



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
на примере Фрунзенского района г. Санкт-Петербург»

Исполнитель


(подпись)

Иванова Александра Геннадьевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель


(подпись)

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

Проздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Проздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

« 14 » 06 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Ионизирующая радиация и её источники	5
1.1 Физиологическое действие ионизирующей радиации на организм человека	5
1.2 Природные и техногенные источники ионизирующей радиации	16
2 Источники ионизирующей радиации на территории Санкт-Петербурга	24
2.1 Геологическое строение и природные источники	24
2.2 Радиоактивные изотопы в строительных материалах.....	27
2.3 Потенциальные техногенные источники ионизирующих излучений	30
3 Способы измерения ионизирующих излучений	33
3.1 Дозиметры, дозиметры-радиометры	33
3.2 Дозиметр СОЭКС «Квантум»	36
4 Натурные измерения гамма-излучения на территории Фрунзенского района и их анализ	40
5 Практические рекомендации	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
Список использованных источников	48
Приложение А	52
Приложение Б	54

ВВЕДЕНИЕ

Важное место в системе экологического благополучия городов занимает радиационная безопасность. В настоящее время влияние радиационного фактора на биосферу признано одним из определяющих и обуславливает необходимость контроля за радиационной безопасностью населения.

Ещё всего несколько десятилетий назад контроль радиационного фактора однозначно предполагал преимущественно контроль техногенных радионуклидов и источников ионизирующего излучения. Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиационной защите предполагается одинаковый подход к нормированию техногенных и природных радионуклидов.

Вопреки распространенному мнению о том, что природные источники ионизирующего излучения являются естественным радиационным фоном, имеющим более или менее постоянное значение на протяжении всей истории, экономическая деятельность человека часто приводит к значительному перераспределению природных радионуклидов в окружающей среде. Особенно это происходит в области добычи полезных ископаемых, нефти и газа, производства строительных материалов. В этих областях перераспределение сопровождается значительной концентрацией местных загрязнителей.

Актуальность работы заключается в том, что в городе Санкт-Петербург множество гранитных сооружений, набережных рек и каналов, памятников и т.д., а как известно гранит содержит природные радионуклиды, поэтому возник интерес провести исследования радиационного фона от естественных источников радиоактивного излучения на примере Фрунзенского района.

Цель работы: произвести исследование радиационного излучения от природных источников во Фрунзенском районе города Санкт-Петербург.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- изучить теоретические материалы о ионизирующей радиации и её источниках;

- изучить теоретические материалы о источниках ионизирующего излучения на территории Санкт-Петербурга;

- изучить способы измерений ионизирующих излучений;

- произвести натурные измерения гамма-излучения на территории Фрунзенского района;

- проанализировать полученные результаты натурных измерений гамма-излучения на территории Фрунзенского района;

- разработать практические рекомендации.

Объект исследования – территория Фрунзенского района города Санкт-Петербург.

Предмет исследования – гамма-излучения от природных источников радиации на территории Фрунзенского района.

В работе были использованы эмпирические методы исследования, главным образом эксперимент, наблюдение, изучение документации и прочих информационных материалов.

1 Ионизирующая радиация и её источники

1.1 Физиологическое действие ионизирующей радиации на организм человека

Учёные всего мира изучают воздействие ионизирующей радиации уже более ста лет, поэтому существует довольно много информации и данных о том, как ионизирующее излучение взаимодействует с живой тканью и как оно влияет на организм.

После открытия рентгеновских лучей в 1895 году немецким физиком Вильгельмом Конрадом Рентгеном и радиоактивности в следующем году французским физиком Анри Беккерелем были разработаны медицинские, промышленные и военные применения радиационных технологий, которые в конечном итоге привели к заметному увеличению влияния ионизирующего излучения на человечество.

Для начала стоит разобраться, что же означает понятие «ионизирующее излучение» и какие виды радиоактивного излучения существуют.

Британская энциклопедия даёт следующее определение ионизирующего излучения. Ионизирующее излучение (ИИ) – поток энергии в форме атомных и субатомных частиц или электромагнитных волн, который способен освобождать электроны от атома, заставляя атом заряжаться (или ионизироваться) [10].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) описывает ионизирующее излучение, как излучение, состоящее из субатомных частиц или электромагнитных волн, которые обладают достаточной энергией для ионизации атомов или молекул путем отделения от них электронов от них [3].

Ионизирующее излучение включает в себя более энергичный конец электромагнитного спектра (рентгеновские и гамма-лучи) и субатомные частицы, такие как электроны, нейтроны и альфа-частицы. Понятие ИИ не включает в себя видимый свет и УФ-излучение [10].

Радиоактивность – это часть нашей земли, она существовала со времён зарождения планеты. Природные радиоактивные материалы присутствуют в земной коре, полах и стенах домов, школ или офисов, а также в пище, которую человек ест и пьёт. В воздухе, которым дышат, содержатся радиоактивные газы. Тела живых организмов – мышцы, кости и ткани, – содержат природные радиоактивные элементы [11].

Человек всегда подвергался воздействию естественного радиоактивного излучения, исходящего как с земли, так и извне. Излучение, которое поступает из космоса, называется космическим излучением или космическими лучами.

Живые организмы также подвергаются воздействию ионизирующего излучения антропогенного происхождения, например, рентгеновские лучи, излучение, используемое для диагностики заболеваний и для терапии раковых опухолей. Радиоактивные осадки в результате испытаний ядерных взрывчатых веществ и небольшие количества радиоактивных материалов, выбрасываемых в окружающую среду углём и атомными электростанциями, также являются источниками радиационного облучения человека и всех живых организмов.

Ионизирующее излучение проходит через материю и приводит к тому, что материя станет электрически заряженной или ионизированной. В тканях организма заряженные ионы, образующиеся в процессе облучения, могут влиять на нормальные биологические и физиологические процессы организма.

Существуют различные виды радиоактивного излучения, каждый из которых имеет различные характеристики. Распространёнными ионизирующими излучениями, о которых обычно говорят, являются:

1 Альфа-излучение (α -излучение). α -частицы имеют положительный заряд и идентичны ядрам гелия, и состоят из двух протонов и двух нейтронов. Они являются результатом радиоактивного распада тяжелых элементов, таких как радий, торий, уран и плутоний. Из-за их двойного положительного заряда α -частицы обладают большой ионизирующей силой, но их большая масса приводит к очень небольшому проникновению [21]. Альфа-излучение может быть полностью остановлено листом бумаги или тонким поверхностным слоем

кожи (эпидермиса). Однако если альфа-излучающие материалы попадают в организм при процессе дыхания или с пищей, они могут непосредственно облучать внутренние ткани и, следовательно, вызывать биологические повреждения [11];

2 Бета-излучение (β -излучение) возникает, когда один элемент превращается в другой, и в ядре атома вещества происходит процесс, который изменяет свойства протонов и нейтронов. Бета-излучение представляет собой процесс, при котором нейтроны превращаются в протоны или возможен противоположный случай – протоны превращаются в нейтроны. Во время этого преобразования испускаются электроны или позитроны. Скорость испускаемого элемента близка к скорости света, то есть составляет $3 \cdot 10^8$ м/с. Бета-излучение обладает более высокой проникающей способностью, чем альфа-излучение, потому что сначала оно обладает более высокой излучательной способностью, а размер излучаемого элемента невелик, но оно обладает более высокой проникающей способностью, чем альфа-излучение.

Одежда не является препятствием для β -радиация, так как данное излучение легко проникает сквозь одежду и частично сквозь живые ткани. Но при прохождении через более плотные структуры вещества, например, через металл, β -излучение начинает с ним более интенсивно взаимодействовать и теряет большую часть своей энергии передавая её элементам вещества. Таким образом, металлический пласт толщиной в несколько миллиметров способен полностью остановить бета-излучение.

Опасность β -излучение заключается в том, что уже на расстоянии нескольких десятков метров от источника излучения оно способно нанести существенный вред живым организмам. Вспомним, что α -радиация является опасной лишь при непосредственном контакте с радиоактивным изотопом. Также стоит упомянуть о вреде накопительного эффекта радиоактивных изотопов бета-излучения. Если радиоактивный изотоп, излучающий бета-радиацию, попадает внутрь организма живого существа, он накапливается в тканях и

органах, оказывая на них энергетическое воздействие, приводя к изменениям в структуре тканей и со временем вызывая серьёзные повреждения [17].

Когда жёсткое бета-излучение попадает в вещество с высоким атомным номером, возникает гамма-излучение, называемое тормозным излучением.

3 Гамма-лучи (γ -лучи) имеют наименьшие длины волн и наибольшую энергию любой волны в электромагнитном спектре. Их источниками в космосе являются самые горячие и энергичные космические объекты, например, нейтронные звёзды, области вокруг чёрных дыр и вспышки сверхновых звёзд. На нашей планете Земля гамма-излучение поступает от ядерных взрывов, молний и активностью радиоактивного распада радионуклидов, содержащихся в литосфере Земли [28].

Гамма-излучение (γ -излучение) – это поток фотонов энергетического электромагнитного излучения.

Процесс распада атомов вещества сопровождается γ -излучением и проявляется излучаемой электромагнитной энергией в виде фотонов, высвобождающихся при изменении энергетического состояния ядра атома. Скорость излучения гамма-лучей ядром атома вещества равняется скорости света.

При радиоактивном распаде атома происходит процесс, при котором из одних веществ появляются другие. Такие атомы образованных веществ находятся в энергетически нестабильном состоянии. Лишняя энергия излучается атомом в виде гамма-лучей, когда воздействуя друг на друга, нейтроны и протоны в ядре атома достигают состояния, когда силы взаимодействия становятся равными [11].

Гамма-излучение отличается высокой проникающей способностью и легко проходит сквозь одежду, ткани живых организмов, значительно сложнее через плотные структуры вещества, например, металлические материалы. Противостоять гамма-излучению может лист стали или бетона значительной толщины.

Гамма-лучи оказывают воздействие на живые организмы на расстоянии сотен метров от своего источника, поэтому основная опасность γ -излучения заключается в способности преодолевать значительные расстояния [11].

У всех трёх видов излучения есть одна общая черта: они не чувствуются и невидимы. Но когда излучение попадает в биологические клетки, оно выделяет часть своей энергии. Именно эта энергия атакует клетки. Лучи могут напрямую изменять определенные клеточные компоненты или косвенно ионизировать воду в клетке – при этом образуются свободные радикалы, которые затем повреждают ткани. Наиболее чувствительным является наследственный материал, присутствующий в каждой клетке организма в виде двойной нити дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Излучение может разорвать цепи ДНК и изменить наследственный код.

