



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение**

высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра Геоэкологии, природопользования и экологической
безопасности**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА**

На тему: «Исследование природных источников радиоактивного
загрязнения в Центральном районе г. Санкт-Петербург»

Исполнитель Конкин Эдуард Алексеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель: кандидат географических наук, доцент
Дроздов Владимир Владимирович

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

« 10 » сентября 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Ионизирующая радиация и ее источники в городской среде.....	5
1.1 Особенности воздействия ионизирующей радиации на организм человека	5
1.2 Природные и антропогенные источники ионизирующей радиации.....	12
2. Источники ионизирующей радиации на территории Санкт-Петербурга	18
2.1 Геологическое строение и природные источники	18
2.2 Радиоактивные изотопы в строительных материалах и конструкциях.....	21
2.3 Основные антропогенные источники ионизирующих излучений.....	23
3. Способы измерения ионизирующих излучений	27
3.1 Дозиметры, дозиметры – радиометры.....	27
3.2 Дозиметр Соекс-Кантум	30
4. Натурные измерения гамма-излучения на территории Центрального района и их анализ.	32
5. Практические рекомендации	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	50

ВВЕДЕНИЕ

Ионизирующая радиация является неотъемлемой составляющей окружающей среды. Жизнь на нашей планете возникла и продолжает развиваться в условиях непрекращающегося облучения. На нас воздействуют как искусственные, так и естественные источники радиации. Ко вторым можно отнести такие источники, как: космическое излучение, солнечное радиация и излучение от радиоактивных изотопов, находящихся в земной коре и объектах окружающих нас.

Радиоактивное загрязнение – это загрязнение окружающей среды, а также её компонентов радиоактивными веществами в количествах, превышающих допустимые уровни, установленные нормами радиационной безопасности.

Актуальность темы заключается в том, что постоянное фоновое превышение ионизирующего излучения может негативно сказываться на качестве жизни людей и приводить к разного рода заболеваниям. Поэтому необходим постоянный контроль за радиационной обстановкой в городе, особенно в местах постоянного пребывания людей.

Целью работы является оценка величин гамма – излучения от природных источников в Центральном районе г. Санкт-Петербург. Анализ полученных данных на предмет их соответствия санитарно-эпидемиологическим нормам радиационной безопасности.

Задачи работы:

- изучение ионизирующих источников излучения в городской среде;
- рассмотрение влияния ионизирующей радиации на организм человека;
- рассмотрение основных природных источников радиационного загрязнения на территории г. Санкт-Петербург;
- ознакомиться со способами измерения ионизирующего излучения;

– произвести сбор и анализ натуральных данных в отношении гамма-излучения на территории Центрального района г. Санкт-Петербург;

– обосновать практические рекомендации по снижению негативного воздействия ионизирующего излучения.

Объектом исследования был выбран Центральный район г. Санкт-Петербург. Этот район является самым густонаселенным в городе. Его территория составляет 17,12 км², это около 1,2% общегородской площади, но здесь проживает более 220 тыс. человек. Центральный район расположен в исторической части Санкт-Петербурга, здесь находится огромное количество гранитных набережных, которые являются естественным источником радиации.

Работа основана на данных собственных натуральных измерений, сделанных в 2021 – 2022 гг.

Результаты исследования могут быть полезны при планировании и организации мероприятий обеспечению экологической безопасности в г. Санкт-Петербург.

1. Ионизирующая радиация и ее источники в городской среде

Ионизирующее излучение – потоки фотонов, элементарных частиц или осколков деления атомов, способные ионизировать вещество [1].

К ионизирующему излучению не относят видимый свет и ультрафиолетовое излучение, которые в отдельных случаях могут ионизировать вещество. Инфракрасное излучение, излучение сантиметрового и радиодиапазонов не является ионизирующим, поскольку их энергии недостаточно для ионизации атомов и молекул в основном состоянии [2].

В среднем за год человек получает дозу излучения 3 миллизиверт. Это излучение не оказывает заметного эффекта на человека. Оно складывается из антропогенных и естественных источников.

1.1 Особенности воздействия ионизирующей радиации на организм человека

Растущее использование ионизирующих излучений во всем мире вызывает все больший интерес специалистов, а также всего общества в сфере охраны здоровья и связанных с этим рисков. Вскоре после его открытия было признано, что ионизирующее излучение может иметь неблагоприятные последствия и воздействие на здоровье. На данный момент имеется достаточно знаний о его пагубных последствиях. Тот факт, что ионизирующие излучение вызывает биологические повреждения известно уже много лет.

Взаимодействие ионизирующего излучения с организмом человека как от внешних источников или от внутреннего загрязнения организма радиоактивными веществами, приводит к биологическим последствиям, которые могут проявиться в виде клинических симптомов. Характер и тяжесть этих симптомов и время, когда они появляются, зависит от количества поглощенной радиации и скорости, с которой она получена.

Радиационная безопасность связана с клеточными эффектами, которые приводят к повреждению важнейших репродуктивных структур, таких как хромосомы и их компоненты (например, гены, ДНК и т. д.). Радиационные взаимодействия в организме вызывают микроскопические эффекты на субклеточном уровне, которые могут привести к внутриклеточным реакциям и, в совокупности, может в конечном итоге привести к макроскопическим наблюдаемым воздействиям на отдельные органы или ткани. Облучение биологической ткани приводит в движение ряд внутриклеточных биохимических процессов, которые начинаются с ионизации молекулы и которые в конечном итоге могут привести к клеточному повреждению. Повреждение большого количества клеток может, в свою очередь, привести к дальнейшему повреждению органов.

Многие факторы могут изменить реакцию живого организма на дозу радиации. Факторы, связанные с дозой, включают мощность дозы, энергию и тип излучения. ДНК считается основной молекулой-мишенью для радиационного излучения. Молекулярное повреждение, которое включает повреждение ДНК, может произойти по одному из двух путей воздействия радиации. Во-первых, излучение может напрямую взаимодействовать с ДНК, что приводит к одно- или двухцепочечным разрывам ДНК или связыванию пар оснований. Во-вторых, излучения могут взаимодействовать непосредственно с другими окружающими молекулами внутри или вне клетки, такими как вода, чтобы продуцировать свободные радикалы и активные формы кислорода. Эти реактивные молекулы, в свою очередь, взаимодействуют с ДНК и/или другими молекулами внутри клетки (мембраны, митохондрии, липиды, белки и т. д.), вызывая широкий спектр повреждений на клеточном и тканевом уровнях организма.

Последствия радиационного облучения для здоровья зависят также от некоторых биологических факторов, таких как - возраст, пол, открытые части тела, различная радиочувствительность и механизмы репарации. По закону Бергонье и Трибондо известно, что клетки тем чувствительнее к облучению,

чем быстрее они размножаются, чем продолжительнее у них фаза митоза и чем менее они дифференцированы. Клеточные изменения в восприимчивых типах клеток могут привести к гибели клеток; обширная гибель клеток может привести к необратимому повреждению органа или ткани, или даже привести к гибели человека. Если клетки адекватно восстановлены и относительно нормальный функционал восстанавливается, более тонкие изменения ДНК также могут быть выражены в более позднее время в виде мутации и/или опухоли.

Высокие дозы ионизирующего излучения могут привести к различным негативным последствиям. В случае детерминированных эффектов необходимо превысить определенную минимальную дозу, пороговую дозу, чтобы эффект проявился. Увеличение размера дозы выше пороговой дозы усилит выраженность эффекта. Клинически наблюдаемые результаты острой передозировки обычно называют острым лучевым синдромом (ОЛС). Этот эффект наблюдается только после воздействия на все тело относительно высоких доз ($>1,0$ Гр), такие, которые могут иметь место при серьезной ядерной аварии. Четыре стадии ОЛБ: продромальная (или начальная), латентная стадия, стадия проявления болезни и выздоровление или смерть. Продромальная фаза характеризуется тошнотой, рвотой, недомоганием и утомляемостью, повышением температуры и изменениями крови.

Латентная стадия аналогична инкубационному периоду. На стадии проявления болезни появляются признаки и симптомы, особенно связанные с радиационным поражением, выпадение волос, лихорадка, кровоизлияние, сильная диарея, прострация, дезориентация и сердечно-сосудистый коллапс. Тяжесть и время появления признаков и симптомов зависит от полученной дозы облучения, при этом время проявления уменьшается с увеличением дозы. Клиническую фазу можно разделить на четыре перекрывающиеся фазы; Легкая фаза (0,5 л Гр), Гемопозитический синдром (1-8 Гр), характеризующийся дефицитом лейкоцитов, лимфоцитов и тромбоцитов с иммунодефицитом, усилением инфекционных осложнений, кровотечениями,

анемией и нарушение заживления ран: Желудочно-кишечный синдром (8-30Гр), характеризуется потерей клеток выстилки кишечной крипты и потерей слизистого барьера с изменениями моторики кишечника, потерей жидкости и электролитов с рвотой и диареей, потерей нормальных кишечных бактерий, сепсис и повреждение кишечной микроциркуляции, наряду с гемопозитическим синдромом. Синдром центральной нервной системы (>30 Гр), в первую очередь связан с воздействием на сосудистую сеть. Признаки и симптомы включают рвоту и диарею в течение нескольких минут после воздействия, спутанность сознания, дезориентация, отек головного мозга, гипотензия и гипертермия. Смертельный исход за короткое время. Без медицинской помощи половина людей, подвергшихся острому облучению всего тела в дозе 3,5 Гр, может умереть в течение 60 дней. У людей, переживших острое облучение всего тела, могут также развиваться другие отсроченные соматические эффекты, такие как эпиляция, катаракта, эритема, бесплодие и/или онкологические заболевания [3].

