

Акционерное общество «Российский концерн по производству
электрической и тепловой энергии на атомных станциях»
(АО «Концерн Росэнергоатом»)

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом»
«Кольская атомная станция» (Кольская АЭС)

Общество с ограниченной ответственностью «НЕОРАДТЕХ»
(ООО «НЕОРАДТЕХ»)

СОГЛАСОВАНО
Главный инженер филиала АО
«Концерн Росэнергоатом» «Кольская
атомная станция»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ООО «НЕОРАДТЕХ»


В.А. Матвеев
« _____ » _____ 2022 г.



Н.Г Швалев
« _____ » _____ 2022 г.


ПРОЕКТ ЗОНЫ НАБЛЮДЕНИЯ
ФИЛИАЛА АО «КОНЦЕРН РОСЭНЕРГОАТОМ»
«КОЛЬСКАЯ АТОМНАЯ СТАНЦИЯ»

г. Полярные Зори, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	3
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ	8
1 Общие сведения о Кольской АЭС	9
1.1 Общие сведения о предприятии.....	9
1.2 Краткая характеристика существующей санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения Кольской АЭС	10
2 Кольская АЭС как источник поступления радионуклидов в атмосферу	14
2.1 Источники газоаэрозольных выбросов и их характеристики	14
2.2 Радиационный контроль газоаэрозольных выбросов Кольской АЭС.....	20
3 Расчетное обоснование размера зоны наблюдения Кольской АЭС.....	23
3.1 Общие требования по обоснованию размера и границ зоны наблюдения	23
3.2 Метод расчета размера зоны наблюдения	23
3.3 Расчет среднегодового фактора метеорологического разбавления.....	25
3.4 Результат расчета радиуса зоны наблюдения.....	36
4 Радиационный мониторинг окружающей среды в районе расположения Кольской АЭС.....	38
4.1 Организация радиационного мониторинга окружающей среды	38
4.2 Контроль содержания радионуклидов в приземном воздухе и атмосферных выпадениях	41
4.3 Данные мониторинга содержания радионуклидов в приземном воздухе и атмосферных выпадениях	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	47
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	48
ПРИЛОЖЕНИЕ А	
Матрица совместной повторяемости метеопараметров, определяющих перенос и рассеяние примеси в атмосфере в районе расположения Кольской АЭС	49

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем документе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Активность: мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии в данный момент времени. Единицей активности является беккерель (Бк) (НРБ-99/2009).

Атмосферный воздух: жизненно важный компонент окружающей среды, представляющий собой естественную смесь газов атмосферы, находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений (ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ).

Атомная станция: ядерная установка для производства энергии в заданных режимах и условиях применения, располагающаяся в пределах определенной проектом территории, на которой для осуществления этой цели используется ядерный реактор (реакторы) и комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений с необходимыми работниками (персоналом).

Атомная электрическая станция: атомная станция, предназначенная для производства электрической энергии.

Вещество радиоактивное: вещество в любом агрегатном состоянии, содержащее радионуклиды с активностью, на которые распространяются требования норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009).

Выброс допустимый: норматив разрешенного для АС с учетом принципа оптимизации выброса радионуклидов в атмосферу за год (СП АС-03).

Выброс непрерывный: длительный выброс в атмосферный воздух радиоактивных веществ, осуществляемый в течение всего периода эксплуатации установки или устройства при работе ее на мощности или в ином режиме, предусмотренном регламентом работы (ПДВ-2012).

Выброс предельно допустимый: норматив разрешенного для АС выброса радионуклидов в атмосферу за год, рассчитываемый на основе установленной для выбросов АС квоты (СП АС-03).

Высота выброса эффективная: величина, равная сумме геометрической высоты источника и дополнительного подъема выброса за счет динамических и термических факторов.

Группа критическая: группа лиц из населения (не менее десяти человек), однородная по одному или нескольким признакам – полу, возрасту, социальным или

профессиональным условиям, месту проживания, рациону питания, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию по данному пути облучения (НРБ-99/2009).

Доза минимально значимая (в рамках данного документа): нижняя граница годовой эффективной дозы облучения, устанавливаемая при оптимизации радиационной защиты населения от поступления радионуклидов с газоаэрозольными выбросами АС в атмосферу.

Примечание - В соответствии с НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 минимально значимая доза принимается равной 10 мкЗв в год.

Доза эквивалентная: поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения (ОСПОРБ-99/2010).

Доза эффективная: величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности; равна сумме произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты (ОСПОРБ-99/2010).

Доза эффективная годовая: сумма эффективной дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год (ОСПОРБ-99/2010).

Зона санитарно-защитная: территория вокруг АС, за пределами которой уровень облучения населения за счет нормальной эксплуатации атомной станции не превышает установленную для него квоту (НРБ-99/2009).

Зона наблюдения: территория за пределами санитарно-защитной зоны, на которой проводится радиационный контроль (НРБ-99/2009).

Квота: часть предела дозы, установленная для ограничения облучения населения от газоаэрозольных выбросов АС (СП АС-03).

Мощность выброса: количество радиоактивных веществ (активность), поступивших в атмосферу за единицу времени.

Население: все лица, включая персонал вне работы с источниками ионизирующего излучения (НРБ-99/2009).

Неопределенность измерения: характеристика точности измерений искомой величины с помощью данного средства измерений и методики выполнения измерений, определяющая разброс возможных при данном измерении значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

Облучение: воздействие на человека ионизирующего излучения (НРБ-99/2009).

Облучение внешнее: облучение органов и тканей человека в результате воздействия излучения, падающего на тело.

Облучение внутреннее: облучение от источника, находящегося внутри тела человека (в результате отложения радионуклидов в органах и/или тканях тела) (пересмотренное издание международных основных норм безопасности).

Облучение техногенное: облучение от техногенных источников, как в нормальных, так и в аварийных условиях, за исключением медицинского облучения пациентов (НРБ-99/2009).

Площадка промышленная: территория, в пределах охраняемого периметра, где располагаются основные и вспомогательные здания и сооружения атомной станции (МУ 1.3.2.06.027.0017-2010).

Предел дозы: значение эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения населения за счет нормальной эксплуатации АС, которое не должно превышать. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне (НРБ-99/2009).

Путь облучения: путь, по которому радиоактивные вещества могут попасть к человеку и привести к его облучению (пересмотренное издание международных основных норм безопасности).

Риск радиационный: вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения (НРБ-99/2009).

Точка местности критическая: точка, в которой реализуются максимальные уровни облучения людей от выбросов радиоактивных веществ организации с учетом всех путей облучения (ПДВ-2012).

Фактор разбавления метеорологический приземный среднегодовой: отношение среднегодовой объемной активности радионуклида в приземном слое воздуха к среднегодовой мощности его выброса в атмосферу (МТ 1.2.1.15.1176-2016).

Фактор сухого осаждения на подстилающую поверхность метеорологический среднегодовой: отношение среднегодовой плотности сухого выпадения радионуклида на подстилающую поверхность к активности его среднегодового выброса (МТ 1.2.1.15.1176-2016).

Фактор влажного выведения на подстилающую поверхность метеорологический среднегодовой: отношение среднегодовой плотности влажного выведения радионуклида атмосферными осадками на подстилающую поверхность к активности его среднегодового выброса (МТ 1.2.1.15.1176-2016).

Эксплуатация нормальная: эксплуатация АС в определенных проектом эксплуатационных пределах и условиях.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АС	- атомная станция
АСКРО	- автоматизированная система контроля радиационной обстановки
АЭС	- атомная электрическая станция
БВ	- бассейн выдержки
БД	- блок детектирования
ВВЭР	- водо-водяной энергетический реактор
ВФУ	- воздухофильтрующая установка
ГВРК	- группа внешнего радиационного контроля
ДВ	- допустимый выброс
ДЖН	- долгоживущие нуклиды
ЗН	- зона наблюдения
ЗПУПД	- защищенный пункт управления противоаварийными действиями
ИРГ	- инертные радиоактивные газы
КолАЭС	- Кольская атомная станция
КП ЖРО	- комплекс переработки жидких радиоактивных отходов
МАЭД	- мощность амбиетного эквивалента дозы
МДА	- минимально детектируемая активность
МП	- методика пробоотбора
МС	- метеостанция
НПИ	- нижний предел измерения
ОРБ	- отдел радиационной безопасности
ОСК	- объединенный специальный корпус
ОЧГ	- особо чистый германий
ОЯБиН	- отдел ядерной безопасности и надежности
ОЯТ	- отработавшее ядерное топливо
ПДВ	- предельно допустимый выброс
ППД	- полупроводниковый детектор
ППН	- пункт постоянного наблюдения
РАО	- радиоактивные отходы
РВ	- радиоактивные вещества
РК	- радиационный контроль
СГО	- специальная газоочистка
СЗЗ	- санитарно-защитная зона

ТЛД	- термолюминесцентный детектор
УГМС	- Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
ФМБА	- федеральное медико-биологическое агентство
ФЭУ	- фотоэлектронный умножитель
ХЖО	- хранилище жидких радиоактивных отходов
ХОРО	- хранилище отвержденных радиоактивных отходов
ХСО	- хранилище сухих радиоактивных отходов

ВВЕДЕНИЕ

Радиационное воздействие на население, проживающее в районе расположения АЭС, ограничивается допустимым уровнем – квотой предела дозы, что обеспечивает не превышение среднегодового значения предела дозы для населения [1, 2]. Для воздействия выбросов радиоактивных веществ Кольской АЭС в атмосферный воздух эта квота составляет 200 мкЗв/год [3].