Воздействие на оживлённую природу, строительные материалы, воздух, воду, землю относится к земной радиации. Начиная с поверхности Земли, альфа-излучение имеет диапазон 8,5 см. Интенсивность бета-излучения также быстро уменьшается из-за поглощения. Также поглощение одеждой и нечувствительность верхних слоёв кожи обуславливают то, что для биологической эффективности, помимо вдыхаемых или проглатываемых радионуклидов, имеет значение только гамма-излучение.

Нейтронное излучение – это техногенное излучение, возникающее в различных ядерных реакторах и при атомных взрывах. Также нейтронная радиация излучается космическими объектами, в которых идут активные термоядерные реакции [16].

Нейтронное излучение обладает высокой проникающей способностью, так как не обладает зарядом и сталкиваясь с веществом, слабо взаимодействует с элементами атомов на их уровне.

Нейтронное излучение при прохождении через биологические ткани, причиняет клеткам серьёзный ущерб, так как обладает значительной массой и более высокой скоростью, чем α -излучение. Взаимодействие нейтронов с атомами вещества может привести к α -, β -, γ - или рентгеновским лучам, которые

затем производят ионизацию. Нейтроны проникают и могут быть остановлены только толстыми массами бетона, воды или парафина [11].

Подводя итоги, можно составить сравнительную таблицу рассмотренных выше видов ионизирующих излучений.

Таблица 1.1 – Сравнительная таблица с характеристиками различных видов радиации

Характеристика	Вид радиоактивного излучения			
	α -излучение	β -излучение	γ -излучение	Нейтронное излучение
Излучаются	2 протона и 2 нейтрона	Электроны или позитроны	Энергия в виде фотонов	Нейтроны
Проникающая способность	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Облучение от источника	До 10 см	До 20 м	Сотни метров	Километры
Скорость излучения	20 000 км/с	300 000 км/с	300 000 км/с	40 000 км/с
Биологическое действие	Высокое	Среднее	Низкое	Высокое

Как видно из таблицы 1.1, в зависимости от вида радиоактивного излучения, излучение при одной и той же интенсивности будет оказывать разное разрушающее действие на клетки живого организма.

Результатом физиологического действия радиационного излучения является нарушение нормальных биологических процессов с последующими функциональными и морфологическими изменениями в клетках и тканях организма.

Радиационные эффекты обычно разделяют на следующие большие категории:

1) Соматические (телесные или физические) – эффекты, проявляющиеся в человеческом организме, который был подвержен влиянию радиационного облучения.

2) Генетические – эффекты, связанные с повреждением генетического аппарата и проявляющиеся в следующем или последующих поколениях: это близкие потомки человека, подвергшегося облучению радиацией [5].

Степень проявления отрицательных биологических эффектов находится в прямой зависимости от дозы, времени, вида облучения и индивидуальной особенности организма.

Таблица 1.2 – Радиационные эффекты облучения человека [5]

Радиационные эффекты облучения человека	
Соматические эффекты	Генетические эффекты
Лучевая болезнь	Генные мутации
Локальные лучевые поражения	Хромосомные aberrации (раздвоение)
Лейкозы	
Злокачественные новообразования разных органов	

Также стоит отметить, что радиационные эффекты подразделяют на пороговые (детерминированные) и стохастические. Пороговые радиационные эффекты возникают, когда число клеток, погибших в результате облучения, потерявших способность деления или нормального функционирования, достигает такого значения, при котором существенно нарушаются функции поражённых органов и тканей организма [5].

Соматические радиационные эффекты проявляются в осложнениях на различных уровнях: субклеточном, клеточном, тканевом, – но данные эффекты не передаются по наследству, то есть радиационное воздействие не затрагивает генетический код и половые хромосомы [5]. Простыми словами – это воздействие, приносящее вред только облучённому живому организму.

Облучение большими дозами ионизирующего излучения приводит к таким соматическим эффектам, как острая и хроническая лучевая болезнь, локальное лучевое повреждение (например, катаракта), поражение кожи, нарушение репродуктивных функций организма и т. д.

Вероятность появления такого эффекта в целом равна нулю при малых дозах, но будет резко возрастать при повышении некоторого уровня доз. Таким образом, тяжесть эффекта определяется дозой. Другая часть соматических эффектов носит стохастический (случайный) характер. Они возникают через длительное время после облучения и проявляются только в будущих поколениях, причем могут возникнуть не у всех облученных, а только у части, но у кого именно – предсказать невозможно. К таким эффектам относятся: понижение сопротивляемости к инфекциям, сокращение продолжительности жизни, возникновение опухолей, лейкозов. Предполагают, что вероятность их проявления и тяжесть не имеют пороговой дозы [5].

Изменение наследственного материала, которое проявляется у будущего поколения облучённого, является продуктом генетического воздействия радиации. Оно выражается на молекулярном и генетическом, или субклеточном, уровнях – при радиационном воздействии на половые и зародышевые клетки. Результатом генетического воздействия являются хромосомные перестройки, а именно нарушения структуры хромосом – повреждения, разрывы, потери участков, генные мутации [5].

В таблице 1.3 представлены большие дозы облучения и возможные радиологические эффекты.

Таблица 1.3 – Влияние ионизирующего излучения на человека [25]

Доза, Rem	Последствия облучения
5-20	Возможные поздние эффекты; возможное хромосомное повреждение
20-100	Временное снижение лейкоцитов
100- 200	Легкая лучевая болезнь в течение нескольких часов: рвота, диарея, усталость; снижение сопротивляемости инфекциям
200- 300	Серьёзные последствия лучевой болезни, такие как при 100-200 Бэр; кровоизлияние; облучение представляет собой смертельный исход для 10-35% облучённых через 30 дней
300- 400	Тяжёлая лучевая болезнь; также разрушение костного мозга и кишечника; смертельный исход 50-70% облучённых в течение 50 дней
400- 1000	Острая лучевая болезнь; ранняя смерть 60-95% поражённых через 30 дней
1000- 5000	Острая лучевая болезнь, ранняя смерть через несколько дней; летальный исход 100% поражённых в течение 10 дней

Поглощённая доза – количество энергии, поглощённой на грамм ткани тела, обычно измеряется в единицах, называемых Радами. Другой единицей излучения является Бэр, или рентгеновский эквивалент у человека. Чтобы преобразовать Рад в Рэм, количество Рад умножается на число, отражающее потенциальный ущерб, причинённый тем или иным типом излучения. Для β -, γ - и рентгеновского излучения это число обычно равно единице. Для некоторых нейтронов, протонов или α -частиц это число равно двадцати [25].

Некоторые части тела особенно подвержены воздействию различных типов источников радиации.

Радионуклиды накапливаются в органах неравномерно. В процессе обмена веществ в организме человека они замещают атомы стабильных элементов в различных клеточных структурах, биологически активных соединений, что приводит к высоким локальным дозам. Последствия этого разрыв химических связей и перегруппировка молекул, которые происходят, когда при распаде радионуклида образуются различные изотопы химических элементов,

принадлежащих к соседним группам периодической системы. Итак, радиационный эффект может проявиться совсем не в том месте, которое находилось под воздействием облучения радиацией. Превышение дозы радиационного облучения негативно воздействует на иммунитет живого организма и делает её уязвимой для различных заболеваний. При облучении также увеличивается вероятность злокачественных новообразований [5].

После вдыхания или проглатывания природных радиоактивных веществ происходит внутреннее радиационное облучение. В отличие от внешнего облучения всего тела, внутреннее радиационное воздействие проявляется только в определенных частях тела. Только К-40 и С-14 распределены в организме настолько одинаково, что можно говорить о облучении всего тела. Значительную долю внутреннего радиационного воздействия легкие получают при вдыхании Rn-222 и Rn-220 с последующими продуктами. Например, в бронхах это значение из-за одного радона превышает общую нагрузку на половые железы в 10 раз.

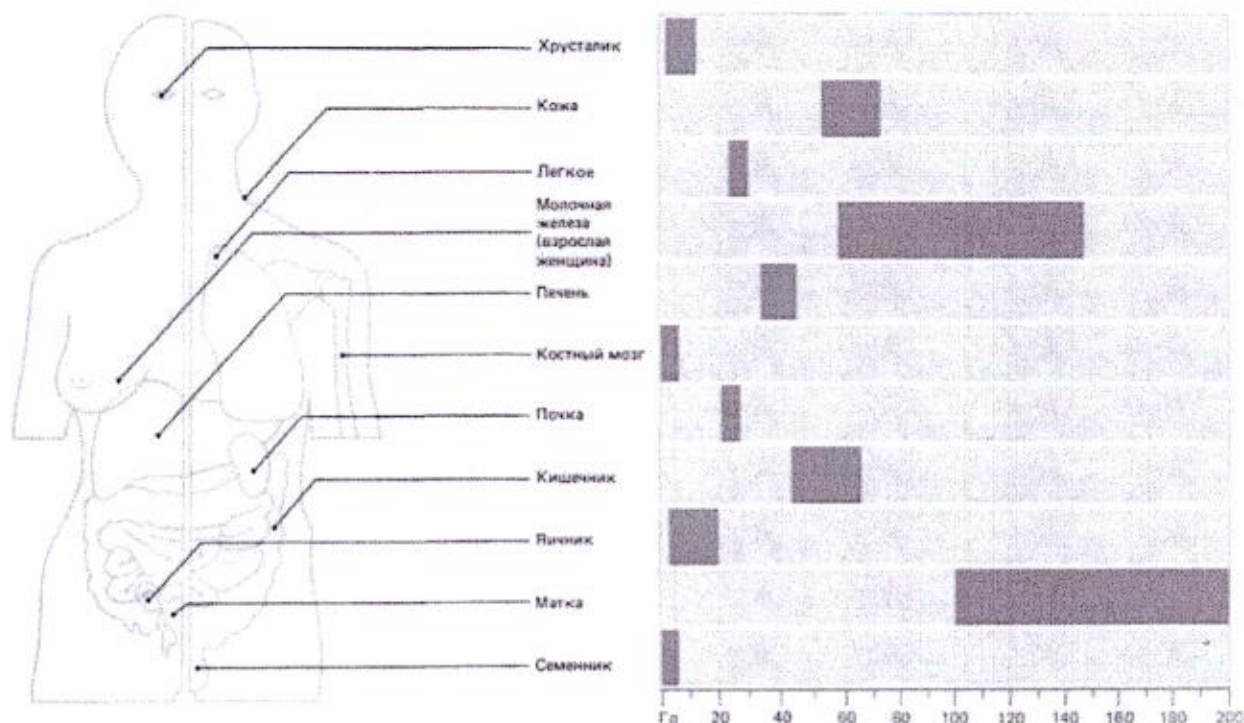


Рисунок 1.1 – Чувствительность к облучению разных органов и тканей организма человека [30]

Для наглядности чувствительности к облучению разных органов и тканей организма человека представлена диаграмма (рисунок 1.1), взятая из работы Рубина Ф. и Касаретт Г. «Клиническая лучевая патология» [30] и предоставленная в данной работе в изменённом формате, указаны «допустимые» дозы облучения при лучевой терапии. Рисунок 1.1 показывает, насколько различается чувствительность к ионизирующему облучению разных органов и тканей организма человека [18].