Острое воздействие может привести к ранним или поздним последствиям, которые могут быть либо стохастическими, либо детерминированными. Немедленные или острые эффекты, описанные выше, в основном являются результатом гибели клеток в некоторых важных популяциях. Отсроченные или поздние эффекты связаны с повреждением клеток, которые выживают, но сохраняют некоторое наследие радиационного повреждения. Наследственные (генетические) последствия и рак называются стохастическими эффектами. Если эта клетка является зародышевой клеткой, это может привести к генетической мутации, выраженной в будущих поколениях. Наследственные эффекты от воздействия ионизирующего излучения не были выявлены у людей, если поврежденная клетка является соматической клеткой, последствием может быть рак у человека, подвергшегося воздействию. Увеличение дозы облучения не увеличивает тяжесть эффекта у отдельных лиц, а просто увеличивает частоту или заболеваемость эффектом в популяции. [5,6]. Риск стохастических эффектов

является основной причиной ограничения доз облучения как населения, так и радиационных работников. В целях радиационной защиты предполагается, что вероятность стохастического эффекта возрастает линейно по мере увеличения дозы и что пороговой дозы нет. По этой причине стохастический эффект называется линейным или нулевым пороговым эффектом. Если нет пороговой дозы, то считается, что даже малые дозы радиации могут вызвать рак. Можно сделать вывод, что имеющиеся в настоящее время эпидемиологические данные (Хиросима, Нагасаки, Чернобыль, регистры ядерных работников) не дают подтверждений радиационного канцерогенеза в области низких доз (0-100мЗв). Хотя пока невозможно клинически определить, было ли конкретное злокачественное новообразование вызвано радиацией, радиационно-индуцированные опухоли и лейкемия были обнаружены и статистически оценены эпидемиологическими исследованиями населения, подвергшегося воздействию относительно высоких доз радиации.

Индукция рака является случайным («стохастическим») событием, в отличие от индукции лучевой болезни, которая полностью предсказуема. Эпидемиологические данные постоянно связывают воздействие ионизирующих облучений с повышенной скоростью канцерогенеза в любом органе, в котором может возникнуть рак. В настоящее время общепризнано, что ионизирующее излучение может вызывать рак любого органа, в котором рак возникает естественным путем. Предполагается, что риск индукции рака в целом пропорционален количеству облученных клеток, подвергающихся риску в данном органе или ткани, даже несмотря на то, что между видами данные указывают на отсутствие корреляции с размером тела. Органы значительно различаются по своей предрасположенности к раку и по латентному периоду до начала злокачественного перерождения.

Стохастические эффекты могут быть вызваны и многими другими факторами, не только излучением. Так как каждый подвергается естественному облучению и другим факторам, стохастические эффекты могут возникать у всех нас, независимо от типа работы (с радиацией или без).

Поскольку нет данных о более низком пороге появления стохастических эффектов, разумным курсом является обеспечение того, чтобы все радиационные воздействия следовали принципу, известному как ALARA (Поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения). Лейкемия и рак щитовидной железы у детей могут появиться уже через несколько лет после облучения.

Радиационные аварии можно рассматривать как события экстремального облучения, которые обеспечивают сильное облучение небольшого числа людей и, в случае аварий на атомных станциях, низкое облучение больших групп населения. Наше понимание острых эффектов облучения всего тела основано на анализе клинической истории людей, подвергшихся радиационному облучению после взрыва атомной бомбы над Японией и радиационных аварий, произошедших во всем мире. Большинство радиационных поражений являются «локальными» поражениями, часто вовлекающими руки. Эти местные повреждения редко вызывают классические признаки и симптомы острого лучевого синдрома. Оценка конкретных признаков и симптомов необходима для сортировки пострадавших, выбора терапии и определения прогноза. Клинические наблюдения, лабораторные исследования и цитогенетика являются основными методами диагностики, используемыми в случаях облучения всего тела [3,4].

Последствия для здоровья, связанные с воздействием ионизирующего излучения, могут проявляться как в виде немедленных последствий, в основном для органов с быстро делящимися клетками, включая систему кроветворения, желудочно-кишечный тракт и кожу, так и в виде отсроченных эффектов, таких как катаракта и проблемы развития эмбриона/плода. Канцерогенные эффекты также могут проявляться в любом количестве систем органов. Эта конечная точка может не проявляться в течение нескольких лет

после первоначального воздействия. Помимо эпидемиологических исследований, наиболее плодотворным подходом к дальнейшему пониманию риска воздействия ионизирующего излучения являются молекулярные исследования, включающие идентификацию уникальных биомаркеров и патогенных путей на клеточном и тканевом уровнях.

В таблицах 1.1 и 1.2 приведены оценочные данные о влиянии ионизирующего излучения на здоровье человека.

Таблица 1.1 – Воздействие ионизирующего излучения на органы и ткани человека. По данным [6]

Воздействие на здоровье	Орган	Поглощенная доза (Гр)
Временное бесплодие	Семенник	0,15
Тошнота		0,35
Угнетение процесса формирования клеток крови	Костный мозг	0,5
Обратимые кожные эффекты	Кожа	2
Бесплодие	Яичники	2,5-6

Продолжение таблицы 1.1.

Воздействие на здоровье	Орган	Поглощенная доза (Гр)
Рвота		3
Временное выпадение волос	Кожа	3-5
Постоянная стерильность	Семенник	3-5
Эритема кожи	Кожа	5-6

Таблица 1.2 – Воздействие ионизирующего излучения на человека – дозы и эффекты. По данным [6]

Доза (Гр)	Эффект
0-0,25	Отсутствие обнаруживаемых повреждений или симптомов
0,25-1	Измеримые транзиторные изменения крови, временное снижение количества лейкоцитов
1-2	Острая лучевая болезнь – тошнота, рвота, снижение лейкоцитов
2-3	Рвота, диарея, потеря аппетита, вялость, в некоторых случаях смерть.
3-6	Рвота, диарея, кровотечение, летальный исход в 50% случаев наступает при 3,5 и выше без медикаментозного лечения.
6 и более	Окончательная смерть почти во всех случаях

1.2 Природные и антропогенные источники ионизирующей радиации

Природные радиоактивные материалы широко распространены в окружающей среде и в организме человека. Эти материалы постоянно излучают ионизирующее излучение. Ионизирующее излучение из космоса (космическое излучение) постоянно бомбардирует Землю. Ионизирующее излучение от этих и подобных природных источников называется фоновым излучением. Человеческая деятельность, такая как проведение медицинских рентгеновских снимков, выработка электроэнергии за счет ядерной энергии, испытания ядерного оружия и производство различных обычных продуктов, таких как детекторы дыма, которые содержат радиоактивные материалы, может вызвать дополнительное воздействие ионизирующего излучения. Процент среднегодового излучения экспозиция, вносимая каждым основным

источником, показана на рисунке 1.1. Суммарная экспозиция составляет около 360 миллибэр. Около 82 % от природных источников; 18 % из промышленных, медицинских и потребительских источников. Значения, приведенные на рисунке 1.1, являются средними для США. Фактические значения различаются в зависимости от того, где живут люди и как они проводят свое время. В этом информационном бюллетене описываются источники ионизирующего излучения и приводятся некоторые причины различий в получаемом радиационном облучении [7].

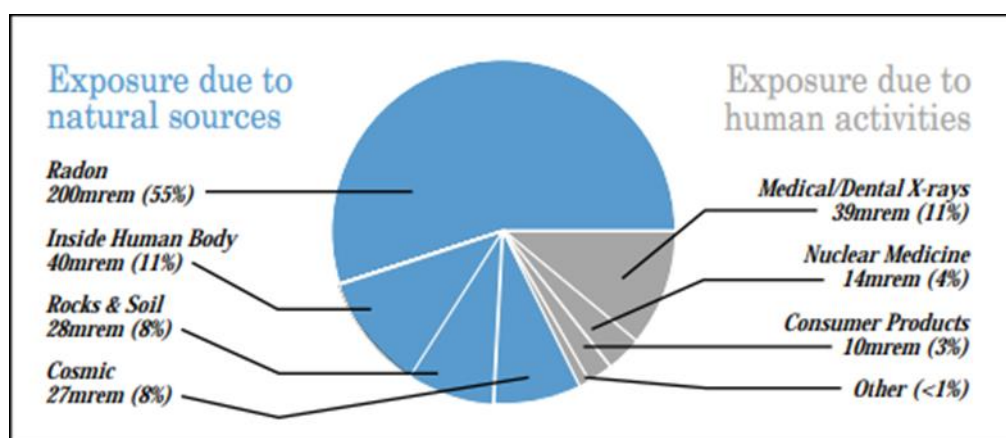


Рисунок 1.1 – Среднегодовое воздействие ионизирующего излучения [7].

Крупнейшим естественным источником радиационного облучения человека является газ радон. Хотя газ радон всегда присутствовал в окружающей среде, в последние годы возросло понимание его вклада в облучение человека. Основной путь радона - через воздушное пространство в почве и горных породах. Разность давлений между почвой и внутренней частью зданий может привести к перемещению газообразного радона внутрь помещений. В зависимости от мощности источника и других переменных, неприемлемое количество газообразного радона может накапливаться внутри помещений, где люди, находящиеся в здании, будут подвергаться воздействию ионизирующего излучения, испускаемого радоном и продуктами

его распада. Концентрация радона может варьироваться в зависимости от состава почвы и породы под зданиями. Гранит может содержать больше среднего количества урана, который распадается на газ радон.

Внутреннее излучение исходит от радиоактивных материалов, которые естественным образом присутствуют в организме человека. Изотопы калия и углерода являются основными источниками внутреннего радиационного облучения. Калий является важным минералом для жизни. Изотоп калия-40 (0,01% всего калия) по своей природе радиоактивен. Углерод составляет около 23 % по весу человеческого тела. Космическое излучение создает радиоактивный углерод-14, который составляет еще меньший процент от всего углерода. Калий и углерод попадают в организм по пищевой цепи [7].

К другим наземным источникам относятся естественные радиоактивные материалы, содержащиеся в горных породах и почве. Основной вклад вносят радиоактивные изотопы, являющиеся продуктами распада урана и тория.