В целях защиты населения в районе размещения атомной станции устанавливается особая территория – зона наблюдения (далее – ЗН).

Размеры зоны наблюдения устанавливаются на основе анализа показателей радиационного контроля за счет фактических радиоактивных выбросов в атмосферу. Внутренняя граница ЗН всегда совпадает с границей СЗЗ [1]. Внешние границы зоны наблюдения определяются, исходя из необходимости и достаточности радиационного контроля при нормальной эксплуатации АЭС, которая обеспечивается полнотой, точностью и достоверностью определяемых параметров.

Разработчиком проекта зоны наблюдения Кольской АЭС является ООО «НЕОРАДТЕХ», адрес: 249032, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Курчатова, д. 19а, офис 405; телефон: +7 (484) 3979028; e-mail: neoradtech@yandex.ru.

1 Общие сведения о Кольской АЭС

1.1 Общие сведения о предприятии

Кольская атомная станция (рисунок 1.1) является филиалом АО «Концерн Росэнергоатом». Полное наименование и адрес организации: Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Кольская атомная станция». Почтовый адрес: 184230, Мурманская область, г. Полярные Зори. Телефон: (81532) 42359; 42459. Факс: (81532) 42140; 42050. E-mail: kolanpp@kolatom.murmansk.ru. Интернет сайт: <http://www.kolanpp.rosenergoatom.ru/>.

Кольская АЭС относится к I категории по потенциальной радиационной опасности в соответствии с классификацией, принятой в СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» [4].

Станция сооружена в 1973-1984 гг. в две очереди: первая очередь – энергоблоки 1 и 2, вторая очередь – энергоблоки 3 и 4. Перечень действующих энергоблоков Кольской АЭС представлен в таблице 1.1. Технологическая схема Кольской АЭС – двухконтурная с водяными реакторами ВВЭР-440.

На каждой очереди имеется объединенный специальный корпус для переработки технологических сред и радиоактивных отходов – ОСК-1 и ОСК-2. Хранилища сухих радиоактивных отходов (далее – ХСО) и временные хранилища жидких радиоактивных отходов (далее – ХЖО) оборудованы в здании спецкорпуса для каждой очереди: ХСО-1, ХЖО-1 и ХСО-2, ХЖО-2, соответственно.

Пунктами временного хранения отработавшего ядерного топлива (далее – ОЯТ) являются приреакторные бассейны выдержки (далее – БВ) энергоблоков 1-4.

На Кольской АЭС эксплуатируется комплекс по переработке жидких радиоактивных отходов (далее – КП ЖРО), предназначенный для кондиционирования накопленных и образующихся отходов. Введено в эксплуатацию хранилище отвержденных радиоактивных отходов (далее – ХОРО).

Таблица 1.1 – Действующие энергоблоки Кольской АЭС

Номер энергоблока	Тип реактора	Установленная мощность, МВт	Дата пуска
1	ВВЭР-440 (проект В-230)	440	29.06.1973
2	ВВЭР-440 (проект В-230)	440	08.12.1974
3	ВВЭР-440 (проект В-213)	440	24.03.1981
4	ВВЭР-440 (проект В-213)	440	11.10.1984



Рисунок 1.1 – Общий вид Кольской АЭС

1.2 Краткая характеристика существующей санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения Кольской АЭС

Вокруг Кольской АЭС установлены санитарно-защитная зона (далее – СЗЗ) и зона наблюдения (далее – ЗН), проекты которых согласованы с органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора и утверждены постановлением администрации г. Полярные Зори Мурманской области от 23.11.2009 №979. Карта-схема расположения Кольской АЭС с указанием границ СЗЗ и ЗН представлена на рисунке 1.2.

Санитарно-защитная зона Кольской АЭС включает в себя территорию центральной части полуострова, разделяющего Бабинскую Имандру от Экостровской Имандры, до автомобильной дороги Санкт-Петербург–Мурманск.

Границы СЗЗ также установлены вокруг ХССО. Проект СЗЗ ХССО (инв. № 32714) согласован с Межрегиональным управлением №118 ФМБА России и утвержден администрацией г. Полярные Зори. СЗЗ ХССО является территория хранилища, ограниченная охранным периметром.

В СЗЗ Кольской АЭС располагаются здания и сооружения подсобного и обслуживающего назначения: пожарные части, прачечные, помещения охраны, гаражи, склады (за исключением продовольственных), пункты общественного питания персонала, административно-служебные здания, ремонтные мастерские, транспортные сооружения,

сооружения технического водоснабжения и канализации, временные и подсобные предприятия строительства.

Согласно действующему проекту, зоной наблюдения является территория, ограниченная радиусом 15 км, отсчитываемым от геометрического центра вентиляционных труб 1-й и 2-й очередей Кольской АЭС. Внутренней границей ЗН является граница СЗЗ. В пределах зоны наблюдения Кольской АЭС находятся следующие населенные пункты: г. Полярные Зори, н.п. Африканда, н.п. Зашеек. Наиболее крупным является г. Полярные Зори.

В 11 км южнее площадки Кольской АЭС расположен промышленный объект – гидроэлектростанция ГЭС Нива-1.



Рисунок 1.2 – Расположение СЗЗ и ЗН Кольской АЭС

Схема ситуационного плана Кольской АЭС представлена на рисунке 1.3 (выкопировка из генерального плана в грубом разрешении). Взаимное расположение зданий и сооружений на генеральном плане определяется блокированием в одном пространстве главного корпуса аппаратных отделений и общего машинного зала двух

очередей, системой прямоточного технического водоснабжения, схемой доставки оборудования и строительных материалов железнодорожным транспортом, а также конкретными условиями площадки. Генплан разработан на четыре блока, которые ориентированы с запада на восток. Машинный зал обращен на север, открытое распределительное устройство расположено западнее постоянного торца атомной станции.

Основной автомобильный подъезд к площадке Кольской АЭС осуществляется по автодороге №1, второй – по автодороге №2. Оба автомобильных подъезда примыкают к автомагистрали Санкт-Петербург–Мурманск.

Для технологических и противопожарных нужд построена сеть внутриплощадочных автодорог с асфальтобетонным покрытием. На площадке АЭС имеется сеть внутриплощадочных железнодорожных путей. Кроме транспортных коммуникаций, в десятикилометровой зоне нет взрыво- или пожароопасных объектов.

Географические координаты площадки Кольской АЭС: 67°27'59" с.ш., 32°28'50" в.д.. Абсолютные отметки поверхности площадки АЭС находятся в пределах 128-140 м. Климат района отличается относительной мягкостью, что объясняется воздействием теплых атлантических масс воздуха. Среднегодовая температура воздуха по данным многолетних наблюдений колеблется в диапазоне 0-1 °С.

Местность расположения зоны наблюдения Кольской АЭС по характеру рельефа грядово-холмистого типа, моренные гряды чередуются с заболоченными низинами, глыбовыми свалами скальных пород, скоплениями валунов. Территория площадки сложена четвертичными отложениями, представленными моренными валунно-галечниковыми грунтами с песчаным и супесчаным заполнителем, и насыпными грунтами. В основании четвертичных отложений, местами на поверхности, залегают коренные породы. Мощность моренных отложений изменяется от 1 до 10 м, в среднем 4-5 м. Мощность насыпных грунтов от 0,5 до 3 м.

