

Санкт-Петербургский государственный университет

***ГРИШНЯКОВА Анна Игоревна***

**Выпускная квалификационная работа**

***Радиоактивность диктионемовых сланцев и оценка их влияния на экологическую обстановку в районе Балтийско-Ладожского уступа в Ленинградской области***

Уровень образования: бакалавриат  
Направление 05.03.06 «Экология и природопользование»  
Основная образовательная программа  
СВ.5024. «Экология и природопользование»  
Профиль 06 «Экология и недропользование»

Научный руководитель:  
доцент кафедры экологической геологии,  
кандидат геолого-минералогических наук  
Лебедев Сергей Васильевич

Рецензент:  
генеральный директор  
ООО "Комплексное решение"  
Дуброва Станислав Викторович

Санкт-Петербург  
2020

## Оглавление

Введение.....	3
1. Природные условия района работ.....	5
1.1. Физико-географический очерк.....	5
1.2. Геоморфологические условия участка исследований.....	6
1.3. Геологическое строение.....	8
1.4. Гидрогеологические условия.....	12
1.5. Экологическая обстановка в Ленинградской области.....	14
2. Обзор результатов ранее опубликованных работ.....	17
3. Методика и техника радиационного обследования территорий.....	22
3.1. Распространение естественных радиоактивных элементов в горных породах.....	22
3.2. Техника и методика измерений.....	23
3.3. Принципы раздельного определения U (Ra), Th, K.....	25
3.4. Радиометр СРП-97.....	26
3.5. Назначение и состав комплекса РАДЭК.....	27
3.6. Нормативные материалы, используемые при радиоэкологических исследованиях	29
4. Результаты исследований.....	33
4.1. Радиоактивность диктионемовых сланцев бровки Балтийского глинта.....	33
4.2. Оценка степени потенциальной радиационной опасности для населения.....	47
4.3. Влияние диктионемовых сланцев на экологическую обстановку в районе г. Кирхгоф.....	50
4.3.1. Гамма-поле над почвами г. Кирхгоф.....	52
4.3.2. Эманации радона.....	53
4.3.3. Характеристика почв, развитых на диктионемовых сланцах.....	54
Заключение.....	58
Выводы.....	61
Список литературы.....	62
Список опубликованных работ.....	66
Благодарности.....	67
Приложения.....	68

## Введение

Одним из естественных источников радиоактивности являются радионуклиды, присутствующие в горных породах. Геологические тела с повышенным содержанием естественных радионуклидов относятся к категории природных геологических объектов, которые определяют экологическую обстановку на исследуемой территории.

Диктионемовые сланцы представляют собой ордовикские радиоактивные битумнозные аргиллиты. На территории Ленинградской области районы, в которых диктионемовые сланцы подходят близко к дневной поверхности и выходят на дневную поверхность, приурочены к Балтийско-Ладожскому глинтю. В таких местах создаются благоприятные условия для миграции естественных радионуклидов в почву и в воздух, что в свою очередь, представляет опасность для человека.

Цель выпускной квалификационной работы — изучить содержание и характер распределения естественных радионуклидов по мощности и простирацию пластов диктионемовых сланцев и в почвах, развитых на диктионемовых сланцах, и оценить их потенциальное влияние на радиозэкологическую обстановку в районе Балтийско-Ладожского уступа в пределах территории Ленинградской области.

Для достижения цели необходимо было решить следующие основные задачи:

1. Поиск, раскопка и описание обнажений вдоль Балтийско-Ладожского глинта, в которых близко к дневной поверхности подходят породы копорской свиты (диктионемовые сланцы);
2. Отбор проб диктионемовых сланцев;
3. Описание и отбор проб почв, развитых на диктионемовых сланцах;
4. Анализ в лабораторных условиях проб на удельную активность естественных радионуклидов (ЕРН), расчет эффективной удельной активности;
5. Расчет концентрации ЕРН в диктионемовых сланцах;
6. Измерение мощности экспозиционной дозы (МЭД) в точках отбора (ТО) проб, а также над почвами;
7. Расчет мощности эквивалентной дозы для оценки радиационного воздействия на население;
8. Оценка потенциальной опасности диктионемовых сланцев и почв, развитых на них, для населения, проживающего поблизости.

Выпускная квалификационная работа основана на результатах полевых исследований, которые проводились в 2017-2019г.г. под руководством Лебедева С.В.,

Федорова П. В. Были исследованы обнажения в Кингисеппском, Ломоносовском и Кировском районах Ленинградской области.

В результате было описано 13 разрезов, включающих копрскую свиту, 1 почвенный разрез. Производились измерения значений МЭД (мкР/ч) в точке отбора проб и над почвами на расстоянии 0,5–1 м от разреза, отбирались пробы непосредственно диктионемовых сланцев, а также пород, граничащих с ними (при наличии контакта) и почв. Всего было отобрано и проанализировано 75 проб аргиллитов и 7 проб почвы.

Пробы отбирались по одному или двум профилям сверху вниз по разрезу, с интервалом 0,3–0,4 м при помощи геологического молотка, хранились и транспортировались в полиэтиленовых пакетах. Средний вес одной пробы 0,4 кг.

Лабораторные исследования проводились на базе испытательной лаборатории отдела радиационной гигиены ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург».

# 1. Природные условия района работ

## 1.1. Физико-географический очерк

Ленинградская область расположена на северо-западе нашей страны. Площадь ее – 85, 3 тысячи км<sup>2</sup>. Территория области сильно вытянута с запада на восток; наибольшая протяженность в этом направлении — 450 километров, а с севера на юг она колеблется от 100 до 320 километров. На северо-западе территория Ленинградской области омывается водами Финского залива, на севере — Ладожского озера, а на северо-востоке — Онежского озера. Острова, расположенные в Финском заливе и Ладожском озере, также входят в состав области.

«Наша область расположена в умеренных широтах между 58°25' и 61°15' северной широты и 27°45' и 34°45' восточной долготы. Вся эта территория относится к лесной зоне.

Территория области находится на западе так называемой Русской равнины. Фундамент представлен метаморфическими породами (кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты) с интрузиями кислых и основных магматических образований архей-раннепротерозойского возраста.

Осадочные породы чехла, залегающие на кристаллическом фундаменте представлены неметаморфизованными песчано-глинистыми образованиями венда и кембрия, преимущественно карбонатными породами ордовика в южных окрестностях города и терригенно-карбонатными отложениями девона, ограниченно развитыми в тех же районах. Вся толща осадочных пород палеозойского возраста перекрыта четвертичными образованиями весьма неравномерной мощности – от незначительной до 100 м и более» (Александрова, 1971)..

Рельеф формировался в четвертичный период в результате ледниковой деятельности. Вследствие этого на территории распространены ледниковые и флювиогляциальные формы рельефа (морены, озы, камы и т.д.).

«К югу от Финского залива и Ладожского озера расположено Ордовикское плато. Западная, наиболее высокая его часть – Ижорская возвышенность – обрывается на север Балтийско-Ладожским уступом, так называемым глинтом. Поросший деревьями и кустарником, этот глинт тянется от берега Ладожского озера вдоль южного побережья Финского залива до города Палдиски в Эстонии. Очертание «глинта» представляет типичный береговой уступ, подмывавшийся некогда ударами волн. Геологами доказано, что здесь действительно был берег того древнего Балтийского моря, которое затопляло всю современную приневскую низменность и представляло единую водную поверхность от Финского залива до Ладожского озера.

Возвышаясь метров от 40 до 100 над невской долиной, т. е. значительно превышая базис эрозии, ордовикское плато энергично распиливается речками и реками, впадающими в Неву. В результате берега р. Тосны, ее притока Саблинки, р. Ижоры, р. Славянки, ее притока Поповки и др. представляют часто на протяжении многих сотен метров, а нередко километров, прекрасные разрезы коренных горных пород, которые слагают Ордовикское плато. Обычная горизонтальность залегания этих пород, обилие в них окаменелостей, неоднородность литологического состава и пестрота окраски отдельных слоев обеспечивают исключительную наглядность геологического строения территории и сравнительную простоту его изучения и освоения. Крайне отчетливо выраженные элементы рельефа - террасы, формы речных долин, оползни, останцы, меандры, старицы и т. д. - дают возможность с наибольшей полнотой и ясностью ознакомиться с геоморфологией региона.

Климат данной местности находится под влиянием моря и больших озер, что обуславливает низкую температуру лета и сравнительно высокую температуру зимы, а также продолжительную и обычно теплую осень, длинную и холодную весну. Преобладают южные, юго-западные и западные ветры, только летом возрастает число северных и северо-западных направлений. Самыми сильными ветрами всегда являются юго-западные. Самыми дождливыми месяцами являются обычно июль и август; наибольший снежный покров бывает в феврале, окончательно снег сходит в конце апреля.

Средняя годовая температура в области понижается с запада на северо-восток от +4,5 до +2 градусов. Относительная влажность воздуха всегда высокая - от 60 процентов летом до 85 процентов зимой» (Александрова, 1971).

## **1.2. Геоморфологические условия участка исследований**

«Балтийско-Ладожский уступ (глинт), протягивается от р. Волхов до г. Палдиски и далее по дну Балтийского моря до берегов Швеции. Он является существенным элементом рельефа северной части Восточно-Европейской равнины и отделяет Ордовикское плато от Кембрийской (Предглинтовой, Приморской) низины.

Общая протяженность глинта около 1200 км, относительная высота изменяется от 15 до 95 м; большая его часть приходится на акваторию Балтийского моря. Термин «глинт» (обрыв, уступ) применим лишь к небольшим участкам побережья Эстонии, абрадируемым Балтийским морем и предшествовавшими ему голоценовыми бассейнами. На остальном протяжении - это пологий скат шириной до нескольких километров.

За исключением двух небольших участков (г. Кингисепп - пос. Копорье и район о-ва Эланд), глинт ориентирован в субширотном направлении, совпадающем с простиранием ордовикских пород, являясь их северной границей. Состав пород, слагающих глинт, на всем его протяжении одинаков: нижняя его часть - кембрийские глины, выше залегает кембро-ордовикская песчаная толща, перекрытая известняками ордовика. Увеличение высоты глинта происходит за счет увеличения мощности кембрийских глин либо, что чаще, известняков. Все слои залегают моноклинально с падением на юг под углом 10-15'. На большинстве геоморфологических карт, даже достаточно детальных, глинт показан схематично обобщенной линией, приблизительно соответствующей его бровке, между тем морфология его разнообразна» (Грейсер и др., 1980).

Принята теория денудационного происхождения Балтийского глинта.

«Геологические разрезы, пересекающие зону глинта, показывают отсутствие здесь сбросов и флексур. Сопоставление рисунка стратоизогипс опорного горизонта ордовика и рельефа поверхности дочетвертичных пород на участке с наиболее контрастным рельефом плато показало отсутствие здесь рельефообразующих структур (рис. 2, I). Обращаясь к зонам линейных нарушений, пересекающих Ордовикское плато [*Можжев, 1973; Неотектоническая карта..., 1981*], следует отметить, что ни одна из них, несмотря на то что амплитуда смещений местами достигает 15-18 м, не выражена в рельефе коренных пород.<...>

Из соотношения поверхности кристаллического фундамента, кундского горизонта нижнего ордовика и поверхности коренных пород видно, что уже в раннемордовике фундамент не оказывал влияния на структурный план территории. Упомянем о неотектонических структурах третьего порядка, выделяемых на этой территории [*Исаченков, 1982*]. Не останавливаясь здесь на степени достоверности их выделения, отметим, что они не создали заметных форм рельефа. Наличие неровностей плато, видимо, тоже связано с денудационными процессами, как древними, так и вызванными неравномерной плейстоценовой экзарацией. Согласно представлениям большинства исследователей, Ижорская и Пандиверская возвышенности являлись ледоразделами, а по Лужско-Наровскому и Мгинско-Тосненскому понижениям двигались Чудской и Ладожский ледниковые языки, интенсивно экзарировавшие подстилающую поверхность. Не останавливаясь здесь на степени достоверности их выделения, отметим, что они не создали заметных форм рельефа. Наличие неровностей плато, видимо, тоже связано с денудационными процессами, как древними, так и вызванными неравномерной плейстоценовой экзарацией. Согласно представлениям большинства исследователей, Ижорская и Пандиверская возвышенности являлись ледоразделами, а по Лужско-

Наровскому и Мгинско-Тосненскому понижениям двигались Чудской и Ладожский ледниковые языки, интенсивно экзарировавшие подстилающую поверхность.

Таким образом, тектонический фактор, по нашему мнению, не играет существенной роли в формировании рельефа зоны Балтийско-Ладожского глинта. Его влияние свелось к созданию ослабленных зон, где образовывались ложбины ледникового выпаживания и гляциодепрессии» (Малаховский, Грейсер, 1987).

### 1.3. Геологическое строение

«К Балтийско-Ладожскому глинту приурочены выходы пород кембрия и ордовика. Кембрийские отложения распространены на большей части рассматриваемой территории. Они залегают несогласно с перерывом на валдайской серии венда и перекрываются также с несогласием ордовикскими отложениями» (Грейсер и др, 1980).

Геологическая карта Ленинградской области с геологическим разрезом и условные обозначения к ним приведены на рис. 1.1. и рис. 1.2 соответственно.

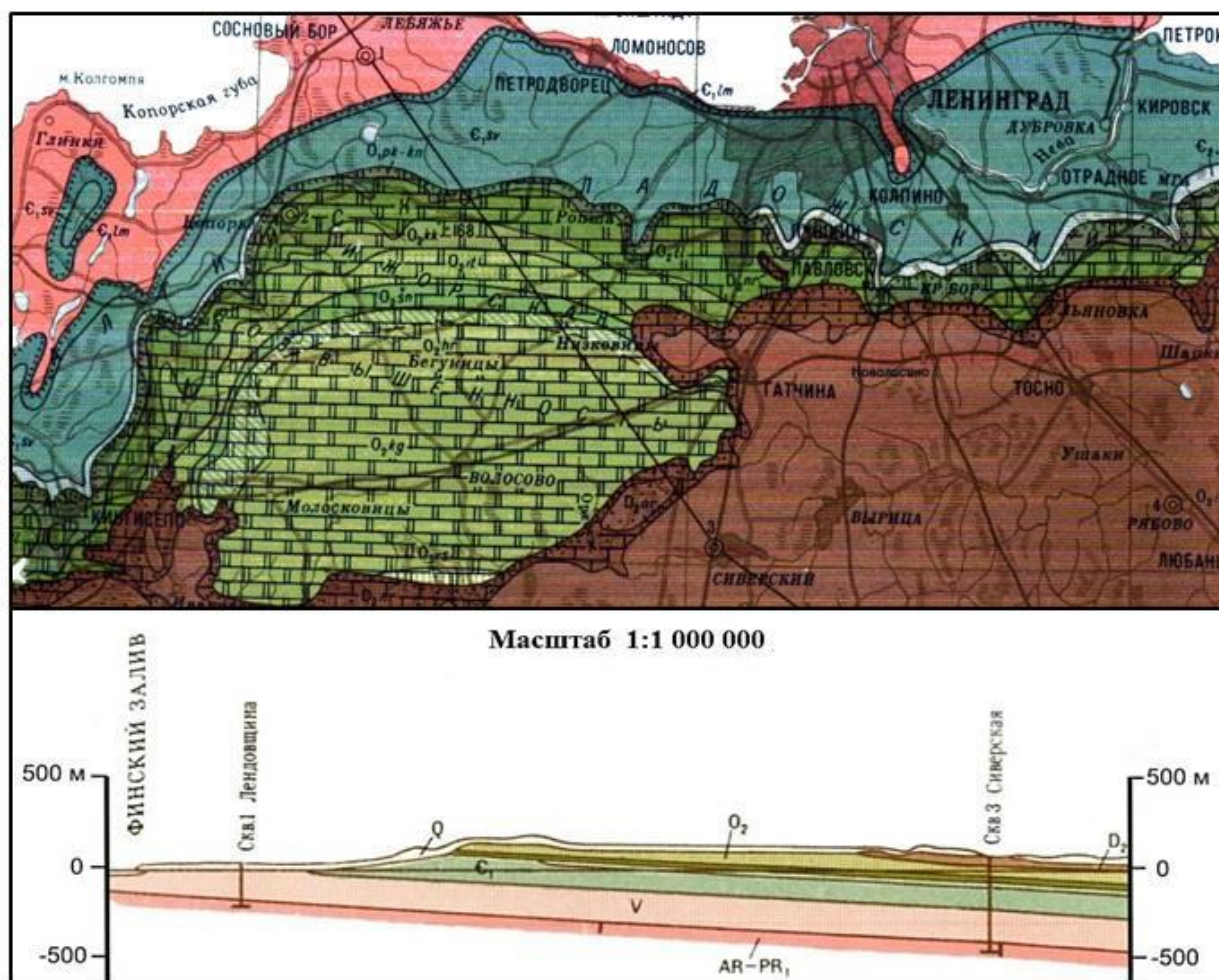


Рисунок 1.1. Фрагмент геологической карты Ленинградской области О-(35), 36



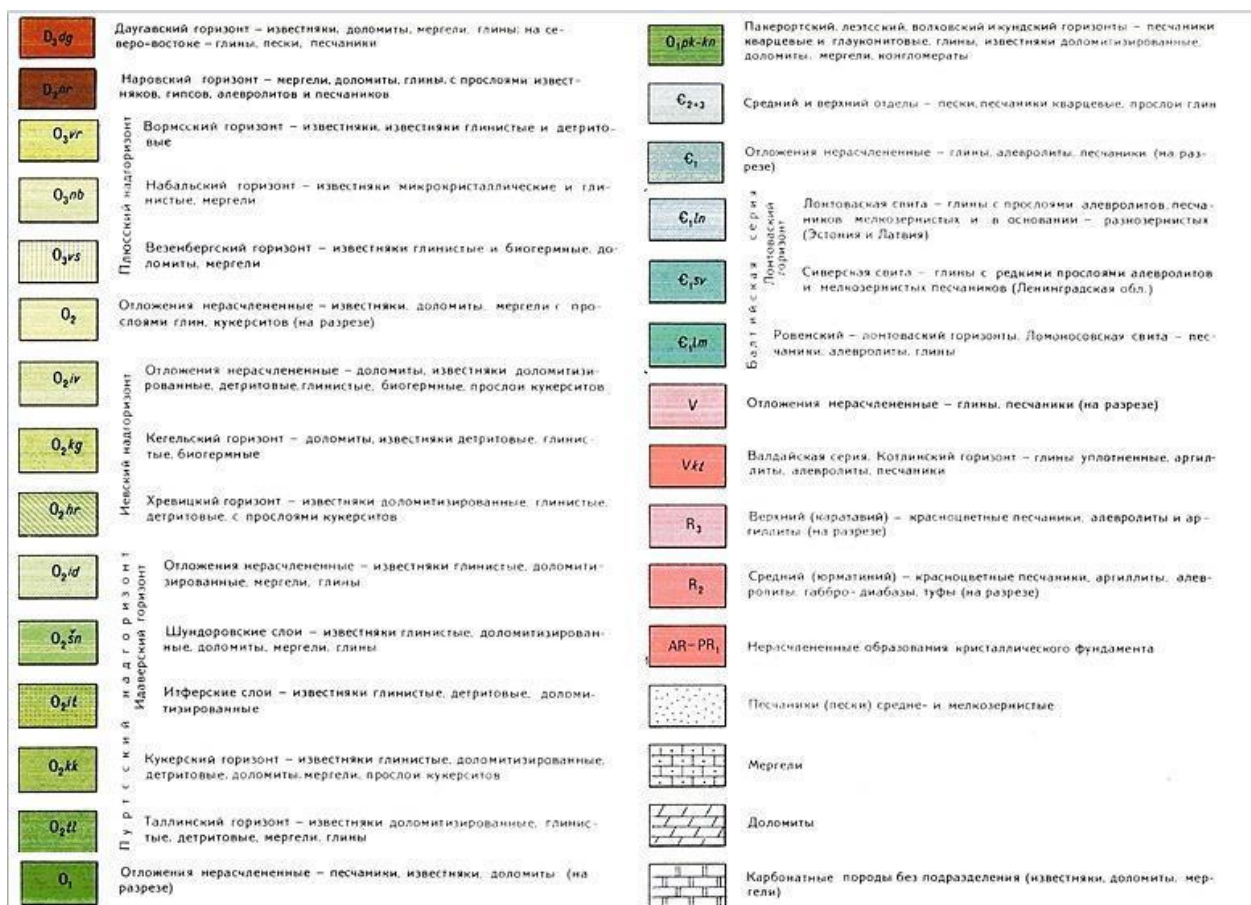


Рисунок 1.2. Условные обозначения к рис.1.1 (Геологическая карта О-(35), 36, 1989)

**Сиверская (Лонтовасская) свита (C<sub>1</sub>sw)** представлена толщей синих пластичных глин мощностью до 115 м (Лебедев, 2006). К северо-западу, в районе южного побережья Финского залива и в районе г. Санкт-Петербурга кембрийские глины выклиниваются. А на юго-восток погружаются под более молодые нижнепалеозойские терригенные отложения. Глины сиверской свиты являются наиболее древними среди нижнекембрийских отложений. «Синие» глины тонкодисперсные, однородные, не слоистые, иногда с прослоями и линзами светло-серых тонко- и мелкозернистых песчаников и алевролитов (Лобанов, 1976). Состав глины гидрослюдистый, реже монтмориллонитовый (Дронов и др., 1998).

