок питания вырабатывает напряжение смещения для детектора.

Активная защита состоит из газоразрядного счетчика, расположенного под устройством подачи счетных образцов. Активная защита служит главным образом для снижения вклада фона от высокоэнергетического космического излучения. При попадании заряженной частицы в рабочий объем детектора, сигнал в виде импульса напряжения с детектора задерживается и передается на счетную схему только в том случае, если за время ожидания не пришел импульс с активной защиты или с системы защиты по питанию. В противном случае импульс с детектора игнорируется.

Электронная часть выполнена в виде отдельных блоков: предусилителя, блока формирователей, блока питания, платы управления пересчетным устройством с таймером, двух плат индикаторов.

Предусилитель выполнен по «классической» резистивной схеме, которая благодаря малым обратным токам детектора позволяет иметь уровень собственных шумов на уровне $5 \div 15$ кэВ. Предварительно усиленный сигнал поступает на вход основного усилителя, выполненного на быстродействующем операционном усилителе. Основной усилитель обеспечивает амплитуду выходного сигнала для бета-частиц на уровне от 20 мВ до 1 В. Усиленный сигнал поступает на вход схемы селекции в электронной части, выполненной на интегральных компараторах. Пороги компараторов устанавливаются таким образом, чтобы первый компаратор срабатывал при прохождении импульсов от альфа- и бета-частиц, а второй только от альфа-частиц. Сигналы от компараторов поступают на схему анти совпадений, которая разрешает счет только бета-частиц (по бета-каналу). При счете альфа-частиц учитывается только сигнал второго компаратора. В электронной части также размещена схема анти совпадений для активной защиты и защиты от помех по питанию.

В электронной части также размещается импульсный блок питания, блок высокого напряжения.

Двухканальное пересчетное устройство с таймером представляет собой три счетных тракта с четырехразрядными индикаторами и электронным таймером. Время экспозиции определяется четырехразрядными барабанными переключателями. Кнопочные переключатели, расположенные на передней панели, позволяют запускать измерение с одновременным сбросом предыдущего результата и останавливать измерение в произвольный момент времени.

Счетная схема выполнена на микропроцессоре с выводом информации на семисегментные светодиодные индикаторы и имеет два канала.

По первому каналу идет счет импульсов от альфа-частиц, по второму - от бета-частиц. С помощью кнопок « α , β », « β , ВРЕМЯ» можно менять режим индикации. В режиме « α , β » на индикаторах отображается счет по альфа-каналу и бета-каналу, в режиме « β , ВРЕМЯ» - счет по бета-каналу и время. Режимы индикации никак не влияют на работу радиометра.

В случае переполнения по одному из каналов счет останавливается, и на индикаторе, соответствующем переполненному каналу, зажигаются центральные сегменты. При этом можно просмотреть содержимое остальных каналов. Остановка счета сопровождается звуковым сигналом. Выключить сигнал можно с помощью кнопки «СТОП» или запустив новое измерение.

1.4. Использование по назначению

Эксплуатационные ограничения

Радиометр сохраняет свою работоспособность в указанных выше условиях. Запрещается использование мобильных телефонов вблизи работающего радиометра.

Подготовка изделия к использованию

1. Перед началом работы необходимо проверить, что сетевой кабель питания правильно подключен и не имеет повреждений; проверить наличие заземления. После этого включить радиометр в сеть и перевести переключатель сети, расположенный на задней панели, в положение «СЕТЬ ВКЛ». При этом должен загореться красный светодиод, расположенный рядом с надписью «СЕТЬ» на передней панели радиометра.

2. После включения проходит тестовый режим проверки работоспособности радиометра. При этом на верхнем индикаторе отображается внутренний серийный номер радиометра, на нижнем индикаторе идет счет времени. При нажатии и удерживании кнопки переключателей режимов на верхнем индикаторе отображается значение, установленное на задатчике времени счета. Изменяя его значения, при нажатой кнопке режима, можно проверить соответствие значения задатчика времени и реально установленного времени счета. Для перехода в рабочий режим необходимо нажать кнопку «ПУСК».

3. Посредством переключателя режимов выбрать режим « α , β » или « β , ВРЕМЯ».

4. Прогреть радиометр в течение 30 мин.

5. Провести контрольное измерение фона с экспозицией не менее 1000 с, при этом пустая, предварительно протертая салфеткой, смоченной спиртом, подложка загружается в счетное положение. Убедиться, что значение фона находится в пределах, указанных в паспорте (свидетельстве о поверке). При обнаружении увеличения фона, выявить и устранить причину.

6. Установить на устройство подачи счетных образцов контрольный источник из комплекта радиометра и провести контрольное измерение счета за 300 с. Полученное значение скорости должно находиться в пределах, указанных в паспорте (свидетельстве о поверке).