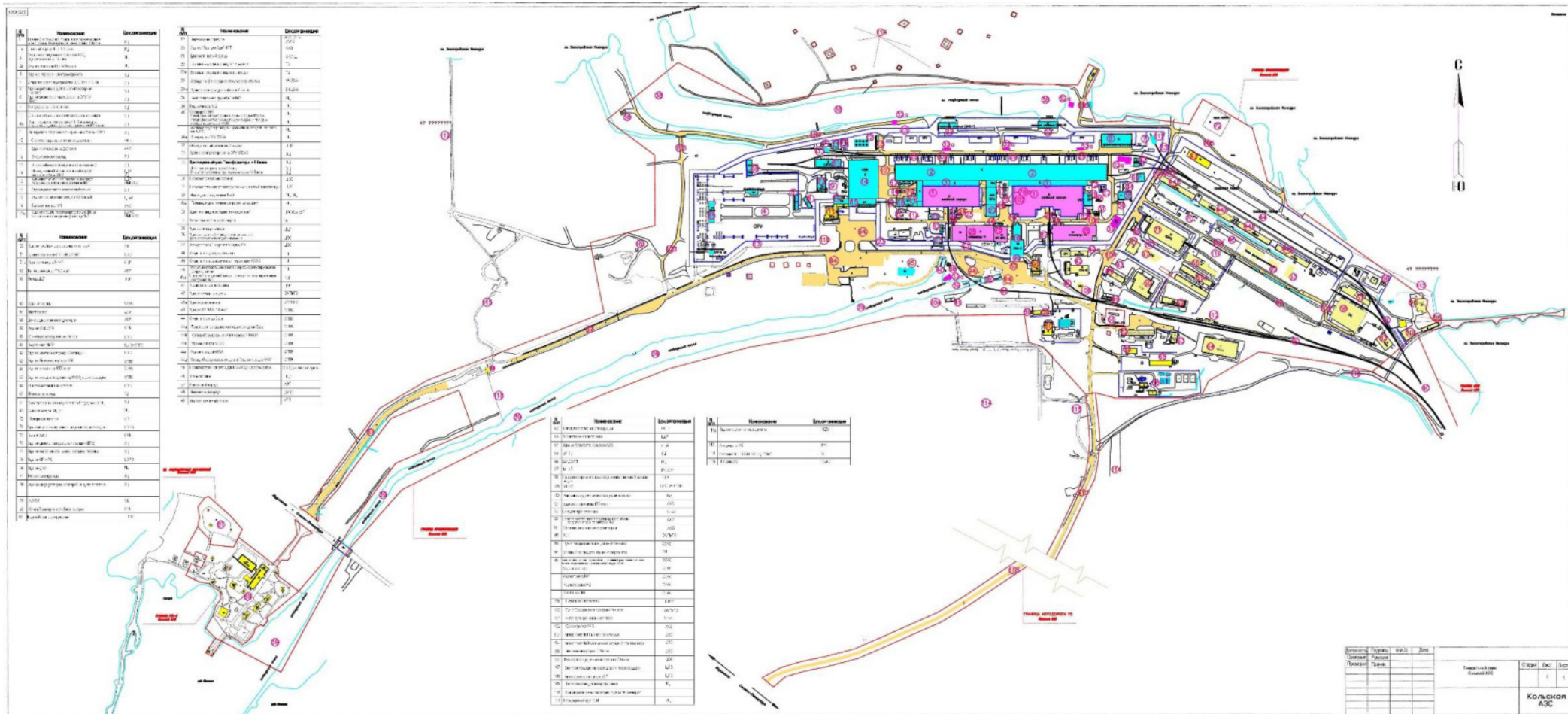


Рисунок 1.3 – Схема ситуационного плана Кольской АЭС

2 Кольская АЭС как источник поступления радионуклидов в атмосферу

2.1 Источники газоаэрозольных выбросов и их характеристики

Кольская АЭС состоит из четырех энергоблоков мощностью 440 МВт (эл.) каждый (2 блока ВВЭР-440, тип реактора В-230 и 2 блока ВВЭР-440 тип реактора В-213). Общая мощность станции 1760 МВт (эл.).

Энергоблоки разделены на две очереди, по два энергоблока на очередь. Каждая очередь включает аппаратное отделение и объединенный специальный корпус для переработки технологических сред и радиоактивных отходов, а также турбинное отделение, которое является общим для обеих очередей. В каждом специальном корпусе оборудовано хранилище сухих радиоактивных отходов и временное хранилище жидких радиоактивных отходов.

Технологическая схема Кольской АЭС – двухконтурная с водо-водяными реакторами ВВЭР-440 (типа 230 и 213), схема представлена на рисунке 2.1.

Первый контур – радиоактивный, состоит из водо-водяного энергетического реактора ВВЭР-440, работающего на тепловых нейтронах и шести циркуляционных петель. Топливом служит слабообогащенный уран. Теплоносителем, отводящим тепло от активной зоны реактора, и замедлителем нейтронов служит обессоленная вода. Вода первого контура нагревается в активной зоне реактора, через которую ее прокачивают главные циркуляционные насосы. Нагретая в активной зоне реактора вода подается в парогенераторы, через которые передает тепло воде второго контура, не вступая с ней в непосредственный контакт. В первом контуре циркулирует вода под давлением 12,5 МПа и температуре 264-300 °С. В парогенераторах тепло первого контура используется на получение сухого насыщенного пара давлением 4,7 МПа с температурой 260 °С, который используется во втором контуре в турбоагрегатах для получения электроэнергии.

Второй контур – нерадиоактивный, который включает в себя паропроизводящую часть парогенераторов, турбины, трубопроводы и вспомогательное оборудование. Образовавшийся в парогенераторах пар направляется в турбину, приводя в движение генератор, вырабатывающий электроэнергию. Далее электроэнергия через трансформаторы передается в сеть. Отработанный пар превращается в воду в конденсаторах турбин, которые охлаждаются водой, забираемой из Имандровского водохранилища.

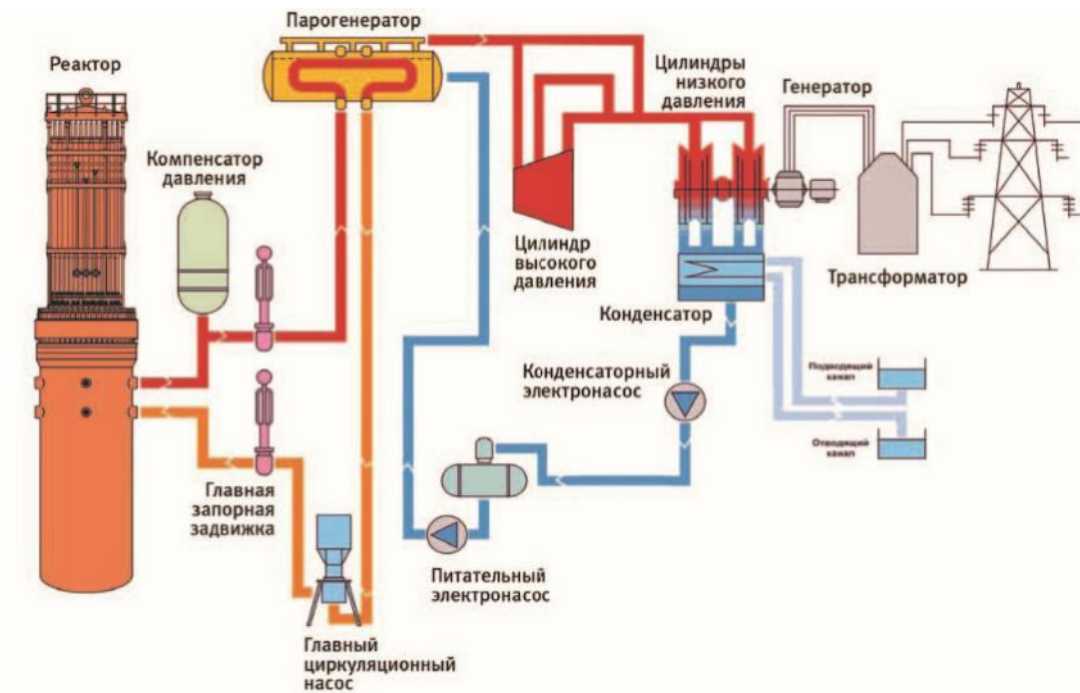


Рисунок 2.1 – Схема работы АЭС на двухконтурном водо-водяном энергетическом реакторе ВВЭР

Основными источниками радиационной опасности являются:

- облученное ядерное топливо;
- ядерный реактор;
- извлеченные внутрикорпусные устройства реактора;
- трубопроводы и оборудование первого контура;
- теплоноситель, выводимый из первого контура при водообмене;
- трубопроводы и оборудование спецводоочистки и спецканализации;
- твердые и жидкие радиоактивные отходы;
- воздуховоды и оборудование вентиляционных систем и спецгазоочистки;
- детали, механизмы, датчики, загрязненные радиоактивными веществами;
- закрытые источники ионизирующих излучений, используемые для целей дефектоскопии, градуировки и поверки аппаратуры.

В процессе эксплуатации Кольской АЭС образуются радиоактивные вещества, которые могут поступать в атмосферный воздух.

Источниками образования газообразных радиоактивных веществ являются сдувки с технологического оборудования:

- баков «грязного» конденсата;
- барботажных баков;
- прямков (баков) организованных протечек;

- теплообменников организованных протечек;
- деаэраторов подпитки и борного регулирования 1 контура;
- баков и оборудования установки А5 КП ЖРО;
- системы спецканализации КП ЖРО.

Сдувки с технологического оборудования направляются на очистку в системы спецгазоочистки (далее – СГО) и вытяжные системы спецвентиляции. Сдувки проходят очистку в системах СГО до разумно достижимого низкого уровня и выбрасываются через венттрубы в окружающую среду.

К системам очистки сдувок на Кольской АЭС относятся системы спецгазоочистки 1 очереди (2 нитки СГО) и 2-й очереди (3 нитки 0TS20, 0TS40, 0TS60).

Системы спецгазоочистки предназначены для очистки сдувок из оборудования от радиоактивных инертных газов (изотопов Хе, Аг, Кг и др.), аэрозолей и изотопов радиоактивного йода перед их поступлением в вентиляционную трубу.

В стационарном режиме работы осуществляется очистка газовых сдувок на одной из ниток СГО с расходом 5-15 м³/час. Газовые сдувки вначале проходят через охладитель газа, ловушку влаги (для 2 очереди), где происходит удаление влаги и охлаждение до температуры $T = 20 \div 40$ °С, далее поступают на самоочищающийся фильтр.

Затем газ проходит самоочищающийся фильтр, где происходит дальнейшая очистка газа от капельной влаги. Уловленная в охладителе газа, ловушке влаги и самоочищающемся фильтре влага стекает в бак-гидрозатвор, а затем в систему спецканализации.

После самоочищающегося фильтра газ подвергается глубокой осушке в одном из цеолитовых фильтров. Далее сухой газ последовательно проходит через адсорберы, в которых на активированном угле адсорбируются радиоактивные примеси (изотопы йода, криптона, ксенона и т.д.). Вследствие того, что динамическая адсорбция активного вещества сопровождается его радиоактивным распадом, в адсорбере устанавливается стационарное равновесие, в котором концентрация радиоактивного вещества убывает по длине адсорбера. Далее очищенный газ удаляется эжектором или газодувкой в венттрубу.

Очистка воздушной среды в вытяжных системах спецвентиляции осуществляется на аэрозольных и йодных фильтрах от аэрозолей и изотопов йода, и за счет радиоактивного распада.