**Саблинская свита (C<sub>2</sub>sb).** «Сложена свита кварцевыми, в отдельных прослоях полевошпатово-кварцевыми, мелкозернистыми, косо- и горизонтально-слоистыми уплотненными песками, иногда с линзами кремнистых и карбонатных песчаников. Местами, чаще в низах разреза, присутствуют маломощные линзовидные прослой глины и алевролитов. Мощность саблинской свиты – 10-17 м» (Ефремова, 2017).

**Ладожская свита (C<sub>3</sub>ld).** «Ладожская свита распространена в приглинтовой полосе от р. Ижора на западе до р. Сясь на востоке. Залегают свита с размывом на саблинской и с размывом же перекрывается оболочными песчаниками тосненской свиты пакерортского

горизонта нижнего ордовика. Границы свиты отчетливые, маркируются более грубозернистыми песчаниками в основании, где содержатся фосфатные стяжения. В целом пески и песчаники с обломками и створками беззамковых брахиопод преобладают в разрезе свиты. Глины и глинистые алевролиты обычно переслаиваются с более светлыми песчаниками. Мощность ладожской свиты – 1,2 м» (Балахонова, 2014).

Ордовикские отложения включают пакерортский (O1pk), волховский (O1vl), кундский (O1kd) и таллинский горизонты (O2tl). Пакерортский горизонт в нижней части представлен оболочными песками и песчаниками мощностью от 3 до 5 м (тосненская свита), а в верхней – черными диктионемовыми сланцами мощностью около 1 м (копорская свита).

**Тосненская свита (O1ts).** «Тосненская свита представлена средне-мелкозернистыми светло-коричневыми кварцевыми косослоистыми песками, в подошве с «карманами», глубиной до 10 см, заполненными фосфатными гальками и оболочным детритом. В разрезе наблюдаются детрит и раковины беззамковых брахиопод *Obolus*. Мощность свиты в среднем 2,5-3 м» (Балахонова, 2014).

**Копорская свита (O1kp).** Породы представлены аргиллитами и алевролитами черного и серовато-черного цветов, иногда с коричневым или шоколадным оттенками. Аргиллиты и алевролиты очень тонкозернистые, состоят из зерен кварца и слюды. Мощность копорской свиты – от 5 см (Саблино) до 6 м (с. Копорье). Нижняя граница пород согласная, поскольку в верхней части подстилающей тосненской свиты появляются линзовидные тонкие прослои аргиллитов. Верхняя граница неровная, со следами размыва. В кровле копорских аргиллитов наблюдаются отдельные карманы и борозды размыва. С учетом согласной границы пород тосненской и копорской свит, их выделяют в пакерортский горизонт. Породы копорской свиты, содержащие комплексы граптолитовой и конодонтовой фауны, соответствуют тремадокскому ярусу нижнего ордовика (Дронов, 1998).

«Пакерортский горизонт вместе с пиритаской и ижорской свитами кембрийской системы образуют кембро-ордовикскую толщу песков и песчаников мощностью в среднем 20 м, которая от вышележащих пород отделена диктионемовыми сланцами» (Лобанов, 1976).

На Пакерортском горизонте залегает **Беллингенский горизонт**, который включает **Лезтесскую свиту (O1lt)**. Лезтесская свита представлена глауконитовыми глинами, песками и мергелями. Мощность свиты - 0,7 м. Присутствие минерала глауконита придает породам светло-зеленую или темно-зеленую окраску. В нижней части свиты преобладают грубозернистые песчаники, перемежающиеся в средней части с прослоями глин. В верхней части преобладают глинисто-карбонатные породы - мергели. Прослои мергелей

имеют линзовидную форму и не выдержаны по простиранию. Контакт с перекрывающими доломитизированными известняками согласный. Породы лезтсеской свиты соответствуют аренигскому ярусу нижнего ордовика по находкам и беззамковых и замковых брахиопод, трилобитов, граптолитов и др. (Кузнецов, Селиванов, 1940).

Волховский, Кундский и Таллинский горизонты образуют карбонатную толщу ордовикской системы общей мощностью около 20 м (Лобанов, 1976).

**Волховская свита (O<sub>1v</sub>l).** «Отложения свиты мощностью 2-7 м распространены повсеместно и залегают на лезтсеских с резким контактом, обусловленным литологическими различиями. В стратотипическом разрезе на р. Волхов породы свиты сложены переслаиванием плотных тонко- и толстоплитчатых в разной степени доломитизированных и глинистых известняков, обогащенных глауконитом, количество которого уменьшается вверх по разрезу. Характерны бугристые поверхности напластования известняковых прослоев. Породы волховской свиты содержат разнообразную фауну брахиопод, трилобитов, криноидей, мшанок. Возраст свиты оценивается как аренигский ярус нижнего ордовика» (Ефремова, 2017).

**Кундаский горизонт (O<sub>2</sub>kn).** «Отложения распространены повсеместно. Их мощность составляет 5 - 9 м, увеличиваясь на юго-восток. На большей части территории в пределах Ордовикского плато горизонт представлен мелко- и тонкозернистыми, в различной степени доломитизированными и глинистыми известняками с тонкими прослоями глин. Общая мощность волховского и кундского горизонтов – 7-16 м» (Ефремова, 2017).

**Таллинский горизонт (O<sub>2</sub>tl)** «сложен доломитизированными глинистыми известняками, иногда органогенно-обломочной структуры, известковистыми доломитами с прослоями мергелей и глин, мощностью 12-15 м» (Ефремова, 2017).

**Девонские отложения** в составе **наровской и арукюлаской свит** среднего отдела «залегают на неравномерно денудированной поверхности карбонатных пород ордовика от медниковской до елизаветинской свит. Повсеместно в основании девонского разреза распространены серые, зеленовато-серые и фиолетово-бурые мергели, доломиты, алевролиты и глины наровской свиты мощностью от 10 до 22 м (в зависимости от особенностей подстилающего рельефа). На них без видимого перерыва ложатся преимущественно красно-бурые, мелко- и разномзернистые песчаники арукюлаской свиты, включающие прослои и линзы разноцветных глин, алевролитов и мергелей. Неполная мощность свиты превышает 30 м» (Агафонова, 2017).

«Четвертичные отложения выражены мореной и элювиально-делювиальными образованиями. Морена представлена желто-бурыми и бурыми валунными суглинками, а

также красновато-бурыми песчанистыми суглинками мощностью от 2 до 5 м. Морена повсеместно распространена на равнине вокруг Дудергофских высот и покрывает днища впадин, расположенных внутри высот. На крутых склонах, а также на вершинах и пологих склонах высот, выше 130 м, покров морены отсутствует. Но всюду здесь рассеяны валуны и глыбы кристаллических пород, что свидетельствует о бывшем здесь покрове морены, впоследствии размытой»

«Элювиально-делювиальные отложения образуют шлейф у подножия Дудергофских высот, покрывают их структурную террасу высотой 120-125 м, а также окружают Кавелахтинскую и Перякюльскую гряды. В своем типичном развитии они представлены несортированной обломочной породой, состоящей из равномерно распределенных угловатых обломков ордовикских известняков размером до 10 см (редко небольших валунов) кристаллических пород, содержащихся примерно в равных количествах, а вместе составляющих не менее 50% объема данных отложений. Заполнителем в них является желтовато-бурый мергельный суглинок, в котором карбонаты составляют 30-33%. По сложению эти породы сходны с мореной. Однако морена от элювиально-делювиальных образований отличается окраской, отсутствием (или малым количеством) обломков известняков, а в ее заполнителе карбонаты составляют не более 12-15%, т.е. в 2 раза меньше.

По данным наблюдений разрезов в дренажных канавах и буровых скважин установлено, что элювиально-делювиальные образования в нижней части склонов залегают на ордовикских известняках, а с удалением от поднятий в стороны прилегающих равнин они последовательно перекрывают ленточные пески и суглинки, залегающие на морене, а затем ложатся непосредственно на морену.<...>

Приведенное описание состава, строения и стратиграфического отношения элювиально-делювиальных отложений показывает, что образовались они за счет размыва морены, сплошь покрывавшей Дудергофские высоты, и ордовикских известняков (начиная с таллинского горизонта), подстилавших морену, так же как они ее подстилают сейчас на прилегающих равнинах» (Лобанов, 1976).

#### **1.4. Гидрогеологические условия**

Геологическое строение Ордовикского плато, равнинный характер его поверхности с наличием бессточных понижений и карстовых воронок, а также избыточное увлажнение создают здесь, благоприятные условия для инфильтрации атмосферных осадков и формирования водоносных горизонтов.

По данным разрезов буровых скважин в исследованном районе можно выделить пять водоносных горизонтов.

1) горизонт грунтовых вод комплекса ледниковых отложений

Первый от поверхности водоносный горизонт приурочен к песчаным линзам и прослоям, встречающимся, среди толщи моренных суглинков. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Качество воды по визуальным наблюдениям часто совершенно неудовлетворительно ввиду значительного поверхностного загрязнения.

2) водоносный горизонт карбонатной толщи ордовика,

Карбонатная толща ордовика представлена пластами трещиноватых, закарстованных известняков и реже доломитизированных известняков и доломитов. Водоносный горизонт, приуроченный к карбонатной толще, трещино-пластовый, безнапорный и залегает неглубоко от поверхности земли. Подземные воды карбонатной толщи ордовика имеют большое количество значительных выходов на поверхность в виде единичных и групповых источников и ключей. Такие выходы наблюдаются вдоль подножий глинта у северных границ района исследований, а также по долинам рек, вдоль восточных и южных границ и наконец значительные источники встречаются в пределах местных понижений, на территории плато. К числу последних относятся такие мощные выходы как Таицкие, Орловские, Демидовские и другие ключи: Рассматриваемый водоносный горизонт распространен повсеместно в пределах исследованного района, однако мощность и водообильность его заметно меняются в направлении падения пластов карбонатной толщи, т. е. с северо-северо-запада на юго-юго-восток. Так, например мощность водоносной толщи известняков в районе пос. Ропши и г. Можайского, расположенных в пределах глинта, составляет всего 10—15 м в то время как далее на юг в пос. Тайцы она достигает 37—40 м, а еще южнее в пос. Сиверский 54 м и более. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков.

3) водоносный горизонт песчаной толщи кембро-ордовика,

Третий водоносный горизонт — кембро-ордовикский - приурочен к пескам и песчаникам нижнего ордовика и кембрия.

В связи с непостоянством распространения диктиоменовых сланцев водоносный горизонт кембро-ордовика имеет гидравлическую связь с водами карбонатной толщи ордовика, что подтверждается почти одинаковым положением статических уровней воды обоих горизонтов. Подстиляется кембро-ордовикский водоносный горизонт мощной толщей синих кембрийских глин. Воды кембро-ордовикских отложений напорные,

пластово-сводового, а местами трещинного типа. Глубина залегания водоносного горизонта составляет в г. Можайском 30 м, а в пос. Тайцы 32,6 ж. Статические уровни располагаются соответственно на глубинах 19,5 м и 2,25 м. Основное питание водоносный горизонт получает за счет проникновения вод из карбонатной толщи ордовика. В предглинтовой полосе Силурийского (ордовикского) плато районе пос. Можайской в водоносный горизонт нарушается.

4,5) водоносный горизонт песчаной толщи нижнего кембрия и гдовский водоносный горизонт

По разрезам опорных скважин водоносный горизонт песчаной толщи нижнего кембрия горизонт залегает на глубине 212—269 м, а гдовский — на глубине 321—456 м. Оба эти горизонта содержат воды. повышенной и высокой минерализаций.

Обследование скважин, колодцев, источников, обнажений и поверхностных водоемов в районе г. Можайского и пос. Ропши показало, что здесь в связи с гляциодислокациями условия залегания водоносных горизонтов, а также направление движения потока значительно отличаются от районов, удаленных от глинта. В известняках ордовика мощность водоносного горизонта уменьшается до 10—12 м, а глубина залегания в зависимости от рельефа местности увеличивается до 20—30 м. Аналогичные условия наблюдаются и для кембро-ордовикского горизонта, мощность которого, глубина залегания и напоры заметно изменяются в зависимости от гляциотектоники и рельефа местности. Однако общий характер гидрогеологических условий и основные водоносные горизонты в пос. Можайский не отличаются от удаленных от бровки глинта территорий (Возможность использования подземных вод..., Ленинградский гидрометеорологический центр, 1969).

### ***1.5. Экологическая обстановка в Ленинградской области***

«Ленинградская область – высоко урбанизированная территория. В 19 городах областного и 10 городах районного подчинения проживает почти две трети ее населения. Семь городов области относятся к категории средних (число жителей свыше 50 тыс. чел.): Выборг, Гатчина, Тихвин, Сосновый Бор, Кириши, Волхов, Кингисепп. На территории Ленинградской области находится 217 муниципальных образований. Численность населения составляет 1813,826 тыс. человек.

Для области в силу ее приграничного статуса и стратегического транспортно-логистического потенциала федерального уровня высок удельный вес промышленных и хозяйственных объектов, отнесенных к природоохранной компетенции РФ. Зонами повышенного экологического риска являются, прежде всего, прибрежные

территории. Именно здесь оказывается максимальное влияние на состояние водной среды в результате хозяйственной деятельности, а в последние годы - строительства и рекреационных нагрузок. Эта полоса насыщена промышленным потенциалом и характеризуется высокой плотностью населения. Здесь находятся агломерации Санкт-Петербурга, города Выборг, Сосновый Бор, Ломоносов, Кронштадт, нефтяные портовые терминалы в Высоцке, Приморске, Усть-Луге, трассы продуктопроводов, промышленные предприятия и объекты рекреации, а также природные объекты, имеющих статус федеральной собственности (акватории Финского залива, Ладожского озера), в связи с этим они являются объектами наблюдения одновременно нескольких систем мониторинга

Аэротехногенное загрязнение в области – умеренное и носит локальный характер, в основном, является проблемой для промышленных, горнодобывающих и перерабатывающих центров. К основным негативным тенденциям относятся: увеличение вклада в загрязнение воздушной среды за счет автотранспорта; сохранение проблемы трансграничных переносов загрязняющих веществ. Кроме переноса загрязняющих веществ на территорию Ленинградской области с западного направления (Эстония, Финляндия), выявлен значительный перенос примесей с территории Санкт-Петербурга.

Наиболее крупные и используемые реки Нева, Нарва, Луга, Сясь, Волхов, Свирь, Вуокса. На крупных реках и их притоках качество воды менялось за последние годы в широком диапазоне – от «слабо загрязненной» (II класс) до «грязной» (IV класс). Качество вод в большинстве поверхностных водных объектах соответствует III классу качества разряд «а» («загрязненные»). Для значительного числа водотоков с малым расходом воды наблюдаются повышенные уровни санитарно-бактериального загрязнения, особенно часто в поясе агломерации Санкт-Петербург – Ленинградская область. Состояние Ладожского озера существенно улучшилось. Качество вод практически на всей акватории озера соответствует I - II классу качества («условно чистые», «слабо загрязненные»).

Зонами повышенного экологического риска являются, прежде всего, прибрежные территории. Именно здесь оказывается максимальное влияние на состояние водной среды в результате хозяйственной деятельности, а в последние годы - строительства и рекреационных нагрузок. Эта полоса насыщена промышленным потенциалом и характеризуется высокой плотностью населения. Здесь находятся агломерация С-Петербурга, города Выборг, Сосновый Бор, Ломоносов, Кронштадт, портовые и нефтяные портовые терминалы в Выборге, Высоцке, Приморске, Лужской губе, трассы продуктопроводов, промышленные предприятия и объекты рекреации. Некоторые отрасли (химическая и нефтехимическая промышленности) - являются потенциально опасными и требуют особых условий защиты объектов окружающей среды. В

Ленинградской области сосредоточены предприятия - источники повышенной радиационной опасности. К их числу относятся Ленинградская АЭС, комплекс экспериментальных энергетических реакторов ФГУ «НИТИ им. А.П. Александрова» и ряд других. В 2017 году завершена работа по радиационно-гигиенической паспортизации организаций и территории Ленинградской области. На территории Ленинградской области радиационная обстановка в целом остается стабильной и практически не отличается от предыдущих лет наблюдения.

Радиационный фон на территории Ленинградской области находится в пределах 0,05-0,29 мкЗв/ч, что соответствует многолетним среднегодовым значениям природного радиационного фона. Радиационных аварий и происшествий, приведших к облучению населения, в Ленинградской области не зарегистрировано. Для области в силу ее приграничного статуса и стратегического транспортно логистического потенциала федерального уровня высок удельный вес промышленных и хозяйственных объектов, отнесенных к природоохранной компетенции федеральных органов исполнительной власти РФ. Кроме этого, характерно наличие значительной площади природных объектов, имеющих статус федеральной собственности (акватории Финского залива, Ладожского озера), в связи с этим они являются объектами наблюдения одновременно нескольких систем мониторинга.

По результатам контрольно-надзорных мероприятий в 2017 году выявлено 1616 свалок, по итогу 2016 года оставалось не ликвидировано - 1210 свалок. Таким образом, за отчетный период с нарастающим итогом выявлено 2826 мест несанкционированного размещения отходов общим объемом 1 992 762,0 м<sup>3</sup>. ликвидировано на конец года 1169 свалок, неликвидированными остаются 1657 свалок» (Доклад «Об экологической ситуации..., 2018) .



## 2. Обзор результатов ранее опубликованных работ

Ранее сотрудники и студенты Института наук о Земле СПбГУ проводили исследования распределения и содержания ЕРН в диктионемовых сланцах. В разные годы были опробованы обнажения по берегам рек Тызва, Копорка, обнажения в п. Ульяновка, п. Перекуля, г. Павловске, п. Войсковро и в с. Копорье.

Анализ проб на эффективную активность (Аэфф) естественных радионуклидов проводили в исследовательской лаборатории отдела радиационной гигиены ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» на гамма-спектрометре «РАДЭК». Единство методики отбора, пробоподготовки и обработки проб позволяет нам сравнить полученные результаты.

### **Результаты опробования обнажения на реке Тызва (Борисова и др., 2017)**

Река Тызва протекает в Пушкинском районе Ленинградской области.

Мощность диктионемовых сланцев достигает 1, 4 м.

Пробоотбор производился на обнажении в левом борту реки. Было заложено три профиля. Отобраны 12 проб аргиллитов (диктионемовых сланцев).

Результаты анализа показали крайне неравномерное распределение радионуклидов в профилях опробования (по простиранию пласта). Удельная эффективная активность по всему обнажению колеблется от 800 до 4310 Бк/кг.

В первом профиле по уровню удельной эффективной активности 2 пробы аргиллитов в соответствии с нормативами радиационной безопасности (НРБ-99/2009, 2009) относятся к III классу экологической опасности ( $740 < \text{Аэфф} < 1500$  Бк/кг), а 2 – к IV классу ( $\text{Аэфф} > 1500$  Бк/кг). Минимальное и максимальное значение удельной эффективной активности проб равно 800 и 3780 Бк/кг.

Во втором (среднем) профиле, отстоящем от первого всего на 0,5 м все 4 пробы относятся к III категории экологической опасности при существенно меньшем разбросе минимального и максимального значений активности от 1300 до 1420 Бк/кг.

В третьем профиле характер распределения радиоактивных элементов по мощности пласта очень похож на тот, который наблюдается в первом профиле: по 2 пробы III и IV классов экологической опасности при минимальном и максимальном значении эффективной активности проб 790 и 4310 Бк/кг.

Был рассчитан коэффициент вариации Аэфф по всем 12 пробам аргиллитов. Его величина 66% соответствует крайне неравномерному характеру распределения исследуемых элементов в пласте диктионемовых сланцев.