Когда Земля движется в космосе, она подвергается бомбардировке высокоэнергетическими частицами и гамма-лучами, которые усиливают фоновое излучение. Земная атмосфера действует как щит, поглощая большую часть энергии космического излучения. Люди, живущие близко к уровню моря, защищены более толстым атмосферным покровом, чем те, кто живет на больших высотах, и, таким образом, подвергаются меньшему воздействию космической радиации.

Крупнейшим источником медицинского облучения, если усреднить его для всех людей, являются диагностические рентгеновские снимки, включая рентген грудной клетки или конечностей, а также рентген зубов. Другие источники относятся к категории ядерной медицины. К ним относятся диагностические процедуры, в которых используются ядерные индикаторы. (Очень небольшие количества радиоактивных материалов, называемых трассерами, вводятся в кровоток, и их продвижение по организму контролируется с помощью детектора радиации. Могут быть выявлены закупоренные или суженные кровеносные сосуды, а также развивающиеся

опухоли.) Ядерная медицина также включает лечение болезни. Некоторыми примерами являются облучение кобальтом для лечения рака или инъекция радиоактивного йода, который концентрируется в щитовидной железе, для лечения болезни Грейвса.

Радиация используется в производстве многих потребительских товаров. Он используется для стерилизации таких продуктов, как косметика и медицинские принадлежности, а также для упаковки в термоусадочную пленку. Его можно использовать для определения толщины материалов, степени заполнения банок перед их герметизацией и качества сварных швов в таких конструкциях, как мосты и здания. Такое использование радиации может подвергнуть рабочих на фабрике облучению, но оно не делает потребительский продукт радиоактивным. Радиоактивные материалы также используются во многих потребительских товарах. Наиболее распространенными из них являются детекторы дыма, в которых для обнаружения частиц дыма в воздухе используется радиоактивный изотоп америций-241.

Некоторые потребительские товары естественным образом содержат радиоактивные материалы. К ним относятся табачные изделия, природный газ, фосфорные удобрения, некоторые кирпичные или каменные строительные материалы, газовые колпаки, некоторые светящиеся знаки и некоторые виды керамики. Доза от медицинских, промышленных и потребительских товаров варьируется от человека к человеку в зависимости от таких факторов, как тип дома, тип работы, привычки курения и личный образ жизни.

В таблице 1.3 приведена структура средних годовых эффективных доз облучения (мкЗв) жителей Земли природными источниками в коммунальных условиях [24]. В таблица 1.4 представлена структура средних годовых эффективных доз облучения (мкЗв) жителей Российской Федерации природными источниками в коммунальных условиях [24].

Таблица 1.3 – Структура средних годовых эффективных доз облучения (мкЗв) жителей Земли природными источниками в коммунальных условиях [24]

Источники	Среднемировая доза	Типичный диапазон
Космическое излучение		
Ионизирующая компонента	280	270–340
Нейтронная компонента	100	48–120
Космогенные радионуклиды (C 14 и др.)	12	–
Всего за счет космического излучения	390	300–1000
Внешнее терригенное гамма-излучение		
Облучение в домах	410	255–510
Облучение на открытой местности	70	45–90
Всего за счет терригенного излучения	480	300–1000
Ингаляционное поступление природных радионуклидов		
Радионуклиды рядов ^{238}U и ^{232}Th	6	–
^{222}Rn и дочерние продукты радона	1150	–
^{220}Rn и дочерние продукты торона	100	–
Всего за счет ингаляции природных радионуклидов	1260	200–10 000
Пероральное поступление с пищей и водой		
^{40}K	170	170
^{210}Pb , ^{210}Po , ^{228}Ra , ^{226}Ra и др.	120	30–630
Всего за счет перорального поступления	290	200–1000
Итого за счет всех компонент	2400	1000–13 000

Таблица 1.4 – Структура средних годовых эффективных доз облучения (мкЗв) жителей Российской Федерации природными источниками в коммунальных условиях [24]

Источники	Средняя годовая доза	
	по РФ	по субъектам РФ
Космическое излучение		
Ионизирующая компонента	280	220–390
Нейтронная компонента	100	48–120
Космогенные радионуклиды (C 14 и др.)	12	12
Всего за счет космического излучения	390	309–410
Внешнее терригенное гамма-излучение		
Облучение в домах	554	210–1150
Облучение на открытой местности	96	60–220
Всего за счет терригенного гамма-излучения	650	270–1370
Ингаляция природных радионуклидов		
210 Pb, 210 Po, 232 Th и др.	6	6
222 Rn и дочерние продукты родона + 220 Rn дочерние продукты торона	2020	210–7890
Всего за счет ингаляции природных радионуклидов	2026	220–7900
Пероральное поступление с пищей и водой		
40 K	170	170
210 Pb, 210 Po, 228 Ra, 226 Ra и др.	164	30–630
Всего за счет перорального поступления	334	200–800
Итого за счет всех природных источников	3520	1050–10 800

2. Источники ионизирующей радиации на территории Санкт-Петербурга

Природное облучение является основным источником облучения населения Российской Федерации. В соответствии с данными радиационно-гигиенической паспортизации оно обуславливает от 75% до 97% величины средней годовой эффективной дозы облучения населения субъектов Российской Федерации. Санкт-Петербург является одним из крупнейших в России научных, медицинских и промышленных центров, поэтому использование источников ионизирующего излучения на его территории распространено достаточно широко.

2.1 Геологическое строение и природные источники

Санкт-Петербург является самым крупным северным городом со сложным геологическим строением, высокой обводненностью поверхностными и подземными водами. Санкт-Петербург расположен на склоне Балтийского щита в пограничной зоне между щитом и чехлом Русской платформы. Песчано-глинистые ледниковые образования четвертичного возраста мощностью в основном 20-40 м практически полностью перекрывают нижележащие палеозойские отложения, которые обнажаются в долинах рек.

Платформенный чехол представлен терригенно-карбонатными отложениями венда, кембрия и ордовика, общая мощность которых в разных частях города колеблется от 100 до 300 м; промежуточный, протоорогенный, этаж, выполнен преимущественно терригенными и терригенно-вулканогенными толщами рифея мощностью от десятков метров до 1 км и более в пределах Пашско-Ладожского грабена, который занимает большую

часть Ладожского озера и частично его западное, восточное и южное побережья.

Кристаллический фундамент южного склона Балтийского щита, сложенный глубокометаморфизованными породами архея и раннего протерозоя, а также гранитами, гранито-гнейсами и другими образованиями, залегает на глубине от 100 м на северо-западе до 300 м на юге.

Характерной чертой города является наличие большого количества рек, каналов, озер и прудов. Подземные воды на территории города в основном минерализованные, пресные прослеживаются от северных границ города до г. Сестрорецка [8].

С платформенными осадочными отложениями связаны месторождения кембрийских глин, пригодных для кирпичного и гончарного производства, а также фосфоритонесных песков ордовикского возраста. Кроме того, в гдовских песчаниках и в подстилающих докембрийских корах выветривания выявлены инфильтрационные урановые проявления, в том числе небольшое месторождение Славянское на юго-востоке города. Содержание урана в горных породах превышает фоновое в 10 раз. В результате наблюдается повышенная радоноопасность в Красносельском и Пушкинском районах.

Санкт-Петербург характеризуется повышенным уровнем всех факторов радиационного риска, как природных, так и техногенных. Естественные источники радиации связаны с геологическими условиями. Санкт-Петербург расположен в зоне обширных геологических разломов, из которых выходит радон и продукты его распада. Основным источником поступления радона внутрь помещений зданий являются залегающие под зданием породы и грунты, содержащие уран или радий. На территории Ленинградской области к таким породам относятся в первую очередь дикинономовые сланцы с содержанием урана выше фонового в 10–100 раз, которые выходят на поверхность или располагаются в непосредственной близости от земной поверхности [9]. Полоса приповерхностного уранового рудопроявления

диктионемовых сланцев проходит по всей территории области от границы с Финляндией через Выборг, Санкт-Петербург (Красносельский и Пушкинский районы) и далее в сторону Эстонии [10]. Кроме того, в Выборгском, Приозерском, Бокситогорском, Тихвинском, Кингисеппском, Ломоносовском, Кировском и Подпорожском районах Ленинградской области сосредоточены комплексы горных пород, богатых ПРН.

Природный радиационный фон в Ленинградской области составляет 13–20 мкР/ч, при преобладающем значении 15 мкР/ч. На территории г. Сланцы зафиксированы 23 участка "радиоактивного загрязнения" (УРЗ), для которых мощность дозы гамма-излучения составляет от 60 до 210 мкР/ч. Это участки, где можно встретить большое количество валунов и глыб гранита, концентрация естественных радионуклидов (урана, тория, калия) в котором повышена [11].

2.2 Радиоактивные изотопы в строительных материалах и конструкциях

Радиационный фон в зданиях зависит от строительных материалов и конструкций, этажности, вентиляции помещений, местности, где здание расположено. Для строительства больше всего используются материалы и изделия минерального происхождения, сырьем для которых являются горные породы. Их количество в общем объеме потребления материалов при строительстве зданий и сооружений составляет 60 – 80 %. Все горные породы обладают в большей или меньшей степени естественной радиоактивностью, так как вошли в состав земной коры с момента её образования.

Радиоактивность строительных материалов зависит от места расположения горных пород, глубины их залегания, вида. На содержание радионуклидов оказывает влияние местонахождение вблизи урановых руд или радоновых источников (такие территории России, как Красноярский, Алтайский край – Белокуриха, Пятигорск и др.) [12].

Вклад в радиоактивное антропогенное загрязнение основных компонентов промышленности строительных материалов, таких, как глины, пески и даже строительная древесина, внесла авария на Чернобыльской АЭС.