7. Приступить к рабочим измерениям.

Использование изделия

1. Проведение измерений для определения активности счетного образца включает операции измерения скорости счета с пустой подложкой (фон) и со

счетным образцом на подложке в фиксированном счетном положении барабана устройства подачи образцов.

2. При измерениях следует использовать значение фона радиометра, полученное как среднее 8-10 измерений фона с таким расчетом, чтобы при каждом измерении было зафиксировано не менее десяти отсчетов. При этом целью измерения фона должно быть подтверждение соответствия текущего значения фона его среднему значению с учетом статистического разброса.

3. Провести несколько измерений счетного образца. Результатом измерений является количество импульсов, зарегистрированных радиометром по обоим каналам за время t .

4. Рассчитать абсолютную погрешность скорости счета $n_{сч}$, c^{-1} .

5. Вычисление по пунктам 3. и 4. провести для каждого канала.

6. Рассчитать активность измеряемого счетного образца.

7. Рассчитать активность A , $Bк$, измеряемого счетного образца с учетом погрешности [6].

При работе с радиометром рекомендуется использовать «Методики выполнения измерений суммарной альфа- и бета-активности водных проб (пресные природные воды хозяйственно-питьевого назначения) после концентрирования альфа-бета радиометром УМФ-2000», методические рекомендации «Суммарная активность альфа- и бета-излучающих радионуклидов в природных водах (пресных и минерализованных). Подготовка проб и измерения».

1.5. Методика измерения

Метод основан на концентрировании радионуклидов из объема водной пробы методом упаривания до сухого остатка, измерении с помощью радиометра скорости счета альфа- и бета-излучения полученного остатка и сравнении со скоростью счета образца сравнения с аттестованными значениями активности и расчете суммарной альфа- и бета-активности пробы.

Суммарная активность - это условная активность счетного образца, численная равная активности регламентированного образца сравнения при одинаковых показаниях радиометра.

В данной методике в качестве образца сравнения для суммарной альфа-активности используется образец сульфата кальция с равными активностями радионуклидов $Pu-239$, $Pu-242$ и $Pu-238$, диапазон энергий которых приближенно совпадает с диапазоном энергий естественных альфа-излучателей. При использовании такого образца сравнения различие между измеренной суммарной альфа-активностью и реальной суммой активностей в образце не превышает 30% при отсутствии влияния дочерних продуктов распада (ДПР) $Rn-222$.

В качестве образца сравнения для измерения суммарной бета-активности используется сульфат калия с радионуклидом $K-40$. При этом измерение суммарной активности имеет смысл только при фиксированной массе (или узком диапазоне масс) счетного образца, поскольку радиометр,

отградуированный для произвольной массы, при наличии еще какого-либо бета-излучателя, кроме К-40, будет давать различающиеся значения активности для разных масс проб.

Фиксированную массу счетного образца следует выбирать, исходя из степени минерализации воды и требуемой чувствительности радиометра. Поскольку в воде присутствуют Pb-210, Ra-228, Th-234, Pb-212, Ac-227, максимальная энергия бета-излучения которых не превышает 600 кэВ, целесообразно выбирать массу счетного образца в пределах 200 - 600 мг.

Наличие Ra-226 в пробе приводит к тому, что с течением времени после приготовления счетного образца его активность будет возрастать за счет накопления ДПР Rn-222. Чтобы уменьшить влияние ДПР образец после получения (последним этапом пробоподготовки является прокаливание образца) измеряют через 3 - 10 часов. Если необходимо провести еще раз измерение образца после хранения, следует повторить процедуру прокаливания и измерение проводить также через 3 - 10 часов после прокаливания [6].

РАЗДЕЛ 2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Описание эксперимента

Поскольку по результатам проводимых ранее на территории г.Севастополя исследований было установлено, что минимальные суммарные величины концентраций химических элементов обнаруживаются в воде из подземных источников в районе мыса Фиолент [1], было принято решение исследовать радиологические показатели воды из подземного источника (скважины) в этом же районе.

В соответствии с установленной и описанной ранее методикой было отобрано две пробы воды:

- проба 1 - вода из скважины, расположенной в районе м. Фиолент;
- проба 2 – водопроводная вода.

В ходе дальнейшего эксперимента было выполнено:

- выпарено по 1000 мл питьевой воды из каждой пробы;
- полученный осадок высушен и взвешен;
- осадок измерен на радиометре УМФ-2000 в соответствии с методикой;
- произведена обработка данных.

2.2. Расчет суммарной альфа- и бета- активности питьевой воды

2.2.1. Экспериментальные данные

В ходе работы была выполнена серия измерений на радиометре УМФ-2000. С этой целью сухой остаток каждой пробы воды был помещен на подложку и измерен. Серия измерений проводилась для каждой пробы по отдельности.