По результатам исследований выявили следующие закономерности.

Суммарная удельная эффективная активность радионуклидов у подошвы пласта составил в среднем 3130 Бк/кг. При приближении к кровле пласта Аэфф уменьшается до 830 Бк/кг. Таким образом в направлении от подошвы к кровле пласта порода постепенно переходит из IV категории экологической опасности ( $1500 < A_{эфф} < 409$  Бк/кг), в третью ( $740 < A_{эфф} < 1500$  Бк/кг).

Определяет подобную закономерность радий, который вносит основной вклад в радиоактивность.

Был произведен пересчет на массовые доли содержания урана, тория и калия. В среднем содержания естественных радионуклидов составили: U = 128 г/т, Th = 10 г/т, калий 4,5%. Для сравнения отметим, что кларк массовых долей содержания ЕРН в сланцах для урана, тория и калия равен 3,6 г/т, 10,3 г/т и 2,8%, соответственно (Грейсер и др., 1980).

Выход на дневную поверхность в долине р. Тызва согласно НРБ-99 отнесли к зоне чрезвычайной экологической опасности.

**Результаты опробования обнажений в п. Ульяновка, п. Перекуля, г. Павловске, п. Войскорово и в с. Копорье (Ефремова, Лебедев, 2017)**

Было исследовано 5 обнажений диктионемовых сланцев, находящихся в п. Ульяновка, п. Перекуля, г. Павловске, п. Войскорово и в с. Копорье.

На каждом обнажении отбирались пробы диктионемовых сланцев и контактирующих с ними почв и производили замеры уровня радиации (мкР/ч) с помощью цифрового широкодиапазонного дозиметра ДРГ-01Т1 в режиме работы «Измерение» при относительной погрешности  $\pm 15\%$ . Измерения осуществляли в воздухе над каждой точкой опробования на расстоянии 15-20 см от пласта породы.

Наиболее высокие значения эффективной удельной активности отмечены в п. Перекуля и в с. Копорье. При этом основной вклад ( $\sim 90\%$ ) в радиоактивность диктионемовых сланцев вносит радий – продукт распада урана.

Закономерности распределения радионуклидов сходны с результатами исследования обнажения на реке Тызва. Максимальные содержания  $^{226}\text{Ra}$  более характерны для ближайших к подошве слоев (Копорье, Павловск, Перекуля). Содержание  $^{40}\text{K}$ , наоборот, увеличивается от подошвы к кровле пласта во всех исследованных обнажениях (кроме п. Перекуля). Закономерность в распределении тория не обсуждается ввиду его малых содержаний.

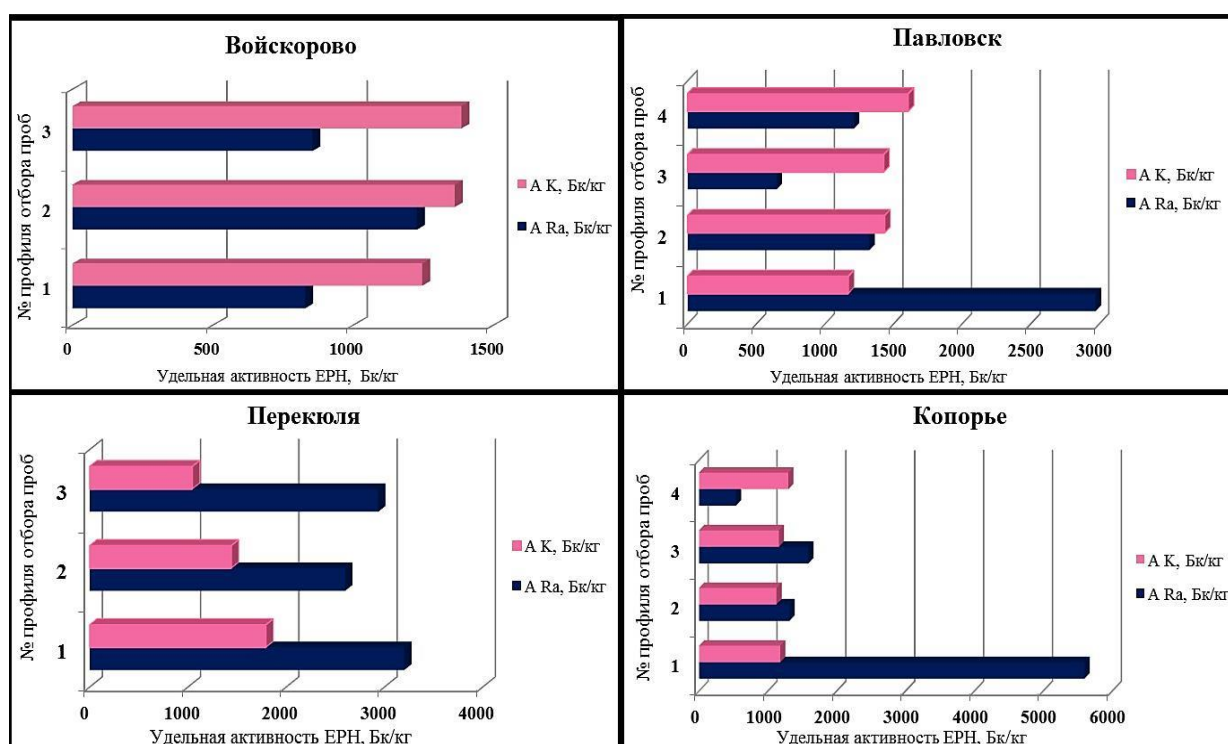
Для того, чтобы оценить дозовую нагрузку, создаваемую диктионемовыми сланцами, на каждом обнажении производились замеры мощности экспозиционной дозы (мкР/ч). Максимальные значения для каждого из участков составили: п. Ульяновка – 80 мкР/ч; п. Войскорово – 110 мкР/ч; г. Павловск – 100 мкР/ч; д. Перекуля – 350 мкР/ч; с. Копорье – 150 мкР/ч.

Таким образом, полученные величины мощности экспозиционной дозы превышают нормативные показатели (ОСПОРБ-99/2010) от 1,5 до 11 раз на всех исследуемых участках.

Значения эквивалентной дозы, рассчитанные по величинам МЭД, составили в среднем: п. Ульяновка – 6 мЗв/год; п. Войскорово – 8 мЗв/год; г. Павловск – 7 мЗв/год; д. Перекуля – 23 мЗв/год; с. Копорье – 9 мЗв/год.

Была проведена оценка наследования почвой урана из диктионемовых сланцев. Процент наследования для Копорья – 10 %; Перекуля – 32 %; Павловска – 11 %; Войскорово – 12 %; Ульяновки – 46 %. В образцах почв со всех исследуемых участков содержания урана превышает нормативный показатель от 1,5 до 15 раз (норматив - 5 мг/кг) (Водяницкий, 2011).

Производились замеры мощности экспозиционной дозы. Максимальные значения для каждого из участков составили: п. Ульяновка – 80 мкР/ч; п. Войскорово – 110 мкР/ч; г. Павловск – 100 мкР/ч; д. Перекуля – 350 мкР/ч; с. Копорье – 150 мкР/ч. Степень облучения населения на участках выхода диктионемовых сланцев на данной территории



2.1. Диаграммы распределения ERN в толще диктионемовых сланцев

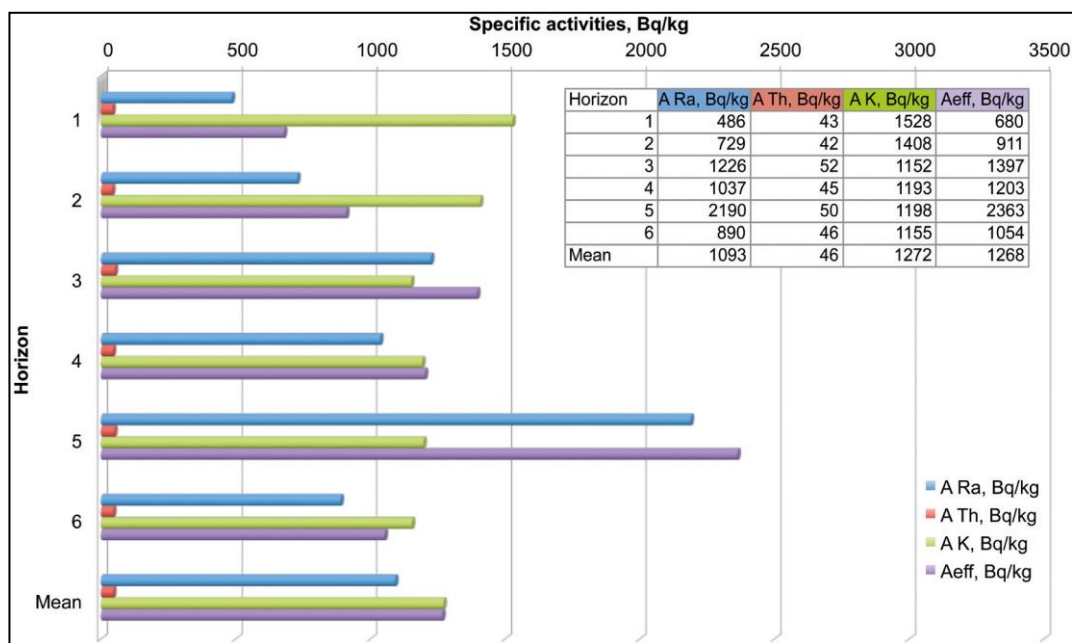
повышенная ( $> 5$  мЗв/год) и высокая ( $> 10$  мЗв/год).

### Результаты опробования обнажений на р. Копорка и р. Тосна и Саблинка (Лебедев и др., 2018)

В долине реки Копорка мощность диктионемовых сланцев составляет 5,5 м. Были отобраны 24 пробы с шести уровней с интервалом 0,7 м. Максимальное значение эффективной удельной активности ЕРН зафиксировали на пятом уровне (ближе к подошве толщи) и составило 3750 Бк/кг. Выше по разрезу значение Аэфф снижалось и достигало у кровли толщи 680 Бк / кг. Таким образом, согласно НРБ-99 по мере приближения к кровле пласта порода постепенно переходит из IV категории экологической опасности ( $1500 < \text{Аэфф} < 4090$  Бк / кг) в III категорию экологической опасности ( $740 < \text{Аэфф} < 1500$  Бк / кг), а затем во II ( $740 < \text{Аэфф} < 370$  Бк / кг). Как ранее было сказано, основной вклад в радиоактивность диктионемовых сланцев вносит радий, удельная активность которого увеличивается к подошве толщи. Удельная эффективная активность калия, напротив, увеличивается у кровли толщи. Это подтверждает ранее описанные исследования.

Среднее значение Аэфф для 24 образцов составило 1270 Бк / кг.

Пересчет в массовые доли показал, что среднее содержание урана достигает 90,7 г/т, тория 11,4 г/т и калия 4,1 %.



2.2. Распределение Ra, K и Аэффразрезе в долине р. Копорка

В долинах рек Тосна и Саблинка мощность диктионемовых сланцев составляет 15-20 см. Пробы здесь отбирали на расстоянии 1-2 м друг от друга.

В среднем Аэфф аргиллитов составила  $2080 \pm 480$  Бк / кг. Согласно нормативам породы относятся к III-IV категориям экологической опасности (Аэфф от 740 до 4090 Бк / кг).

Пересчет в массовые доли урана и тория показал, что в среднем содержание урана составило  $150 \pm 40$  г/т, а тория -  $16 \pm 6$  г/т (коэффициент вариации составляет 26 и 35% соответственно).

Таким образом, место выхода сланца обнажено в долинах рек Тосна и Саблинка, несмотря на их небольшую толщину, представляют особую радиоэкологическую опасность.

### 3. Методика и техника радиационного обследования территорий

#### 3.1. Распространение естественных радиоактивных элементов в горных породах

«К числу естественных радионуклидов (ЕРН), представляющих интерес для радиометрии, относятся уран (U), торий (Th) и калий (K). Изотопы тяжелых элементов –  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  – испытывают сложные превращения, образуя урановый, актиноурановый и ториевые ряды, или семейства, включающие до 15-18 членов.

Из дочерних продуктов распада уранового ряда отметим радий и радон (радиоактивный газ, представляющий большую опасность для здоровья человека). Подавляющая часть U и Th находится в рассеянном состоянии: в горных породах, водах, растениях, живых организмах. А калий входит в состав некоторых минералов в довольно больших количествах (например, глауконит).

Наибольшее содержание ЕРН в горных породах наблюдается в кислых (граниты) и щелочных (сиениты) образованиях (табл.1). Содержание U, Th, K уменьшается с повышением основности пород (дуниты, габбро, диориты).

Таблица 1. Массовые доли естественных радионуклидов в основных типах горных пород, % (Лебедев, 2006)

Породы	Массовая доля ЕРН		
	U, г/т <sup>*</sup>	Th, г/т	K, %
Магматические			
Щелочные	7,0	35,0	4,5
Кислые (граниты)	4,8	20,0	2,1
Средние	2,0	8,7	2,4
Основные	1,0	4,0	0,5
Ультраосновные	0,3	0,6	0,1
Осадочные			
Глины и сланцы	3,6	10,3	2,8
Песчаники	2,1	1,7	0,4
Известняки	1,4	1,7	0,3
Гипс	0,1	0,4	0,1
Метаморфические			
Гнейсы	3,3	15,5	3,3
Мраморы	1,2	1,8	0,2
Кварциты	0,5	0,6	0,1
Кларк в земной коре	2,5	13,0	2,5
Кларк в почвах	2,0	6,2	1,2

\*г/т = мг/кг =  $10^{-4}$  %

Среди осадочных пород повышенными концентрациями урана обладают фосфориты (50-300 г/т), бурые угли, битуминозные известняки и глины (бентониты – 5 г/т U и 25 г/т Th). В частности, горючие сланцы, черные углистые сланцы с содержанием U до

100 – 200 г/т являются одним из резервов атомного сырья» (Лебедев, 2006). Активность ЕРН в них составляет по разным оценкам 12–426 Бк/кг для  $^{238}\text{U}$ , 19–1377 Бк/кг для  $^{232}\text{Th}$  и <19–2204 Бк/кг для  $^{40}\text{K}$  (Lee, S. K. и др., 2009; Kiegiel K. и др., 2015; Soesso A., 2012).

«Радиоактивность песчаников меняется в широких пределах в зависимости от исходного материала и минералогического состава зерен. Песчаники обладают повышенной радиоактивностью при наличии в них акцессорных радиоактивных минералов.

Карбонатные породы, как правило, отличаются невысоким содержанием U, Th, K. В еще большей степени это относится к хемогенным осадкам, особенно к каменной соли.

Таким образом, к зонам повышенного радиоактивного риска относятся регионы, где на поверхность Земли выходят граниты, гнейсы, вулканические туфы, фосфориты и другие породы, содержание урана и тория в которых может достигать 100 г/т и более» (Лебедев, 2006).

### ***3.2. Техника и методика измерений***

Если территория не подверглась радиоактивному загрязнению в результате радиационной аварии, испытания атомного оружия в 60-70-х годах прошлого столетия и на ней не добывают полезные ископаемые, радиационный фон территории будет иметь только две составляющие:

1. Гамма-фон за счет космического излучения. На поверхности земли значение этого гамма - фона практически постоянно для конкретной территории. Для средних широт на равнинных территориях величина космического излучения составляет около 0,04 мкЗв/ч, которая формирует дозу примерно равную 0,30 мЗв/год.

2. Гамма-фон за счет излучения, источником которого являются естественные радионуклиды, находящиеся в объектах окружающей среды: в почве на открытой местности, на территории населенных пунктов, в стенах жилых и производственных зданиях. Величина этой составляющей для большинства территорий находится в пределах от 0,05 мкЗв/ч до 0,2 мкЗв/ч.

Для выявления и оценки опасности источников внешнего гамма-излучения проводятся:

- радиационная съемка (определение мощности эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения) – базируется на регистрации ионизирующих излучений геологических объектов;

- радиометрическое опробование с последующим гамма-спектрометрическим или радиохимическим анализом проб в лаборатории (определение радионуклидного состава загрязнений и их активности).

«Маршрутную гамма-съемку территории следует проводить с одновременным использованием поисковых гамма-радиометров и дозиметров. Поисковые радиометры используются в режиме прослушивания звукового сигнала для обнаружения зон с повышенным гамма-фоном. При этом территория должна быть подвергнута, по возможности, сплошному прослушиванию при перемещениях радиометра по прямолинейным или Z-образным маршрутам.

Дозиметры используются для измерения МЭД внешнего гамма-излучения в контрольных точках по сетке, шаг которой определяется в зависимости от масштаба съемки и местных условий. Измерения проводятся на высоте 0,1 м над поверхностью почвы, а также в скважинах, вскрывающих насыпные грунты.

Требования к проведению маршрутной гамма-съемки:

Пешеходная съемка не должна превышать 2,0 км/час.

При проведении измерений в фиксированных точках датчик прибора прикладывается к поверхности земли (асфальтового или другого покрытия) вплотную, при времени измерения не менее 5 секунд.

При обнаружении превышения гамма-фона на 30% от естественного фона необходимо провести тщательное измерение интенсивности излучения в радиусе 5 метров;

температура воздуха должна быть выше 0°C;

снежный покров на обследуемом участке— толщиной не более 10см;

промерзание грунта не должно превышать 10см.

Усредненное, характерное для данной территории числовое значение МЭД, обусловленной естественным фоном; устанавливается местными органами санэпиднадзора. Участки, на которых фактический уровень МЭД превышает обусловленный естественным гамма-фоном, рассматриваются как аномальные. В зонах выявленных аномалий гамма-фона интервалы между контрольными точками должны последовательно сокращаться до размера, необходимого для оконтуривания зон с уровнем МЭД > 0,3 мкЗв/час.

На таких участках с целью оценки величины годовой эффективной дозы должны быть определены удельные активности техногенных радионуклидов в почве и по согласованию с органами Госсанэпиднадзора решен вопрос о необходимости проведения дополнительных исследований или дезактивационных мероприятий.



Все результаты измерений следует заносить в полевые журналы и наносить на карту (схему) распределения мощности доз гамма-излучения, с привязкой контрольных точек к топографическому плану местности» (МУ 2.6.1.2398-08)

### 3.3. Принципы раздельного определения $U$ (Ra), Th, K

«Определение содержания  $q$  радиоактивных элементов в породах и рудах основано на регистрации частоты импульсов  $N$  в оптимальных для искомым элементов энергетических окнах, в каждом из которых удельная интенсивность  $\gamma$ -излучения определяемого элемента является преобладающей (см. рис. 2). При значении  $E_{\gamma} \geq 1,0$  МэВ такими участками являются области фотопиков  $\gamma$ -линий 1,12; 1,76; 2,20 МэВ для U; 2,61 МэВ для Th и 1,46 МэВ для K (рис.3.1).

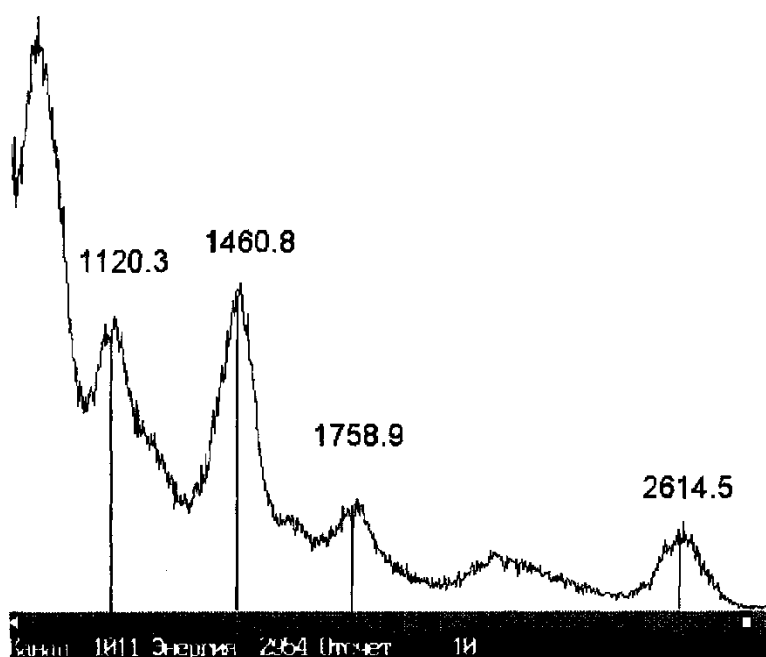


Рисунок 3.1. Пример спектра эталонной пробы (Габитов, 2005)

Число энергетических окон  $n$  равно числу определяемых радионуклидов. В многоканальных  $\gamma$ -спектрометрах (256, 1024 канала) в энергетических границах каждого из  $n$  окон импульсы суммируются.