На рисунке 1 можно увидеть, что красный костный мозг и другие элементы кровеносной системы при воздействии облучения ионизирующим излучением наиболее уязвимы, а при дозах равных 0,5-1 Гр уже теряют способность качественно выполнять свои функции.

Повышенной чувствительностью к облучению также характеризуются глаза и репродуктивные органы человека. Рисунок 1.1 показывает, что однократное облучение семенников при дозе всего лишь в 0,1 Гр приводит к нарушению их функций. Доза 0,1 Гр ведёт за собой временную стерильность мужчин, а дозы свыше двух Гр могут привести к постоянной стерильности. Яичники взрослых женщин гораздо менее чувствительны к воздействию радиоактивного облучения. Но доза больше 3 Гр также приводит к их стерильности [18].

Хрусталик глаза отличается высокой уязвимостью к воздействию радиационного облучения. Здесь радиационный эффект может привести к катаракте или даже полной слепоте за счёт того, что погибшие облучённые клетки становятся мутными и участки помутневших клеток глаза могут расширяться. Такие помутнения глаз могут образоваться при дозах облучения 2 Гр и менее. Например, дозы облучения 5 Гр и выше приводят к поражению глаз более тяжёлой формы, то есть проявляется прогрессирующая катаракта. Доказано, что даже связанное с рядом работ профессиональное облучение вредно для глаз: дозы от 0,5 до 2 Гр, полученные в течение 10-20 лет, приводят к увеличению плотности и помутнению хрусталика [18].

Но всё же большинство тканей человека, достигшего среднего возраста, относительно мало восприимчивы к воздействию ионизирующего облучения. Например, почки способны выдержать без особого для себя вреда суммарную дозу облучения около 23 Гр, полученную в течение пяти недель, печень – по меньшей мере 40 Гр за месяц, мочевой пузырь – по меньшей мере 55 Гр за четыре недели, а зрелая хрящевая ткань – до 70 Гр. Дыхательная система человека, особенно лёгкие, гораздо более уязвимы, а в кровеносной системе незначительные, но, возможно, существенные изменения могут происходить уже при относительно небольших дозах [18].

Обобщая всё выше сказанное, при высоких дозах ионизирующее излучение, или радиация, оказывает негативное воздействие на живые организмы.

При прямом воздействии радиоактивного облучения разрушаются живые клетки, нарушается работа тканей и органов, развиваются лучевые ожоги, острый лучевой синдром. При длительном воздействии повышается риск развития рака.

Поскольку опасными являются не сами источники, вызывающие событие, а особенно источники, вызывающие излучение, необходимо определить тип источников, точно знать их распределение и адсорбцию в окружающей биосфере и их тенденцию к хранению в биологических организмах.

Однако, несмотря на точное знание этих факторов, распределение излучения никогда не может быть точно зафиксировано. Невозможно оценить, когда происходит стохастический ущерб, который уже может быть результатом минимального воздействия.

1.2 Природные и техногенные источники ионизирующей радиации

Уровень радиационного фона Земли складывается из различных источников как земного или космического происхождения, так и из источников,

созданных и преобразованных людьми. При исследовании радиационного фона важно различать природу его излучения, а также степень его влияния.

Радиационный фон Земли формируется из следующих составляющих:

- излучение, поступающее из космоса;
- излучение от содержащихся в земной коре, почве, воздухе, воде естественных радионуклидов, из которых основной вклад в дозу облучения человека вносят ^{40}K , ^{87}Rb и члены радиоактивных семейств ^{238}U , ^{232}Th ;
- излучение от искусственно созданных и техногенных радионуклидов, образовавшихся при испытаниях ядерного оружия, от радиоактивных отходов предприятий атомной промышленности и энергетики, от радиоактивных веществ, используемых в лучевой терапии, науке, технике, сельском хозяйстве и некоторых других [15].

Грубо говоря существуют природные источники ионизирующей радиации и техногенные. Естественные источники существовали всегда, и они никак не зависят от человека, с техногенными и искусственными источниками абсолютно противоположная ситуация – они находятся в зависимости от человеческой деятельности.

Естественный радиационный фон образуют радионуклиды космического происхождения и земного, то есть радионуклиды, возраст которых равен возрасту планеты.

Федеральный закон № 3 «О радиационной безопасности населения» даёт следующее понятие естественного радиационного фона. Естественный радиационный фон – доза излучения, создаваемая космическим излучением и излучением природных радионуклидов, естественно распределённых в земле, воде, воздухе, других элементах биосферы, пищевых продуктах и организме человека [13].

Естественный радиационный фон – радиоактивное излучение, источником которого являются космические лучи и радиоактивные вещества, которые в естественных условиях содержатся в незначительных количествах в атмосфере, а также естественные радионуклиды, содержащиеся в земной коре [24].

Космическое излучение – ионизирующее излучение, которое непрерывно воздействует на поверхность Земли. Существует два вида космического излучения: первичное и вторичное. Первичное излучение приходит непосредственно из космического пространства. Первичное космическое излучение – это протоны высоких энергий (около 90 %) и α -частицы (около 10 %). Когда происходит процесс взаимодействия высокоэнергетических протонов и α -частиц первичного космического излучения с атомами атмосферного воздуха, то в итоге образуется поток вторичного космического излучения, которое содержит практически все известные в настоящее время элементарные частицы. Население нашей планеты в основном подвержено лишь воздействию вторичного излучения космоса.

Конечно, первичный и вторичный компоненты космического излучения очень сильно зависят от высоты местоположения облучённого человека. Для экипажей самолётов дополнительная нагрузка до 0,005 Зв/ч добавляется при 500 часах полёта в год. Это эквивалентно 15-кратному облучению на уровне моря (всего лишь за 500 часов полёта). Таким образом, экипажи самолётов, особенно при полётах на высоте до 20 км, относятся к профессионально облученным людям. Конечно, для космического полета применяются совсем другие значения

Все природные радионуклиды, которые содержатся в атмосфере, можно разделить на следующие условные категории: космогенные радионуклиды, радиоактивные газы, излучающие в атмосферу с поверхности планеты, и радионуклиды, попадающие в атмосферу с поверхности земли вместе с пылью в результате хозяйственной и промышленной деятельности человека.

Среди радиоактивных изотопов радиоактивных элементов, которые содержатся в горных породах, можно выделить такие как калий-40, рубидий-87 и радиоактивные семейства, исходящие от изотопов урана-238, урана-235 и тория-232. Интересный факт, что процент содержания изотопа урана-238 в природном уране составляет почти 99,3 %, а изотоп урана-235 занимает лишь 0,7 % в его содержании [15].

Также большой вклад в естественный радиационный фон Земли вносит продукт радиоактивного распада урана (вспомним, что уран содержится в горных породах и почве) – газ радон.

Относительно недавно учёные выяснили, что наиболее весомым из всех естественных источников радиации является невидимый, не имеющий вкуса и запаха, тяжёлый газ радон. Научный комитет по действию атомной радиации при Организации Объединённых наций провёл оценку, где выяснилось, что радон, включая его дочерние продукты радиоактивного распада, составляет примерно $3/4$ годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от источников радиации земного происхождения, и примерно за половину этой дозы от всех естественных источников радиации [24]. Концентрация радона увеличивается в непроветриваемых помещениях, где отсутствует вентиляция, поэтому основную часть этой дозы человек получает от радионуклидов, попадающих в его организм вместе с вдыхаемым воздухом в таких помещениях.

Радон поступает в воздух помещений сквозь почвы и горные породы, на которых расположены здания и прочие сооружения. Радон, распадаясь на радиоактивные частички, в виде радиоактивной пыли проникает в дыхательную систему человека вместе с вдыхаемым воздухом. Также в состав строительных материалов нередко входят породы и минералы, содержащие продукты радиоактивного распада, они тоже являются источником радиоактивного радона в помещениях. Ещё радон может поступать из подземных вод, с водой из колодцев и скважин.

Среди радиационных эффектов радона можно выделить: снижение иммунитета, развитие лёгочных заболеваний дыхательной системы, также радон является причиной приблизительно 10% смертельных случаев рака лёгких. В 1994 г. постановлением Правительства РФ № 809 от 06.07.94 г. была принята Федеральная целевая программа «Снижение уровня облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников». Целью программы является предотвращение техногенного

загрязнения окружающей среды естественным радионуклидами и минимизация их вредного воздействия на здоровье населения на территории Российской Федерации. Важность проблемы облучения населения природными источниками ионизирующего излучения отражена в «Законе о радиационной безопасности населения», Нормативах радиационной безопасности (НРБ-99) и ряде других нормативных документов [27].

На человеческий организм также влияет внутреннее облучение. Источник внутреннего облучения – радионуклиды в теле человека, которые попали к нему при рождении и продолжают пополняться в течение всей жизни. Только два таких радионуклида вносят значительный вклад во внутреннее облучение человека, это калий-40 и углерод-14. Углерод-14 (^{14}C) вносит больший вклад во внутреннее облучение организма человека и имеет космическое происхождение [24].

Таким образом, источниками естественного радиоактивного излучения являются: космическое излучение; газ радон; естественные радионуклиды, содержащиеся в почве, горных породах, воде и воздухе; внутреннее облучение человека за счёт радионуклидов в его собственном теле.

Нельзя оставлять без внимания радиационный фон, созданный в результате деятельности человека.

Федеральный закон № 3 «О радиационной безопасности населения» описывает техногенный радиационный фон, как естественный радиационный фон, изменённый в результате деятельности человека [13]. То есть под термином техногенный радиационный фон понимается доза облучения, вызванная естественными радионуклидами, содержащимися в строительных материалах, каменном угле, золе, фосфатных рудах и удобрениях, в добываемых нефти и газе. Этот радиационный фон определён промышленной деятельностью человечества.