Результаты измерений приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Экспериментальные данные

Проба	1	2
$m_{\text{осадка}}$	0,4550 г	0,3675 г
$m_{\text{навески}}$	0,1553 г	0,1514 г
$V_{\text{пробы}}$	1 л	1 л
$n_{\text{фона}\alpha 1}$	0 имп/9000сек	0 имп/9000сек
$n_{\text{фона}\alpha 2}$	1 имп/9000сек	1 имп/9000сек

$n_{\text{фона}\alpha 3}$	2 имп/9000сек	2 имп/9000сек
$n_{\text{фона}\beta 1}$	384 имп/9000сек	384 имп/9000сек
$n_{\text{фона}\beta 2}$	384 имп/9000сек	384 имп/9000сек
$n_{\text{фона}\beta 3}$	417 имп/9000сек	417 имп/9000сек
$n_{\beta 1}$	398имп/9000сек	373имп/1000сек
$n_{\alpha 1}$	3имп/9000сек	6имп/9000сек
$n_{\beta 2}$	404имп/9000сек	438имп/9000сек
$n_{\alpha 2}$	5имп/9000сек	5имп/9000сек
$n_{\beta 3}$	401имп/1000сек	431имп/9000сек
$n_{\alpha 3}$	1имп/9000сек	1имп/9000сек

2.2.2. Расчетные данные

Данный расчет производится для бета-активности:

1. Рассчитываем среднее значение счета за время t от счетного образца вместе с фоном ($\langle N_{\text{сч}} \rangle$) по формуле (2.1):

$$\langle N_{\text{сч}} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{k}, \quad (2.1)$$

$$\langle N_{\text{сч}1} \rangle = 401 \text{ имп/9000сек},$$

$$\langle N_{\text{сч}2} \rangle = 418,25 \text{ имп/9000сек},$$

где k – число измерений, N_i – счет от i -го измерения.

2. На основе ранее проведенных измерений фона рассчитываем среднее значение фонового счета по формуле (2.2):

$$\langle N_{\text{ф}} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^l N_{\text{ф}i}}{l}, \quad (2.2)$$

$$\langle N_{\text{ф}} \rangle = 395 \text{ имп/9000сек},$$

3. Рассчитываем среднее значение счета от счетного образца без фона по формуле (2.3).

$$\begin{aligned} \langle N_{\beta} \rangle &= \langle N_{сч} \rangle - \langle N_{\phi} \rangle, & (2.3) \\ \langle N_{\beta 1} \rangle &= 401 - 395 = 6 \text{ имп/9000сек}, \\ \langle N_{\beta 2} \rangle &= 418,25 - 395 = 23,25 \text{ имп/9000сек}, \end{aligned}$$

4. Рассчитываем бета-активность счетного образца в Бк для бета канала по формуле (2.4):

$$\begin{aligned} A_{\beta} &= \frac{\langle N_{\beta} \rangle - \langle N_{\alpha} \rangle \cdot K_{tr}}{t \cdot Eff_{\beta}}, & (2.4) \\ A_{\beta 1} &= 0,00412 \text{ Бк}, \\ A_{\beta 2} &= 0,01726 \text{ Бк}, \end{aligned}$$

где $\langle N_{\beta} \rangle$ - счет для бета канала, Eff_{β} – чувствительности к бета-излучению, K_{tr} – коэффициент переноса альфа счета в бета-канал.

5. Объемная суммарная бета-активность в исходной пробе (Бк/л) рассчитывается по формуле (2.5):

$$\begin{aligned} A_{\beta пр} &= (A_{\beta}/V) \cdot (M/m), & (2.5) \\ A_{\beta пр 1} &= 0,012 \text{ Бк/л}, \\ A_{\beta пр 2} &= 0,041 \text{ Бк/л}, \end{aligned}$$

где V - объем исходной пробы (л), M и m - масса выпаренного остатка пробы и масса аликвоты в кювете (масса счетного образца, г) соответственно.

Данный расчет производится для **альфа-активности**.

$$\begin{aligned} A_{\alpha пр 1} &= 0,0176 \text{ Бк/л}, \\ A_{\alpha пр 2} &= 0,0238 \text{ Бк/л}, \end{aligned}$$

Таким образом, и в пробе № 1, и в пробе № 2 содержание природных радионуклидов соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.559-96, предъявляемых к питьевой воде (суммарная альфа-активность менее 0,1 Бк/л, суммарная бета-активность менее 1 Бк/л) [7].

Вместе с тем, альфа- и бета-активности воды из подземного источника заметно ниже, чем у воды из центрального водопровода.