Так как аналитические линии в спектре урановой руды относятся к  $^{214}\text{Bi}(\text{RaC})$  — продукту распада Ra, то  $\gamma$ -спектрометрия практически во всех модификациях определяет лишь равновесное с радием (точнее с RaC) содержание урана, или  $q_U$  по радю.

В пункте наблюдения в выбранных  $n$  энергетических окнах последовательно или одновременно, в стационарном положении или в движении регистрируют с помощью  $\gamma$ -спектрометра частоту импульсов  $N_i$  и по этим значениям, зная чувствительность  $\gamma$ -спектрометра, вычисляют содержание элемента  $j$  в породе.

Исходные уравнения трехкомпонентной системы (U, Th, K) имеют вид:

$$N_1 = a_{1U}F_{1U}Q_U + a_{1Th}F_{1Th}Q_{Th} + a_{1K}F_{1K}Q_K$$

$$N_2 = a_{2U}F_{2U}Q_U + a_{2Th}F_{2Th}Q_{Th} + a_{2K}F_{2K}Q_K$$

$$N_3 = a_{3U}F_{3U}Q_U + a_{3Th}F_{3Th}Q_{Th} + a_{3K}F_{3K}Q_K$$

где  $a_i$  — пересчетные, или градуировочные, коэффициенты ( $c^{-1}$  на 1 % U, Th, K), численно равные частоте импульсов в  $i$ -м окне на единицу содержания элемента  $j$ ; эти коэффициенты находят на моделях или на природных объектах с известным содержанием U (Ra), Th, K;  $F_{ij}$  — функция, учитывающая различие условий измерения частоты импульсов  $N_i$  в пункте опробования и при градуировании  $\gamma$ -спектрометра, ее значения вводят в равенства в виде поправок.

Решение системы уравнений при условии  $F_{ij} = 1$  находят в следующем виде:

$$q_j = A_{1j}N_1 + A_{2j}N_2 + A_{3j}N_3 = \sum_{i=1}^3 A_{ij}N_i,$$

где  $A_{ij}$  — коэффициенты матрицы ( $c \cdot \%$ ), обратной матрице коэффициентов  $a_{ij}$  исходных уравнений, вычисляемые с помощью определителей» (Новиков, 1989).

### 3.4. Радиометр СРП-97

«В радиометрической разведке применяют два класса приборов: радиометры (дозиметры-радиометры) и спектрометры. Радиометры и дозиметры служат для регистрации интегральных параметров поля ионизирующих излучений, спектрометры — для изучения распределения частиц или квантов по энергиям. Показания радиометров используют для *оценки общего уровня радиоактивности* исследуемых объектов, измерения со спектрометрами дают возможность *раздельного определения концентрации радиоактивных элементов*. В исследованиях радиационной обстановки Кирхгофской возвышенности применялся геологоразведочный сцинтилляционный радиометр СРП-97.

Приборы сцинтилляционные геологоразведочные СРП-97 представляют собой измерители мощности экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения. Принцип работы приборов основан на преобразовании энергии гамма-квантов в электрические сигналы с последующим измерением их параметров. Функцию преобразования выполняет сцинтилляционный детектор, состоящий из кристалла NaJ(Tl) и фотоэлектронного умножителя ФЭУ (рис 3.2).

В результате взаимодействия заряженной частицы или  $\gamma$ -кванта с веществом люминофора 1 возникают кратковременные вспышки — сцинтилляции 2, связанные с явлением возбуждения люминофора. Часть световых фотонов через световод 3 попадает на фотокатод 4 ФЭУ и выбивает из него электроны.

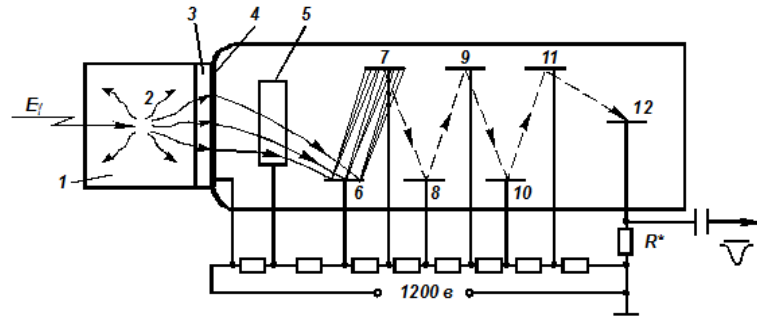


Рис. 3.2. Принципиальная схема сцинтилляционного счетчика

Последние направляются фокусирующей электронной линзой 5 находящиеся под напряжением эмиттеры 6 – 11 или диоды ФЭУ с коэффициентом вторичной эмиссии более 1, что обеспечивает лавинообразное умножение электронов от диода к диоду и появление на аноде 12 электрического импульса, достаточного для регистрации его радиотехнической схемой.

Аналоговые импульсные сигналы, снимаемые с ФЭУ, после усиления отделяются от шумов и преобразуются в последовательность логических сигналов, средняя частота повторения которых пропорциональна измеряемой физической величине. Эта последовательность поступает на измеритель средней скорости счета, показания которого выводятся на стрелочный прибор. Шкала прибора отградуирована в единицах потока  $\gamma$ -излучения ( $\text{с}^{-1}$ ) или единицах мощности экспозиционной дозы ( $\text{мкР/Ч}$ ).

В состав изделий СРП входят пульт и блок детектирования. Соединение пульта с блоком детектирования осуществляется кабелем через разъем. В детекторе используется кристалл размером 30x25 мм и ФЭУ-85.

Диапазон измерения мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения радионуклида  $\text{Ra}^{226}$  от 0 до 309  $\text{мкР/Ч}$ » (Лебедев, 2006).

### 3.5. Назначение и состав комплекса РАДЭК

«Аналитический комплекс РАДЭК предназначен для определения активностей  $\gamma$ -излучающих радионуклидов в пробах почв, горных пород, растительности, воды, продуктов питания, строительных материалов и других веществ с объемным весом от 0.2 до 2.0  $\text{г/см}^3$ , а также  $\beta$ -излучающих радионуклидов в продуктах питания и биологических пробах. Блок-схема комплекса изображена на рис. 4. Основу комплекса составляет персональный компьютер IBM PC с установленной в него платой АЦП или сочлененный с помощью платы сопряжения интерфейсов с многоканальным амплитудным анализатором АМА-ОЗФ. Для анализа проб служат два блока детектирования  $\gamma$ -излучения

(сцинтилляционный БДС-80 и полупроводниковый – ДГДК), а также блок детектирования  $\beta$ -излучения БДС-60. Детекторы помещены в малофоновые чугунные или свинцовые камеры.

При работе с блоками БДС-80 или БДС-60, имеющими встроенные усилители, сигнал сразу поступает на анализатор. Для ППД дополнительно требуются предварительный усилитель ПУГ-1К2, спектрометрический усилитель БУИ-3К, а также высоковольтный блок питания БНВ-31.

Необходимые для работы детекторов и блоков напряжения подаются с сетевого низковольтного блока питания. Для полупроводникового спектрометра блоки БНН-8Ф, БУИ-3К и БНВ-31 конструктивно совмещены в одном корпусе – мини-крейте СУ-01 Ф. Напряжение питания на предусилитель ПУГ-1К2 подается с разъема на лицевой панели усилителя.



3.3. Блок-схема аналитического комплекса РАДЭК (Габитов, 2005)

Устройство отдельных блоков и узлов, их параметры, принцип работы и инструкции по их эксплуатации даны в соответствующих технических описаниях.

Для проведения анализа и обработки результатов измерений с полупроводниковым детектором служит программное обеспечение **Aligas**, для работы с блоками БДС-80 и БДС-60 - **AScinti**. Описание программного обеспечения дано в соответствующих инструкциях по эксплуатации.

В типовом варианте комплекс аттестуется для определения радионуклидов в следующих условиях:

**Блок БДС-80** – определение  $^{238}\text{U}$ ( $^{226}\text{Ra}$ );  $^{232}\text{Th}$ ;  $^{40}\text{K}$ ;  $^{134}\text{Cs}$ ;  $^{137}\text{Cs}$ .

Геометрия: сосуды Маринелли объемом 1 л для плотностей 0.2, 0.9 и 1.7 г/см<sup>3</sup>;

цилиндрические сосуды объемом 250 мл для плотностей 0.2, 0.9 и 1.7 г/см<sup>3</sup>.

**Блок БДС-60** – определение <sup>90</sup>S + <sup>90</sup>Y.

Геометрия: цилиндрические сосуды объемом 40 мл для плотностей 0.9 и 1.7 г/см<sup>3</sup>.

**Полупроводниковый детектор** – определение  $\gamma$ -излучающих радионуклидов.

Геометрия: сосуды Маринелли объемом 1 л для плотностей 0.2, 0.9 и 1.7 г/см<sup>3</sup>;

цилиндрические сосуды объемом 250 мл для плотностей 0.2, 0.9 и 1.7 г/см<sup>3</sup>,

пластиковые сосуды объемом 50 мл,

точечный источник на расстоянии 50 - 100 мм от верхней крышки криостата детектора» (Габитов, 2005).

### ***3.6. Нормативные материалы, используемые при радиоэкологических исследованиях***

Исследование и оценка радиационной обстановки является обязательным видом экологических исследований, независимо от величины территории, масштаба и значения строящихся объектов.

Оценка радиационной обстановки выполняется на основании: Федерального Закона «О радиационной безопасности населения», 1995 г. и Закона РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», 1999 г.; в соответствии с нормами радиационной безопасности НРБ-99 и основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99, а также ведомственными нормативно-методическими и инструктивными документами Министерства здравоохранения и социального развития РФ, Министерства природных ресурсов РФ, Ростехнадзора и др.

«Требования по обеспечению радиационной безопасности населения распространяются на регулируемые природные источники излучения: изотопы радона и продукты их распада в воздухе помещений, гамма излучение природных радионуклидов, содержащихся в строительных изделиях, природные радионуклиды в питьевой воде, удобрениях и полезных ископаемых» (п.5.1.1.ОСПОРБ-99/2010).

«Органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации планируют и проводят работы по оценке и снижению уровней облучения населения природными источниками излучения. Сведения об уровнях облучения населения природными источниками излучения заносятся в радиационно-гигиенические паспорта территорий.

Относительную степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз от природных источников излучения (п.5.1.2.ОСПОРБ-99/2010):

«Степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз облучения от всех основных природных источников излучения:

- менее 5 мЗв/год - приемлемый уровень облучения населения от природных источников излучения;

- свыше 5 до 10 мЗв/год - облучение населения является повышенным;

- более 10 мЗв/год - облучение населения является высоким».

«При выборе участков территорий под строительство жилых домов и зданий социально-бытового назначения предпочтительны участки с гамма-фоном, не превышающим  $0,3 \text{ мкГр/ч}$  ( $=0,3 \text{ мкЗв/ч}$ ) и плотностью потока радона с поверхности грунта не более  $80 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

При отводе для строительства здания участка с плотностью потока радона более  $80 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  в проекте здания должна быть предусмотрена система защиты от радона (монолитная бетонная подушка, улучшенная изоляция перекрытия подвального помещения и др.). Необходимость радонозащитных мероприятий при плотности потока радона с поверхности грунта менее  $80 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  определяется в каждом отдельном случае по согласованию с органом государственной санитарно-эпидемиологической службы» (п.5.1.6. ОСПОРБ-99/2010).

«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  $\text{ЭРОA}_{\text{Rn}+4,6} \cdot \text{ЭРОA}_{\text{Tn}}$  не превышала  $100 \text{ Бк}/\text{м}^3$ , а мощность эффективной дозы гамма-излучения не превышала мощность дозы на открытой местности более чем на  $0,2 \text{ мкЗв/ч}$ » (п. 5.3.2. НРБ-99/2009).

«В эксплуатируемых зданиях среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе жилых помещений не должна превышать  $200 \text{ Бк}/\text{м}^3$ . При более высоких значениях объемной активности должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений. Защитные мероприятия должны проводиться также, если мощность эффективной дозы гамма-излучения в помещениях превышает мощность дозы на открытой местности более чем на  $0,2 \text{ мкЗв/ч}$ » (п.5.3.3. НРБ-99/2009).

Согласно НРБ-99/2010 «Для обеспечения радиационной безопасности населения и работников организаций и планирования видов и объема радиационного контроля при обращении с материалами вводится следующая их классификация:

- для материалов, используемых в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях (I класс):

$A_{эфф} \leq 370 \text{ Бк/кг}$ ;

- для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений (II класс):

$A_{эфф} \leq 740 \text{ Бк/кг}$ ;

- для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (III класс):

$A_{эфф} \leq 1500 \text{ Бк/кг}$ ;

При  $1500 \text{ Бк/кг} < A_{эфф} \leq 4000 \text{ Бк/кг}$  (IV класс) вопрос об использовании материалов решается в каждом случае отдельно на основании санитарно-эпидемиологического заключения федерального органа исполнительной власти, уполномоченного осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор. При  $A_{эфф} > 4000 \text{ Бк/кг}$  материалы не должны использоваться в строительстве».

**Основными источниками радиоактивного загрязнения** «окружающей среды служат ядерно-технические установки, предприятия, работающие с радионуклидами, хранилища радиоактивных отходов, следы ядерных взрывов и др.» (Ольховатенко, Чернышова, 2016).

«Радиоактивными загрязнителями являются техногенные радионуклиды (ТРН), аккумулирующиеся на участках захоронений, санкционированных и несанкционированных свалок, аварий, неконтролируемых протечек и газоаэрозольных выбросов, поступающие в почвы, грунты и грунтовые воды непосредственно на территории строительства или в процессе миграции с прилегающих территорий.

Радионуклидный состав загрязнений грунтов зависит от источника загрязнений, способа их поступления в грунты (поверхностное, с грунтовыми водами, из подземных захоронений) и сорбционных свойств грунтов. Глубина проникновения радионуклидов с поверхности на легких грунтах – до 50-100 см; основное количество техногенных радионуклидов сосредоточено в верхнем 10-сантиметровом слое почвы» (СП 11-102-97).

**Степень радиозэкологической безопасности человека**, проживающего на загрязненной территории, определяется годовой эффективной дозой радиоактивного облучения от природных и техногенных источников. При этом доза от техногенных источников согласно НРБ-99/2010 не должна превышать 1 мЗв/год в среднем за любые последовательные 5 лет, что соответствует рекомендации Международной комиссии по радиологической медицине.

Нормальный естественный уровень мощности эквивалентной дозы (МЭД) внешнего гамма-излучения на открытых территориях в средней полосе России составляет от 0,1 до 0,2 мкЗв/час, а в отдельных, например, в предгорных и горных районах – до 0,3 мкЗв/час. При локальных загрязнениях критерии вмешательства при облучениях, дополнительных к естественному фону, принимаются в соответствии с НРБ – 99, приложение П-5.

Согласно «Критериям оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия», пункту 2.5 «Радиационное загрязнение», территории, в пределах которых среднегодовые значения эффективной дозы облучения (сверх естественного фона) находятся в диапазоне 5-10 мЗв/год, необходимо относить к территориям чрезвычайной экологической ситуации, а более 10 мЗв/год — к зонам экологического бедствия.

**«Предварительная оценка радиационной обстановки** должна проводиться по данным специальных служб Росгидромета, осуществляющих общий контроль за радиоактивным загрязнением окружающей среды, а также по материалам центров Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) и территориальных подразделений специально уполномоченных государственных органов в области охраны окружающей среды, осуществляющих контроль за уровнем радиационной безопасности населения» (НРБ-99/10).



## 4. Результаты исследований

### 4.1. Радиоактивность диктионемовых сланцев бровки Балтийского глинта

Для оценки содержания и характера распределения естественных радионуклидов по мощности и простираению пластов диктионемовых сланцев и оценки их потенциального влияния на радиозэкологическую обстановку в районе Балтийско-Ладожского уступа в пределах территории Ленинградской области было описано 13 разрезов, включающих копроскую свиту. Территориально 9 разрезов располагаются в пределах западного участка исследований (от р. Кихтолка на востоке до урочищ Гостилово и Горбовское на западе) и 4 разреза в пределах восточного участка исследований (от р. Назия до р. Лава).

Производились измерения значений МЭД (мкР/ч) в точке отбора проб и над почвами на расстоянии 0,5 – 1 м от разреза, отбирались пробы непосредственно аргиллитов, а также пород, граничащих с ними (при наличии контакта).

Пробы отбирались при помощи геологического молотка, хранились и транспортировались в полиэтиленовых пакетах. Средний вес одной пробы 0,4 кг.

Пробоотбор вели по одному или двум профилям сверху вниз по разрезу, с интервалом 0,3-0,4 м. Было отобрано 75 проб диктионемовых сланцев и 7 проб почвы.

После того, как пробы диктионемовых сланцев были отобраны, они высушивались, дробились до фракции < 5 мм и расфасовывались в пластмассовые контейнеры объемом 250 мл.

В испытательной лаборатории отдела радиационной гигиены ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» на установке «РАДЭК» был проведен анализ проб на активность ЕРН. Гамма-спектрометр «РАДЭК» отградуирован в единицах активности радионуклидов по образцовым мерам активности радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ . По данным анализов вычислялась эффективная удельная активность пород (Аэфф). Эффективная удельная активность ЕРН (Аэфф) – суммарная удельная активность ЕРН в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на живой организм по формуле (НРБ-99/2009, 2009):

$$\text{Аэфф} = \text{ARa} + 1,31 \cdot \text{ATh} + 0,085 \cdot \text{AK},$$

где ARa, ATh, AK – удельные активности радия, тория, калия соответственно, Бк/кг.

Пересчитывали на массовые доли содержания урана, тория и калия по формуле (Беляев и др., 2003):

$$\text{QU} = \text{ARa}/12,04 \text{ ppm}; \quad \text{QTh} = \text{ATh}/4,06 \text{ ppm}; \quad \text{Q} = \text{AK}/313 \%$$

Ниже приведены описания опробованных разрезов и результаты анализа.

## Западный участок исследований

Западный участок исследований включает в себя 9 разрезов в Кингисеппском и Ломоносовском районах: на р. Кихтолка, притоке р. Систа, в оврагах в урочищах Гостилово и Горбовское. Карта точек наблюдения представлена на рис.4.1.



Рисунок 4.1. Карта точек наблюдения западного участка исследований

### Разрез 1. ТН 01

Точка наблюдения 01 располагается на левом берегу реки Кихтолка (Кингисеппский район). Это самая западная точка в пределах участка исследований.



Рисунок 4.2. Схема опробования в ТН 01



Рисунок 4.3. Схема точек опробования в ТН 07

Мощность копорской свиты составляет 0,4 м. Были отобраны 4 пробы по двум профилям с шагом 0,3 м. Расстояние между профилями также 0,3 м (рис. 4.2).

В соответствии с данными были составлены графики удельной активности и эффективной удельной активности ЕРН для каждого профиля.

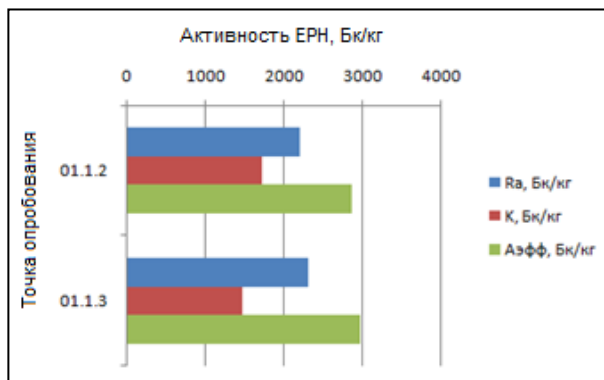


Рисунок 4.4. График распределения Ra, Ки Аэфф по первому профилю

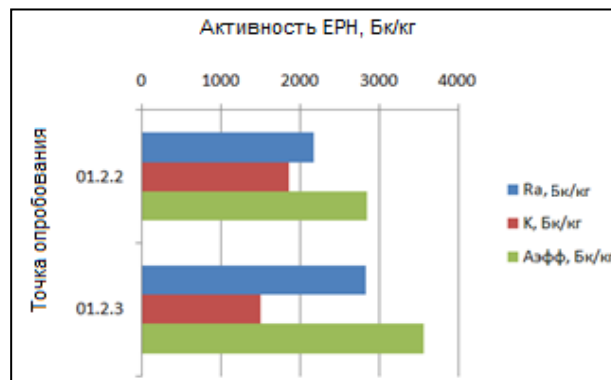


Рисунок 4.5. График распределения Ra, К и Аэфф по второму профилю

Как видно из рис. 4.4, 4.5 распределение ЕРН достаточно однородное для одинаковых уровней, однако ближе к подошве пласта увеличивается удельная активность Ra (от 2180- 2210 Бк/кг у кровли пласта до 2330 -2890 Бк/кг у подошвы) и уменьшается удельная активность  $^{40}\text{K}$  (1730 - 1860 Бк/кг у кровли пласта, 1480- 1500 Бк/кг у подошвы).