Системы СГО оснащены:

- средствами контроля влажности, температуры, разрежения, расхода воздуха (газа), объемной активности на входе и выходе;
- на 1-й очереди системой подачи азота в технологическое оборудование для предотвращения образования взрывоопасных концентраций водорода;

- на 2-й очереди системой подачи азота в технологическое оборудование и системой дожигания водорода для предотвращения образования взрывоопасных концентраций водорода.

Технические и организационные меры по ограничению поступления РВ в окружающую среду (система защитных барьеров, системы спецводоочистки и спецгазоочистки, радиационный контроль, система учета), исключают при нормальной эксплуатации АЭС выход радионуклидов в количествах, превышающих установленные нормативы.

Источниками выбросов на Кольской АЭС являются вентиляционные трубы энергоблоков (венттруба 1 очереди и венттруба 2 очереди). Две вентиляционные трубы Кольской АЭС высотой ВТ-1 – 120 м и ВТ-2 – 125 м, размещаются на фундаментах, расположенных на уровне промплощадки. Они предназначены для выброса в атмосферу воздуха из помещений зоны контролируемого доступа.

Выброс радиоактивных газов и аэрозолей, удаляемых системами вентиляции в венттрубы, зависит от соблюдения режимов вентиляции, работоспособности фильтров очистки, герметичности оборудования и соблюдения режимов эксплуатации.

Радиационная обстановка на прилегающей к Кольской АЭС территории формируется в результате выбросов радиоактивных газов и аэрозолей в приземный слой атмосферы. Концентрации радиоактивных веществ в объектах окружающей среды (атмосферный воздух, растительность, почва и мощность дозы на местности) характеризуют состояние радиационной обстановки территории.

Карта-схема промплощадки Кольской АЭС с указанием стационарных организованных источников поступления радиоактивных веществ в атмосферный воздух при нормальной эксплуатации представлена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Карта-схема промплощадки Кольской АЭС с указанием источников поступления радиоактивных веществ в атмосферный воздух при нормальной эксплуатации

Наименования и основные характеристики организованных источников газоаerosольных выбросов радиоактивных веществ Кольской АЭС представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики источников выбросов Кольской АЭС

Инвентаризационный номер источника и вентсистема	Тип источника	Вид организованного источника	Число источников, объединенных под одним номером	Длина, ширина и высота здания, м	Высота источника, м	Размеры устья источника			Координаты источника на карте-схеме				Площадь площадного источника, м ² (объем, занимаемый радиоактивным веществом, м ³ ; плотность материала источника, кг/м ³)	Время работы источника	Объем (расход) газовоздушной смеси, м ³ /с (полный расход, м ³ /год)		Температура газовоздушной смеси, °С		Название выбрасываемого радиоактивного вещества	Средний диаметр частиц (или активный радиационный диаметр) и дисперсия функции плотности распределения частиц по размерам, мкм	Примечание
						Круглое устье	Прямоугольное устье		X1	Y1	X2	Y2			Тепл.	Холод.	Тепл.	Холод.			
							диаметр, м	длина, м													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Кольская атомная станция» (Кольская АЭС)																					
(наименование территориально обособленного подразделения хозяйствующего субъекта)																					
20016	организованный	вентруба 1 очереди	в/с АО 1 и 2 бл., ОСК-1, КПЖРО	-	120,0	4,2	-	-	1253,010	11679,544	-	-	-	00:00÷24:00	1,29·10 ² м ³ /с (4,06·10 ⁹ м ³ /год) <i>усредненные за последние 5 лет</i>	40 °С (постоянно)	Инертные радиоактивные газы (ИРГ), йод, долгоживущие нуклиды (ДЖН), тритий, углерод-14				
20042	организованный	вентруба 2 очереди	в/с АО 3 и 4 бл., ОСК-2	-	125,0	3,5	-	-	1485,959	11678,440	-	-	-	00:00÷24:00	1,62·10 ² м ³ /с (5,12·10 ⁹ м ³ /год) <i>усредненные за последние 5 лет</i>	20±45 °С (постоянно)	Инертные радиоактивные газы (ИРГ), йод, долгоживущие нуклиды (ДЖН), тритий, углерод-14				

2.2 Радиационный контроль газоаэрозольных выбросов Кольской АЭС

Радиационный контроль газоаэрозольных выбросов в атмосферу осуществляется в соответствии с «Регламентом радиационного контроля Кольской АЭС» 0-06-28ИП, согласованным Межрегиональным управлением №118 ФМБА России, по утвержденным методикам:

- методика измерений активности счетных образцов с использованием гамма-спектрометров «Canberra» Кольской АЭС. МВИ 15.1.13(4)-18;
- измерение объемной активности инертных газов в выбросах атомных станций. Методика. МТ 1.1.4.02.002.1362-2017;
- измерение объемной активности йода-131 в выбросах атомных станций. Методика. МТ 1.1.4.02.001.1387-2017;
- измерение объемной активности аэрозолей в выбросах атомных станций. Методика. МТ 1.1.4.02.002.1388-2017;
- методика выполнения измерений активности альфа-, бета-излучающих радионуклидов с использованием радиометра альфа-, бета-излучения спектрометрического «Quantulus 1220». СПР10-18;
- методика измерений объемной активности углерода-14 в приземной атмосфере и газообразных выбросах с использованием установки автоматизированной пробоотбора трития и углерода-14 УОТ-02. И.ЦЗЛ.МИ.352-2020;
- методика измерений объемной активности трития в приземной атмосфере и газообразных выбросах с использованием установки автоматизированной пробоотбора трития и углерода-14 УОТ-02. И.ЦЗЛ.МИ.351-2020.

В таблицах 2.2 и 2.3 приведен список оборудования для выполнения отбора и измерения активности в газоаэрозольных выбросах Кольской АЭС.

Таблица 2.2 – Состав и основные технические характеристики средств измерений активности выбросов Кольской АЭС

Средство измерения	Измеряемая величина	Устройство или блок детектирования	Основная относительная погрешность
РКС-07П	Объемная активность ИРГ, Бк/м ³	БДГБ-02П Чувствительный	40%
		БДГБ2-01-02 Грубый	40%

МГГ-010	Объемная активность ИРГ, Бк/м ³	детекторы гамма-излучения на основе кристалла LaBr ₃ (Ce): – 38x38 мм; – 25x25 мм.	50%
Спектрометр CANBERRA (ГВРК)	Обсчет активности лент аэрозольного контроля, Бк/пробу	ППД из ОЧГ GC2018, GC3018	20%
Спектрометр CANBERRA (ОЯБиН)	Обсчет активности фильтров, Бк/пробу	ППД из ОЧГ GC3018	20%
Спектрометр Quantulus 1220-003	Объемная активность трития и углерода-14, Бк/пробу	Жидко сцинтилляционный БД с ФЭУ	10%
УППВМ	Установка для измерения параметров воздушного потока, м/с	Измерительный канал линейной скорости воздушного потока	10%

Таблица 2.3 – Состав и основные технические характеристики средств пробоотбора выбросов Кольской АЭС

Средство пробоотбора	Устройство или БД	Параметр	Расход воздушной среды
УОТ-02	-	– тритий в водной (НТО) форме; – тритий в газообразной (НТ) форме; – углерод-14 в неорганической (СО и СО ₂) форме; – углерод-14 в органической (С _n Н _m) форме.	0,2 дм ³ /мин
Фильтродержатели аналитических фильтров	-	¹³¹ I	2,9 м ³ /ч
РКС-07П	УДАБ-03П	Аэрозоли (⁶⁰ Со, ^{110m} Ag, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs)	1,51 м ³ /ч

Конструкции пробоотборных зондов, установленных в венттрубах, соответствуют «Методическим указаниям по отбору проб радиоактивных аэрозолей на атомных станциях» МУ 34-70-119-85.

Данные Кольской АЭС за 2017–2021 гг. по выбросам контролируемых радионуклидов из венттруб АЭС по данным штатного радиационного контроля приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Выбросы Кольской АЭС (2017-2021 гг.) по данным штатного радиационного контроля, Бк/год

Радионуклид	ВТ-1				
	2017	2018	2019	2020	2021
³ H	-	-	9,25E+11	8,32E+11	1,20E+12
¹⁴ C	-	-	7,51E+07	8,22E+07	1,87E+10
⁴¹ Ar	-	-	9,82E+11	6,75E+11	7,66E+11

⁶⁰ Co	4,21E+06	7,21E+06	1,37E+07	1,67E+07	2,23E+07
^{85m} Kr	-	-	6,17E+11	5,36E+11	5,64E+11
⁸⁷ Kr	-	-	2,11E+12	1,53E+12	1,48E+12
⁸⁸ Kr	-	-	2,02E+12	1,80E+12	1,61E+12
^{110m} Ag	-	-	2,45E+07	2,81E+07	3,89E+07
¹³¹ I	4,69E+07	4,86E+07	1,11E+08	5,03E+07	3,70E+07
¹³⁴ Cs	0,64E+06	0,75E+06	9,90E+05	1,22E+06	1,40E+06
¹³⁷ Cs	1,57E+06	2,51E+06	7,88E+06	3,03E+06	3,47E+06
¹³⁵ Xe	-	-	5,97E+11	5,31E+11	4,58E+11
ИРГ	5,13E+12	5,28E+12	-	-	-
Радионуклид	ВТ-2				
	2017	2018	2019	2020	2021
³ H	-	-	1,40E+12	1,18E+12	9,41E+11
¹⁴ C	-	-	7,61E+07	8,10E+07	4,08E+10
⁴¹ Ar	-	-	2,53E+12	1,53E+12	1,17E+12
⁶⁰ Co	1,67E+06	2,87E+06	6,24E+06	1,22E+07	1,03E+07
^{85m} Kr	-	-	2,41E+11	4,30E+11	3,86E+11
⁸⁷ Kr	-	-	1,01E+12	1,26E+12	1,02E+12
⁸⁸ Kr	-	-	8,19E+11	1,45E+12	1,24E+12
^{110m} Ag	-	-	3,49E+07	3,25E+07	1,71E+07
¹³¹ I	1,58E+07	2,45E+07	5,94E+06	5,36E+06	7,96E+06
¹³⁴ Cs	0,57E+06	0,57E+06	8,80E+05	9,00E+05	8,40E+05
¹³⁷ Cs	3,07E+06	1,01E+07	3,56E+07	2,97E+07	1,14E+07
¹³⁵ Xe	-	-	2,48E+11	3,90E+11	3,10E+11
ИРГ	9,57E+12	6,44E+12	-	-	-