В результате деятельности человека во внешней среде появляются искусственные радионуклиды и источники излучения. В природную среду стали поступать в больших количествах естественные радионуклиды, извлекаемые из

недр Земли вместе с углем, газом, нефтью, минеральными удобрениями, строительными материалами. Сюда относятся геотермические электростанции, создающие в среднем выброс $4 \cdot 10^{14}$ Бк ^{222}Rn на 1 ГВт вырабатываемой энергии, фосфорные удобрения, содержащие ^{226}Ra , ^{238}U до 70 Бк/кг и 400 Бк/кг в фосфате.

Ежегодное потребление фосфатных удобрений составляет $13 \cdot 10^6$ т. Наибольшую радиационную агрессивность имеют фосфат аммония и фосфоритная мука, активность которых превышает 50 Бк/кг [5].

Уголь, сжигаемый в жилых домах и на теплоэлектростанциях, содержит естественные радионуклиды: ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U . Официально содержание радионуклидов в угле принято равным для ^{40}K – 50 Бк/кг; ^{238}U – 20 Бк/кг; ^{232}Th – 10 Бк/кг. В реальных топливах концентрация излучателей достигает 320–520 Бк/кг (по урану).

В таблице 1.4 представлены среднегодовые дозы, полученные от различных источников излучения.

Таблица 1.4 – Среднегодовые дозы, полученные от различных источников излучения (мБэр/год) [5]

Источник излучения	мБэр/год
Естественный радиационный фон	200
Строительные материалы	140
Атомная энергетика	0,2
Медицинские исследования, лучевая терапия	140
Испытания ядерного оружия	2,5
Авиаперелёты	0,5
Бытовые приборы	4
Телевизоры и ЭВМ/мониторы	0,1

Значительное радиационное воздействие на экосистему оказывают металлургические предприятия. Годовой выброс радиоактивных веществ в воздух гидрометаллургическим заводом можно увидеть в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Годовой выброс радиоактивных веществ в воздух гидрометаллургическим заводом с хвостохранилищем [5]

Нуклид	Выброс радионуклидов, Ки (Бк)	Нуклид	Выброс радионуклидов, Ки (Бк)
U ²³⁸	0,09 (0,3·10 ¹⁰)	Pb ²¹⁰	0,009(0,3·10 ⁹)
U ²³⁴	0,09 (0,3·10 ¹⁰)	Bi ²¹⁰	0,009 (0,3·10 ⁹)
Th ²³⁴	0,01 (0,037·10 ¹⁰)	Po ²¹⁰	0,009 (0,3·10 ⁹)
Th ²³⁰	0,01 (0,037·10 ¹⁰)	Rn ²²²	1400 (5,18·10 ¹³)
Ra ²²⁶	0,009 (0,3·10 ⁹)		

В последние несколько десятилетий человек создал несколько новых радионуклидов и начал использовать их в научных исследованиях, технике, медицинских исследованиях, что естественно увеличило и дозу излучения.

Иногда ионизирующее облучение за счёт источников, созданных человеком, бывает в сотни раз сильнее, чем от естественных источников. В настоящее время на первом месте стоит внешнее радиационное облучение, получаемое человеком при лучевой терапии, рентгеновских исследований и так далее.

Источниками являются в первую очередь рентгеновские аппараты, методы визуализации, такие как компьютерная и позитронно-эмиссионная томография, а также электронные ускорители. Для радиационного облучения, которое вы испытываете во время медицинских диагнозов и лечения в качестве пациента, нет ограничений. Примерами эффективной эквивалентной дозы, приобретенной в таких контекстах, являются:

- Рентген грудной клетки: 0,2 мЗв;
- Маммография: 0,6 мЗв;
- Компьютерная томография грудной клетки: 20 мЗв.

Например, в развитых странах на каждую тысячу населения приходится от 300 до 900 обследований в год, не считая флюорографии и рентгенологического обследования зубов. Для изучения различных процессов, происходящих в организме человека, и для диагностики новообразований используют

радионуклиды, вводимые внутрь организма. Средняя эквивалентная эффективная доза, получаемая от всех источников облучения в медицине, в промышленно развитых странах равна приблизительно 1 мЗв/год на каждого человека [5].

2 Источники ионизирующей радиации на территории Санкт-Петербурга

2.1 Геологическое строение и природные источники

Для изучения источников ионизирующего излучения на территории города Санкт-Петербург стоит начать с геологического строения территории, на которой расположен город.

Санкт-Петербург является самым крупным северным городом со сложным геологическим строением, высокой обводнённостью 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 [1].

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 [1].

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.

Особенностью города является наличие большого количества рек, каналов, озёр и прудов. Число рек в черте города достигает 93, а искусственных каналов – 20. Итак, водная поверхность города занимает около 7 % от площади мегаполиса. Грунтовые воды на территории города преимущественно

минерализованы, пресны, прослеживаются от северных границ города до Сестрорецка. Отложения кембрийских глин, а также фосфоритовые пески Ордовикского возраста связаны с осадочными отложениями на платформе. Кроме того, проявления инфильтрации урана были обнаружены в песчаниках Гауда и в подстилающих докембрийских кораллах, включая небольшое Славянское месторождение к юго-востоку от города. Содержание урана в горных породах в 10 раз выше, чем в донных. В результате повышается риск радона в Красносельском и Пушкинском районах [1].

Нельзя оставить без внимания тот факт, что естественные источники ионизирующего излучения связаны с геологическими условиями города. Как известно, одним из источников природной ионизирующей радиации являются радионуклиды, содержащиеся в горных породах литосферы нашей планеты. Санкт-Петербург расположен в зоне обширных геологических разломов, из которых выходит радиоактивный газ радон и продукты его распада. Таким образом, Санкт-Петербург характеризуется повышенным уровнем всех факторов радиационного риска, как природных, так и техногенных. [1].

Радиационное воздействие на человека оказывают радон ^{222}Rn и торон ^{220}Rn – инертные радиоактивные газы естественного происхождения. Они образуются в результате радиоактивного распада естественных радионуклидов ^{238}U и ^{232}Th .

Радон содержится во многих материалах, включая строительные материалы, откуда он поступает в окружающую среду. Период полураспада стабильного изотопа составляет 3,82 суток, поэтому радон может распространяться через поры и трещины в грунтах, горных породах и строительных материалах. Он может просачиваться в воздух помещений и атмосферы. Основным источником попадания радона в воздух помещений является его выброс из почвы и горных пород под зданием и из строительных материалов. При распаде радона образуются его короткоживущие дочерние продукты распада (ДПР): ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi с периодом полураспада 3,1; 26,8; 19,7

минут соответственно. Вдыхание этих продуктов распада несёт за собой облучение дыхательной системы человека [16].

Вклад радона и его дочерних продуктов распада в годовую индивидуальную эффективную дозу облучения, которую людское население получает от природных источников радиации земного происхождения, составляет 70 %.

В Санкт-Петербурге достаточно много сооружений и облицовок зданий с использованием пород магматического происхождения – гранитов. Гранит является источником естественных радионуклидов, например, ^{238}U . В результате распада урана-238 образуется радон.

Литосфера земли содержит в себе чуть ли не все известные элементы и вещества в том числе и радиоактивные. В гранитных породах в той или иной степени содержатся радионуклиды земного происхождения.

Изучив материалы Американского Института Мрамора (АИМ), можно узнать, что в минералогический состав гранита входит множество компонентов, включая радиоактивные, такие как радиоактивные уран, торий и калий. Но всё же стоит сказать, что радиоактивность гранитных пород сильно преувеличена, так как средняя концентрация гамма-излучения радиоактивных веществ и продуктов распада в граните, а именно радия-226, тория-232 и калия-40, отличается от естественного радиационного фона Земли на доли единиц. Естественное фоновое излучение составляет 2,4 мЗв/год. В зависимости от места расположения на земной поверхности разброс составляет от 1 до 10 мЗв/год [16].

Происхождение гранита зарождается при столкновении литосферных плит, а именно, когда лёгкие массы магмы поднимаются на поверхность земли, в результате чего появляются всем известные горные хребты. Как уже было отмечено, радиоактивность гранита заключается в том, что из микротрещин породы выступает радиоактивный газ радон, который выделяется при распаде радиоактивных элементов: радия-226 и тория-232. Кроме этого, происходит выделение радиоактивного излучения с поверхности горной породы

магматического происхождения, при электронном распаде радиоактивного калия-40 [26].

Итак, можно сказать, что геологическое строение территории, на которой расположен Санкт-Петербург напрямую связано с естественными источниками ионизирующего излучения. Кроме того, при строительстве города и его облагораживании использовалось большое количество сооружений из гранита.

2.2 Радиоактивные изотопы в строительных материалах

При строительстве городов, мегаполисов и для повышения эффективности использования какой-либо территории важно обеспечить экологическую безопасность населения, уделяя естественную радиоактивность территории.

Вопреки общему мнению о том, что источники ионизирующего излучения естественного происхождения служат фоном естественного излучения, хозяйственная деятельность человека часто приводит к значительному перераспределению природных радионуклидов в окружающей среде. Это наиболее очевидно в области добычи полезных ископаемых, нефти и газа, производства строительных материалов и строительства. В этих районах перераспределение сопровождается значительной концентрацией отходов и образованием местных загрязняющих веществ.

Расширение развития промышленной деятельности человека, которое происходило в XX веке, привело к некоторым негативным экологическим последствиям таким как повышение уровня техногенного радиационного фона за счёт перераспределения в процессе промышленных действий значительного количества радионуклидов природного происхождения, урана, тория и так далее. Резкое повышение уровня концентрации природных радионуклидов на поверхности земли связано с активной добычей полезных ископаемых из земных глубин, а также с процессом их переработки на соответствующих предприятиях. Существенную долю в увеличении техногенного радиационного фона занимает

ионизирующее излучение, исходящее от строительных материалов, облицовок сооружений и прочих изделий. По данным Всемирной организации здравоохранения, годовую дозу облучения в помещениях можно сравнить с дозой, получаемой в процессе рентгенодиагностики.

Большинство строительных материалов имеют свои особенные радиоактивные свойства, так как так или иначе являются природными составляющими экосистемы, в частности горными породами и минералами [4]. Стоит вспомнить, что все минералы содержат в себе радионуклиды. Поэтому все строительные материалы минерального состава содержат в различном количестве химические элементы, изотопы которых радиоактивны. Таким образом, большую опасность представляют строительные материалы, которые состоят полностью из горных пород и минералов. Радиоактивность горной породы или минерала находится в прямой зависимости от своего месторождения и его расположения, поэтому уровень радиационного фона одной и той же породы, но из разных мест разработки, может существенно отличаться от средних фоновых значений радиоактивности данных пород и минералов. Зная химический состав и содержание тяжёлых металлов в строительных материалах, можно узнать их радиационную активность, так как она зависит от количества и активности радиоактивных изотопов [6].