## Разрез 2. Т.Н. 07

Точка наблюдения 07 располагается на правом берегу безымянного притока р. Систа в Кингисеппском районе.

Разрез представлен лезтсеской и копорской свитами.

Видимая мощность копорской свиты—3,5 м. Толща представлена 3 зонами. Нижняя зона имеет мощность 0,3 м и представлена аргиллитами черно-бурого цвета. Средняя зона мощностью 1 м представлена переслаиванием аргиллитов и песчаников. Верхняя зона имеет мощность 2,2 м и представлена аргиллитами черно-бурого цвета. Разрез и схема отбора проб представлены на рис.4.3.

По результатам расчета удельной активности ЕРН был построена диаграмма распределения удельной активности ЕРН (рис 4.6).

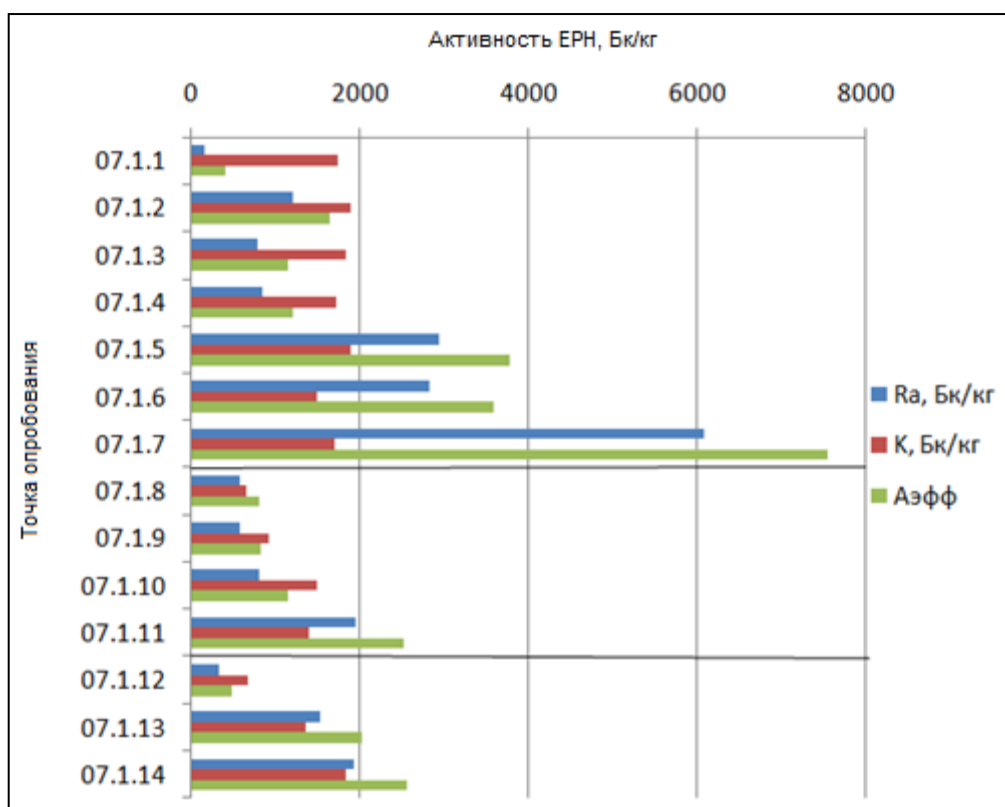


Рисунок 4.6. Диаграмма распределения эффективной удельной активности Ra, КиАэфф, Бк/кг по разрезу

В результате мы видим следующие закономерности. Удельная активность радия не увеличивается постепенно от кровли к подошве пласта, как в ТН 01. Зональность аргиллитов здесь обуславливает иное распределение ЕРН. В первой зоне (на рисунке зоны разделены линиями) удельная активность Ra увеличивается от 153 Бк/кг у кровли пласта до 6080 Бк/кг у подошвы первой зоны. Затем, в начале второй зоны мы наблюдаем резкое уменьшение удельной активности Ra до 570 Бк/кг. Далее, до середины второй зоны на уровне 1,5 м от подошвы пласта удельная активность Ra увеличивается до 1940 Бк/кг (проба 07.1.11). Ниже удельная активность Ra вновь уменьшается – достигает 320 Бк/кг и увеличивается, достигая у подошвы пласта 1920 Бк/кг. Таким образом, по распределению радия также можно выделить 3 зоны, в которых сверху вниз его удельная активность увеличивается (на рисунке зоны разделены линиями). Однако, если первая зона, выделенная по морфологическим признакам, совпадает с первой зоной для радия, то вторая и третья расходятся в уровнях. Как было сказано выше, вторая зона представляет собой переслаивание аргиллитов и песков, что объясняет резкое снижение удельной активности радия. Третья зона располагается у уреза воды, и здесь может играть роль более активное вымывание ЕРН.

Удельная активность калия достаточно однородна в первой зоне и колеблется от 1480 до 1880 Бк/кг. Во второй зоне удельная активность  $K^{40}$  увеличивается сверху вниз от

660 до 1390 Бк/кг. В третьей зоне удельная активность также как и у Ra снижается до 670 Бк/кг и увеличиваясь, достигает у подошвы пласта 1830 Бк/кг. При изучении ранних работ была выявлена закономерность удельной активности калия увеличиваться от подошвы к кровле пласта, однако в данном случае во второй и третьей пачках распределение калия не соответствует общему случаю и увеличивается к подошве пачки.

Здесь, на уровне 4 м от уреза воды (ТО 07.1.7), получено максимальное значение эффективной активности 7530 Бк/кг.

Содержание  $U^{238}$  колеблется в пределах 12 - 492 ppm, Th – 7-18 ppm, K– 2,1-6,0 %.

### Разрез 3.ТН 08

Располагается на правом берег безымянного притока р. Систа, на 30 м ниже по течению от ТН 07.

Разрез представлен контактом тосненской свиты (мощность 0,5 м) скопорской свитой (мощность 1 м). В толще диктионемовых сланцев наблюдаются прослойки спикулитов.



Рисунок 4.7. Схема отбора проб в ТН 08

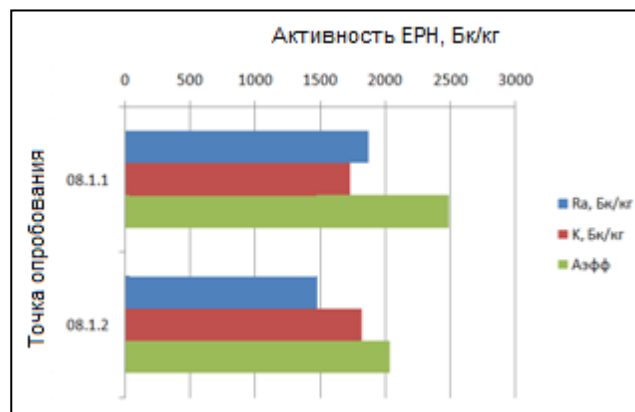


Рисунок 4.7. Диаграмма эффективной удельной активности Ra, K и Аэфф, Бк/кг

На рис. 4.8. мы наблюдаем картину, сходную с ТН 07. Удельная активность радия составляет 1480 -1880 Бк/кг, уменьшается в направлении подошвы пласта. Удельная активность калия составляет 1740-1830 Бк/кг, увеличивается к подошве пласта.

### Разрез 4. ТН 09

Точка наблюдения 09 располагается на 30 м ниже по течению от Т.Н. 08. Разрез представлен контактом тосненской (мощность 0,4 м) и копорской (мощность 1,7 м)

свитами. Диктионемовые сланцы имеют прослой спикулитов в верхней и нижней части пласта. Схема отбора проб представлена на рис. 4.10.

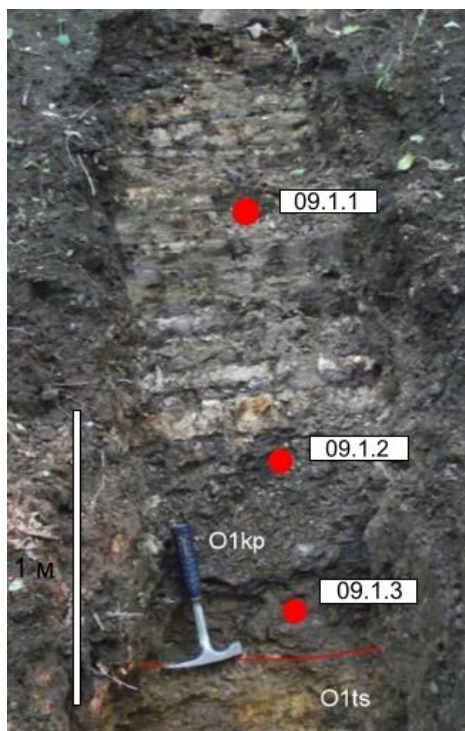


Рисунок 4.8. Схема точек опробования в ТН 09

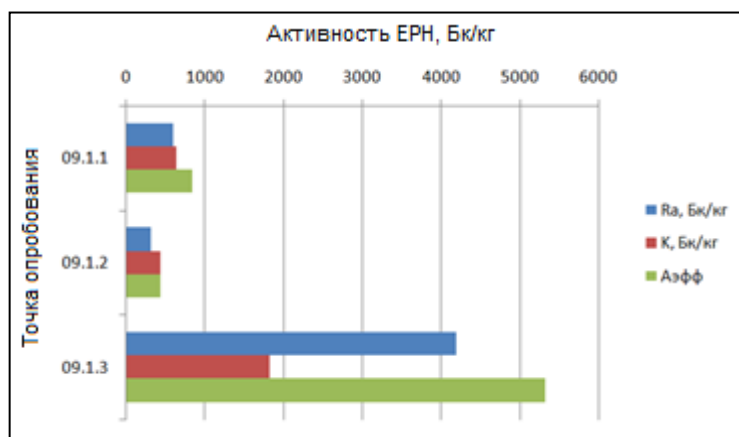


Рисунок 4.9. Диаграмма эффективной удельной активности Ra, K и Aзф, Бк/кг

Как показано на рис. 4.10 эффективная удельная активность радия невелика и достигает 320 - 610 Бк/кг в верхней и средней части разреза. Максимум достигается у подошвы пласта - 4190 Бк/кг. Эффективная удельная активность калия имеет сходное распределение: 450 -640 Бк/кг в верхней и средней части пласта, максимум - 1840 Бк/кг в нижней части. Следует отметить, что верхняя и средняя части разреза представляют собой аргиллиты с прослоями спикулитов, что, вероятно, влияет на распределение ЕРН.

Содержание Ra достигает максимума 339 ppm, Th – 26 ppm, K – 5,9% в нижней части разреза.

Разрезы 5, 6, 7, 8, 9 располагаются в районе урочища Горбовское в пределах 4-5 км друг от друга.

### Разрез 5. ТН 203

ТН 203 расположена в овраге на территории урочища Гостилово в 1,6 км на ССВ от пос. Широково.

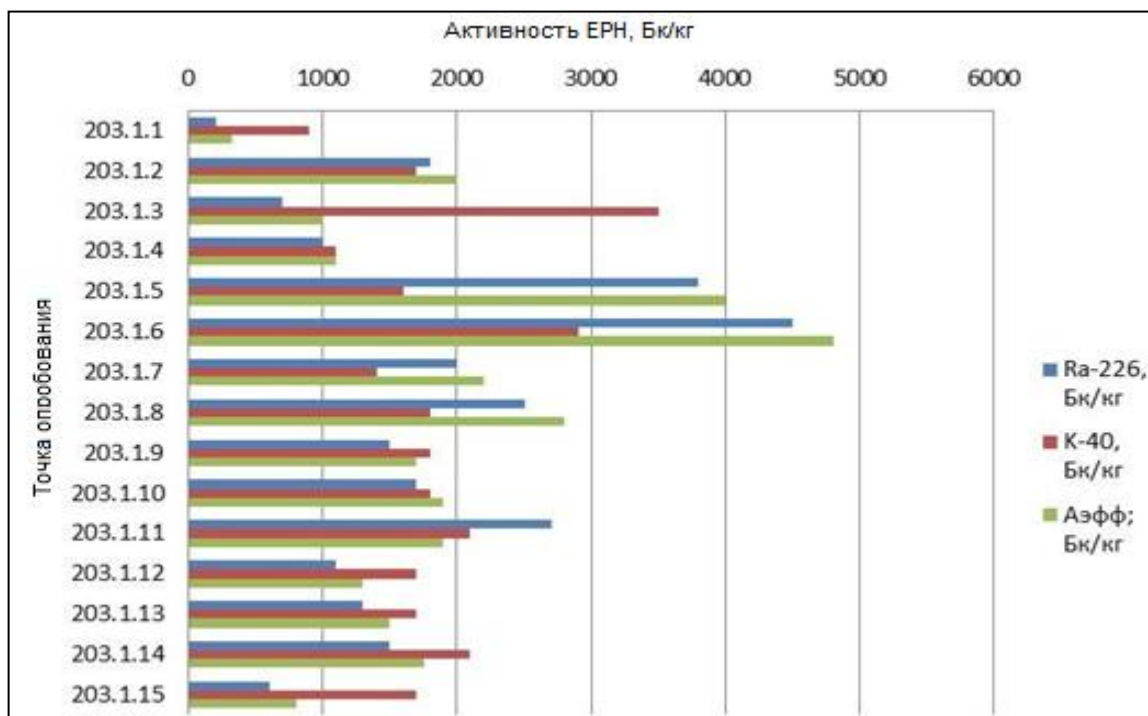
Разрез представлен копорской свитой, видимая мощность которой достигает 6,5 м. Аргиллиты в разрезе не деформированные, пластинчатые, буро-коричневого цвета. Нижний метр промывается подземными водами.

Было отобрано 15 проб аргиллитов и 8 проб почвы. Разрез и схема отбора проб представлены на рисунке 4.11.



Рисунок 4.10. Схема отбора проб в ТН 203

По результатам расчета удельной активности ЕРН был построена диаграмма распределения удельной активности ЕРН (рис.4.12).



4.11. Диаграмма эффективной удельной активности Ra, K и Азфф, Бк/кг

В результате мы видим следующие закономерности. Удельная активность радия не увеличивается постепенно от кровли к подошве как в ранних исследованиях (Борисова, 2017; Ефремова, 2017; Лебедев, 2018; Гришнякова, 2019). Зональность аргиллитов здесь обуславливает иное распределение ЕРН. В первой зоне, которая включает в себя пробы до 203.1.6 включительно, наблюдается увеличение удельной активности Ra от 200 Бк/кг до 4500 Бк/кг сверху вниз по разрезу. В точке 203.1.6 достигается максимальное значение Азфф на всем участке исследований, равное 4800 Бк/кг. В начале второй зоны, заканчивающейся пробой 203.1.11, наблюдается сначала увеличение удельной активности Ra, затем его спад и вновь увеличение до 2100 Бк/кг. С начала третьей зоны видно постепенное увеличение удельной активности Ra до точки 203.1.14. Также можно отметить, что вторая и третья зоны характеризуются куда меньшими значениями удельной активности Ra, чем первая. Такое распределение можно связать с гидрологическим режимом территории и вымыванием.

Удельная активность калия неоднородна в первой зоне и колеблется от 900 до 3500 Бк/кг. Во второй зоне удельная активность калия увеличивается сверху вниз от 1400 до 2100 Бк/кг. В третьей зоне удельная активность однородна и немного увеличивается к подошве пласта, в среднем составляет 1800 Бк/кг. Следует заметить, что подобный характер распределения нехарактерен для калия, т.к. выявлено, что для калия характерно увеличение удельной активности к кровле пласта.



Содержание  $U^{238}$  колеблется в пределах 16 - 364 ppm, Th – менее 14,8 ppm, K– 2,9 - 11,2%.

### Разрез 6.Т.Н. 34

Точка наблюдения 34 располагается на территории, претерпевшей деформацию в результате новейших тектонических движений.

Раскопка поделена на 2 части – раскопано на 1,2 м вверх от уреза воды, далее 2 м вверх по склону перерыв, выше снова раскопано на 0,6 м. Аргиллиты чередуются с глинами. Вероятно, весь разрез является оползневой массой.

Отобрано 5 проб по одному профилю с интервалом 0,4 м (пробы 34.1.1, 34.1.2 отобраны из верхней части раскопки, последующие – из нижней).

Как видно из рисунка 4.13, эффективная удельная активность  $Ra$  уменьшается от 1620 до 340 Бк/кг, удельная активность калия уменьшается от 1560 до 510 Бк/кг при движении вниз по разрезу.

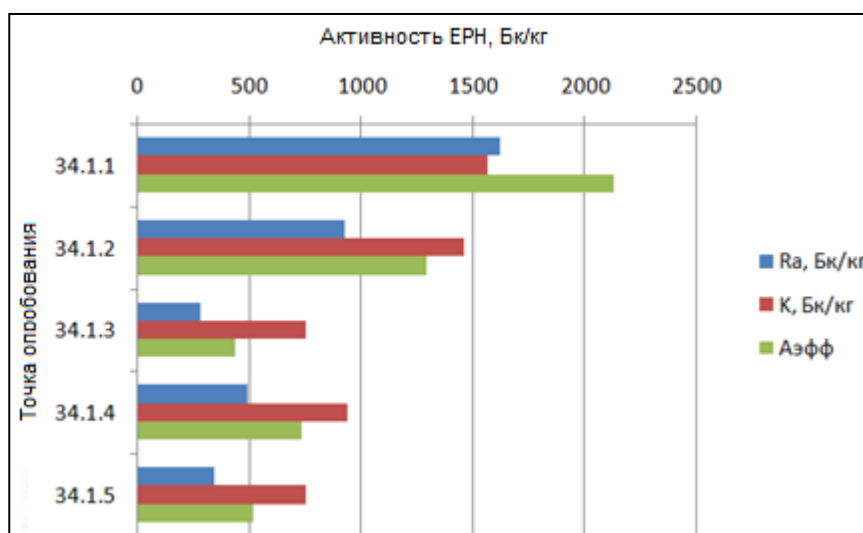


Рисунок 4.12. Удельная активность радия, калия и Азф по геологическому разрезу

### Разрез 7.Т.Н 24

Точка наблюдения 24 располагается на правом берегу безымянного ручья урочища Горбовское (окрестности поселков Глобицы и Флоревицы, Ломоносовский район).

Разрез представлен копорской свитой (аргиллиты, располагаются непосредственно у уреза воды), лезтсесской свитой (пески с глауконитом), волховской свитой (дикари).

Удельная активность радия составляет 1240 Бк/кг, калия- 1730 Бк/кг.

### Разрез 8. Т.Н. 25

Точка наблюдения 25 также как и 24, расположена в пределах урочища Горбовское Ломоносовского района.

Разрез представлен аргиллитами, видимая мощность 1,8 м. Отобрано 5 проб по одному профилю с интервалом 0,4 м.

Пробы 25.1.2, 25.1.3 отобраны из зоны сильно ожелезненных аргиллитов.

Результаты анализа представлены на рис. 4.14.