Уровни регистрации аппаратуры / метода:

- Н-3 – 0,01 Бк/проба;
- С-14 – 0,007 Бк/проба;
- радионуклиды ИРГ (⁴¹Ar, ^{85m}Kr, ⁸⁷Kr, ⁸⁸Kr, ¹³⁵Xe) – 1,0·10³ Бк/м³;
- Со-60 – 0,2 Бк/проба;
- Ag-110m – 0,2 Бк/проба;
- I-131 – 0,5 Бк/проба;
- Cs-134 – 0,2 Бк/проба;
- Cs-137 – 0,2 Бк/проба.

Состояние оборудования радиационного контроля газоаэрозольных выбросов и методическое обеспечение соответствует установленным требованиям. Превышения величин контрольных уровней выбросов за месяц, допустимых выбросов за год в рассмотренный период 2017–2021 гг. не зарегистрировано.

Фактические годовые выбросы радиоактивных веществ Кольской АЭС имеют многократный запас по отношению к установленным предельно допустимым выбросам.

3 Расчетное обоснование размера зоны наблюдения Кольской АЭС

3.1 Общие требования по обоснованию размера и границ зоны наблюдения

Зона наблюдения представляет собой территорию вокруг АЭС, внутренняя граница которой совпадает с границей СЗЗ, а внешняя – с окружностью радиуса R_{3H} . Размер зоны наблюдения рассчитывается, исходя из необходимости и достаточности радиационного контроля на этой территории при нормальной эксплуатации АЭС, что обеспечивается необходимой полнотой, точностью и достоверностью определяемых параметров. Учитывая чрезвычайно низкий уровень радиационного воздействия Кольской АЭС при нормальной эксплуатации на окружающую среду, зона наблюдения может быть ограничена территорией, на которой контролируемые радиационные параметры достигают максимальных значений, а за пределами ЗН радиационный контроль мало информативен и, с учетом затрат на оснащение постов наблюдения, не оправдан.

При нормальной эксплуатации радиационного объекта величины, характеризующие содержание радионуклидов в окружающей среде (среднегодовая объемная активность в приземном слое атмосферы, плотность радиоактивных выпадений, мощность дозы гамма-излучения на местности, годовая эффективная доза облучения населения и др.), вблизи и за точкой их максимума, с точностью до соответствующих констант совпадают со среднегодовым фактором метеорологического разбавления в приземном слое атмосферы G . Это обстоятельство связано с тем, что в этом диапазоне расстояний от источника основной (свыше 95%) вклад в среднегодовой фактор сухого осаждения и влажного выведения радионуклидов на подстилающую поверхность обусловлен их сухим осаждением [1].

Указанное обстоятельство, наряду с использованием принятой в указаниях [1] методики расчета среднегодового фактора метеорологического разбавления в приземном слое атмосферы, лежит в основе консервативной оценки радиуса зоны наблюдения Кольской АЭС.

3.2 Метод расчета размера зоны наблюдения

В соответствии с методическими указаниями [1] результатом расчета радиуса ЗН вокруг АЭС с учетом неопределенностей измерения радиационных параметров в окружающей среде является интервал значений искомой величины от R_{min} до R_{max} :

$$R_{min} = R - \Delta_R^-; R_{max} = R + \Delta_R^+; R = x_*(n_{0c}) = \max_{n_0} (x_*(n_0)); n_0 = \overline{1, N}; \quad (3.1)$$

где Δ_R^- и Δ_R^+ – абсолютные неопределенности оценки радиуса зоны наблюдения R_{3H} в сторону больших и меньших значений (при $P = 0,95$), соответственно; n_{0c} – номер румба,

в котором точка максимума величины фактора разбавления $G_n(x)$ удалена на наибольшее расстояние от источника выброса.

Для оценки Δ_R^- и Δ_R^+ принимается, что в части румба n_{0c} , ограниченной окружностями с радиусами от R_{min} до R_{max} вокруг источника, расхождения в результатах измерения радиационного параметра с доверительной вероятностью $P = 0,95$ можно считать статистически недостоверными.

Расхождения в результатах контроля радиационного параметра, линейно связанного с величиной фактора разбавления $G_n(x)$, на различных расстояниях x_1 и x_2 от источника с вероятностью $P = 0,95$ можно считать статистически недостоверным, если выполняется условие

$$\frac{|G_{nc}(x_1) - G_{nc}(x_2)|}{2 \cdot \sqrt{\Delta_{\sigma_1}^2 + \Delta_{\sigma_2}^2}} \leq 1, \quad (3.2)$$

где Δ_{σ_1} и Δ_{σ_2} – абсолютная стандартная статистическая неопределенность радиационного контроля на расстояниях x_1 и x_2 , соответственно.

Поскольку величина $G_{nc}(x)$ при $x \leq R$ является монотонно возрастающей, а при $x > R$ – монотонно убывающей функцией аргумента x , то расчет величин R_{min} и R_{max} проводится путем решения следующего трансцендентного уравнения:

$$G_{nc}(x) = \frac{1 - \sqrt{1 - (1 - U_x^2) \cdot (1 - U_R^2)}}{1 - U_x^2} \cdot G_{nc}(R), \quad (3.3)$$

где U_R – относительная неопределенность радиационного контроля в зоне наблюдения; U_x – соответствующая НПИ относительная неопределенность контроля на границе зоны наблюдения, принимается равной 0,6 [1].

Значения U_R для Кольской АЭС приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Оценка значений суммарной относительной неопределенности (для $P=0,95$) контроля радиационных параметров в зоне наблюдения Кольской АЭС

Объект контроля	Приземный слой воздуха	Атмосферные выпадения	Почва	Годовая доза
Неопределенность	0,37	0,43	0,37	0,44

Из анализа таблицы 3.1 следует, что среднее значение суммарной неопределенности контроля радиационных параметров в объектах окружающей среды района расположения Кольской АЭС составляет $0,4 \pm 0,04$. Полученная таким образом оценка относительной неопределенности контроля может быть консервативно приписана точкам наиболее информативного радиационного контроля, принадлежащих окрестности окружности радиуса R , то есть можно обосновано принять $U_R = 0,4$. Тогда уравнение (3.3) можно записать в виде:

$$G_{n_c}(x) = 0,5 \cdot G_{n_c}(R). \quad (3.4)$$

Уравнение (3.4) имеет два корня $R_1 = R_{min} < R$; $R_2 = R_{max} > R$. В румбе n_{0c} на расстоянии R_{min} от источника величина фактора разбавления в 2 раза ниже его максимального значения, так же и на расстоянии R_{max} от источника величина фактора разбавления в 2 раза ниже его максимального значения.

В качестве радиуса зоны наблюдения принимается такое расстояние от источника выброса, за пределами которого измеренные значения параметра радиационного контроля, характеризующего радиационную обстановку в окружающей среде, статистически значимо будут меньше максимального значения этого параметра в зоне наблюдения. Эти условия будут соблюдены, если принять

$$R_{ZH} = k_a \cdot R_{max}, \quad (3.5)$$

где k_a – коэффициент запаса, учитывающий неопределенность метода расчета критической точки (точки достижения максимального значения) величины среднегодового фактора метеорологического разбавления G . В методических указаниях [1] рекомендуется принять $k_a = 1,1$.

Максимальные расчетные значения фактора разбавления и контролируемых параметров при выбросе Кольской АЭС достигаются вне санитарно-защитной зоны. Радиус зоны наблюдения Кольской АЭС отсчитывается от геометрического центра источников выбросов станции.

3.3 Расчет среднегодового фактора метеорологического разбавления

В качестве опорной метеостанции для целей расчета метеорологического разбавления выбросов РВ АЭС определяется ближайшая к АЭС метеостанция Росгидромета, имеющая многолетние ряды всех следующих характеристик метеорологических условий района расположения АЭС: среднегодовое и среднемесячные значения скорости ветра за многолетний период наблюдений; средняя за многолетний период годовая и месячная повторяемость направлений ветра и штиля на высоте 10 м по 16 румбам (роза ветров) и соответствующие средние скорости ветра; среднегодовое и среднемесячные значения общей и нижней облачности по десятибалльной системе за многолетний период наблюдений; среднегодовое и среднемесячные значения метеорологической дальности видимости за многолетний период наблюдений; среднегодовое и среднемесячные значения атмосферных осадков за многолетний период наблюдений, тип атмосферных осадков; среднегодовое и среднемесячные значения

температуры воздуха за многолетний период наблюдений; среднегодовое и среднемесячные значения влажности воздуха за многолетний период наблюдений.