Радиоактивность всех горных пород определена содержанием в них радионуклидов с большими периодами полураспада. К таким радионуклидам относятся семейства урана – 238, тория – 232 и калия – 40. С введением ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов» в обязательном порядке проводятся исследования всех образцов строительных материалов на удельную эффективную активность естественных радионуклидов радия – 226, тория – 232 и калия – 40. Критерием оценки является удельная эффективная активность ($A_{эфф}$), по которой устанавливается принадлежность строительного материала к 1, 2 или 3 классу и определяются возможные области его применения [9, 15].

Ниже представлена некоторая классификация строительных материалов по суммарной удельной эффективной активности ($A_{эфф}$) природных радионуклидов.

I класс – строительные материалы, уровень радиоактивности которых не превышает 370 Бк/кг. Стройматериалы I класса могут быть использованы при строительстве сооружений жилого, общественного типа, школ и детских садов;

II класс – стройматериалы, радиоактивность которых от 370 до 740 Бк/кг. Данные материалы используются при постройке строительных сооружений промышленного назначения и транспортных путей в пределах населённых территорий и мест перспективного строительства городов;

III класс – строительные материалы, уровень радиоактивности которых от 740 до 1350 Бк/кг. Строительные материалы этой категории могут быть использованы для следующих целей:

- в населённых пунктах, для строительства, подземных или подводных строений и коммуникаций, находящихся под поверхностью почвы, на глубине не меньше 0,5 м;

- вне населённых пунктов, для прокладки трасс, возведения гидротехнических сооружений, электрических опор.

IV класс – стройматериалы, с радиоактивностью от 1350 до 37000 Бк/кг. Строительные материалы данного класса используются только с разрешения Министерства здравоохранения для каждого индивидуального случая [26].

Класс строительного материала и его характеристики указываются в гигиенических сертификатах. Также в технической документации горнодобывающих предприятий указывается радиационная активность строительных материалов [6]. Так, например, для стройматериалов из гранита – слэбов, окантованных облицовочных плит, изделий малых архитектурных форм из карельского гранита в техническую информацию на материал, наряду с эксплуатационно-техническими показателями включен показатель радиоактивности [6].

Высокой концентрацией радионуклидов характеризуются калиевые и полевые шпаты, минералы глин, горные породы магматического происхождения кислотного и щелочного состава, например, гранит, кварцевый диорит. Стекловолокно, фосфогипс, силикатный кирпич также относятся к материалам с повышенным содержанием радионуклидов, но уровень радиационного фона не превышает безопасных норм.

Из более опасных и часто встречаемых стоит выделить материалы из гранита. Уровень ионизирующего излучения, исходящего от гранита, составляет в среднем $0,22 - 0,26$ мкЗв/ч, в то время как нормы радиационной безопасности не выше $0,52$ мкЗв/ч [12]. Любое радиоактивное излучение несёт за собой какие-то последствия для организма, малые дозы могут иметь накопительный эффект, конечно, излучение от гранита может негативно воздействовать, но не критично. Гранит характеризуется повышенным содержанием радионуклидов урана, а при радиоактивном распаде урана образуется радон. За счёт процесса выделения из гранита радона (данный газ выходит не только из материалов из гранита или бетона, но и из твёрдой оболочки нашей планеты) уровень радиоактивности породы возрастает. Радон просачивается в помещения через трещины и щели в фундаменте, полу и стенах, выделяется из водопроводной воды и природного газа. Радон инертный газ, поэтому химически связать и утилизировать его нельзя. Радон имеет особенность накапливаться в помещениях за счёт того, что он тяжелее воздуха и оседает внизу. В иных случаях концентрация радона в помещениях может превышать предельно допустимую более чем в тысячу раз. Наибольшая концентрация радона в воздухе жилых помещений наблюдается в зимнее время [6].

2.3 Потенциальные техногенные источники ионизирующих излучений

Среди потенциальных техногенных источников ионизирующих излучений в городе Санкт-Петербург можно выделить следующие: Институт

Иоффе (СПб), Радиевый институт им. Хлопина (СПб), ЦНИИ им. Крылова (СПб), Балтийский завод (СПб), Федеральное Государственное Унитарное Предприятие Российский научный центр «Прикладная химия» (ФГУП «РНЦ «Прикладная химия»), ЗАО «Центротех-СПб», Открытое акционерное общество «Санкт-Петербургский «ИЗОТОП» (ОАО «СПб «ИЗОТОП»), Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр «Ядерно-физические исследования» [14].

Особое место по степени радиационного воздействия принадлежит облучению при проведении рентгенорадиологических исследований [16], что связано как с внедрением новых высокоинформативных видов лучевой диагностики и терапии, ассоциированных с высокими дозами облучения пациентов, так и с увеличением числа проводимых процедур лучевой диагностики и терапии [2].

Также стоит учитывать объекты использования атомной энергии. К ним относятся: Ленинградская атомная электростанция, предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО», завод по переплавке радиоактивного металла АО «ЭКОМЕТ-С» в г. Сосновый Бор, исследовательские реакторы Центрального научно-исследовательского института им. А.Н. Крылова, расположенного в Московском административном районе Санкт-Петербурга, Радиевый институт им. В.Г. Хлопина (Калининский административный район Санкт-Петербурга), транспортные атомные энергетические установки на Балтийском заводе (Василеостровский район Санкт-Петербурга) [16].

Локальные радиоактивные загрязнения часто обнаруживаются на территории города Санкт-Петербург. Существуют некоторые сведения, что на Васильевском острове, а именно на Шкиперском протоке, в советское время располагался институт, испытывавший влияние радиации как оружия на живых организмах. В лаборатории института обрабатывали кроликов и собак жидкими растворами, содержащими радиоактивные вещества. Животных, которые погибали, хоронили на территории института. Известно, что радиоактивные растворы сливали в специальную канализацию при институте, стоки которой

поступали в Финский залив. Часто радиоактивные жидкости хоронили в ямах, после чего заливали бетонным раствором [16].

Таким образом, источников радиоактивного излучения от техногенных и искусственных источников на территории города не так много, но нельзя пренебрегать моментом, что всё же они вносят вклад в радиационный фон Санкт-Петербурга.

3 Способы измерения ионизирующих излучений

3.1 Дозиметры, дозиметры-радиометры

Ионизирующее излучение, или радиация, в больших дозах оказывает негативное воздействие на живые организмы.

При прямом воздействии ионизирующего облучения разрушаются живые клетки, нарушается работа тканей и органов, развиваются лучевые ожоги, острые лучевые болезни. При длительном воздействии повышается риск развития рака.

Измерение уровня ионизирующего излучения (ИИ) проводится для оценки безопасности производственных линий, научных исследований и дозиметрического контроля населения.

Степень негативного воздействия определяет тип и уровень радиации. Это электромагнитное поле (γ -частицы) или поток элементарных частиц (нейтроны, протоны, β -, α -частицы).

Уровень ионизирующего излучения измеряется с помощью спектрометров, дозиметров, радиометров. Принцип действия мер зависит от фиксированных параметров [19].

Для обнаружения и измерения ионизирующих излучений используются дозиметрические приборы. Например, мощность дозы можно измерить с помощью рентгенметров, а для контроля радиоактивного облучения используют дозиметрические приборы.

Сейчас рынок технических устройств богат разнообразием моделей приборов, измеряющих уровень ионизирующей радиации. Приборы для измерения уровня ионизирующего излучения принято разделять на следующие классы:

– радиометры – приборы, определяющие плотность потока альфа-излучения или же бета-излучения на поверхности объекта, который находится

под влиянием ионизирующей радиации. С помощью радиометров обычно контролируют степень активности излучающего источника;

- дозиметры измеряют величину энергии, передаваемой объекту посредством излучения;

- спектрометры, анализирующие спектр излучения частиц или квантов ионизирующей радиации по установленному критерию [8].

Также данные приборы разделяются на те, которые воспринимают только α -излучение, только β -излучение, лишь γ -излучение или сочетание тех или иных излучений.

По назначению приборы, измеряющие уровень радиации, делятся на два вида:

Бытовые – приборы для ориентировочного определения уровня радиации. Бытовые приборы имеют следующие характеристики: невысокая стоимость, компактность, легки в использовании, у них средняя точность измерений в пределах 30%. Точность измерений уровня радиации можно повысить путём увеличения количества измерений. Данные дозиметры регистрируют γ -излучение и рентгеновское излучение, реже – β - и α -излучение. Дешёвые модели бытовых дозиметров как правило состоят из одного счётчика Гейгера, дорогие модели уже могут включать два или несколько счётчиков Гейгера и специальные сцинтилляционные кристаллы [29];

Профессиональные приборы крупнее и дороже бытовых, но их главное преимущество – высокая чувствительность, широкий диапазон и точность измерений. Все эти преимущества позволяют с большей достоверностью определить уровень ионизирующего излучения. Профессиональные дозиметры предназначены для использования в промышленности, горнодобывающей индустрии, научной деятельности, на АЭС. Такие дозиметры имеют высокую точность, а время измерения уровня радиации не занимает более 40 секунд. В конструкции данных дозиметрических приборов установлено несколько счётчиков Гейгера или Гейгера-Мюллера. Они предназначены для регистрации и обнаружения α -, β -, γ - и рентгеновского излучения, а также некоторых других

заряженных частиц [29]. Портативные профессиональные дозиметры имеют вес до 1,5 кг, а дозиметры, предназначенными для использования в лабораторных и полевых условиях – до 10 кг [8].

Большинство дозиметров работают на основе счётчика Гейгера, а сказать точнее, счётчика Гейгера-Мюллера. Счётчик Гейгера был изобретён в начале XX столетия и до сих пор успешно используется благодаря простоте, эффективности и надёжности.

Счётчики Гейгера-Мюллера – это чрезвычайно чувствительные дозиметры, которые используют газоразрядную камеру для обнаружения излучения. Одна частица излучения обнаруживается через газоразрядную камеру, которая затем будет производить щелкающий шум в электронном динамике. Щелчки измеряются как количество в секунду или минуту, причём количество представляет собой распад излучения.

Основной частью счётчика Гейгера является газоразрядная камера, состоящая из катода и анода, заполненная инертным газом при пониженном давлении. В нормальном состоянии тока в камере нет из-за высокого сопротивления инертного газа. Электроды подключаются к источнику высокого напряжения через специальный резистор, который фиксирует электрические импульсы [29].