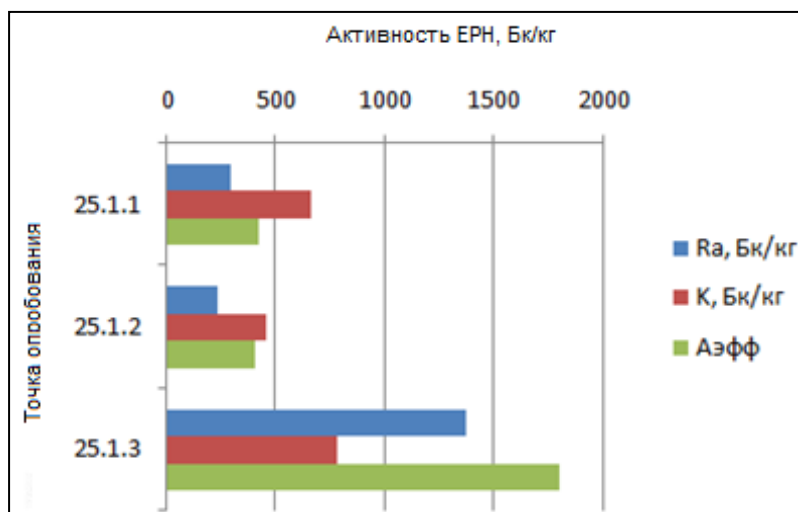


Рисунок 4.13. Удельная активность радия, калия и Азф по геологическому разрезу

Удельная активность радия составляет 290 в верхней части разреза, 1380 Бк/кг в нижней части разреза, минимальное значение - 230 Бк/кг в средней части разреза. В целом наблюдается увеличение удельной активности радия ближе к подошве слоя. Удельная активность калия колеблется в пределах 450 - 780 Бк/кг, распределение такое же, как у радия – минимум в средней части разреза, максимум в нижней части.

### Разрез 9.Т.н. 30

Точка наблюдения также расположена в пределах урочища Горбовское.

Разрез представлен аргиллитами, которые, вероятно, оползли сверху. Была отобрана проба аргиллитов 30.1.1.

По результатам анализа одной пробы были получены значения удельной активности – для Ra-2210 Бк/кг, для К - 1530 Бк/кг. Суммарная удельная активность составила 2870 Бк/кг. Концентрация U достигает 179 ppm, Th – 16 ppm, К – 4,9 %.

## Восточный участок исследований

Разрезы 10-13 располагаются в восточной части Балтийско-Ладожского уступа (более 120 км от западного участка работ). Здесь дикионемовые сланцы выклиниваются, мощность пласта не превышает 0,65 м. Точки наблюдения восточного участка исследований указаны на рис.4.15.



Рисунок 4.14. Карта точек наблюдения западного участка исследований

### Разрез 10. ТН 208

ТН 208 расположена на левом берегу р. Назия (59,81540/031,32257). Разрез (шурф) представлен копорской и назиевской свитами, видимая мощность копорской свиты – 0,65 м. Копорская свита в разрезе представлена нижним слоем аргиллитов (4 см), песчано-глинистым прослоем (46 см) и верхним слоем аргиллитов (15 см). Было отобрано 2 пробы аргиллитов и зафиксированы значения МЭД.

Так как это шурф, измерить значения МЭД над почвами на уровне разреза было невозможным.

Схема отбора проб представлена на рисунке 4.16:

По результатам расчета удельной активности ЕРН была построена диаграмма распределения удельной активности ЕРН (рис.4.17).



Рисунок 4.15. Схема отбора проб в ТН 208

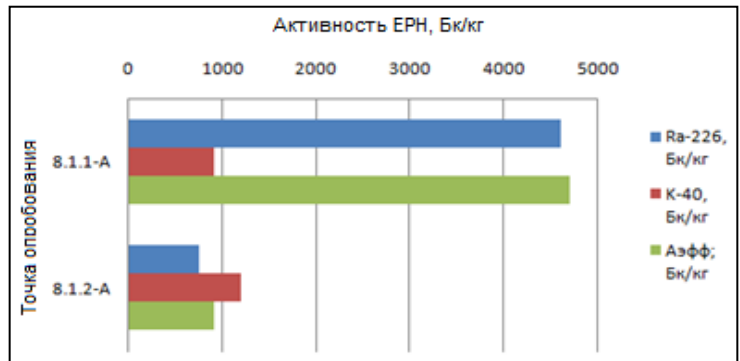


Рисунок 4.16. Диаграмма эффективной удельной активности Ra, K и Aзфф, Бк/кг

Удельная активность радия увеличивается к кровле пласта от 750 до 4600 Бк/кг. Распределение К имеет противоположную закономерность: уменьшается снизу вверх по разрезу до 900 Бк/кг от 1200 Бк/кг. Значения Aзфф колеблются от 900 Бк/кг до 4700 Бк/кг.

Содержание U238 находится в интервале 61-372 ppm, К – 2,9-3,8 %.

### Разрез 11. Т.н. 59

Точка наблюдения 59 располагается в заброшенном песчаном карьере в районе Путиловского карьера.

Разрез представлен контакт песков ладожской свиты (мощность 10 см, раскопали верхнюю границу) с песками тосненской свиты (мощность 2 м), песками тосненской свиты, аргиллитами копорской свиты (мощностью 0,3 м).

По результатам анализа пробы удельная активность Ra составляет 1531,2 Бк/кг. К - 888,5 Бк/кг, Aзфф - 1973,8 Бк/кг. Содержание урана составляет 122 , тория – 11 ppm, калия – 2,8 %.

### Разрез 12. ТН 206

ТН 206 располагается на правом берегу р. Лава. Видимая мощность копорской свиты – 0,6 м. Разрез сверху вниз представлен: назиевской свитой (глауконитовые песчаники), копорской свитой (7 см – аргиллиты, 38 см – чередование песчаников и глин, 15 см – чередование аргиллитов и ожелезненных песчаников) и тосненской свитой (пески ржавого цвета).

Было отобрано 3 пробы – верхний и нижний прослой аргиллитов и средний глинистый прослой.

Схема отбора проб представлена на рисунке 4.18:

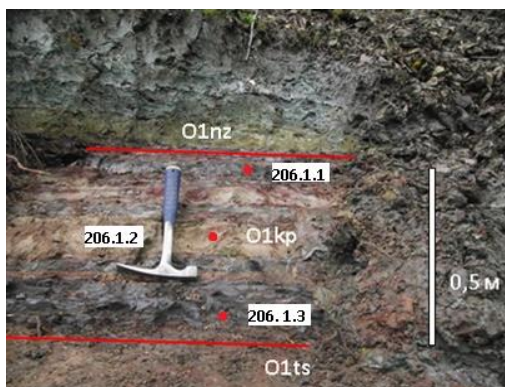


Рисунок 4.17. Схема отбора проб на ТН 206

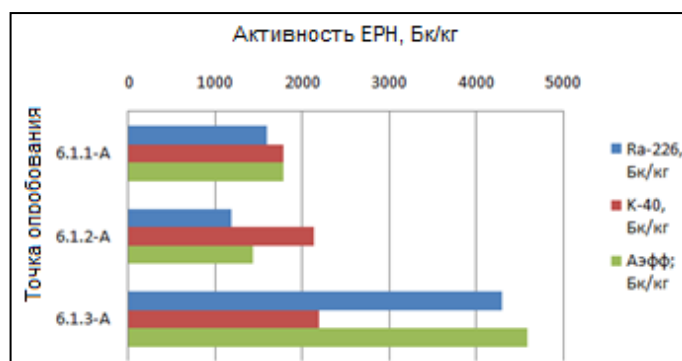


Рисунок 4.18. Диаграмма эффективной удельной активности Ra, K и Азэфф, Бк/кг

Были зафиксированы значения МЭД в ТО и над почвами. Среднее значение МЭД в ТО составило 124 мкР/ч, а над почвами 37 мкР/ч.

По мере удаления от разреза на 1-2 метра значения МЭД не превышали 20 – 25 мкР/ч.

По результатам расчета удельной активности ЕРН был построена диаграмма распределения удельной активности ЕРН (рис 4.19).

Удельная активность радия увеличивается к подошве пласта от 1600 Бк/ кг до 4300 Бк/кг. Удельная активность калия почти однородна и несколько возрастает сверху вниз по разрезу до 2200 Бк/кг. Средняя Азэфф по разрезу составляет 2620 Бк /кг.

Содержание  $U^{238}$  колеблется от 97 – 348 ppm, K – 5,8 – 7,0 %.

### Разрез 13. Т.Н. 53

Разрез снизу вверх представлен следующими свитами:

Назиевская свита (песчаники светло-желто-охристого цвета);

Копорская свита (аргиллиты, мощность 0,3 м);

Тосненская свита (пески красного цвета).

Была отобрана проба аргиллитов 0053.1.2 – аргиллиты (проба из центра толщи).

Удельная активность Ra составляет 3490 Бк/кг, K - 1680 Бк/кг. Содержание урана составляет 277ppm, тория – 12 ppm, калия – 5,4%.

Для обзора распределения ЕРН по всей территории участка исследований построены диаграммы средней Азэфф по разрезу (рис.4.20) и максимальной Азэфф (рис. 4.21).

На основе полученных данных по 13 разрезам можно сделать вывод о том, что распределение ЕРН по простиранию пласта не имеет явной зависимости. Значения средней Азэфф колеблются в пределах от 870 до 4390 Бк/кг, максимальной Азэфф – от 1290 до 7530 Бк/кг.

В нормативных документах, применяемых в российском законодательстве нет норм для оценки непосредственно горных пород с точки зрения опасности для человека, однако существуют показатели, применяемые для оценки экологической опасности строительных материалов.

Согласно НРБ-99 по расчетам Аэфф в среднем по разрезу все разрезы за



Рисунок 4.20. Средняя эффективная активность ЕРН по всему участку исследований, Бк/кг

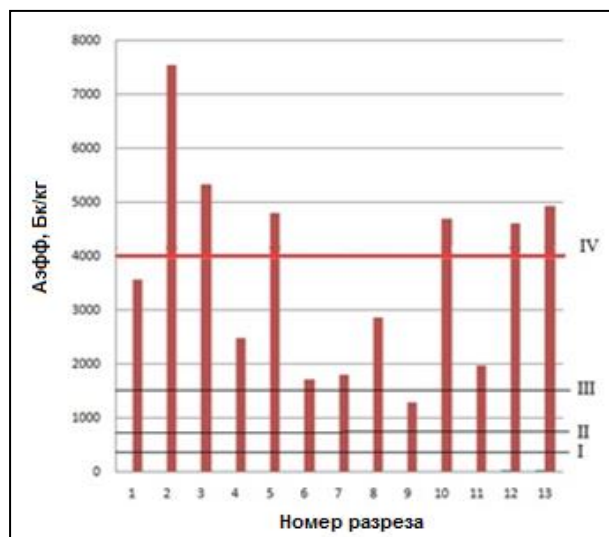


Рисунок 4.19. Максимальная эффективная активность ЕРН по всему участку исследований, Бк/кг

исключением 6, 8 и 13 относятся к IV классу опасности для строительных материалов. Два разреза – 6 и 8 – относятся к III классу, и разрез 13 по среднему значению Аэфф превышает 4090 Бк/кг и выходит за рамки классификации (значения Аэфф представлены в таблице 2). Значения Аэфф > 4000 Бк/кг достигают аргиллиты в ТН 53 (крайняя восточная точка участка исследований).

По максимальной потенциальной опасности (по значениям максимальной Аэфф по разрезу) пробы шести разрезов (1,4,6,7,8,11) относятся к IV классу опасности, пробы разреза 9 – к третьему классу, максимальная Аэфф проб из разрезов 2,3,5,10,12,13 превышает 4000 Бк/кг.

Ниже представлены итоговые таблицы для разрезов западного и восточного участков исследования.

Таблица 2. Итоговая таблица для западного участка

Разрез (ТН)	1 (01)	2 (07)	3 (08)	4 (09)	5 (203)	6 (34)	7 (24)	8 (25)	9 (30)
Мощность пласта, м	0,8	3,5	1,0	1,7	6,5	1,8	0,3	1,8	0,4
Число проб	4	13	2	3	15	5	1	3	1
Среднее значение Аэфф, Бк/кг	3070	2110	2260	2200	1938	1020	2960	870	2870

Разрез (ТН)	1 (01)	2 (07)	3 (08)	4 (09)	5 (203)	6 (34)	7 (24)	8 (25)	9 (30)
Минимальное значение Аэфф, Бк/кг	2850	480	440	2040	320	430	1710	400	2870
Максимальное значение Аэфф, Бк/кг	3570	7530	5320	2490	4800	1710	1800	2872	1290
Содержание U <sup>238</sup> , ррм	189	136	133	135	145	58	98	50	176
Содержание Th <sup>235</sup> , ррм	12	13	19	14	Менее 14,8	9	13	11	16
Содержание К <sup>40</sup> , %	5,2	4,6	5,7	3,1	5,9	3,5	5,5	2,0	4,9

Таблица 3. Итоговая таблица для восточного участка

Разрез (точка наблюдения)	10 (208)	11 (59)	12 (206)	13 (53)
Мощность пласта, м	0,65	0,3	0,6	0,3
Число проб	2	1	3	1
Среднее значение Аэфф, Бк/кг	2800	1970	2616	4390
Минимальное значение Аэфф, Бк/кг	900	1970	1450	4390
Максимальное значение Аэфф, Бк/кг	4700	1970	4599	4930
Содержание U <sup>238</sup> , ррм	217	122	192	277
Содержание Th <sup>235</sup> , ррм	Менее 14,8	11	Менее 14,8	12
Содержание К <sup>40</sup> , %	3,4	2,8	6,5	5,4

#### 4.2. Оценка степени потенциальной радиационной опасности для населения

Для оценки степени потенциальной радиационной опасности для населения полевые работы, помимо отбора проб, включали измерения значений МЭД (мкР/ч) в точке отбора проб и над почвами на расстоянии 0,5 – 1 м от разреза.

В таблице 4 представлены средние, минимальные и максимальные значения МЭД в ТО и над почвами рядом с разрезом.

В точке наблюдения 208 выкапывали шурф, по этой причине МЭД на уровне точек отбора аргиллитов над почвами измерить было невозможно.

Таблица 4. Результаты минимальных, средних и максимальных значений МЭД в точке отбора проб и над почвами

Разрез (ТН)	Минимальная МЭД в ТО, мкР/ч	Средняя МЭД в ТО, мкР/ч	Максимальная МЭД в ТО, мкР/ч	Минимальная МЭД над почвами, мкР/ч	Средняя МЭД над почвами, мкР/ч	Максимальная МЭД над почвами, мкР/ч
1 (01)	200	225	250	54	65	78
2 (07)	105	181	270	55	100	153
3 (08)	160	168	175	118	122	125
4 (09)	100	178	305	110	110	110
5 (203)	80	178	380	42	88	140
6 (34)	58	86	130	78	87	95
7 (24)	175	175	175	41	41	41
8 (25)	80	95	125	54	62	70
9 (30)	350	350	350	58	58	58
10 (208)	900	2800	125	–	–	–
11 (59)	100	100	100	25	25	25
12 (206)	34	38	45	34	38	45
13 (53)	135	135	135	52	52	52

Таким образом, максимальное значение МЭД аргиллитов на территории всего участка исследований было получено на разрезе 5 (203)– 380 мкР/ч (превышает приемлемый уровень от природных источников облучения в 6 раз), минимальное значение на разрезе 12 (206) – 34 мкР/ч (или 2,9 мЗв/год – не превышает приемлемый уровень от природных источников облучения).

Максимальным средним значением МЭД по разрезу характеризуется разрез 9 (30) – 350 мкР/ч (превышает приемлемый уровень от природных источников облучения в 6 раз), минимальными—разрез 12, где МЭД составляет 38 мкР/ч (не превышает приемлемый уровень).

Минимальное значение МЭД над почвами измерено в разрезе 12 (ТН 206) – 34мкР/ч. Максимальное значение зафиксировано на разрезе 2 (07) – 153 мкР/ч, что превышает норму для строительства жилых помещений в 5 раз и производственных помещений в 3 раза. Среднее по разрезу значение МЭД над почвами максимально на разрезе 3 – 122 мкР/ч (кратность превышения нормативных значений для жилых и производственных сооружений 4 и 2 соответственно), минимальное—на разрезе 11—25 мкР/ч.

При оценке радиационного риска используют величину мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭкД), определяемой в мкЗв/ч (микрозиверт в час). Мощность экспозиционной дозы можно пересчитать в мощность эквивалентной дозы – мощность дозы 1 мкР/ч эквивалентна 0,0096мкЗв/ч (МУ 2.6.1.2398-08).

Нормативы величины мощности эквивалентной дозы представлены в документе "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)".



Согласно ОСПОРБ-99/2010: «степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз облучения от всех основных природных источников излучения:

- менее 5 мЗв/год - приемлемый уровень облучения населения от природных источников излучения;
- свыше 5 до 10 мЗв/год - облучение населения является повышенным;
- более 10 мЗв/год - облучение населения является высоким».

На основании результатов измерений МЭД можно вычислить мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭкД) для диктионемовых сланцев. Результаты вычисления МЭкД средней и кратность превышения приемлемого и высокого уровня облучения для каждого разреза представлены в таблице 5.

Таблица 5. Средняя МЭкД (мЗв/год) по разрезу и кратность превышения нормативных значений для пород

Разрез (ТН)	Количество измерений МЭД по разрезу	МЭкД, среднее, мЗв/год	Кратность превышения приемлемого уровня облучения	Кратность превышения высокого уровня облучения
1 (01)	4	18,9	3,8	1,9
2 (07)	14	15,2	3,0	1,5
3 (08)	2	14,1	2,8	1,4
4 (09)	3	15,0	3,0	1,5
5 (203)	15	15,0	3,0	1,5
6 (34)	5	7,2	1,4	Нет (0,7)
7 (24)	5	7,2	1,4	Нет (0,7)
8 (25)	1	14,7	2,9	1,5
9 (30)	3	8,0	1,6	Нет (0,8)
10 (208)	1	29,4	5,9	2,9
11 (59)	5	6,0	1,2	Нет (0,6)
12 (206)	3	3,2	0,6	Нет (0,3)
13 (53)	1	8,4	1,7	Нет (0,8)

Таким образом, породы для всех разрезов западного участка, за исключением разрезов 6, 7, 9, по уровню МЭкД характеризуются высоким значением облучения для населения. В районе восточного участка исследований высоким значением МЭкД характеризуется разрез 10—29,4 мЗв/год. Значения в разрезах 1-5 и 8 превышает приемлемое значение для населения в 2-4 раза и высокое значение в 1,4-1,9 раз.

МЭД над почвами при строительстве жилых домов, зданий и сооружений нормируется МУ 2.6.1.2398-08. Согласно этому документу, МЭД над почвами под строительство жилых и общественных зданий не должна превышать **31 мкР/ч (0,3 мкЗв/ч)**, под строительство производственных зданий и сооружений – **0,6 мкЗв/ч**.

Результаты анализа МЭД в среднем по разрезу над почвами вблизи разреза и кратность превышения нормативных значений для строительных и общественных зданий и промышленных зданий и сооружений представлены на таблице 6.

Таблица 6. Значение МЭкД (мкЗв/ч) среднее над почвами по разрезу и кратность превышения нормативных значений

Разрез (ГН)	Количество измерений МЭД по разрезу	МЭкД, среднее, мкЗв/ч	Кратность превышения 0,3 мкЗв/ч	Кратность превышения 0,6 мкЗв/ч
1 (01)	8	0,6	2,1	1,0
2 (07)	28	1,0	3,3	1,7
3 (08)	4	1,2	3,9	1,9
4 (09)	6	1,1	3,5	1,8
5 (203)	30	0,8	2,8	1,4
6 (34)	10	0,8	2,8	1,4
7 (24)	2	0,4	1,3	0,7
8 (25)	6	0,6	2,0	1,0
9 (30)	2	1,2	3,9	2,0
10 (208)	10	—	—	—
11 (59)	2	0,2	0,8	0,4
12 (206)	6	0,4	1,2	0,6
13 (53)	2	0,5	1,7	0,8

Для разрезов 1-6, 8-9 МЭкД превышает норму для строительства жилых домов и сооружений в 2-4 раза, для разрезов 7, 12, 13 – в 1,2-1,7 раз. Разрез 10 (208) представляет собой шурф, поэтому измерения непосредственно на уровне ТО проб аргиллитов были невозможны.

МЭкД в районе разрезов 2-6, 9 превышает 0,6 мкЗв/ч в 1,4 – 2,0 раза.

Следует отметить, что более высокие МЭД над почвами зафиксированы в западном районе участка исследований. Это связано с большей мощностью диктионемовых сланцев и соответственно с большими площадями из распространения и выхода на поверхность.

В результате анализа данных можно сделать вывод, что облучение населения непосредственно вблизи выходов диктионемовых сланцев на дневную поверхность является повышенным и высоким. Однако по мере удаления от разреза (5 и более метров) значения МЭД находятся в пределах фоновых.

#### **4.3. Влияние диктионемовых сланцев на экологическую обстановку в районе г. Кирхгоф**

Описанные выше разрезы на данный момент находятся вне зоны деятельности человека. Для более детального изучения влияния диктионемовых сланцев на население была изучена г. Кирхгоф в Ломоносовском районе Ленинградской области.