Многие исследователи отмечают повышенное содержание радионуклидов в граните, вулканическом туфе и пемзе, песках и песчаногравийных смесях и более всего в глинах и суглинках и, как следствие, в материалах на их основе: керамическом кирпиче, керамзите. В меньшей степени радионуклиды содержатся в карбонатном сырье и гипсовом камне, которые являются основой производства вяжущих: извести, цемента, гипса.

Некоторые строительные материалы (керамика, цемент) получают обжигом до спекания, другие - плавлением (стекло и материалы из расплава). Как показали исследования, в них происходит концентрация радионуклидов за счет выгорания различных примесей, разложения минералов и уплотнения структуры. Поэтому керамические материалы, и в частности кирпич – основной стеновой материал – обладают повышенной радиоактивностью.

Применение строительных материалов, содержащих повышенные активности естественных и антропогенных радионуклидов, может привести к дополнительному облучению населения [13].

Основными радиоактивными изотопами, встречающимися в горных породах и имеющими наибольшее значение для радиоактивности строительных материалов, являются калий-40, радионуклиды уранового и ториевого семейств U-238 и Th-232 и продукты радиоактивного распада двух последних: радон-222 и радон-220 (торон). Именно на радон, в том числе и высвобождающийся из строительных материалов, приходится наибольшая доза облучения.

Учитывая неравномерность распределения естественных радионуклидов (от 7 до 47000 Бк/кг) в горных породах и минералах, используемых для производства строительных материалов и изделий, возникает необходимость их исследования, проверки и контроля, в том числе и в готовой продукции.

Удельная эффективная активность ЕРН (Аэфф) – суммарная удельная активность ЕРН в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31 A_{Th} + 0,085 A_K \quad (2.1)$$

где A_{Ra} , A_{Th} , A_K – удельные активности радия, тория, калия соответственно, Бк/кг.

В соответствии с ГОСТ 30108-94 материалы и изделия в строительстве подразделяются на четыре класса по величине удельной эффективной активности ЕРН в стройматериалах $A_{эфф}$, которая определяется по формуле (2.1).

Критерием для принятия решения о возможности применения строительных материалов или строительного сырья для возведения зданий является суммарное содержание радионуклидов ЕРН ($A_{эфф}$) менее 370 Бк/кг, то есть те, которые относятся к I классу по радиационной безопасности (НРБ-99).

Помимо строительных материалов требование радиационно экологической оценки введено в государственные стандарты и на строительное сырье.

Установлено, что некоторые техногенные продукты переработки природного сырья (бокситовые шламы, отходы переработки фосфорных руд, содержащих силикаты кальция, фосфогипс, металлургические шлаки, золы и шлаки, образующиеся при сжигании каменного угля, широко используемые в качестве сырья для строительных материалов) обладают высокой радиоактивностью.

Большинство разрабатываемых фосфатных месторождений имеет довольно высокие концентрации урана. Некоторые виды каменных углей содержат до 1 кг урана на тонну, в других радионуклидов меньше, чем в земной коре. Однако при сгорании каменного угля происходит концентрация радионуклидов в шлаках и золах, в том числе и зольной пыли [13].

Повышенной радиоактивностью по сравнению с природным гипсом обладает фосфогипс, который широко распространен в производстве строительных блоков, перегородок, ГВЛ (гипсоволокнистый лист) и ГКЛ (гипсокартонный лист), при получении вяжущих составов, используется в качестве минерального порошка в асфальтобетонах.

Многие отходы промышленности, применяемые при изготовлении стройматериалов, имеют удельную активность естественных радионуклидов ниже среднего значения, тогда как активность зол и шлаков ТЭЦ, доменных и фосфорных шлаков по сравнению с ними повышена. Диапазон вариаций данных для регионов России шире, чем для других стран СНГ (31...186 и 68...120 Бк/кг соответственно).

На основании исследований сделан вывод о том, что материалы с удельной эффективной активностью радионуклидов выше 185 Бк/кг встречаются довольно часто, а значение 370 Бк/кг близко к верхней границе частотного распределения и является, по современным требованиям, пределом применения таких материалов в строительстве жилых зданий [13].

2.3 Основные антропогенные источники ионизирующих излучений

Для Санкт-Петербурга значимым фактором является несанкционированный транзит и захоронение радиоактивных веществ, а для Ленинградской области – следствие катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1986 году и радон. Потенциальную опасность для природной среды региона представляет Ленинградская АЭС, в связи с приближающимся выводом из эксплуатации реакторов первой очереди и скором заполнении хранилища радиоактивных отходов [11].

В связи с тем, что Санкт-Петербург – город, где зарождалась отечественная радиохимия и в разные годы велись интенсивные исследования природных и искусственных радионуклидов, существовали

производства радионуклидов и их продукция широко использовалась, причем, вплоть до начала 1960-гг., бесконтрольно. К началу планомерных гамма-съемок территория города оказалась интенсивно загрязнена радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующего излучения.

Многочисленность предприятий и организаций, использующих источники ионизирующего излучения, отсутствие в прошлом должного контроля за их утилизацией и привело к поступлению большого числа источников ионизирующего излучения на полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) и несанкционированные свалки.

На территории Санкт – Петербурга и Ленинградской области находится 9 радиационно-опасных объектов:

1. Ленинградская АЭС – крупнейший производитель электрической энергии на Северо-Западе России. Станция обеспечивает более 50 % энергопотребления Санкт-Петербурга и Ленинградской области. В топливно-энергетическом балансе всего Северо-Западного региона на долю Ленинградской АЭС приходится около 28% [14].

2. Ленспецкомбинат «Радон» – природоохранное предприятие, обеспечивающее сбор, транспортировку, переработку, кондиционирование и долговременное хранение радиоактивных отходов [15].

3. Научно-исследовательский технологический институт имени А. П. Александрова (НИТИ) – единственный в России научно-технологический центр комплексных испытаний корабельных ядерных энергетических установок (ЯУЭ), доведения их на стендах-прототипах до требуемого уровня надежности и безопасности. Особенность института заключается во всеобъемлющем охвате концевых технологий создания корабельных ЯЭУ, концентрирующих в себе результаты работы многих научных и конструкторских коллективов.

4. Петербургский институт ядерной физики имени Б. П. Константинова (ПИЯФ) – является одним из четырех ядерно-

физических центров, входящих в состав Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Это многопрофильный научный центр, ведущий фундаментальные и прикладные исследования в области физики элементарных частиц и высоких энергий, ядерной физики, физики конденсированного состояния, молекулярной и радиационной биофизики [16].

5. Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе – является одним из крупнейших научных центров России, в котором ведутся как фундаментальные, так и прикладные исследования в важнейших областях современной физики и технологии. Институт является учреждением Российской академии наук и входит в состав Отделения физических наук [17].

6. ОАО «Радиевый институт имени В. Г. Хлопина» – старейшая организация, входящая в Госкорпорацию «Росатом», первая в СССР специализированная организация, занявшаяся изучением свойств радиоактивных веществ, разработкой способов их получения и применения. В настоящее время институт проводит исследования ядерно-физического, радиохимического, геохимического и экологического профилей, связанные, в основном, с проблемами атомной энергетики, радиоэкологии и получения изотопов [18].

7. Центральный научный исследовательский институт им. академика А.Н. Крылова – является головной и ведущей научно-исследовательской организацией судостроительной отрасли страны и обеспечивает концептуальное обоснование развития торгового и военного флотов, проектирование и строительство кораблей, судов и морских сооружений, их эксплуатацию и утилизацию [19].

8. Балтийский завод – основан в 1856 году. В течение полутора веков предприятие является одной из ведущих верфей России. За 156 лет было построено более 600 судов и кораблей, среди которых атомные ледоколы и атомные ракетные крейсера, суда космической связи и специального назначения [20].

9. Могильник радиоактивных отходов на 21 км Приморского шоссе Ленинградской области – место захоронения отработавших элементов подводных лодок.

Таким образом, количество потенциальных техногенных источников ионизирующей радиации в Санкт-Петербурге и Ленинградской области значительно.

3. Способы измерения ионизирующих излучений

Ионизирующее излучение легко обнаружить даже в очень малых количествах. Его можно измерить с помощью ряда различных инструментов. Измеряя количество присутствующего излучения, люди могут определить источники излучения и предпринять необходимые шаги, чтобы избежать или уменьшить воздействие. Ионизирующее излучение может повредить живые ткани. Степень повреждения частично зависит от типа и количества ионизирующего излучения, поглощаемого тканью. Если энергия излучения не поглощается, никакого ущерба не наносится. Таким образом, обнаружение радиации является важной частью защиты людей и окружающей среды от радиации.

3.1 Дозимтеры, дозиметры – радиометры

Дозиметр – это устройство для измерения дозы или мощности дозы ионизирующего излучения, полученной прибором (и тем, кто им пользуется) за некоторый промежуток времени, например, за период нахождения на некоторой территории или за рабочую смену. Измерение вышеописанных величин называется дозиметрией.

Иногда "дозиметром" не совсем точно называют радиометр - прибор для измерения активности радионуклида в источнике или образце (в объеме жидкости, газа, аэрозоля, на загрязненных поверхностях) или плотности потока ионизирующих излучений для проверки на радиоактивность подозрительных предметов и оценки радиационной обстановки в данном месте в данный момент. Измерение вышеописанных величин называется радиометрией.

Дозиметры измеряют длительное воздействие потенциально опасных эффектов. Они используются рабочими и учеными в различных ситуациях, но наиболее распространенные дозиметры измеряют либо ионизирующее излучение, либо шум в течение определенного периода времени. Это небольшие предметы, которые часто носят в карманах, показания которых снимаются в течение дня или нескольких дней. Владелец может самостоятельно контролировать дозиметр, чтобы увидеть, каков средний уровень радиации или шума. Другие дозиметры отправляются техническим специалистам, которые подвергают дозиметр стандартным испытаниям для измерения средних уровней. Это дает компаниям хорошее представление о том, насколько опасны определенные зоны для их работников, и показывает, насколько хорошо они соблюдают правила техники безопасности, установленные правительством штата и федеральным правительством.