Когда через камеру пролетает частица высокой энергии, она выбивает электроны из атомов газа, с которыми сталкивается, эти электроны выбивают следующие из других атомов, вызывая движение заряженных частиц от катода к аноду. Таким образом, через газоразрядную камеру проскакивает разряд, который фиксируется резистором как скачок напряжения. В дальнейшем разряд автоматически прекращается, и счётчик переходит в исходное состояние [29].

Дозиметры используются для контроля и измерения радиоактивного фона, чтобы за заданный промежуток времени не поступила вредная доза радиации. Руководящие органы имеют стандарты по радиационной защите и контролю на производстве. Основная цель дозиметра – поддерживать профессиональную дозу настолько низкой, насколько это достижимо.

Радиация чрезвычайно вредна для человека и может быть смертельной, когда люди подвергаются воздействию высоких доз радиации. Дозиметры информируют и сигнализируют людей, когда уровень радиации слишком высок, чтобы они могли эвакуироваться из зоны воздействия и избежать радиационного облучения.

3.2 Дозиметр СОЭКС «Квантум»

Для проведения натурных измерений гамма-излучения на территории Фрунзенского района города Санкт-Петербург был использован профессиональный дозиметр СОЭКС «Квантум».

Дозиметр «Квантум» предназначен для измерения накопленной дозы радиации, оценки уровня радиоактивного фона и обнаружения предметов, продуктов питания, строительных материалов, заражённых радиоактивными элементами.

Дозиметр «Квантум» производит оценку радиационного фона по величине мощности ионизирующего излучения (гамма-излучения и потока бета-частиц) с учётом рентгеновского излучения [22].

Дозиметр СОЭКС «Квантум» внесён в реестр средств измерения (Свидетельство об утверждении типа средства измерений № 62619-15, выдано 08 декабря 2015г. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии) [23].

СОЭКС «Квантум» – профессиональный дозиметр, сочетающий точность измерений, удобный интерфейс и доступную стоимость. Цветовая и звуковая индикация, фиксация результатов измерений в памяти прибора, возможность перенесения данных на компьютер и обновления ПО с использованием программы «SOEKS Менеджер Устройств» делают работу с прибором максимально комфортной как для специалистов, так и для неподготовленных пользователей. Стоит отметить, что Квантум стал самым массовым

профессиональным дозиметром. Может применяться в работе государственных служб (МЧС, таможня), банков, АЭС и пр., а также в быту (проверка дома, стройматериалов, приусадебного участка) [23].

Дозиметр СОЭКС «Квантум» имеет сертификат ISO 9001 и сертификат соответствия [22].

Дозиметр «Квантум» поставляется в следующей комплектации:

Таблица 3.1 – Комплектация дозиметра СОЭКС «Квантум» [22]

Дозиметр «Квантум»	1 шт.
Паспорт прибора	1 шт.
Аккумулятор ААА	2 шт.
Шнур питания USB-mini USB	1 шт.
Зарядное устройство	1 шт.
Упаковочная коробка	1 шт.

В качестве датчиков ионизирующего излучения в дозиметре СОЭКС «Квантум» используются два счётчика Гейгера-Мюллера СБМ-20-1. Они расположены с правой и левой стороны прибора [22].

В режиме измерения радиационного фона появляется экран (рисунок 3.1) со следующими элементами:



Рисунок 3.1 – Интерфейс дозиметра СОЭКС «Квантум» [22]

Цифрами на рисунке 3.1 обозначены:

12 – Уровень радиоактивности. На рисунке 3.1 уровень радиоактивности составляет 0,16 мкЗв/ч. Отображается крупными цифрами в центре экрана.

13 – Здесь указана единица измерения уровня радиационного фона, а именно мкЗв/ч.

14 – Индикатор готовности результатов измерений радиационного фона: полное заполнение происходит за 10 секунд. Время готовности результата может уменьшиться, если значение уровня радиационного фона высокое и значительно превышает установленные нормы.

15 – Под цифрой 15 показан индикатор точности измерения: с увеличением точности столбик заполняется зелёным цветом. С каждым измерением, которое составляем около 10 секунд, столбик индикатора точности поднимается вверх до полного заполнения, которое происходит не менее чем за 2 минуты. Если при измерении обнаружены резкие изменения фона: повышение более чем в 3 раза или понижение в 10 раз, то индикатор точности обнуляется. Таким образом, отображение надёжных показаний для обнаружения внезапных изменений в фоновом режиме занимает не более 10-20 секунд.

16 – Данной цифрой на рисунке обозначено информационное сообщение о состоянии радиационного фона, основанное на нормах радиационной безопасности НРБ – 99/2009 [12]:

- если результат измерения радиационного фона меньше 0,4 мкЗв/ч., то появляется сообщение «радиационный фон в норме» шрифтом зелёного цвета;

- если уровень измерения радиационного фона составляет 0,4-1,2 мкЗв/ч., то появляется сообщение «радиационный фон повышен» шрифтом жёлтого цвета;

- если результат измерения уровня радиационного фона превышает 1,2 мкЗв/ч., то появляется сообщение «опасный радиационный фон», обозначенное шрифтом красного цвета.

17 – Индикаторы изменения радиационного фона:

– одна красная стрелка, направленная вверх, появляется, если обнаружено повышение радиационного фона, отличающееся более чем на 30% от среднего значения;

– одна зелёная стрелка, направленная вниз, появляется, если обнаружено понижение радиационного фона, отличающееся более чем на 30% от среднего значения;

– две красные стрелки, направленные вверх, появляются при значительном повышении радиационного фона;

– две стрелки зелёного цвета, направленные вниз, появляются при значительном снижении радиационного фона.

18 – Установленный порог радиационного фона. На рисунке 3.1 порог уровня радиационного фона составляет 1,2 мкЗв/ч.

19-20 – Диаграмма, показывающая радиационную активность в последнюю минуту на датчиках слева и справа соответственно. График постоянно движется к центру, а высота столбца показывает уровень радиационного фона. Столбец может быть зелёным, жёлтым или красным, в зависимости от степени превышения установленного порога радиационного фона.

21-22 – Индикатор обнаружения радиационных частиц по левому и правому датчику счётчика Гейгера-Мюллера СБМ-20-1 соответственно. Если частицы следуют часто, то индикатор (кружочек) загорается красным цветом, если частицы редкие, то индикатор жёлтый [22].

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

Для исследования радиационного фона от природных источников во Фрунзенском районе города Санкт-Петербург были проведены измерения гамма-излучения на набережной Обводного канала, в Воронежском саду и Прилукском сквере.

Обосновать цель исследования радиационного фона в данных местах можно наличием источником природного радиационного излучения, а именно гранитная набережная Обводного канала и сооружения из гранита в Воронежском саду и Прилукском сквере.

Измерения проводились с помощью дозиметра СОЭКС «Квантум», принцип работы которого описан в разделе 3.2.

С использованием конструктора карт Яндексa была построена карта, представленная на рисунке 4.1, на которой отмечены точки измерений уровня радиационного фона.

Для более точного результата уровень радиации был измерен 20 раз на уровне почвы и 20 раз на уровне груди для каждой станции.

С помощью Microsoft Excel были рассчитаны средние значения замеров уровня радиации для каждой станции на уровне почвы ($h = 0$ м) и на уровне груди ($h = 1,5$ м) соответственно. Результаты и координаты пунктов измерений представлены в Приложении А.



Рисунок 4.1 – Точки измерений уровня гамма-излучений во Фрунзенском районе г. Санкт-Петербург

Для визуальной оценки радиационного фона во Фрунзенском районе по полученным осреднённым значениям гамма-излучения был построен график (рисунок 4.2) зависимости уровня радиации от пункта измерения.

Стоит отметить, что в соответствии с нормами радиационной безопасности (НРБ – 99/2009) радиационный фон в норме, если его значение не превышает 0,4 мкЗв/ч; 0,4–1,2 мкЗв/ч – радиационный фон повышен; значения, превышающие 1,2 мкЗв/ч, характеризуют опасный радиационный фон [12].

По рисунку 4.2 видно, что радиационный фон на уровне почвы ($h = 0$ м) в норме на станциях под номерами 1, 2, 3, 4, 9, 10, 12, и 17, то есть значения уровня радиации на данных станциях не превышают 0,4 мкЗв/ч. Во всех остальных случаях радиационный фон повышен и находится в диапазоне 0,4 – 0,7 мкЗв/ч. Радиационный фон на уровне груди ($h = 1,5$ м) не превышает 0,4 мкЗв/ч и находится в норме в точках измерений под номерами 1, 2, 3, 4, 9, 10, и 17.

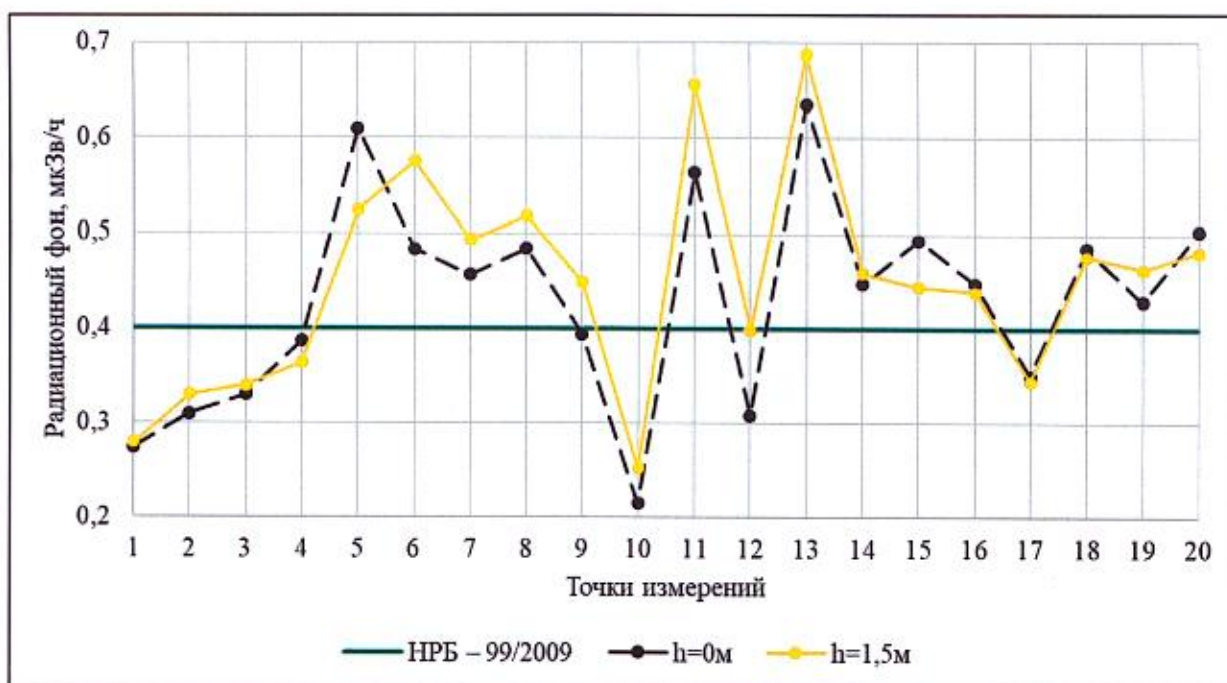


Рисунок 4.2 – График, построенный по полученным средним значениям радиационного фона во Фрунзенском р-не г. Санкт-Петербург на набережной Обводного канала и близлежащих местах