Для Кольской АЭС всем вышеперечисленным требованиям к опорной метеостанции Росгидромета соответствуют 2 метеостанции: МС Кандалакша (WMO ID 22217), МС Зашеек (WMO ID 22214). Сравнительный анализ данных локальной метеостанции «АМС-1 Кольская АЭС», расположенной на площадке Кольской АЭС, но не имеющей всей полноты данных необходимых для определения категорий устойчивости атмосферы (о количестве облачности, облачности нижнего яруса и горизонтальной дальности видимости), и данных метеостанций Росгидромета показал репрезентативность данных МС Зашеек по всем характеристикам. При этом данные МС Кандалакша не коррелируют с данными локальной метеостанции по характеристике «направление ветра» (для г. Кандалакша характерно полное доминирование ветра северного румба, 25-30%, чего не наблюдается на локальной метеостанции).

Таким образом, для определения метеорологических характеристик, необходимых для расчета ЗН Кольской АЭС в качестве опорной метеостанции предложено выбрать МС Зашеек (WMO ID 22214), координаты 67°24'14" с.ш., 32°32'52" в.д., расстояние до источника выбросов 7 км к юго-востоку от Кольской АЭС. Репрезентативность климатологических характеристик, полученных по данным этой метеостанции определяется местоположением станции в том же климатическом районе, отсутствием существенных особенностей рельефа, небольшим удалением от АЭС, наличием многолетних непрерывных рядов данных о всех необходимых характеристиках для расчета ПДВ РВ АС. Метеорологические наблюдения на МС Зашеек проводятся с 1925 г.

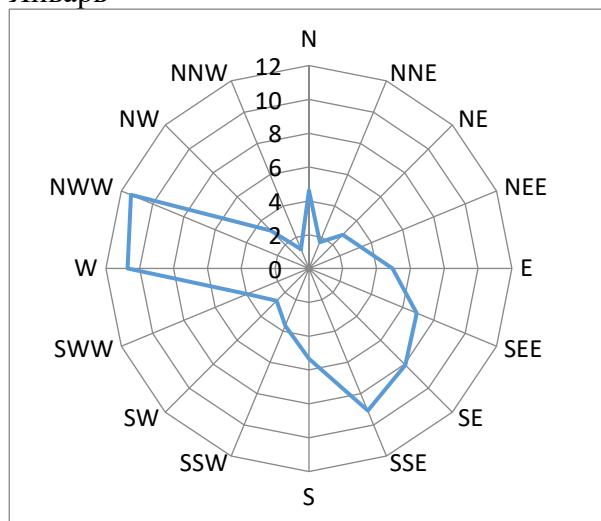
Наблюдения на МС Зашеек производятся восемь раз в сутки в сроки 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 ч СГВ. Основные климатические характеристики получены посредством обработки 8-срочных данных наблюдений.

Расчет характеристик рассеяния примеси рекомендуется проводить с использованием распределений ветра по 16 румбам, на рисунках 3.1 – 3.2 представлены такие распределения направления ветра (розы ветров на уровне флюгера по месяцам и за год) [5]. В таблице 3.2 и рисунках 3.1 – 3.2 приведены повторяемости направления ветра по 16-ти румбам для каждого месяца года и за год по данным опорной МС Зашеек за многолетний период. В среднем за год отсутствует какое-либо ярко выраженное доминирующее направление ветра, однако преобладают ветра западного и западно-северо-западного румба. Ветра западных румбов преобладают осенью и зимой, ветра северных румбов – летом. Количество дней со штилями составляет 8,5%, значительно варьируя по сезонам от 2,9% в июне до 17,1% в феврале.

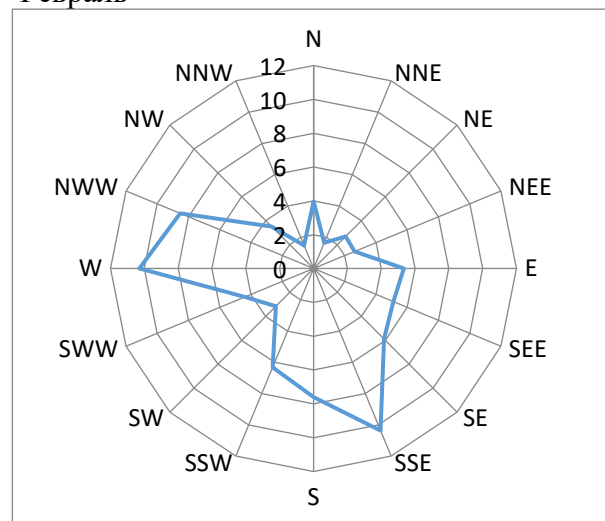
Таблица 3.2 – Повторяемости направления ветра на высоте флюгера по месяцам, % [5]

Направление, румб	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
С	4,62	3,97	6,24	7,35	7,99	13,41	11,51	12,06	6,31	6,61	4,18	4,59	7,4
ССВ	1,68	1,64	1,42	1,98	3,78	3,83	5,49	3,75	2,19	2,19	1,58	1,36	2,57
СВ	2,83	2,68	3,2	4,1	6,53	5,81	5,74	6,31	3,09	2,47	1,69	2,41	3,9
ВСВ	3,32	2,63	3,17	5,21	6,88	4,65	6,02	4,16	3,54	2,31	3,14	3,74	4,06
В	4,95	5,34	5,03	8,2	9,44	7,31	9,3	7,36	4,16	4,92	4,98	6,35	6,44
ВЮВ	6,9	5,11	4,68	6,8	9,15	5,7	8,64	7,37	4,89	4,57	5,21	5,62	6,22
ЮВ	8,06	5,89	4,75	6,17	6,95	5,57	7,45	7,67	5,71	5,29	7,17	5,94	6,39
ЮЮВ	9,09	10,37	7,26	7,24	6	8,66	7,96	8,12	10,13	8,05	9,81	9,86	8,55
Ю	5,33	7,6	6	6,44	7,03	9,19	5,5	6,23	12,21	8,09	7,32	8,65	7,47
ЮЮЗ	3,65	6,33	5,35	4,48	7,68	7,1	3,54	4,82	5,66	5,58	5,3	5,66	5,43
ЮЗ	2,7	3,15	2,94	3,99	4,16	3,86	3,25	2,98	4,97	4,3	3,88	3,18	3,61
ЗЮЗ	3,94	4,4	4,37	4,64	2,89	2,54	2,7	2,67	4,54	4,14	4,5	4,79	3,84
З	10,72	10,29	12,61	8,57	4,79	3,61	3,77	4,44	7,79	10,85	12,42	12,89	8,56
ЗСЗ	11,39	8,54	12,65	9,27	5,22	6,04	6,09	7,01	11,49	13,56	11,64	9,46	9,36
СЗ	3,17	3,51	6,25	6,27	4,41	6,15	5,77	5,97	5,42	6,1	4,25	4,03	5,11
ССЗ	1,23	1,48	2,61	3,32	3,15	3,71	3,53	3,45	2,35	2,68	1,69	1,23	2,54
ШТИЛЬ	16,43	17,08	11,45	5,96	3,94	2,85	3,72	5,62	5,55	8,29	11,24	10,25	8,53