Дозиметры определяют продолжительную «дозу» определенного типа эффекта. При измерении количества светового излучения в течение длительного периода времени можно использовать два разных метода. Первый вид – дозиметр всего тела, измеряющий рентгеновское, бета- и гамма-излучение. Это простое одноразовое устройство в форме пакета, созданного из очень тонкого слоя оксида алюминия. Все излучение проходит через этот пакет, но часть проходит через медный фильтр, часть проходит через оловянный или визуализирующий фильтр, а часть проходит прямо через слой оксида алюминия. Опасные виды излучения будут иметь специфическое взаимодействие с этим слоем, придавая ему энергию. В конце дня слой снимается с дозиметра и тестируется синим лазером.

Второй тип дозиметров радиации работает по тому же принципу, но вместо слоя оксида алюминия использует мелкие кристаллы или чипсы. Эти кристаллы «улавливают» ионизирующее излучение, которое оставляет следы энергии при прохождении через объекты, обмене электронами и, в конечном счете, изменении процессов в тканях. Поскольку кристалл не живой, в нем нет процессов, которые могли бы измениться, но электроны захвачены его

структурой. При нагревании кристаллический чип излучает свет, равный количеству полученного им гамма-, рентгеновского и бета-излучения. Этот свет тщательно измеряется и используется для определения уровня радиации, с которым столкнулся человек, носящий дозиметр. Этот процесс называется термолюминесцентной дозиметрией [21].

Наиболее перспективны для радиационного контроля являются дозиметры-радиометры, которые измеряют дозы излучения, активность радионуклида, плотность потока ионизирующих излучений для проверки на радиоактивность различных предметов, кроме того имеют малые размеры и малую потребляемую энергию.

Принцип действия основан на взаимодействии излучения с веществом детекторов блоков детектирования (БД) и возникновении сцинтилляций или носителей заряда, которые затем преобразуются в электрические импульсы, амплитуда которых пропорциональна энергии излучения, а скорость счета пропорциональна потоку частиц, попадающих в детектор. Преобразование этих данных в измеряемые величины производится прибором автоматически с учетом предварительно сделанной калибровки по эталонам, воспроизводящим соответствующую физическую величину [22].

3.2 Дозиметр Соекс-Кантум

После включения прибора автоматически начинается оценка радиоактивной обстановки. Приблизительно через 10 сек на экране появляется первый результат измерений, после чего начнется следующий цикл измерений. Измерения производятся непрерывно до выключения прибора независимо от того, в каком режиме находится прибор. Максимально точные результаты измерений прибор показывает при полностью заполненном индикаторе точности. В таблице 3.1 приведены основные технические характеристики дозиметра “Soeks Quantum”. На рисунке 3.1 – вид данного прибора.

Таблица 3.1 – Технические характеристики дозиметра “Soeks Quantum”

Диапазон показаний уровня радиоактивного фона, мкЗв/ч	До 1000
Диапазон измерения накопленной дозы, Зв	До 1000
Время накопления дозы	до 999 дней
Накопление истории измерения радиационного фона, не менее	24 часа с шагом 10 секунд
Регистрируемая энергия гамма-излучения, МэВ	От 0,1
Пороги предупреждения, мкЗв/ч	от 0,3 до 100
Время измерения, секунд	10
Индикация показаний	Непрерывная, числовая, графическая
Элементы питания, дополнительное питание	Аккумуляторы или батарейки AAA, от сетевого адаптера или USB
Диапазон напряжения питания, В	1,9 – 3,0
Время непрерывной работы изделия, не менее, часов	до 700
Габаритные размеры высота x ширина x толщина, не более, мм	130x52x18
Масса изделия (без элементов питания), не более, гр	71
Ток заряда аккумуляторов, не более, мА	300
Потребляемый ток от зарядного устройства или USB, не более мА	500
Напряжение на выходе зарядного устройства, В	от 4,5 до 5,5
Дисплей	Цветной TFT, 128x160
Диапазон рабочих температур, °С	от -20 до +60



Рисунок 3.1 – Дозиметр Soeks Quantum
а) – внешний вид; б) – в разобранном виде.

4. Натурные измерения гамма-излучения на территории Центрального района и их анализ

Были проведены натурные измерения гамма-излучения на территории Центрального района г. Санкт-Петербург с помощью дозиметра “Soeks Quantum”. Измерения проводились в ноябре 2021 г и в апреле 2022 г. Все измерения были проанализированы и оценены в соответствии с гигиеническими требованиями.

Полученные результаты измерений в Центральном районе представлены ниже в таблице 4.1. и 4.2.

Таблица 4.1 – Средние и максимальные значения измерений у земли

№	Наименование станции наблюдения	Среднее, мкЗв/час	Максимальное, мкЗв/час
1.	Мост Александра неевского	0,30	0,33
2.	Аничков мост	0,63	0,69
3.	Пантелеймоновский мост	0,42	0,52
4.	Мост Белинского	0,42	0,46
5.	Семёновский мост	0,37	0,44
6.	Мост Ломоносова	0,54	0,62
7.	Каменный мост	0,36	0,43
8.	Красный мост	0,58	0,65
9.	Зелёный мост	0,35	0,48
10.	Дворцовая площадь	0,22	0,25
11.	Атаманский мост	0,33	0,35

Продолжение таблицы 4.1

№	Наименование станции наблюдения	Среднее, мкЗв/час	Максимальное, мкЗв/час
12.	Каретный мост	0,42	0,45
13.	Лябязья канавка	0,45	0,51
14.	Троицкий мост	0,45	0,56
15.	Дворцовая 24	0,44	0,47
16.	Банковский мост	0,49	0,56
17.	Певческий мост	0,60	0,64
18.	Большой Конюшенный мост	0,38	0,46
19.	Тройной мост	0,50	0,61
20.	Марсово поле	0,58	0,63

Таблица 4.2 – Средние и максимальные значения измерений на высоте 1,5 метра

№	Наименование станции наблюдения	Среднее, мкЗв/час	Максимальное, мкЗв/час
1.	Мост Александра невского	0,29	0,32
2.	Аничков мост	0,50	0,58
3.	Пантелеймоновский мост	0,28	0,30
4.	Мост Белинского	0,29	0,32
5.	Семёновский мост	0,32	0,37
6.	Мост Ломоносова	0,45	0,49

Продолжение таблицы 4.2

№	Наименование станции наблюдения	Среднее, мкЗв/час	Максимальное, мкЗв/час
7.	Каменный мост	0,28	0,33
8.	Красный мост	0,44	0,46
9.	Зелёный мост	0,26	0,40
10.	Дворцовая площадь	0,26	0,30
11.	Атаманский мост	0,30	0,36
12.	Каретный мост	0,40	0,43
13.	Лябязья канавка	0,35	0,37
14.	Троицкий мост	0,39	0,41
15.	Дворцовая 24	0,30	0,38
16.	Банковский мост	0,38	0,41
17.	Певческий мост	0,34	0,38
18.	Большой Конюшенный мост	0,22	0,25
19.	Тройной мост	0,43	0,46
20.	Марсово поле	0,34	0,38

Наибольший интерес для измерения гамма-излучения на селитебных территориях в Центральном районе представляли набережные и мостовые, через которые ежедневно проходит огромное количество людей.

Уровни гамма-излучения на станциях наблюдения оценены в соответствии с СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).

В ходе анализа результатов были выявлены превышения гамма-излучения в Центральном районе.

На территории Центрального района было произведено 400 измерений в 20 станциях у земли и на высоте 1,5 м. Анализ показал превышение в точках измерения у земли:

№ 2 Аничков мост (0,63 мкЗв/ч), №3 Пантелеймоновский мост (0,42 мкЗв/ч), № 4 Мост Белинского (0,42 мкЗв/ч), №6 Мост Ломоносова (0,54 мкЗв/ч), № 8 Красный мост (0,58 мкЗв/ч), № 12 Каретный мост (0,42 мкЗв/ч), №13 Лябяжья канавка (0,45 мкЗв/ч), № 14 Троицкий мост (0,45 мкЗв/ч), №15 Дворцовая 24 (0,44 мкЗв/ч), №16 Банковский мост (0,49 мкЗв/ч), №17 Певческий мост (0,60 мкЗв/ч), №19 Тройной мост (0,50 мкЗв/ч), № 20 Марсово поле (0,58 мкЗв/ч).

На высоте 1,5 м превышения были выявлены в следующих точках:

№2 Аничков мост (0,50 мкЗв/ч), №6 Мост Ломоносова (0,45 мкЗв/ч), №8 Красный мост (0,44 мкЗв/ч), №12 Каретный мост (0,40 мкЗв/ч), №19 Тройной мост (0,43 мкЗв/ч).

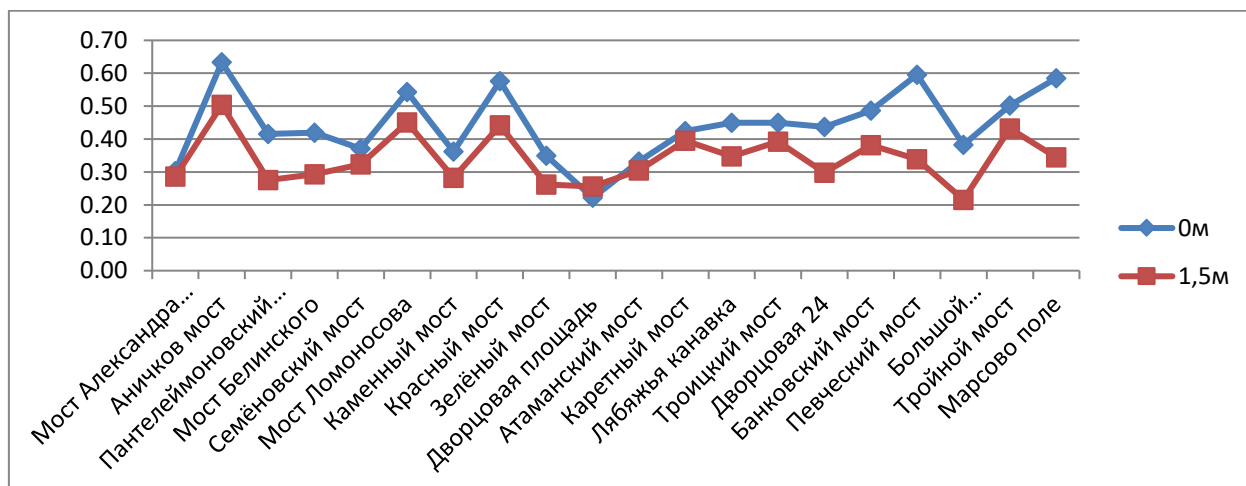


Рисунок 4.1 – График, построенный по полученным средним значениям радиационного фона

Из таблицы видно, что абсолютное максимальное значения радиационного фона наблюдалось на Аничковом мосту на уровне 0 м – 0,69 мкЗв/час.