Также по графику (рисунок 4.2) видно, что максимальное среднее значение радиационного фона наблюдается на пункте под номером 13 и составляет 0,64 мкЗв/ч на $h = 0$ м и 0,69 мкЗв/ч на $h = 1,5$ м. Станция № 13 расположена на Предтеченском мосту Обводного канала. Относительно высокие значения можно увидеть на станциях под номерами 5 и 11, уровень радиации на которых составляет 0,61 и 0,56 мкЗв/ч на уровне почвы ($h = 0$ м) и 0,51 и 0,66 мкЗв/ч на уровне груди ($h = 1,5$ м) соответственно. Точки измерений № 5 и № 11 расположены вблизи Ново-Каменского моста, по которому проходит Лиговский проспект.

Минимальное среднее значение радиационного фона зафиксировано на пункте № 10 и соответствует 0,21 и 0,25 мкЗв/ч на уровне почвы и уровне груди соответственно. Пункт измерений № 10 находится вблизи остановки общественного транспорта на набережной Обводного канала. Также относительно низкие значения радиационного фона измерены на станциях под номерами 1, 2 и 3, расположенных в Воронежском саду.

С помощью Microsoft Excel было найдено максимальное значение радиационного фона для каждой точки наблюдения. Результаты представлены в Приложении Б.

По полученным максимальным значениям был построен график (рисунок 4.3), по которому видно, что максимальный уровень гамма-излучения наблюдается на станции № 13 и составляет 0,71 мкЗв/ч при $h = 0$ м и 0,79 мкЗв/ч при $h = 1,5$ м. Как было упомянуто выше, станция № 13 расположена на Предтеченском мосту Обводного канала.

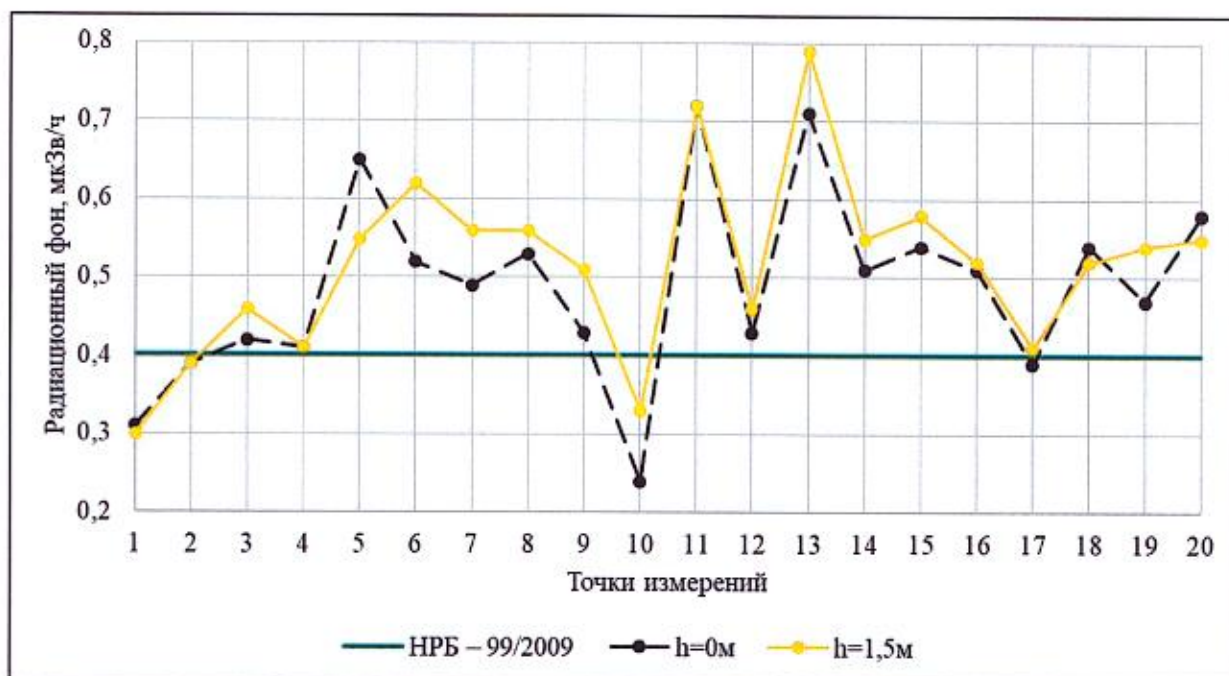


Рисунок 4.3 – График, построенный по полученным максимальным значениям радиационного фона во Фрунзенском р-не г. Санкт-Петербург на набережной Обводного канала и близлежащих местах

Таким образом, в точках под номерами 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 14, 15, 16, 18, 19, 20 радиационный фон повышен, то есть превышает значение 0,4 мкЗв/ч, но не является опасным, так как не переходит за значение 1,2 мкЗв/ч. Значения уровня радиации на данных точках не соответствуют нормам радиационной безопасности [12].

5 Практические рекомендации

Как показали результаты измерений уровня гамма-излучений, представленные в главе 4, на 13 из 20 пунктов измерений средние значения радиационного фона превышают значение нормы 0,4 мкЗв/ч [12]. Но стоит отметить, что ни на одном из пунктов измерений не наблюдались «опасные» значения радиационного фона, превышающие 1,2 мкЗв/ч. Такие сравнительно малые значения уровня гамма-излучений, не требуют срочных мероприятий и принятия мер.

Для предотвращения локального радиационного загрязнения от природных источников в будущем можно дать следующие рекомендации.

При строительстве и конструкции зданий, монументов, набережных и прочих сооружений использовать материалы с наименьшим содержанием радионуклидов в составе.

Для уменьшения поступления радона в жилые здания стоит выполнять газоизоляцию строительных конструкций. Слой пароизоляции также может служить барьером для радона. Радон проходит через полимерные плёнки, особенно полиэтиленовые, поэтому в качестве газоизоляции нижних этажей здания можно применять полимер-битумные рулонные материалы и мастики. Не забывать использовать наряду с газоизоляцией систему вентиляции.

При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе помещений не превышала 100 Бк/м³, а мощность эффективной дозы гамма-излучения не превышала мощность дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч [12].

Осуществлять федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления, общественными объединениями, другими юридическими

лицами и гражданами мероприятий по соблюдению правил, норм и нормативов в области радиационной безопасности;

Проводить производственный контроль строительных материалов, приёмку зданий и сооружений в эксплуатацию с учётом уровня содержания радона в воздухе помещений и гамма-излучения природных радионуклидов;

Разрешать эксплуатацию зданий и сооружений, учитывая в них уровень содержания радона и гамма-излучения природных радионуклидов;

Сокращать количество монументов, скульптур и памятников истории, созданных с использованием гранита или иных материалов, характеризующееся высоким содержанием радионуклидов.

Для обеспечения индивидуальной защиты от гамма-излучения можно порекомендовать: проводить меньше времени вблизи гранитных зданий и сооружений; избегать длительных прогулок рядом с месторождениями гранита и открытыми карьерами, где происходят разработки и добыча гранита и иных минералов, не садиться на гранитные блоки и основания.

Проводить обучение населения в области обеспечения радиационной безопасности и способствовать формированию культуры радиационной безопасности, так как в современном мире появилось множество мифов, связанных с радиацией и её воздействием на здоровье человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было проведено исследование радиационного излучения от природных источников во Фрунзенском районе города Санкт-Петербург.

Были изучены основные закономерности физиологического действия ионизирующей радиации на организм человека. Негативные последствия радиационного облучения могут быть разными. Большие дозы радиации приводят к повреждению внутриклеточного аппарата и функций клеток, что впоследствии вызывает их гибель, а также к разрушению тканей и гибели всего организма. Малые дозы являются ускорителями развития злокачественных новообразований и приводят к поломкам генетического материала. Например, при дозе 0,1 Гр (грей) удваивается риск развития генных мутаций.

Среди радиационных эффектов можно выделить острую и хроническую лучевую болезнь, атрофию и уплотнение облучённых участков кожи, сосудов, лёгких, уменьшения количественного состава клеток, опухоли внутренних органов, злокачественные изменения крови, сокращение продолжительности жизни и другие.

Также в работе были рассмотрены природные и техногенные источники ионизирующей радиации. Ионизирующее излучение от природных источников создаёт естественный радиационный фон. Естественный радиационный фон формируется космическим излучением и естественными радионуклидами, находящимися в горных породах, почве, продуктах питания и организме человека. Под техногенным облучением обычно понимается облучение, обусловленное естественными радионуклидами, которые концентрируются в продуктах промышленной и сельскохозяйственной деятельности человека, например, строительных материалах, минеральных удобрениях, выбросах тепловых электростанций и др., то есть техногенно-изменённый естественный фон.

Санкт-Петербург характеризуется повышенным уровнем всех факторов радиационного риска, как природных, так и техногенных. Фактор радиационного риска от природных источников можно обосновать геологическими условиями города. Санкт-Петербург расположен в зоне обширных геологических разломов, из которых поступает радон и продукты его распада. Также повышенный радиационный фон Санкт-Петербурга обусловлен большим количеством гранитных сооружений, набережных, монументов, облицовок зданий и прочих конструкций, а как известно гранит характеризуется повышенным содержанием радионуклидов.

Уровень ионизирующего излучения измеряется с помощью спектрометров, дозиметров, радиометров. Натурные измерения гамма-излучения на территории Фрунзенского района проводились с помощью дозиметра СОЭКС «Квантум». Дозиметр позволяет быстро и с высокой точностью определить уровень радиационного фона.