Кирхгофская возвышенность является частью Дудергофских высот (две возвышенности – собственно Дудергофская и Кирхгофская, объединенные общим цоколем, располагающимся на абсолютных отметках 90–100 м). Помимо Кирхгофской возвышенности в состав дудергофских высот входят г. Воронья и г. Ореховая.

На Дудергофских высотах и Кирхгофской возвышенности за счет многочисленных локальных повышений и понижений рельефа диктионемовые сланцы подходят близко к дневной поверхности или выходят на дневную поверхность диктионемовые сланцы. Мощность толщи диктионемовых сланцев на достигает 3,5 метров (Грейсер и др., 1980). Среднее содержание урана в сланцах составляет 240 г/т (грамм на тонну) и может достигать значений 500 г/т и более (Ефремова, Лебедев, 2016).

Ореолы рассеивания природных радионуклидов образуются естественным путем за счет механического или химического обогащения почв радиоактивными элементами, содержащимися в битуминозных аргиллитах. Два вида почв, расположенных на горе Кирхгоф, образованы на диктионемовых сланцах и считаются исчезающими (категория 1 CR) (Апарин и др, 2007).

«Горы Воронья и Ореховая входят в границу особо охраняемой природной территории (ООПТ) регионального значения «Дудергофские высоты». Гора Кирхгоф, обладающая не менее уникальными природными характеристиками и входящая, как и две другие горы, в состав объекта всемирного культурного наследия ЮНЕСКО №540 «Исторический центр Санкт-Петербурга и связанные с ним группы памятников», подобного природоохранного статуса не имеет, что способствует её активному антропогенному освоению. На части её восточного склона с 1998 года располагается горнолыжный курорт «Туутари-Парк», совсем недавно – в 2018 году – открыт спортивно-стрелковый клуб «Русское Оружие». На остальной части данной возвышенности планируется разместить два новых спортивных центра (бобслейно-биатлонный комплекс «Туугаревская зона горнолыжного спорта», спортивно-рекреационный комплекс премиум-класса «Рамбов-Арена»), три коттеджных поселка, рестораны, гостиницы и объекты инфраструктуры» (Лебедев, 2019).

Исследования на г. Кирхгоф решают второй блок задач по оценке потенциальной опасности почв, развитых на диктионемовых сланцах, для населения, а именно:

- Измерение мощности экспозиционной дозы (МЭД) над почвами.
- Описание, отбор и анализ проб почв, развитых на диктионемовых сланцах.

### **4.3.1. Гамма-поле над почвами г. Кирхгоф**

В период 2017-2019г.г. происходило измерение МЭД над почвами г. Кирхгоф. На участке площадью 209,7 га нами была проведена маршрутная гамма-съемка. Участок захватывает юго-восточную, самую высокую вершину горы Кирхгоф (до 176 м) и часть ее северо-западного, южного и юго-восточного крутых (до 41°) склонов. Северо-западная и юго-восточная границы участка ограничены 108-ой горизонталью, которую по результатам моделирования рельефа было предложено считать за подошву горы (Себровский и др, 2019).

«Измеряли мощность экспозиционной дозы в мкР/час с радиометром СРП-97. Масштаб работ 1:10 000. Поисковый радиометр СРП-97 использовали в режиме прослушивания звукового сигнала для обнаружения зон с повышенным гамма-фоном. При этом, по возможности, старались обеспечить сплошное прослушивание при перемещениях радиометра по прямолинейным или Z-образным маршрутам. Показания МЭД фиксировали в журнале в контрольных точках, отстоящих друг от друга на расстояниях 50 – 150 м. Шаг фиксированных измерений зависел от абсолютных значений МЭД и характера изменчивости гамма-поля.

Всего в интерпретации данных съемки использовано 219 точек наблюдений. В пределах исследуемого участка значения МЭД варьируются от 11 до 125 мкР/час. Карту гамма-поля строили в программе ArcGIS с модулем SpatialAnalyst. Для интерполяции данных (построения непрерывной поверхности) использовали метод обратно взвешенных расстояний (ОВР)» (Лебедев и др, 2020).

В соответствии с МУ 2.6.1.2398-08 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности», если по результатам гамма-съемки выявлены зоны, в которых мощность дозы гамма-излучения превышает 0,3 мкЗв/ч на земельных участках под строительство жилых и общественных зданий, или 0,6 мкЗв/ч – на участках под строительство производственных зданий и сооружений, то такие зоны следует рассматривать как аномальные. Отметим, что значение мощности эквивалентной дозы 0,3 мкЗв/ч для гамма-излучения соответствует мощности экспозиционной дозы 31 мкР/ч, для 0,6 мкЗв/ч – 62 мкР/ч (Хайкович, Лебедев, 2013). Поэтому при построении карты гамма-поля для оконтуривания аномальных зон нами были выбраны именно эти границы интервалов классификации – 31 и 62 мкР/час.

Как видно из рис. 4.22, где представлены результаты интерполяции данных, гамма-поле над почвами г. Кирхгоф очень неоднородно.

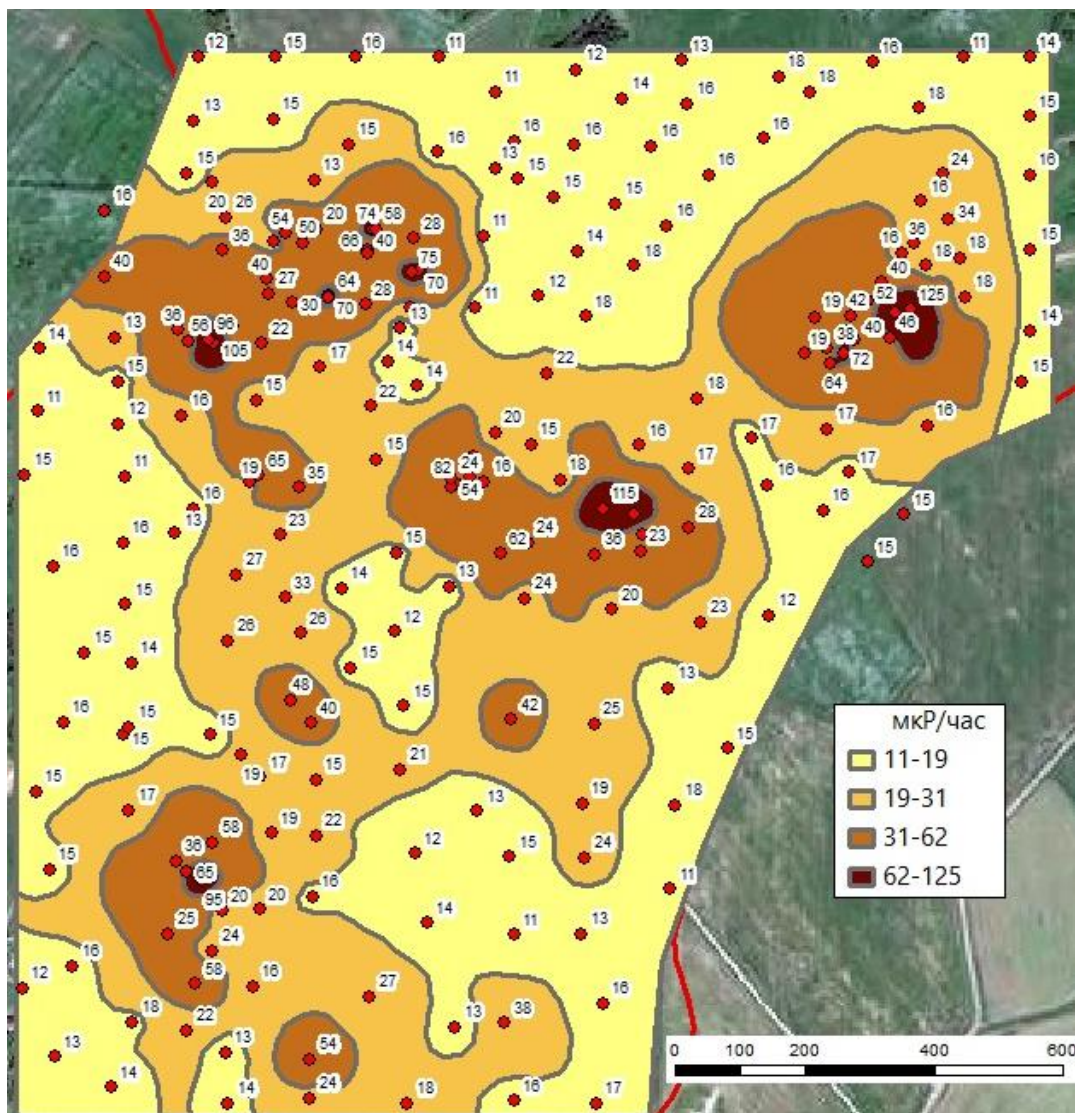


Рисунок 4.21. Карта мощности экспозиционной дозы (мкР/ч) над почвами г. Кирхгоф (Лебедев и др., 2020)

«Всего выделяются 7 аномальных зон с МЭД больше 31 мкР/час суммарной площадью 39 га (18,6% от площади всего участка). В соответствии с МУ 2.6.1.2398-08 эта территория не пригодна для строительства жилых и общественных зданий ввиду относительно высокого уровня радиоактивности почв. Внутри 4-х наиболее крупных описываемых зон обнаружены 8 относительно небольших аномальных участков (от 7 до 86 соток каждый) в которых МЭД превышает 62 мкР/час. Общая площадь таких зон 2,7 га. Эти участки не пригодны уже не только для строительства жилых и общественных зданий, но и производственных сооружений» (Лебедев и др., 2020).

#### 4.3.2. Эманации радона

«В пределах участка с аномально высокими значениями МЭД была организована контрольная площадка размером 36 м<sup>2</sup> для определения плотности потока радона (ППР) с поверхности почвы. На площадке с прямоугольным контуром на подготовленную поверхность почвы установили 9 пробоотборников с угольными адсорберами в которых за

время экспозиции (2 часа) накапливался радон, эмануемый почвой. Полевые измерения проводили при ясной погоде при температуре 14 °С. Угольные адсорберы из пробоотборников анализировали в лабораторных условиях с комплексом для мониторинга радона КАМЕРА-01(Сайт НПП ДОЗА).

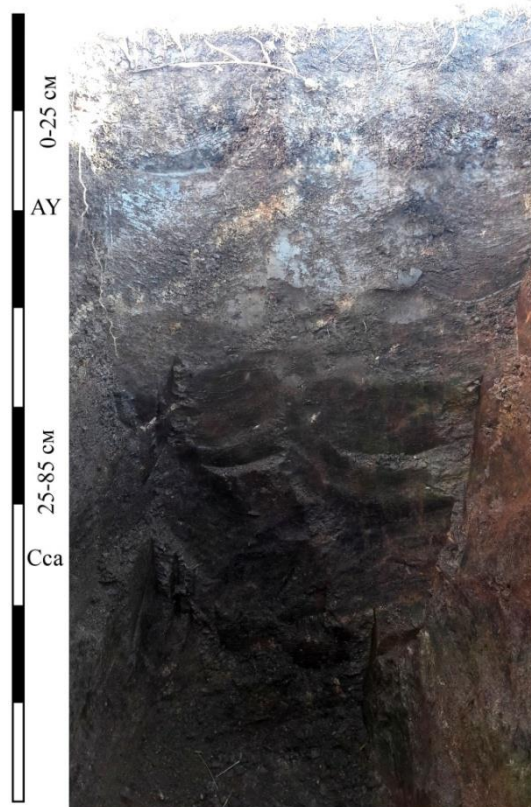
Данные исследований показали наличие в почвенном воздухе большого количества эманаций радона. Если исключить из расчетов самые высокие и низкие показания в 2-х точках наблюдений (чтобы предусмотреть возможность грубых промахов), то результаты сводятся к следующему. Значения ППР варьируются в широких пределах от 160±40 до 2090±320 мБк·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>. В среднем по контрольной площадке ППР составила 980 ± 160 мБк·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>. Это в десятки раз больше допустимых нормативами величин (80 мБк·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> по НРБ–99/2009)» (Гришнякова и др., 2018).

#### 4.3.3. Характеристика почв, развитых на диктионемовых сланцах

В 2018 г. для описания почвы, развитой на диктионемовых сланцах был заложен шурф глубиной 85 см на западном склоне, в точке, где зафиксировали значение МЭД 105 мкР/ч. Описание почвы представлено в таблице 7.

Таблица 7. Описание почвы

Горизонт	Описание
АУ 0-25 см	Серый; свежий; рыхлый; от супесчаного до легко суглинистого; не прочная комковатая структура с элементами зернистости за счет копролитов дождевых червей; уплотненный; включения корней травянистых луговых растений до 15%; вскипает; переход в следующий горизонт резкий; граница ровная; светлые зерна минералов отсутствуют; примесь слаборазложившихся растительных остатков.
	15-25 см; от предыдущего отличается более плотным сложением и наличием линз зеленоватого суглинка.
Саа 25-85 см	Косые слои слабо измененных диктионемовых битуминозных сланцев: 25-30 см, зеленовато-серый; свежий; слоистый; пластинчатый, уплотненный, легкосуглинистый, плотные агрегаты карбонатов; вскипает; переход резкий; граница ровная.
	30-75 см; темно-серый; слоистый; со светлыми прослойками; уплотненный; плотные агрегаты карбонатные; вскипает; свежий; переход резкий; граница ровная.
	75-85 см; тёмно-серые диктионемовые сланцы; тяжелосуглинистые; без включений и прослоев, пластинчатый.



**Рисунок 4.22. Почва серогумусовая-темнопрофильная на диктионемовых сланцах, шурф**

Разрез состоит из почвы и диктионемовых сланцев. Почва—серогумусовая темпопрофильная почва на диктионемовых сланцах.

Такие почвы считаются исчезающими (категория 1 CR) и занесены в Красную книгу почв Ленинградской области (Апарин, 2007). Профиль почвы состоит из серогумусового горизонта небольшой мощности, залегающего непосредственно на малоизмененных слоях диктионемовых сланцев, представленных разными по цвету (от темно серого до бурого) и гранулометрическому составу (от супесчаного до тяжелосуглинистого) грунтами.

С глубины от 0 до 85 см отобрано и проанализировано 7 проб. Первые две пробы (0–25 см) соответствуют типу «серогумусовая темпопрофильная почва на диктионемовых сланцах».

Отобранные в полевых условиях образцы почв/пород высушивались, затем, при необходимости дробились до фракции < 3мм. Удельную активность проб определяли на установке РАДЭК в испытательной лаборатории отдела радиационной гигиены ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург». По данным анализов в лабораторных условиях определяли удельную активность естественных радионуклидов (радий-226, торий-232, калий-40), а также вычисляли эффективную удельную активность пород (Аэфф). Результаты исследований показаны на диаграмме (рис. 4.24).

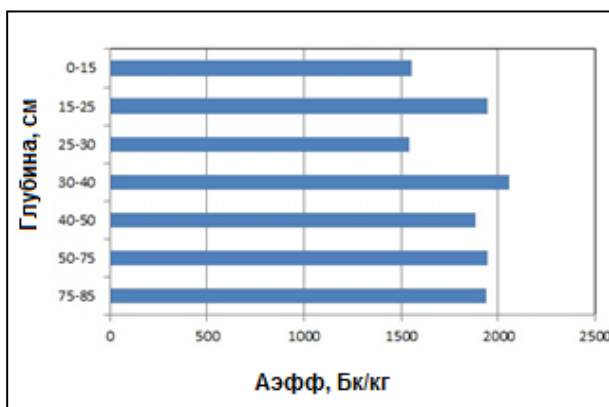


Рисунок 4.24. Распределение радиоактивности почва/порода по глубине разреза

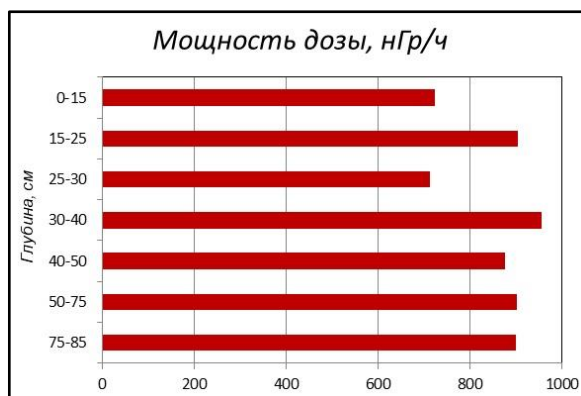


Рисунок 4.25. Расчетная мощность поглощенной дозы, создаваемой исследованными породами

Средняя величина эффективной удельной активности (Аэфф) для почвы (0–25 см) равна 1750 Бк/кг. Средняя Аэфф следующих по глубине 5 проб (25–85 см) диктионемовых сланцев составила 1870 Бк/кг. При этом следует отметить несколько пониженную радиоактивность слоя диктионемовых сланцев на глубине 25–30 см. Этот слой выделяется и по описанию породы.

По всей видимости, он обеднен радиоактивными элементами за счет их механического выноса или химического вымывания с одновременным накоплением в почве.

По величине Аэфф 5 из 7 проб относятся к IV классу экологической опасности  $1500 \leq \text{Аэфф} \leq 4000$  Бк/кг, что означает существенные ограничения при строительстве и необходимость дополнительных мер для обеспечения экологической безопасности населения.

Удельную активность радионуклидов почвы/породы в Бк/кг можно пересчитать в величину поглощенной дозы в воздухе в наноГреях в час (нГр/ч) по коэффициентам, принятым в документах Научного комитета ООН по действию атомной радиации (UNSCEAR, 2000).

Величины пересчетных коэффициентов для  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  равны 0,462, 0,604 и 0,0417, соответственно (рис. 4.25).

Для сравнения можно привести данные по мощности поглощенной дозы над почвами в ближайших к Ленинградской области странах, где также наблюдаются выходы радиоактивных пород на дневную поверхность (UNSCEAR, 2000): Эстония – 59 нГр/ч при разбросе величин от 14 до 230 нГр/ч; Финляндия – 71 нГр/ч при разбросе величин от 45 до 139 нГр/ч; Швеция средняя абсолютная величина мощности дозы равна 56 нГр/ч при вариации значений от 40 до 500 нГр/ч. Для России в целом средняя абсолютная величина мощности дозы равна 65 нГр/ч при вариации значений от 12 до 102 нГр/ч. Таким образом,



значения мощности поглощенной дозы над почвами горы Кирхгоф может в 10–12 раз превышать средние значения по России и ближайшим к Ленинградской области странам» (Лебедев и др., 2018).

«В целом почвы г. Кирхгоф являются потенциально опасными для здоровья людей в случае их длительного пребывания на или вблизи данной возвышенности. Поэтому результаты оценки радиационной обстановки имеют большое практическое значение в области геоэкологии и пропаганды экологических знаний среди населения. Результаты представленных исследований были направлены в соответствующие органы государственной власти как дополнение к обоснованию просьбы местного населения об организации на территории Кирхгофской возвышенности ООПТ и уменьшению тем самым антропогенной нагрузки в случае отказа от реализации планов по интенсивной застройке территории» (Лебедев и др., 2020).

## Заключение

В результате исследований 2017-2020г.г. были получены следующие выводы:

1. Проведены полевые работы в период 2018-2020 г.г. в районе Балтийско-Ладожского уступа и в районе Кирхгофской возвышенности Ломоносовского района Ленинградской области. В ходе полевых работ было выполнено описание и опробование 13 разрезов на территории Кингисеппского, Ломоносовского и Кировского районах Ленинградской области.
2. Отобраны 75 проб аргиллитов, 8 проб почвы, измерены значения МЭД в точках опробования и над почвами. Совместно с опробованием проводились замеры мощности экспозиционной дозы (МЭД) в точках отбора (ТО) проб, а также над почвами.
3. В испытательной лаборатории отдела радиационной гигиены ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» на установке «РАДЭК» был проведен анализ проб на активность ЕРН. По данным анализов вычислялась эффективная удельная активность пород (Аэфф) и концентрация радионуклидов.
4. Распределение ЕРН в пласте диктионемовых сланцев в пределах Балтийско-Ладожского глинта неоднородно, различается между точками наблюдения (обнажениями) в 2-5 раза, независимо от мощности. В разрезе пласта диктионемовых сланцев концентрация урана-238 в большинстве случаев возрастает от кровли к подошве. Содержание калия в разрезах 1 (01), 2 (07), 10 (208), 13 (206) увеличивается от кровли к подошве, в разрезах 3 (08), 4(09), 6 (34) уменьшается от кровли к подошве.
5. Удельная эффективная активность Аэфф варьирует от 320 до 7530 Бк/кг в отдельных пробах, от 870 до 4390 Бк/кг в среднем по обнажению. Максимальные значения Аэфф изменяются от 1290 до 7530 Бк/кг.
6. По среднему значению Аэфф все разрезы за исключением 6, 8 и 13 относятся к IV классу радиозоологической опасности. Два разреза – 6 и 8 – относятся к III классу, и разрез 13 по среднему значению Аэфф превышает 4000 Бк/кг и выходит за рамки классификации.
7. По максимальной потенциальной опасности (по значениям максимальной Аэфф по разрезу) пробы шести разрезов (1,4,6,7,8,11) относятся к IV классу опасности, пробы разреза 9 – к третьему классу, максимальная Аэфф проб из разрезов 2, 3, 5, 10, 12, 13 превышает 4000 Бк/кг.
8. Содержания урана в пределах участка исследований достигают 50–280ppm (в среднем для обнажения). Минимальное содержание – 12 ppm – обнаружено в пробе 07.1.1 (разрез 2), максимальное – 492 ppm, в пробе 07.1.7 (также разрез 2). В районе нашего

участка исследований концентрации урана достигают промышленного значения (300 г/т) в шести пробах (разрезы 2, 3, 5, 10, 12) – содержание урана в данных разрезах в пределах 308-492 ppm. Содержание тория варьирует 9-18 ppm в, содержание К – 2,8–6,5 % в среднем для обнажения.