Абсолютное максимальное значения радиационного фона на уровне 1,5 м наблюдалось также на Аничковом мосту – 0,58 мкЗв/час.

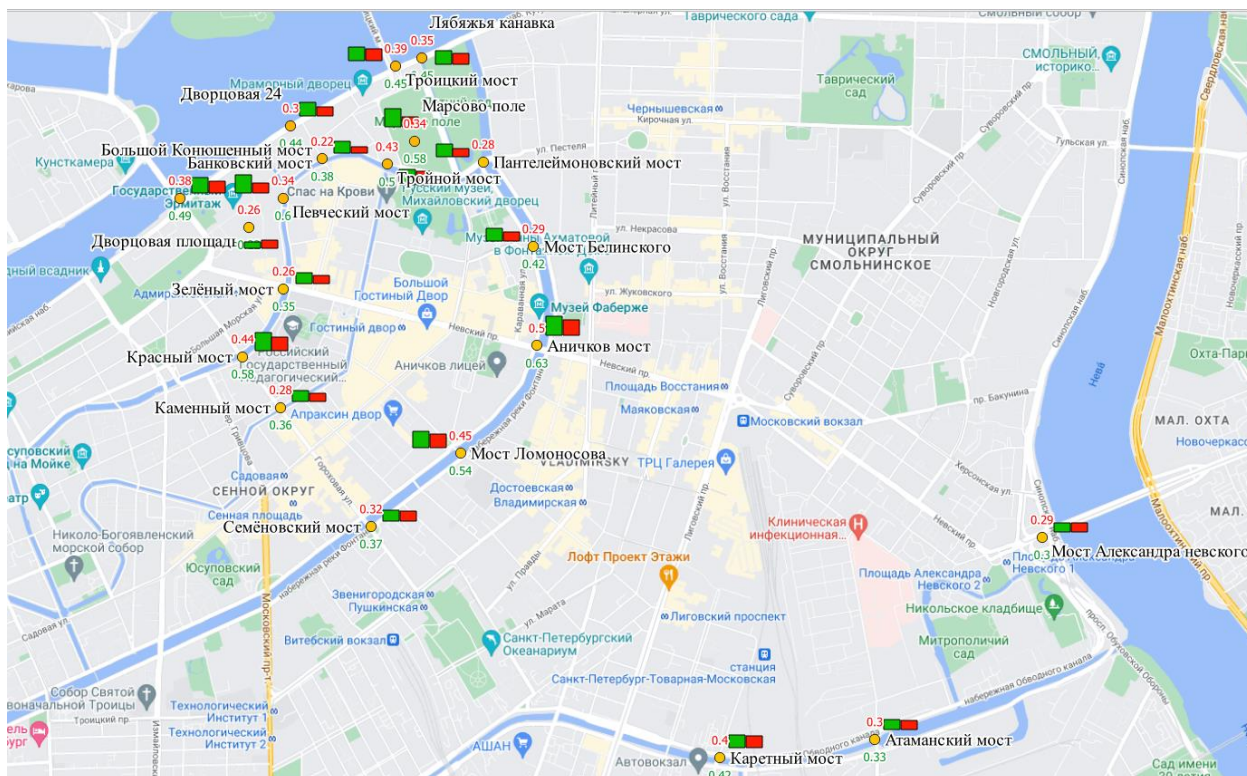


Рисунок 4.2 – Пункты измерений

На карте отмечены точки, где проводились натурные измерения. Зеленым цветом показаны средние значения ионизирующего излучения у земли, а красным цветом на высоте 1,5 метра. Для наглядности рядом приведены диаграммы. Данная карта была выполнена в программе QGIS.

В таблицах 4.3 – 4.6 представлены результаты натурных измерений.

Таблица 4.3 – Результаты натуральных измерений у земли на станциях

№ 1 – № 10

Номер станции									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Уровень гамма-излучения мкЗв/ч									
0,29	0,56	0,52	0,43	0,40	0,57	0,43	0,51	0,48	0,20
0,28	0,58	0,50	0,39	0,33	0,56	0,41	0,51	0,42	0,18
0,33	0,57	0,47	0,42	0,33	0,62	0,42	0,57	0,39	0,20
0,29	0,61	0,48	0,43	0,31	0,58	0,41	0,60	0,39	0,20
0,29	0,64	0,43	0,45	0,29	0,54	0,38	0,62	0,38	0,19
0,30	0,66	0,43	0,46	0,31	0,54	0,37	0,65	0,36	0,22
0,31	0,66	0,41	0,44	0,24	0,55	0,37	0,63	0,34	0,24
0,30	0,69	0,42	0,43	0,36	0,55	0,36	0,62	0,32	0,24
0,32	0,64	0,41	0,41	0,39	0,53	0,36	0,59	0,30	0,23
0,31	0,64	0,40	0,41	0,39	0,52	0,35	0,58	0,32	0,22
0,30	0,62	0,40	0,40	0,39	0,55	0,35	0,57	0,33	0,23
0,30	0,62	0,39	0,40	0,38	0,54	0,35	0,57	0,34	0,23
0,31	0,64	0,38	0,41	0,38	0,53	0,34	0,55	0,34	0,23
0,30	0,64	0,38	0,44	0,40	0,53	0,35	0,57	0,32	0,23
0,30	0,65	0,38	0,43	0,41	0,51	0,33	0,57	0,32	0,24
0,29	0,68	0,37	0,42	0,41	0,52	0,32	0,55	0,31	0,25
0,30	0,66	0,39	0,41	0,44	0,53	0,32	0,56	0,33	0,24
0,32	0,65	0,39	0,40	0,43	0,53	0,34	0,58	0,34	0,22
0,32	0,63	0,39	0,40	0,41	0,54	0,35	0,57	0,32	0,23
0,30	0,63	0,38	0,41	0,42	0,52	0,34	0,56	0,34	0,21

Таблица 4.4 – Результаты натуральных измерений у земли на станциях

№ 11 – № 20

Номер станции									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Уровень гамма-излучения мкЗв/ч									
0,35	0,40	0,48	0,41	0,46	0,43	0,64	0,43	0,61	0,48
0,33	0,42	0,47	0,37	0,45	0,51	0,64	0,46	0,61	0,54
0,34	0,42	0,49	0,43	0,47	0,56	0,57	0,43	0,54	0,62
0,35	0,40	0,48	0,46	0,46	0,54	0,61	0,43	0,49	0,63
0,35	0,41	0,51	0,44	0,46	0,5	0,64	0,39	0,53	0,61
0,32	0,42	0,45	0,41	0,45	0,49	0,60	0,38	0,50	0,6
0,31	0,43	0,45	0,56	0,44	0,52	0,58	0,36	0,51	0,61
0,31	0,41	0,46	0,51	0,42	0,49	0,59	0,37	0,48	0,6
0,31	0,42	0,44	0,5	0,44	0,48	0,58	0,38	0,46	0,59
0,31	0,43	0,44	0,43	0,43	0,48	0,58	0,38	0,47	0,59
0,33	0,43	0,43	0,46	0,43	0,47	0,58	0,38	0,49	0,6
0,34	0,42	0,44	0,36	0,42	0,48	0,58	0,37	0,49	0,58
0,33	0,44	0,43	0,4	0,42	0,49	0,59	0,36	0,47	0,59
0,34	0,43	0,42	0,45	0,42	0,48	0,57	0,35	0,48	0,58
0,34	0,43	0,45	0,46	0,43	0,46	0,57	0,37	0,50	0,56
0,32	0,45	0,42	0,45	0,42	0,46	0,60	0,36	0,48	0,58
0,34	0,44	0,44	0,47	0,44	0,47	0,59	0,37	0,48	0,59
0,35	0,43	0,42	0,47	0,42	0,47	0,60	0,35	0,47	0,59
0,33	0,42	0,43	0,48	0,43	0,48	0,61	0,37	0,49	0,58
0,33	0,43	0,44	0,48	0,42	0,48	0,60	0,36	0,49	0,57