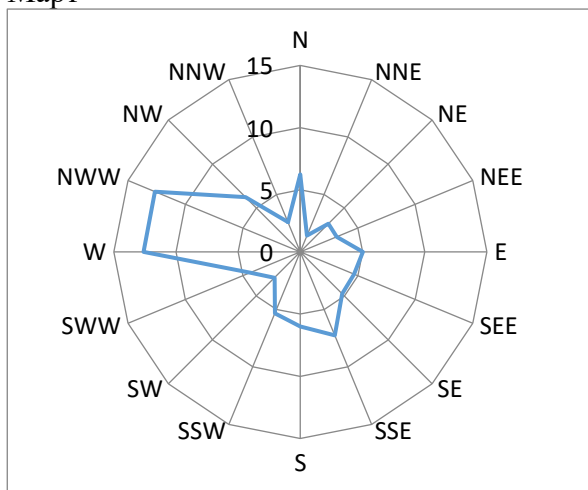
Январь



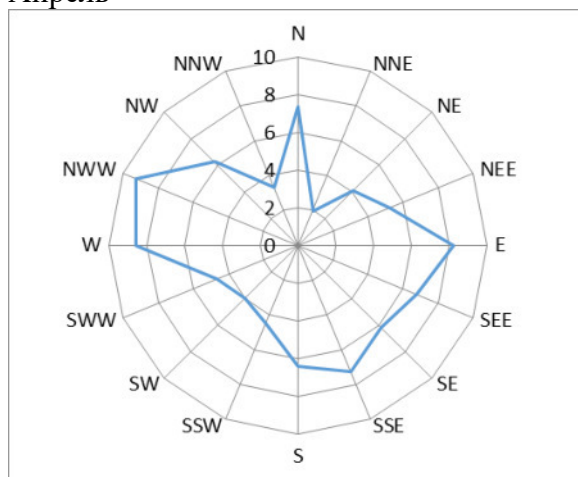
Февраль



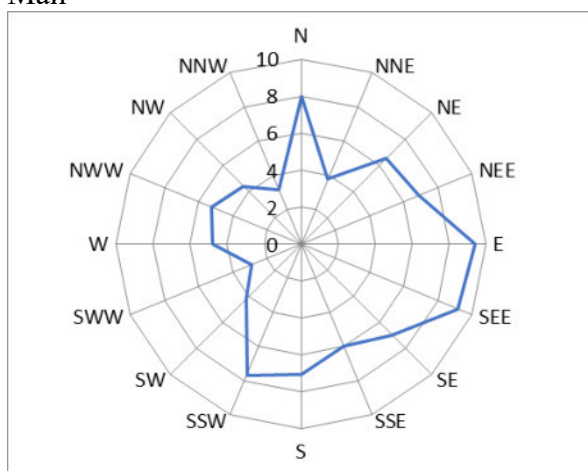
Март



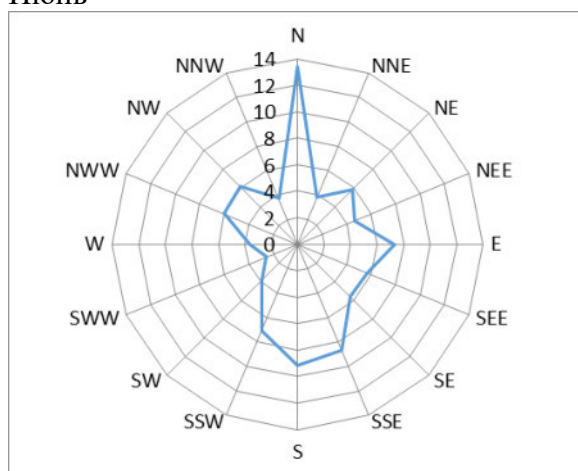
Апрель



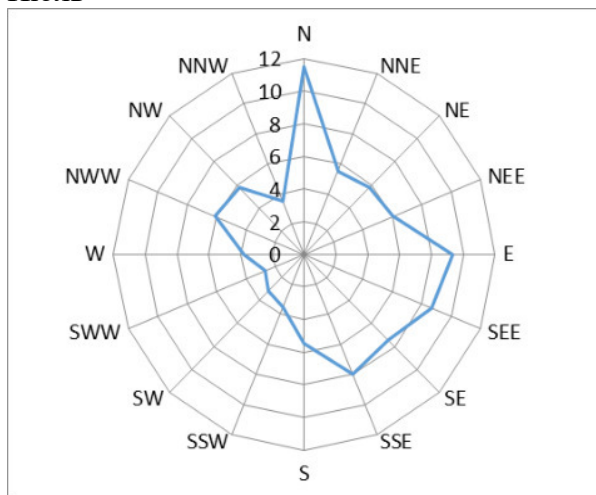
Май



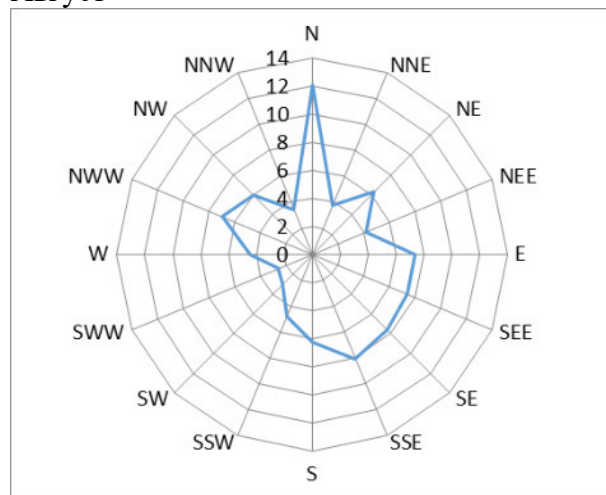
Июнь



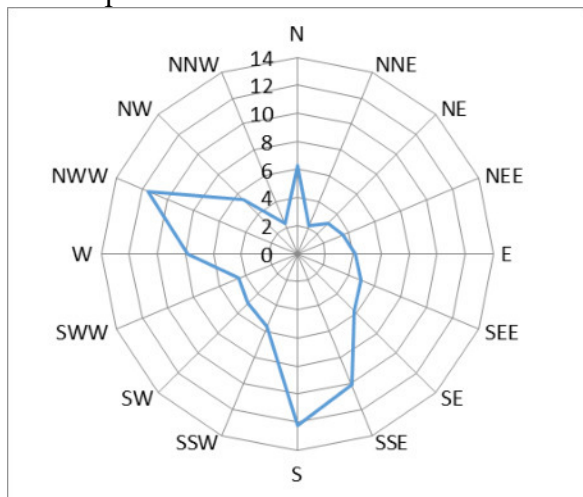
Июль



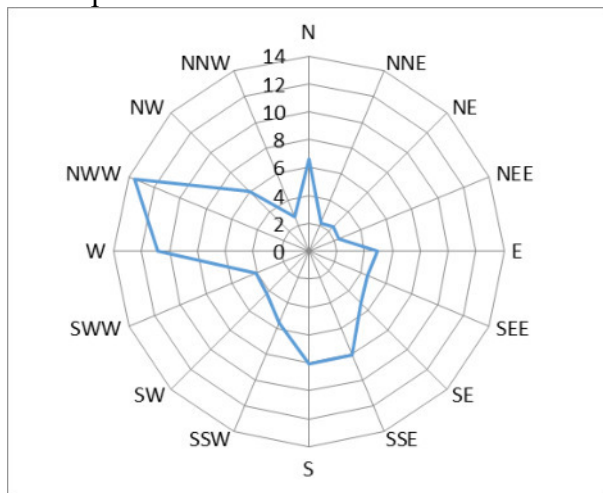
Август



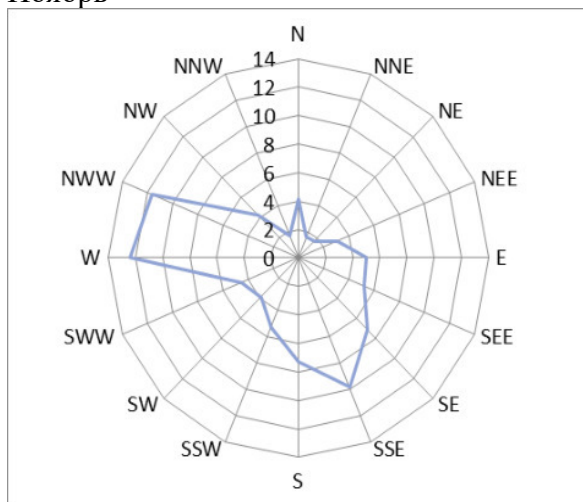
Сентябрь



Октябрь



Ноябрь



Декабрь

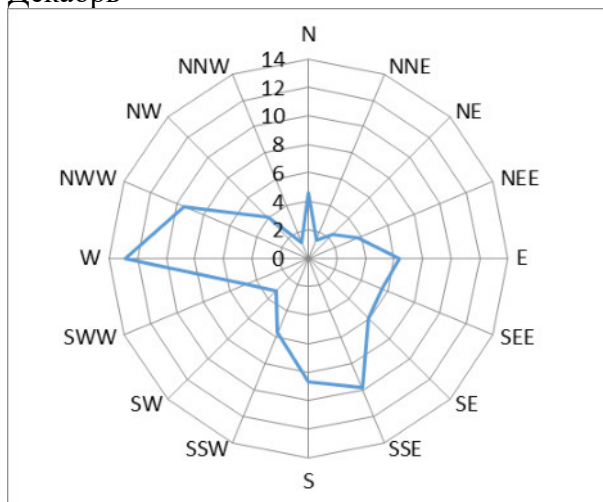


Рисунок 3.1 – Повторяемость направления ветра по 16-ти румбам для каждого месяца года по данным опорной МС Зашеек [5]

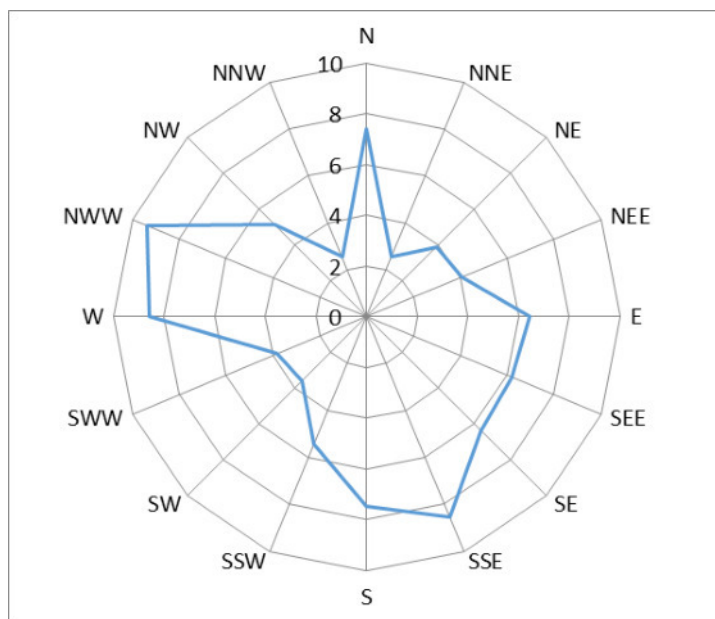


Рисунок 3.2 – Повторяемость направления ветра по 16-ти румбам за год по данным опорной МС Зашеек за многолетний период [3]

Среднегодовая скорость ветра по данным МС Зашеек составляла 3,4 м/с с минимумом в январе 2,5 м/с и максимумом в октябре 4,2 м/с. В таблице 3.3 представлены данные о средних скоростях ветра за многолетний период (по месяцам и за год).