Результаты исследований представлены в таблице 2.2 и на рис.2.1

Таблица 2.2.

Результаты измерений и расчетов природных радионуклидов в исследуемых пробах воды

	Объемная суммарная бета-активность в исходной пробе (Бк/л)	Объемная суммарная альфа-активность в исходной пробе (Бк/л)
Вода из скважины	0,012	0,0176
Вода из водопровода	0,041	0,0238

Нормативное значение	1	0,1
----------------------	---	-----

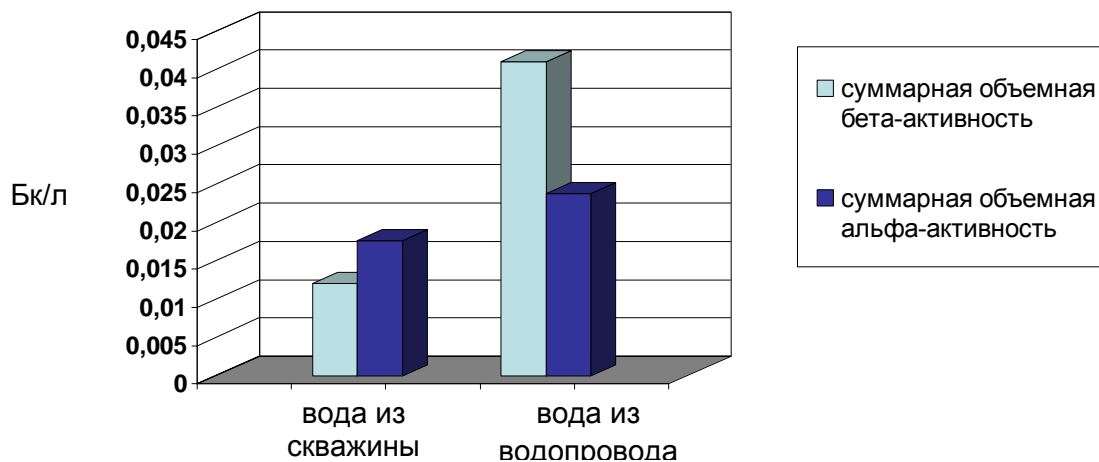


Рис.2.1 Сравнительная диаграмма показателей радиационной безопасности исследуемых проб воды

Полученные данные свидетельствуют о том, что вода из скважины более предпочтительной к употреблению, в случае подтверждения ее безопасности по остальным показателям качества питьевой воды.

При этом, следует учитывать, что содержание радионуклидов в воде из подземных источников может меняться в зависимости от сезона [9].

ВЫВОДЫ

Полученные в результате работы данные указывают на то, что в севастопольском регионе перспективны исследования подземных источников питьевой воды с целью их эффективной эксплуатации, поскольку вода из них зачастую является более безопасной для здоровья человека, чем вода из центрального водопровода.

Однако, исследования подземных вод должны быть комплексными и системными. Это связано с сезонной и пространственной изменчивостью химического состава и эпидемиологические показатели воды поверхностных и подземных источников.

По результатам проведенной работы:

1. Подтверждено предположение, что по показателям радиационной безопасности некоторые источники подземных вод могут качественно превосходить показатели воды из центрального водопровода.
2. Сделан вывод о необходимости продолжения сезонного и пространственного мониторинга радиоактивности воды подземных источников в севастопольском регионе.
3. Запланировано дальнейшее исследование радиоактивности и химического состава воды из подземных источников перспективных для обеспечения населения Севастополя питьевой водой.

При выполнении работы поставленные задачи решены, цели достигнуты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рябинин А.И., Боброва С.А., Мальченко Ю.А., Данилова Е.А. Исследование элементного состава воды подземных источников централизованного хозяйственного-питьевого водоснабжения г.Севастополя и питьевой воды. Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт Морское отделение. Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан, 2010 г.
2. А. М. Никаноров. Гидрохимия: Учебник. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб: Гидрометеиздат, 2001.
3. МУ 2.6.1.1981-05 Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов
4. Фомин Г.С. Вода, Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Справочник. Москва, Гостандарт России, 1995 г.
5. Подготовка проб природных вод для измерения суммарной альфа- и бета-активности. Методические рекомендации. ВИМС. Москва, 1997 г.
6. Альфа-бета-радиометр УМФ-2000. Руководство по эксплуатации. Москва, 2005 г.
7. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009), утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 года N 47
8. Шибецкая Ю.Г., Товарчий Я.Ю., Кременчуцкий Д.А., Бежин Н.А., Довгий И.И. Сезонная изменчивость активности изотопов радия в местах субмаринной разгрузки подземных вод. Материалы V Всероссийской научной конференции молодых ученых.2020. Издательство: Атлантическое отделение федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук», 2020.