В ходе работы был выполнен анализ результатов измерения от естественных источников на территории Фрунзенского района. Как показывают результаты измерений, радиационный фон большинства пунктов измерений превышает значение 0,4 мкЗв/ч, а значит не соответствует нормам радиационной безопасности. Но также стоит отметить, что ни на одной точке измерений уровень гамма-излучения не превышал отметку 1,2 мкЗв/ч, а значит не является опасным.

В дальнейшем стоит продолжать мониторинг и контроль радиационного фона от естественных источников.

Список использованных источников

- 1 Андросова Н.К. Радиационная обстановка в Санкт-Петербурге // Norwegian Journal of development of the International Science. – 2019. – № 30. – С. 18–20
- 2 Барковский А.Н. Динамика доз облучения населения Российской Федерации за период с 2003 по 2018 г. // Радиационная гигиена. – 2019. – № 4. – С. 96–122
- 3 Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]: Ионизирующее излучение, последствия для здоровья и защитные меры. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>. – (Дата обращения: 16.04.2022)
- 4 Гвоздовский В.И., Князева М.Н. Оптимизация технологических процессов промышленного производства и гидротехнического строительства // Природоохранные и гидротехнические сооружения: проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов: материалы Международной научно-технической конференции. – Самара: СГАСУ, 2014. – 193 с.
- 5 Ким Д.Б., Геращенко Л.А. Радиационная экология: Учебное пособие. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. – 213 с.
- 6 Князева М.Н. Проблема остаточной радиоактивности строительных материалов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и техносферная безопасность (сборник статей). – 2017. – С. 283–286
- 7 Кужир П.Г. Радиоактивность природных строительных материалов: Учебное издание / П.Г. Кужир, Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук и др. – Минск: БНТУ, 2013. – 25 с.
- 8 Литас. Оборудование для неразрушающего контроля и дефектоскопии [Электронный ресурс]: Дозиметры. – Режим доступа: <https://litas.ru/blog/stati/dozimetry/>. – (Дата обращения: 25.04.2022)

- 9 Лукутцова Н.П. Строительные материалы в экологическом аспекте. – Брянск: БГИТА, 2001. – 201 с.
- 10 Лэнд Ч. Ионизирующее излучение. Британская энциклопедия Britannica. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.britannica.com/science/ionizing-radiation>. – (Дата обращения: 16.04.2022)
- 11 Международное агентство по атомной энергии [Электронный ресурс]: Радиация в повседневной жизни. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/radlife>. – (Дата обращения: 16.04.2022)
- 12 Нормы радиационной безопасности: Санитарные правила и нормативы СанПиН. – 2009. – № 47
- 13 О радиационной безопасности населения: Федеральный закон от 09.01.1996 № 3–ФЗ; редакция от 11.06.2021 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1996. – № 3. – ст. 141
- 14 Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2013 году / Под ред. И.А. Серебрицкого. – СПб.: ООО «Балтийская волна», 2014. – 436 с.
- 15 Пархоменко В.И. Радиоактивность различных строительных материалов // Радиационная гигиена. – 2008. – № 9. – С. 22–24
- 16 Пузырев В.Г. Особенности радиационного фона различных районов Санкт-Петербурга / В.Г. Пузырев, И.В. Васильева, Д.А. Земляной, Ю.Н. и др. // Радиация и риск. – 2021. – № 3. – С. 32–45
- 17 Радиация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://doza.pro/art/types_of_radiation. – (Дата обращения: 16.04.2022)
- 18 Радиация. Дозы, эффекты, риск / Перевод с английского Ю.А. Банникова. – М.: Мир, 1990. – 79 с.
- 19 Рахманова Н.Р., Кудратов В.Н. Приборы для регистрации ионизирующего излучения // Theoretical & Applied Science. – 2021. – № 12. – С. 573–575.

- 20 Рентген-центр. Комплексное техническое обслуживание медицинской техники [Электронный ресурс]: Что такое дозиметр. – Режим доступа: <https://rentgen-centr.ru/news/chto-takoe-dozimetr/>. – (Дата обращения: 25.04.2022)
- 21 Скотт Б.Р. Радиационная токсикология, ионизирующая и неионизирующая // Энциклопедия токсикологии. – 2014. – № 3. – с. 29–43
- 22 СОЭКС. Официальный сайт производителя [Электронный ресурс]: Инструкция для дозиметра «Квантум». – Режим доступа: https://soeks.ru/catalog/professionalnyy_dozimetr_soeks_kvantum. – (Дата обращения: 25.04.2022)
- 23 СОЭКС. Официальный сайт производителя [Электронный ресурс]: СОЭКС профессиональный дозиметр Квантум. – Режим доступа: https://soeks.ru/catalog/professionalnyy_dozimetr_soeks_kvantum. – (Дата обращения: 25.04.2022)
- 24 Ядерное общество Казахстана [Электронный ресурс]: Естественные источники радиации. – Режим доступа: http://nuclear.kz/download/files/istochniki_radiacii.pdf. – (Дата обращения: 17.04.2022)
- 25 atomicarchive.com: Изучение истории, науки и последствий атомной бомбы [Электронный ресурс]: Радиационное воздействие на человека. – Режим доступа: <https://www.atomicarchive.com/science/effects/radiation-effects-human.html>. – (Дата обращения: 16.04.2022)
- 26 Boss Technology [Электронный ресурс]: Радиоактивен ли гранит – классы радиоактивности. – Режим доступа: <https://www.bosstechnology.com.ua/radioaktiven-li-granit-klassy-radioaktivnosti/>. – (Дата обращения: 20.04.2022)
- 27 CottagesSpb.ru – портал по загородной недвижимости Ленинградской области и Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Естественная радиоактивность и онкология в Ленинградской области. – Режим доступа: <https://www.cottagespb.ru/ekologiya/karta-geo/>. – (Дата обращения: 17.04.2022)

- 28 NASA Science [Электронный ресурс]: Gamma Rays. – Режим доступа: https://science.nasa.gov/ems/12_gammarays. – (Дата обращения: 16.04.2022)
- 29 Prime Chemicals Group [Электронный ресурс]: Дозиметры радиации, конструкция и виды. – Режим доступа: <https://pcgroup.ru/blog/dozimetry-radiatsii-konstruktsiya-i-vidy/>. – (Дата обращения: 25.04.2022)
- 30 Rubin P., Casarett G.W. Clinical radiation pathology. – Филадельфия; Лондон: W.B. Saunders Co, 1968. – 1057 с.

Приложение А

Таблица 1 – Средние значения уровня гамма-излучения на территории Фрунзенского района и координаты точек измерений

№ точек измерений	Средние значения радиационного фона, мкЗв/ч		Координаты точек измерений
	0 м	1,5 м	
1	0,27	0,28	59°54'37" с.ш., 30°20'37" в.д. (Воронежский сад)
2	0,31	0,33	59°54'39" с.ш., 30°20'39" в.д. (Воронежский сад)
3	0,33	0,34	59°54'38" с.ш., 30°20'33" в.д. (Воронежский сад)
4	0,39	0,36	59°54'35" с.ш., 30°20'53" в.д. (Прилуковский сквер)
5	0,61	0,52	59°54'54" с.ш., 30°21'0" в.д. (Ново-Каменный мост)
6	0,48	0,58	59°54'54" с.ш., 30°20'58" в.д.
7	0,46	0,49	59°54'57" с.ш., 30°20'42" в.д.
8	0,48	0,52	59°54'57" с.ш., 30°20'40" в.д. (Боровой мост)
9	0,39	0,45	59°54'57" с.ш., 30°20'32" в.д.
10	0,21	0,25	59°54'55" с.ш., 30°20'52" в.д. (Остановка общественного транспорта)
11	0,56	0,66	59°54'54" с.ш., 30°21'5" в.д.

Таблица 1 – Продолжение

№ точек измерений	Средние значения радиационного фона, мкЗв/ч		Координаты точек измерений
	0 м	1,5 м	
12	0,31	0,40	59°54'53" с.ш., 30°21'11" в.д.
13	0,64	0,69	59°54'52" с.ш., 30°21'17" в.д. (Предтеченский мост)
14	0,45	0,46	59°54'52" с.ш., 30°21'20" в.д.
15	0,49	0,44	59°54'51" с.ш., 30°21'27" в.д.
16	0,45	0,44	59°54'50" с.ш., 30°21'34" в.д. (Каретный мост)
17	0,35	0,34	59°54'50" с.ш., 30°21'41" в.д.
18	0,49	0,48	59°54'50" с.ш., 30°21'47" в.д.
19	0,43	0,46	59°54'57" с.ш., 30°20'26" в.д.
20	0,50	0,48	59°54'54" с.ш., 30°20'19" в.д.

Приложение Б

Таблица 2 – Максимальные значения уровня гамма-излучения на территории Фрунзенского района и координаты точек измерений

№ точек измерений	Максимальные значения радиационного фона, мкЗв/ч		Координаты точек измерений
	0 м	1,5 м	
1	0,31	0,3	59°54'37" с.ш., 30°20'37" в.д.
2	0,39	0,39	59°54'39" с.ш., 30°20'39" в.д.
3	0,42	0,46	59°54'38" с.ш., 30°20'33" в.д.
4	0,41	0,41	59°54'35" с.ш., 30°20'53" в.д.
5	0,65	0,55	59°54'54" с.ш., 30°21'0" в.д.
6	0,52	0,62	59°54'54" с.ш., 30°20'58" в.д.
7	0,49	0,56	59°54'57" с.ш., 30°20'42" в.д.
8	0,53	0,56	59°54'57" с.ш., 30°20'40" в.д.
9	0,43	0,51	59°54'57" с.ш., 30°20'32" в.д.
10	0,24	0,33	59°54'55" с.ш., 30°20'52" в.д.
11	0,72	0,72	59°54'54" с.ш., 30°21'5" в.д.
12	0,43	0,46	59°54'53" с.ш., 30°21'11" в.д.
13	0,71	0,79	59°54'52" с.ш., 30°21'17" в.д.

Таблица 2 – Продолжение

№ точек измерений	Максимальные значения радиационного фона, мкЗв/ч		Координаты точек измерений
	0 м	1,5 м	
14	0,51	0,55	59°54'52" с.ш., 30°21'20" в.д.
15	0,54	0,58	59°54'51" с.ш., 30°21'27" в.д.
16	0,51	0,52	59°54'50" с.ш., 30°21'34" в.д.
17	0,39	0,41	59°54'50" с.ш., 30°21'41" в.д.
18	0,54	0,52	59°54'50" с.ш., 30°21'47" в.д.
19	0,47	0,54	59°54'57" с.ш., 30°20'26" в.д.
20	0,58	0,55	59°54'54" с.ш., 30°20'19" в.д.