9. Максимальным средним значением МЭД по разрезу характеризуется разрез 9 (30) – 350 мкР/ч (превышает приемлемый уровень от природных источников облучения в 6 раз), минимальными—разрез12, где МЭД составляет 38 мкР/ч.

Минимальное значение МЭД над почвами измерено в ТН 206 – 30 мкР/ч. Максимальное значение зафиксировано на разрезе 2 (07) – 153 мкР/ч, что превышает норму для строительства жилых помещений в 5 раз и производственных помещений в 3 раза. Среднее по разрезу значение МЭД над почвами максимально на разрезе 3 – 122 мкР/ч (кратность превышения нормативных значений для жилых и производственных сооружений 4 и 2 соответственно), минимальное—на разрезе 11–25 мкР/ч.

10. На основе измерений МЭД были проведены расчеты МЭкД и произведена оценка потенциальной опасности диктионемовых сланцев для населения. Породы для всех разрезов западного участка, за исключением разрезов 6, 7, 9, по уровню МЭкД характеризуются превышением высокого уровня облучения для населения. В районе восточного участка исследований высоким уровнем МЭкД характеризуется разрез 10— 29,4 мЗв/год. Значения в разрезах 1–5 и 8 превышает приемлемый уровень для населения в 2-4 раза и высокий уровень в 1,4–1,9 раз.

11. Для разрезов 1-6, 8-9 МЭкД превышает норму для строительства жилых домов и сооружений в 2-4 раза, для разрезов 7, 12, 13 – в 1,2–1,7 раз. МЭкД в районе разрезов 2-6, 9 превышает норму для строительства промышленных предприятий в 1,4 – 2,0 раза.

12. Больше число высоких значений МЭД над почвами зафиксированы в западном районе участка исследований. Это связано с большей мощностью диктионемовых сланцев и соответственно с большими площадями из распространения и выхода на поверхность. Риск облучения населения непосредственно вблизи выходов диктионемовых сланцев на дневную поверхность является повышенным и высоким. Однако по мере удаления от разреза (5 и более метров) значения МЭД находятся в пределах фоновых.

13. Были проведены измерения МЭД в районе г. Кирхгоф для детального изучения влияния диктионемовых сланцев на экологическую обстановку и изучения почвы, развитой на диктионемовых сланцах. На участке площадью 209,7 га была проведена маршрутная гамма-съемка. На основе измерений была построена карта мощности экспозиционной дозы.

14. По данным карты мощности экспозиционной дозы на г. Кирхгоф определили, что гамма-поле над почвами очень неоднородно.

«Были выделены 7 аномальных зон с МЭД больше 31 мкР/час суммарной площадью 39 га (18,6% от площади всего участка). В соответствии с МУ 2.6.1.2398-08 эта территория не пригодна для строительства жилых и общественных зданий ввиду относительно высокого уровня радиоактивности почв. Внутри 4-х наиболее крупных описываемых зон обнаружены 8 относительно небольших аномальных участков (от 7 до 86 соток каждый) в которых МЭД превышает 62 мкР/час. Общая площадь таких зон 2,7 га. Эти участки не пригодны уже не только для строительства жилых и общественных зданий, но и производственных сооружений» (Лебедев и др., 2020).

15. Для описания почвы, развитой на диктионемовых сланцах был заложен шурф глубиной 85 см на западном склоне, в точке, где зафиксировали значение МЭД 105 мкР/ч. Были отобраны и проанализированы 7 проб почвы и подстилающих диктионемовых сланцев. Средняя величина эффективной удельной активности (Аэфф) для почвы (0–25 см) составляет 1750 Бк/кг. По величине Аэфф 5 из 7 проб относятся к IV классу экологической опасности, что означает существенные ограничения при строительстве и необходимость дополнительных мер для обеспечения экологической безопасности населения.

16. Проведены измерения плотности потока радона (ППР) на контрольной площадке. Значения ППР варьируются в пределах от  $160 \pm 40$  до  $2090 \pm 320$  мБк·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>. В среднем по контрольной площадке ППР составила  $980 \pm 160$  мБк·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>. Это в десятки раз больше допустимых нормативами величин (80 мБк·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> по НРБ–99/2009).

## **Выводы**

Риск облучения населения непосредственно вблизи выходов диктионемовых сланцев на дневную поверхность в районе бровки Балтийско-Ладожского глинта является повышенным и высоким. По мере удаления от выходов сланцев на 5 и более метров значения дозовой нагрузки на объекты природной среды снижаются до фоновых. Однако относительно высокие содержания естественных радионуклидов в диктионемовых сланцах копорской свиты позволяют отнести эти породы к потенциально экологически опасным геологическим телам.

В целом почвы г. Кирхгоф являются потенциально опасными для здоровья людей в случае их длительного пребывания на или вблизи данной возвышенности.

В связи с потенциальной опасностью диктионемовых сланцев и почв, развитых на них, результаты оценки радиационной обстановки имеют большое практическое значение в области геоэкологии и пропаганды экологических знаний среди населения. Результаты представленных исследований были направлены в соответствующие органы государственной власти как дополнение к обоснованию просьбы местного населения об организации на территории Кирхгофской возвышенности ООПТ и уменьшению тем самым антропогенной нагрузки в случае отказа от реализации планов по интенсивной застройке территории.

## Список литературы

### *Учебно-методическая литература:*

1. Александров Ю.А. Основы радиационной экологии: Учебное пособие /Мар. гос. ун-т; Ю.А. Александров. – Йошкар-Ола, 2007. – 268 с.
2. Апарин Б. Ф., Касаткина Г. А., Матинян Н. Н., Сухачева Е. Ю. Красная книга почв Ленинградской области. Отв. ред. Б. Ф. Апарин: / СПб.: Аэроплан, 2007.,- 320 с.
3. Беляев А.М., Иванюкович Г.А., Куриленко В.В., Хайкович И.М. Радиоэкология: Учеб.пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 2003. –324 с.
4. Габитов Р.М. Аналитический комплекс «Радэк». Методика выполнения измерений. СПб, 2005. – 27 с.
5. Лебедев С.В. Методическое пособие по радиоэкологической практике в Саблино. СПб, 2006, 16 с.
6. Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка: учебник для вузов. – Л.: Недра. 1989.– 407 с.
7. Ольховатенко В.Е., Чернышова Н.А. Инженерно-строительная геоэкология: учебное пособие.– Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. – 68 с
8. Хайкович И.М., Лебедев С.В. Геофизические поля в экологической геологии: Учеб.пособие. под ред. В.В. Куриленко. – СПб.: С.-Петербур. гос. ун-т. 2013. – 156 с.

### *Монографии:*

1. Гришнякова А.И., Лебедев С.В., Подлипский И.И.. Радиационное поле над почвами горы Кирхгоф. Геология, геоэкология, эволюционная география: Коллективная монография. Том XVII/ Под ред. Е.М. Нестерова, В.А. Снытко. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. с. 149–152.
2. Дронов, А. В., Корень Т. Н., Попов, Л. Е.Толмачева Т.Ю. Методика событийной стратиграфии в обосновании корреляции региональных стратонов на примере нижнего ордовика северо-запада России. СПб. Изд-во ВСЕГЕИ, 1998, 88с.
3. Лебедев С.В., Подлипский И.И., Гришнякова А.И., Климова Л.А. Радиоактивность почв Кирхгофской возвышенности (Ленинградская область). Науки о Земле и цивилизация. Коллективная монография. Том. XI / Под ред. Е.М. Нестерова, В.А. Снытко. – СПб.: Из-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2019. – с. 111–117.

### *Авторефераты и диссертации:*

1. Агафонова Е.К. Эколого-геологическая оценка окружающей среды Василеостровского района по данным мониторинга тяжелых металлов в снежном покрове и почвогрунтах. 2017.—56 с.
2. Балахонова А.С. Рениевое оруденение в диктионемовых сланцах прибалтийского бассейна (Ленинградская область). Автореферат. Диссертация. 2014.– 125 с.
3. Ефремова У. С. Радиоактивность диктионемовых сланцев и оценка их влияния на экологическую обстановку территории Балтийско-Ладожского глинта Ленинградской области. 2017.– 54 с.

*Статьи в сборниках:*

1. Александрова Т.В. Физико-географическое описание и экономическая характеристика. – В кн. Геология СССР. Т. 1, Ленинградская, Псковская и Новгородская области. – М.: Недра. 1971. – с. 26–38.
2. Борисова К.А., Ефремова У.С., Лебедев С.В. Неравномерность распределения природных радионуклидов в пласте диктионемовых сланцев на примере обнажения в долине р. Тызьева. Материалы XVII международной молодежной научной конференции «Экологические проблемы недропользования». СПб.: СПбГУ, 29-31 мая 2017. с. 101–102
3. Лебедев С.В., Гришнякова А.И., Рубаник А.В. Исследование природных источников радиации и возможность уменьшения антропогенной нагрузки на окружающую среду. IX Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция «Природопользование и охрана природы: Охрана памятников природы, биологического и ландшафтного разнообразия Томского Приобья». Томск. 2020. (в печати).
4. Себровский К.Э., Гришнякова А.И., Лебедев С.В., Череватов Н.В. Цифровая модель рельефа Кирхгофской возвышенности для радиоэкологических исследований. Экологические проблемы природо- и недропользования: Труды международной молодежной научной конференции. Том XIX / Подред. В.В. Куриленко – СПб.: СПбГУ, 2019. – с. 316 – 320.
5. Soesso, A. & Hade, S. Metalliferous organic-rich shales of Baltoscandia – a future resource of environmental/ecological problem. ArchivEuroEco 2, 11–14 (2012).

*Статьи в журналах:*

1. Грейсер Е.Л., Дашко Р.Э., Котлукова И.В., Малаховский Д.Б. Строение и происхождение Дудергофских высот (окрестности Ленинграда) // Известия Всесоюзного Географического общества: изд-во Наука (Л.), Т.112, вып.2., 1980. – с. 138-146
2. Малаховский Д.Б., Грейсер Е.Л. Балтийско-Ладожский уступ // Геоморфология. 1987. № 1. С. 94-98.
3. Kiegiel K., Zakrzewska-Kołtuniewicz G., Gajda D., Miśkiewicz A., Abramowska A., Biełuszka P., Danko B., Chajduk E., Wołkowicz S. Dictyonema black shale and Triassic sandstones as potential sources of uranium. Nukleonika. Original Edition. 60(3), 2015.
4. Lebedev, S.V., Dubrova, S.V., Fedorov, P.V., Kurilenko, V.V., Siabato, W. Environmental assessment of risks associated with the Ordovician Dictyonema shale in the eastern part of the Baltic Klint. Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences, 63 (2), 147-159, 2018.
5. Lee, S. K., Wagiran, H., Ramli, A. T., Apriantoro, N. H., Wood, A. K. Radiological monitoring: terrestrial natural radionuclides in Kinta District, Perak, Malaysia. Journal of Environmental Radioactivity 100, 368–374. doi: 10.1016/j.jenvrad.2009.01.001
6. United Nations. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly, scientific annexes. United Nations sales publication E.00.IX.3. Exposures from natural radiation sources. United Nations, New York, 2000, p. 84-156

*Фондовая литература:*

1. Возможность использования подземных вод Ленинградской области. – Труды, №33. Ленинградский гидрометеорологический центр, Редактор З.Б. Ваксенбург. Ленинград, 1969.
2. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Объяснительная записка. Лист О-(35), 36 – Ленинград. – Л.: Мин-во геологии СССР, ВСЕГЕИ, ПГО «Севзапгеология», 1989. - 212 с.54
3. Кузнецов С.С., Селиванов Г.Д. Геологическая экскурсия по долине р. Саблиники Ленинградской области.– Ленинград, 1940. -64 с.

*Нормативно-правовые документы:*



1. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Методика. Министерство природных ресурсов РФ. 1992 г.
2. СанПин 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009), 2009
3. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99/2010), 2010
4. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности методическими указаниями. МУ 2.6.1.2398-08. М, 2008 г.
5. СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства, 1997

*Ресурсы сети Интернет:*

1. <http://www.ecoanaliz.ru/cat-ecorussia/72-ecoleningrad.html?start=1-000> «Группа экоанализ». Природные условия Ленинградской области. [http://www.nature.lenobl.ru/Files/file/doklad\\_ob\\_ekologicheskoi\\_situatsii\\_v\\_lenooblasti\\_v\\_2018\\_.pdf](http://www.nature.lenobl.ru/Files/file/doklad_ob_ekologicheskoi_situatsii_v_lenooblasti_v_2018_.pdf) - Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2017 году. Администрация Ленинградской области Комитет по природным ресурсам Ленинградской области, Санкт-Петербург 2018
2. <http://www.radek.ru/> - научно-технический центр «РАДЭК»

## Список опубликованных работ

1. *Гришнякова А.И.*, Лебедев С.В. Исследование радиационной обстановки в районе горы Кирхгоф. XVIII международная молодежная научная конференция «Экологические проблемы недропользования. Наука и образование» 1–5 октября 2018. Материалы конференции/ Под ред. проф. В.В. Куриленко. – СПб.: Изд-во «Лема». 2018. – с. 151–154.
2. *Гришнякова А.И.*, Лебедев С.В. Гамма-поле над почвами горы Кирхгоф (Ленинградская область). Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии. Материалы XXIX молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца и академика РАН Ф.П. Митрофанова, г. Петрозаводск, 1–5 октября 2018 г. / [ред. кол. Садовничий Р.В., Медведев А.С., Рыбникова З.П.]. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. – с. 247–248.
3. *Гришнякова А.И.*, Лебедев С.В., Подлипский И.И.. Радиационное поле над почвами горы Кирхгоф. Геология, геоэкология, эволюционная география: Коллективная монография. Том XVII/ Под ред. Е.М. Нестерова, В.А. Снытко. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. с. 149–152.
4. *Гришнякова А.И.*, Лебедев С.В., Федоров П.В. Радиоактивность диктионемовых сланцев и оценка их влияния на экологическую обстановку в районе Балтийско-Ладожского уступа в Ленинградской области. Геология, геоэкология, эволюционная география: Коллективная монография. Том XVIII. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2019. с. 188–191.
5. Лебедев С.В., Подлипский И.И., *Гришнякова А.И.*, Климова Л.А. Радиоактивность почв Кирхгофской возвышенности (Ленинградская область). Науки о Земле и цивилизация. Коллективная монография. Том. XI / Под ред. Е.М. Нестерова, В.А. Снытко. – СПб.: Из-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2019. – с. 111–117.
6. Себровский К.Э., *Гришнякова А.И.*, Лебедев С.В., Череватов Н.В. Цифровая модель рельефа Кирхгофской возвышенности для радиоэкологических исследований. Экологические проблемы природо- и недропользования: Труды международной молодежной научной конференции. Том XIX / Под ред. В.В. Куриленко – СПб.: СПбГУ, 2019. – с. 316 – 320.

## **Благодарности**

Выражаю благодарность Сергею Васильевичу Лебедеву за руководство и помощь в написании работы, Петру Владимировичу Федорову за руководство и помощь в полевых работах. Сотрудникам отдела радиационной гигиены ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» Николаю Владиленовичу Череватову и Людмиле Анатольевне Климовой за помощь в обработке и анализе данных. Борисовой К., Доброхотовой Л., Лукиных Д., Ткачуку. П., Каменковой С. за помощь в пробоподготовке и обработке данных.

## Приложения

### Результаты анализа проб диктионемовых сланцев

№ пробы	Ra, Бк/кг	Th, Бк/кг	K, Бк/кг	Аэфф, Бк/кг	q Ra, ppm	qTh, ppm	q K, %
01.1.2	2210	62	1730	2880	179	15	5,5
01.1.3	2330	50	1480	2980	188	12	4,7
01.2.2	2180	58	1860	2850	176	14	5,9
01.2.3	2830	33	1500	3570	229	8	4,8
07.1.2	1190	38	1880	1640	96	9	6,0
07.1.3	780	37	1830	1140	63	9	5,8
07.1.4	840	35	1700	1200	68	9	5,5
07.1.5	2940	62	1890	3770	238	15	6,1
07.1.6	2800	69	1480	3590	228	17	4,7
07.1.7	6080	73	1700	7530	492	18	5,4
07.1.8	570	45	660	800	46	11	2,1
07.1.9	570	45	910	820	46	11	2,9
07.1.10	790	54	1490	1150	64	13	4,7
07.1.11	1940	55	1390	2510	157	13	4,4
07.1.12	320	30	670	480	26	7	2,1
07.1.13	1530	55	1360	2020	124	13	4,3
07.1.14	1920	66	1830	2550	156	16	5,8
08.1.1	1880	69	1730	2490	152	17	5,5
08.1.2	1480	82	1830	2040	120	20	5,8
09.1.1	610	50	640	850	49	12	2,1
09.1.2	320	14	450	440	26	4	1,4
09.1.3	4190	104	1840	5320	339	26	5,9
203.1.1	200	60	900	320	16	менее 14,8	2,9
203.1.2	1800	60	1700	2000	146	менее 14,8	5,4
203.1.3	700	60	3500	1000	57	менее 14,8	11,2
203.1.4	1000	60	1100	1100	81	менее 14,8	3,5
203.1.5	3800	60	1600	4000	308	менее 14,8	5,1
203.1.6	4500	60	2900	4800	364	менее 14,8	9,3
203.1.7	2000	60	1400	2200	162	менее 14,8	4,5
203.1.8	2500	60	1800	2800	202	менее 14,8	5,8
203.1.9	1500	60	1799	1700	121	менее 14,8	5,7
203.1.10	1700	60	1800	1901	138	менее 14,8	5,8
203.1.11	2700	60	2100	1900	219	менее 14,8	6,7
203.1.12	1100	60	1700	1300	89	менее 14,8	5,4
203.1.13	1300	60	1700	1500	105	менее 14,8	5,4
203.1.14	1500	60	2100	1750	121	менее 14,8	6,7
203.1.15	600	60	1700	800	49	менее 14,8	5,4

№ пробы	Ra, Бк/кг	Th, Бк/кг	K, Бк/кг	Аэфф, Бк/кг	q Ra, ppm	qTh, ppm	q K, %
34.1.1	1620	38	1560	2130	131	9	5,0
34.1.2	920	43	1460	1290	75	11	4,7
34.1.3	280	24	750	430	23	6	2,4
34.1.4	490	48	940	730	40	12	3,0
34.1.5	340	31	750	510	28	8	2,4
24.1.1	1240	55	1730	1710	100	13	5,5
25.1.1	290	9	660	420	24	2	2,1
25.1.2	230	64	450	400	19	16	1,4
25.1.3	1380	67	780	1800	111	16	2,5
30.1.1	2210	65	1530	2870	179	16	4,9
208.1.1	4600	60	900	4700	372	менее 14,8	2,9
208.1.2	750	60	1200	900	61	менее 14,8	3,8
59.1.1	1530	47	890	1970	124	11	2,8
206.1.1	1600	60	1800	1800	130	менее 14,8	5,8
206.1.2	1200	60	2140	1450	97	менее 14,8	6,8
206.1.3	4300	60	2200	4599	348	менее 14,8	7,0
53.1.2	3490	48	1680	4390	282	12	5,4