Таблица 4.5 – Результаты натурных измерений на высоте 1,5 м. на станциях

№1 – №10

Номер станции									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Уровень гамма-излучения мкЗв/ч									
0,29	0,57	0,26	0,26	0,34	0,48	0,30	0,43	0,37	0,16
0,28	0,58	0,28	0,31	0,37	0,48	0,28	0,43	0,40	0,18
0,32	0,54	0,27	0,32	0,37	0,49	0,33	0,39	0,28	0,20
0,32	0,50	0,27	0,28	0,34	0,43	0,30	0,41	0,25	0,16
0,29	0,50	0,25	0,25	0,36	0,41	0,31	0,42	0,26	0,23
0,30	0,51	0,25	0,27	0,34	0,41	0,28	0,43	0,25	0,30
0,31	0,52	0,27	0,28	0,34	0,43	0,28	0,46	0,26	0,26
0,30	0,52	0,28	0,28	0,32	0,41	0,28	0,45	0,27	0,26
0,30	0,50	0,30	0,29	0,30	0,44	0,29	0,46	0,26	0,29
0,29	0,51	0,29	0,28	0,31	0,44	0,28	0,45	0,26	0,26
0,29	0,52	0,29	0,28	0,30	0,45	0,27	0,46	0,25	0,25
0,29	0,49	0,28	0,28	0,31	0,45	0,27	0,46	0,25	0,28
0,28	0,47	0,29	0,30	0,33	0,46	0,27	0,45	0,24	0,27
0,28	0,47	0,29	0,31	0,31	0,47	0,28	0,46	0,22	0,28
0,27	0,48	0,28	0,30	0,29	0,45	0,27	0,44	0,23	0,27
0,26	0,46	0,27	0,31	0,30	0,47	0,27	0,45	0,23	0,29
0,27	0,47	0,27	0,32	0,31	0,48	0,26	0,43	0,24	0,3
0,27	0,5	0,29	0,32	0,31	0,46	0,27	0,46	0,23	0,29
0,26	0,49	0,27	0,31	0,30	0,45	0,27	0,46	0,25	0,3
0,26	0,48	0,26	0,3	0,32	0,45	0,28	0,44	0,23	0,29

Таблица 4.6 – Результаты натуральных измерений на высоте 1,5 м. на станциях

№ 11 – № 20

Номер станции									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Уровень гамма-излучения мкЗв/ч									
0,36	0,33	0,31	0,41	0,38	0,36	0,35	0,16	0,38	0,38
0,33	0,32	0,30	0,40	0,36	0,32	0,35	0,16	0,37	0,32
0,36	0,36	0,30	0,40	0,34	0,39	0,35	0,18	0,42	0,35
0,32	0,35	0,34	0,39	0,31	0,41	0,34	0,16	0,43	0,34
0,32	0,38	0,37	0,37	0,31	0,4	0,38	0,19	0,42	0,33
0,29	0,40	0,36	0,36	0,32	0,39	0,34	0,20	0,42	0,35
0,30	0,40	0,35	0,4	0,29	0,4	0,34	0,21	0,42	0,33
0,30	0,42	0,36	0,38	0,3	0,39	0,33	0,21	0,45	0,35
0,30	0,43	0,36	0,36	0,3	0,39	0,33	0,22	0,45	0,34
0,29	0,43	0,35	0,38	0,29	0,39	0,33	0,22	0,43	0,35
0,29	0,41	0,35	0,4	0,28	0,37	0,33	0,23	0,43	0,34
0,30	0,41	0,36	0,4	0,29	0,38	0,32	0,22	0,44	0,33
0,28	0,41	0,36	0,4	0,25	0,38	0,34	0,24	0,45	0,34
0,30	0,41	0,35	0,39	0,26	0,39	0,33	0,24	0,45	0,34
0,29	0,41	0,36	0,41	0,28	0,36	0,34	0,25	0,44	0,35
0,3	0,39	0,35	0,39	0,27	0,37	0,33	0,25	0,44	0,36
0,29	0,4	0,35	0,4	0,29	0,38	0,35	0,24	0,45	0,36
0,28	0,42	0,36	0,4	0,28	0,38	0,33	0,25	0,45	0,35
0,3	0,41	0,34	0,4	0,27	0,39	0,33	0,24	0,46	0,34
0,29	0,41	0,36	0,4	0,28	0,38	0,34	0,24	0,45	0,34

5. Практические рекомендации

На протяжении достаточно долгого периода, с 1930-х и до конца 1970-х годов, проблема радиационной безопасности населения связывалась, главным образом, с воздействием техногенных источников ионизирующих излучений, которые обусловлены деятельностью человека и созданных им препаратов и изделий:

- продуктов ядерных испытаний, на земле, под водой и в атмосфере, вплоть до их запрещения Международным договором 1963 г.;

- радиоактивных выбросов от радиохимических предприятий и атомных электростанций (АЭС), поступающих в окружающую среду при их штатной работе и в случае возникновения аварийных ситуаций.

- ионизирующего излучения от специализированных источников, используемых в медицине (для диагностики и лечения заболеваний) и в промышленности (например, в дефектоскопии различных изделий).

Позднее произошел переход к пониманию проблемы радиационной безопасности населения как необходимости ограничения и снижения его облучения от различных источников ионизирующих излучений – природных, медицинских и техногенных. Это нашло отражение в ФЗ «О радиационной безопасности населения».

Следует отметить, что современная практика регулирования защиты населения от источников ионизирующего излучения ориентирована на раздельное регулирование источников облучения, воздействующих на человека. То есть нормативно-правовая база регулирования радиационной безопасности привязана к конкретному источнику облучения человека[2, 25]

Учет облучения от всех источников природного и техногенного облучения – это исключительно научная задача, решение которой направлено на изучение динамики интенсификации влияния ионизирующего облучения на человека в современном мире.

В большинстве случаев облучение радоном относится к ситуации существующего облучения, поскольку источником являются, как правило, неизменные концентрации естественных радионуклидов в земной коре. Контролируемость облучения радоном лежит в основе регулирования данной ситуации облучения, разработка стратегии и тактики которого является предметом рекомендаций и требований авторитетных международных организаций по радиационной безопасности.

В 1993 г. МКРЗ представила рекомендации по ограничению содержания изотопов радона в воздухе жилых домов и производственных зданий, руководствуясь результатами эпидемиологических исследований, основанных на изучении когорт шахтеров урановых рудников [26]. Выход Публикации 65 МКРЗ, целиком посвященной проблемам регулирования ограничения облучения населения за счет радона в воздухе помещений зданий, по-видимому, следует считать официальным признанием ведущей роли ПИИИ в облучении населения. Важность «радоновой проблемы» была широко воспринята в различных странах мира, что, в свою очередь, инициировало в конце прошлого столетия проведение широкомасштабных национальных радоновых обследований.

В соответствии с рекомендациями МКРЗ и стандартами безопасности МАГАТЭ [27] в различных странах были введены нормативы (уровни действия) на содержание радона в жилых помещениях в терминах среднегодовых значений ОА, представлены ниже в таблице 5.1.

Анализ результатов современных эпидемиологических исследований по облучению населения радоном в жилищах послужил основой для пересмотра нормирования радиоактивного газа в воздухе жилых помещений. В 2009 г. НКДАР ООН сделал заявление на сессии Генеральной Ассамблеи ООН о том, что есть прямое доказательство, подтверждающее риск рака лёгкого для населения от радона в жилищах [29]. ВОЗ в рамках Международного радонового проекта провела объединенный анализ эпидемиологических данных, основным итог которого

продемонстрировал наличие канцерогенного эффекта воздействия радона при уровнях его ОА в жилищах, не превышающих 50–100 Бк/м³.

Таблица 5.1 – Нормативы содержания радона в воздухе жилых помещений в разных странах после выхода публикации 65 МКРЗ [28]

Страна	Уровень объёмной активности, Бк/м ³		
	Существующие здания	Строящиеся здания	Новые здания
Россия	400	200	-
Швеция	200	200	-
Финляндия	400	200	-
Швейцария	1000	400	100
США	148	148	-
Канада	200	200	Принцип ALARA
Англия	200	200	Принцип ALARA
Германия	100	100	< 100

В 2010 г. МКРЗ выпустила Публикацию 115 [30], в которой значение номинального риска возникновения лёгочной онкопатологии при облучении радоном в жилищах увеличено в 2 раза по сравнению с аналогичным показателем, представленным ранее в Публикации 65 МКРЗ [26]. Эти новые данные кардинально изменили существовавшие представления об уровне радоновой опасности.

Основная идея современной стратегии регулирования радоновой проблемы заключается не только в снижении допускаемых индивидуальных

рисков от радона для наиболее облучаемых лиц, но и в направленности на последовательное снижение общего коллективного риска для всего населения.

В настоящее время международные организации сходятся во мнении, что для контроля облучения населения целесообразно применять универсальный подход, независимый от предназначения здания и типа его обитателей. Для жилых, общественных помещений и классических рабочих мест рекомендуется установить единый референтный уровень в единицах объемной активности радона не более 300 Бк/м³. В таблице 5.2 приведены сведения об изменениях в нормировании радона в отечественной и международной практике регулирования.

Таблица 5.2 – Эволюция нормирования радона в отечественной и международной практике регулирования [31]

Международная организация	для жилых помещений	РФ	для жилых помещений	
			Проектируемых жилых и общественных	эксплуатируемых
МКРЗ 65 (1993)	600	КПР (1991)	200	400
ВОЗ (2009)	100	НРБ-96 (1996)	200	400
МКРЗ 126 (2014)	300	НРБ-99 (1999)	200	400
МАГАТЭ (2014)	300	НРБ-99/2009 (2009)	200	400
ЕВРОАТОМ (2014)	300	ОСПОРБ-99/2010	200	400

Начиная с 1990-х годов в Российской Федерации формировалась нормативно-правовая база по ограничению облучения населения

природными источниками ионизирующего излучения, включая радон и дочерние продукты его распада.

Принятый в 1991 г. в России первый нормативный документ «Временные критерии ...» [32], был направлен на ограничение облучения населения основными природными источниками излучения – внешним гамма-излучением природных радионуклидов в среде обитания, природными радионуклидами, содержащимися в строительном сырье и материалах, а также изотопами радона в воздухе помещений. В этом документе, в отличие от многих стран, нормируемый параметр облучения населения радоном – величина эквивалентной равновесной активности изотопов радона (ЭРОА). Нормируемый параметр является составным, включающим в себя вклад от радона и торона.

В настоящее время основные законодательные положения регулирования защиты населения от радона содержатся в краткой форме в законе о радиационной безопасности населения и законе о санитарно-эпидемиологическом благополучии. Основные требования и нормативы – в нормах радиационной безопасности. Основные правила выполнения требований и нормативов – в санитарных правилах обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010 и гигиенических требованиях по ограничению облучения населения от природных источников облучения [33].

Нормативы по ЭРОА изотопов радона в воздухе жилых и общественных зданий, принятые в [34], в последующем вошли в современные отечественные нормативные документы практически без изменений.

Так в соответствии с НРБ-99/2009 в помещениях эксплуатируемых и принимаемых в эксплуатацию производственных, жилых и общественных зданий регламентируется среднегодовая ЭРОА радона. Помещение признается соответствующим нормативным требованиям, если

$$\text{ЭРОА} + \Delta < \text{ЭРОА Н},$$

(5.1)

где ЭРОА – значение среднегодовой ЭРОА изотопов радона в помещении, Бк/м³; Δ – значение неопределенности оценки, Бк/м³; ЭРОА Н – значение норматива, согласно действующим нормативным документам, Бк/м³.

В существующих жилых и общественных зданиях содержание радона нормируется величиной среднегодовой ЭРОА – 200 Бк/м³. При превышении данного показателя необходимо проведение корректирующих радонозащитных мероприятий. Если в результате их реализации не удастся снизить содержание радона ниже нормативного значения, то должен ставиться вопрос о переселении его обитателей и перепрофилировании здания. Для строящихся зданий действует норматив на среднегодовую ЭРОА радона в помещении – 100 Бк/м³.

Для предотвращения облучения радоном населения в новых домах разработана и применяется комплексная система регулирования радонобезопасности – на этапах проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию новых зданий и сооружений. Система включает в себя установление количественных гигиенических критериев по плотности потока радона из грунта на площадке, выбираемой под застройку, и нормирование содержания природных радионуклидов в строительных материалах, используемых в строительстве.

В таблице 5.3 приведены гигиенические критерии радоноопасности территорий застройки.

Таблица 5.3 – Гигиенические критерии радоноопасности территорий застройки [2, 25]

Гигиенический критерий	Жилые здания	Производственные здания
Плотность потока радона на территории застройки, мБк/м ³ · с	80	250
Содержание природных радионуклидов (226 Ra, 232 Th, 40 K) в строительных материалах, Бк/кг	340	740

ДОПОЛНИТЬ МАТЕРИАЛ – КОНКРЕТНО ПО СТАНЦИЯХ, РАЙОНАМ ИЗМЕРЕНИЙ – В НАИБОЛЕЕ ПРОБЛЕМНЫХ МЕСТАХ – ЧТО МОЖНО ИЗМЕНИТЬ.

ПОКА ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ – ВЫГЛЯДЯТ ТАК, ЧТО И ИЗМЕРЕНИЙ В СПБ НЕ ПРОВОДИЛОСЬ. НУЖНА КОНКРЕТИКА ИМЕННО ДЛЯ РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В СПБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы была оценка величин гамма – излучения от природных источников в Центральном районе г. Санкт-Петербург.

Анализ был проведен с учётом нормативных данных СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).

Превышений по нормативам были выявлены в 13 из 20 пунктах на уровне земли (№2 Аничков мост (0,63 мкЗв/ч), №3 Пантелеймоновский мост (0,42 мкЗв/ч), №4 Мост Белинского (0,42 мкЗв/ч), №6 Мост Ломоносова (0,54 мкЗв/ч), №8 Красный мост (0,58 мкЗв/ч), №12 Каретный мост (0,42 мкЗв/ч), №13 Лябяжья канавка (0,45 мкЗв/ч), №14 Троицкий мост (0,45 мкЗв/ч), №15 Дворцовая 24 (0,44 мкЗв/ч), №16 Банковский мост (0,49 мкЗв/ч), №17 Певческий мост (0,60 мкЗв/ч), №19 Тройной мост (0,50 мкЗв/ч), №20 Марсово поле (0,58 мкЗв/ч)).

На высоте 1,5 м. в 5 из 20 пунктов было выявлено превышение нормативных значений (№2 Аничков мост (0,50 мкЗв/ч), №6 Мост Ломоносова (0,45 мкЗв/ч), №8 Красный мост (0,44 мкЗв/ч), №12 Каретный мост (0,40 мкЗв/ч), №19 Тройной мост (0,43 мкЗв/ч)).

Превышения на уровне земли составили 65% от общего количества пунктов, на высоте 1,5 метра – 25%. Это наглядно показывает актуальность выбранной проблемы.

Основным источником ионизирующего излучения в Центральном районе является газ радона, содержащийся в материалах из которых сооружены набережные и мосты.

На сегодняшний день проблема природного ионизирующего излучения стоит очень остро. Постоянное превышение допустимой дозы облучения может приводить к серьезным проблемам со здоровьем у населения.

Решить данную проблему можно только комплексными мероприятиями на федеральном и региональном уровнях:

- нужно вести активный мониторинг за ПИИИ;
- вести наблюдения за состоянием здоровья населения;
- контролировать уровень излучения в стройматериалах.

Данные мероприятия позволят существенно улучшить качество жизни граждан в Санкт-Петербурге, особенно в проблемных районах, которым являются Центральный.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рекомендации по межгосударственной стандартизации Ионизирующие излучения и их измерения. Термины и понятия. М.: Стандартиформ, 2006.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) Минздрав России, 2009
3. Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries, Safety Report Series, No. 2., IAEA, 1988.
4. The Radiological Accident in Istanbul, IAEA, 2000
5. Radiation, BEIR V, National Academy Press, Washington, 1990
6. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: 1980, National Academy Press, Washington, 1989
7. Appleby A., Costello M., Rose S. Sources of Ionizing Radiation // Rutgers University, Department of Environmental Sciences. - 1996. - №1
8. Андросова Н.К. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ // Norwegian Journal of development of the International Science. - 2019. - №30
9. Балахонова, А.С. Рениевое оруденение в диктионемовых сланцах Прибалтийского бассейна (Ленинградская область) : дис. ... канд. геол.-мин. наук / СПб., 2014. – 125 с.
10. Романович, И.К. Результаты выборочного обследования содержания радона в помещениях детских дошкольных и школьных учреждений Ленинградской области / И.К. Романович, И.П. Стамат, Т.А. Кормановская, Т.А. Балабина, Н.А. Королева, О.А. Историк, Л.А. Еремина // Здоровье населения и среда обитания. – 2017. – № 10 (295). – С. 46–49.

11. Петрова А.М., Яковлев В.В. Анализ радиационной обстановки Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Евразийский Союз Ученых. - 2018. - №1-1(46). - С. 28-32.
12. Назиров, Р. А. Естественная радиоактивность строительных материалов / Р. А. Назиров // Известия вузов. Строительство. □ 1998. □ № 11-12. – С. 56-63.
13. Гулимова Е.В., Младова Т.А., Муллер Н.В. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ . - 2-е, дополненное изд. - Комсомольский-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2014. - 108 с.
14. РосЭнергоАтом. Ленинградская АЭС // URL: <http://lenppp.rosenergoatom.ru/> (дата обращения: 23.05.2022).
15. ФГПУ ЛЕНСПЕЦКОМБИНАТ «РАДОН» // URL: <http://radon-lenspetskombinat-fgpu-spb.rosfirm.ru/> (дата обращения: 23.05.2022).
16. Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" Федеральное государственное бюджетное учреждение Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова // URL: <http://www.pnpi.spb.ru/> (дата обращения: 23.05.2022).
17. Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе // URL: <http://www.ioffe.ru/> (дата обращения: 23.05.2022).
18. Свободная энциклопедия Википедия. ОАО «Радиевый институт имени В. Г. Хлопина» // URL: <https://khlopin.ru/> (дата обращения: 23.05.2022).
19. ФГУП «Крыловский государственный научный центр» // URL: <http://krylov-center.ru/rus/> (дата обращения: 23.05.2022).
20. Балтийский завод // URL: <http://www.bz.ru/ru/about.html> (дата обращения: 23.05.2022).
21. HOW DOSIMETERS WORK // URL: <https://www.dosimetrybadge.com/how-dosimeters-work/> (дата обращения: 26.05.2022).

22. Кузнецов А.А., Кузнецова О.Н., Несмеянов Н.Н. Обзор измерительного оборудования для мониторинга безопасности радиационно опасных объектов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. №9.

23. Инструкция для дозиметра "Quantum" // soeks.ru URL: https://soeks.ru/image/catalog/products/quantum/manual_dozimetr_quantum.pdf (дата обращения: 26.05.2022).

24. Дозы облучения населения субъектов Российской Федерации за счет природных источников ионизирующего излучения в производственных и коммунальных условиях: справочное пособие . В кн.: СПб. НИИ радиац. гигиены им. проф. П.В. Рамзаева; под ред. И.К. Романовича. СПб.: ООО «Типография «Береста»; 2015.

25. СанПиН 2.6.1.2800-10 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет источников ионизирующего излучения: Санитарные правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2011.

26. Protection Against Radon–222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP. 1993; 23(2).

27. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources International Atomic Energy Agency, Vienna, Safety Series no. 115, 1996.

28. Survey on radon guidelines programmes and activities. Final report. International radon project. WHO/HSE/RAD/07.01, Geneva; 2007.

29. Effect of exposure to radon gas // UNSCER briefing note, 21.07. 2009/- New York: United States: 2009.

30. Публикация 115 Международной Комиссии по радиологической защите (МКРЗ) 2010 г. М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России»: 2013.

31. Киселев С.М., Жуковский М.В., Стамат И.П., Ярмошенко И.В. Радон. От фундаментальных исследований к практике регулирования. М.: Издательство ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна; 2016.

32. Ограничение облучения населения от природных источников ионизирующего излучения. Временные критерии для принятия решения и организации контроля № 43–10/796 от 5.12.1990 г. М.: 1990.

33. Маркелов Д.А., Григорьева М.А., Польшова О.Е. и др. Природный радиационный фон. М.: «Папирус ПРО»;2001.

34. Маренный А.М. Методические аспекты измерений средней объемной активности радона в помещениях интегральным трековым методом. АНРИ. 2012; (4):13-9.