Таблица 3.3 – Средние скорости ветра по месяцам и за год [5]

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Скорость ветра, м/с	2,5	2,4	3,3	3,1	3,4	4,0	3,6	3,4	3,9	4,2	3,7	2,8	3,4

Климат района размещения Кольской АЭС отличается относительной мягкостью, что объясняется воздействием теплых атлантических масс воздуха. Среднегодовая температура воздуха по данным многолетних наблюдений колеблется в диапазоне 0-1 °С, абсолютная максимальная и абсолютная минимальная температуры: +25,0 °С (июль), -37,6 °С (февраль), соответственно. Устойчивый снежный покров держится с конца октября по май. Средние температуры по месяцам и за год даны в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Температура воздуха по месяцам и за год [5]

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Температура воздуха, °С	-11,1	-11,9	-6,6	-0,8	4,7	11,4	14,9	12,4	7,1	1,6	-5,0	-8,9	0,7

Годовое количество 556 мм, причем максимум приходится на июнь, а минимум – на февраль-март. Большая часть атмосферных осадков выпадает летом в виде дождя. Влажность воздуха в среднем за год составляет 80%, от 68% в июне до 89% в ноябре.

Распределение количества осадков по месяцам и среднегодовое значение представлено в таблице 3.5. Распределение относительной влажности воздуха по месяцам и среднегодовое значение по данным МС Зашеек представлено в таблице 3.6 [5].

Таблица 3.5 – Количество осадков по месяцам и за год

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Количество осадков, мм	41	32	29	30	49	51	76	57	54	56	42	38	556

Таблица 3.6 – Относительная влажность по месяцам и за год

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Относительная влажность, %	86	84	80	75	72	68	75	79	83	87	89	87	80

Определение категорий устойчивости атмосферы при наличии измерений на опорной метеорологической станции проведены расчетным путем по методу Пасквилла – Тернера с поправкой ИЭМ (Т-ИЭМ), методом, изложенным в методике [5]. Среднегодовое распределение категорий устойчивости показано в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Годовое распределение категорий устойчивости

Категория устойчивости	А	В	С	Д	Е	Ф	Г
%	0,4	4,8	12,6	44,9	10,3	13,7	13,4

Для расчетов рассеяния выбросов в атмосферу определяется совместная повторяемость значений метеопараметров, определяющих перенос и рассеяние примеси: модуля скорости ветра и его направления, а также категории устойчивости атмосферы [5]. Численно она характеризуется параметром $\omega_{n,j,k}$, который представляет собой повторяемость событий, заключающихся в совместной реализации направления ветра в n -м румбе, j -ой категории устойчивости атмосферы и k -ой градации скорости ветра U_k . При этом должно выполняться условие нормировки $\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \omega_{n,j,k} = 1$, в котором суммирование проводится по всем направлениям ветра n , всем категориям устойчивости атмосферы j и всем диапазонам разбиения скоростей ветра k , включая штилевые условия.

Расчетные значения $\omega_{n,j,k}$ для района расположения Кольской АЭС по данным многолетних наблюдений на опорной метеостанции приведены в приложении А.

Важную роль при проведении рассеяния выбросов играет выбор модели атмосферной диффузии. На практике широкое применение получили Гауссовы модели. Разные модификации Гауссовой модели отличаются способами определения значений горизонтальной и вертикальной дисперсии. В настоящее время чаще всего используются формулы Бриггса для горизонтальной дисперсии примеси σ_y^2 и Смита-Хоскера для вертикальной дисперсии σ_z^2 как функции расстояния от источника выброса и категорий устойчивости атмосферы по классификации Тернера (семь категорий) [1, 5].

Расчеты среднегодового метеорологического фактора разбавления $\bar{G}_n^r(x)$ и проинтегрированного по высоте фактора разбавления $\bar{G}_n^{z,r}(x)$ проводятся от условного источника, расположенного в геометрическом центре имеющихся источников. Технологические характеристики выброса Кольской АЭС приведены в таблице 2.1.

Среднегодовой метеорологический фактор разбавления радионуклида r в приземном слое воздуха на расстоянии x от источника выбросов в направлении ветра n -го румба в рамках Гауссовой модели рассеяния примеси в атмосфере рассчитывается по формуле:

$$\bar{G}_n^r(x) = \frac{2 \cdot N}{(2 \cdot \pi)^{3/2} \cdot R_n \cdot x} \cdot \sum_j \sum_k \frac{\omega_{n,j,k} \cdot F_{j,k,l}^r}{\sigma_{z,j}(x) \cdot U_{j,k}} \cdot \exp\left(-\frac{(h_s + \Delta h_{j,k,l})^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}^2(x)}\right), \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \omega_{n,j,k} = 1 \quad (3.6)$$

где J, j – общее число и номер градации категории устойчивости атмосферы, соответственно;

K, k – общее число и номер градации модуля скорости ветра на высоте флюгера, соответственно;

N, n – общее число и номер румба; индекс n указывает номер румба откуда дует ветер, при этом примесь переносится от источника в противоположный румб $n_0 = n - \frac{N}{2} \cdot \text{sign}(n - \frac{N+1}{2})$;

l – номер фракции в распределении газо-аэрозольных выбросов по скорости оседания ;

$U_{j,k}$ – модуль скорости ветра на высоте выброса h_s при скорости ветра на высоте флюгера из градации k для j -й категории устойчивости атмосферы, м/с ;

$\sigma_{z,j}^2(x)$ – дисперсия струи по вертикали на расстоянии x от источника выбросов для j -й категории устойчивости атмосферы;

$\omega_{n,j,k}$ – повторяемость метеорологических условий, заключающаяся в совместной реализации направления ветра в румбе n при категории устойчивости j и градации скорости ветра k ; массив значений должен быть введен пользователем в качестве входных данных;

h_s – геометрическая высота трубы, из которой осуществляется выброс, м;

$\Delta h_{j,k}$ – высота подъема струи над устьем трубы при скорости ветра на высоте флюгера из градации k для j -й категории устойчивости атмосферы с учетом динамических и термических факторов, м;

$F_{j,k}^r$ – фактор истощения струи за счет радиоактивного распада радионуклида r , сухого осаждения и влажного выведения из атмосферы на подстилающую поверхность. Исходя из соображений консерватизма, не учитывался фактор истощения струи примеси за счет радиоактивного распада, сухого осаждения радионуклидов на подстилающую поверхность и вымывания осадками, тогда $F_{j,k}^r=1$;

R_n – поправка на рельеф местности .

Подъем струи выброса над землей рассчитывается по формуле [1]:

$$h_{eff} = h_s + \Delta h , \quad (3.7)$$

где h_s – геометрическая высота трубы от ее основания, м;

$$\Delta h = \Delta h_0 - \Delta h_v - \tilde{C} , \quad (3.8)$$

Δh – суммарный подъем примеси над ее геометрической высотой, м;

Δh_0 – динамический (скоростной) и тепловой подъем струи над устьем источника;

\tilde{C} – поправка на скос струи при слабом ветре от влияния аэродинамической тени самой трубы, м;

$\Delta h_v = \frac{V_s \cdot x}{U}$ характеризует "проседание" центра масс струи выбросов за счет

эффекта гравитационного оседания, м;

U – скорость ветра на высоте выброса, м/с.

Эффект "проседания" струи значим лишь для тяжелой, быстро оседающей примеси. Заметим, что в случае холодных выбросов или тяжелой быстро оседающей примеси величина H_{eff} не может быть отрицательной. На больших расстояниях сохраняется достигнутое значение $H_{eff} = 0$.

Поправку \tilde{C} на скос струи от влияния аэродинамической тени трубы вычисляют по формуле:

$$\tilde{C} = \begin{cases} 0, & \text{при } \frac{w_0}{U} \geq 1,5 \\ 3 \cdot (1,5 - \frac{w_0}{U}) \cdot d, & \text{при } \frac{w_0}{U} < 1,5 \end{cases}, \quad (3.9)$$

где U – скорость ветра на высоте выброса, м/с; w_0 – скорость истечения выброса, м/с; d – диаметр устья трубы, м; при отличии формы устья трубы от круга принимается

$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S_0}{\pi}}$, где S_0 – площадь сечения устья трубы, м².

При расчете подъема струи выброса Δh_0 над устьем от скоростного напора и плавучести выбросов необходимо учитывать, что он происходит постепенно, образуя траекторию подъема струи до некоторой предельной высоты, которая определяется высотой до ближайшего, достаточно мощного слоя инверсии, обычно на верхней границе слоя перемешивания атмосферы h_z^{\max} , характерной для текущей категории устойчивости.

Высота ближайшего достаточно мощного слоя инверсии может быть рассчитана по формуле:

$$h_z^{\max} = \sqrt{\frac{\pi}{2} \cdot \sigma_z^{\max}} \approx 1,25 \cdot \sigma_z^{\max}. \quad (3.10)$$

Значения $\Delta h_0(x)$ для различных категорий устойчивости вычисляются по модифицированным формулам Неттервилла:

- для категории D:

$$\Delta H_0(x) = \left\{ \frac{3}{\beta_H^2 \cdot U \cdot f^2} \left[F_0 + f \cdot M_0 - \left(f \cdot M_0 + F_0 \left(1 + f \cdot \frac{x}{U} \right) \right) e^{-f \frac{x}{U}} \right] + \left(\frac{R_0}{\beta_H} \right)^3 \right\}^{\frac{1}{3}} - \frac{R_0}{\beta_H}, \quad (3.11)$$

- для категорий А, В и С:

$$\Delta H_0(x) = \left\{ \frac{3}{2\beta_H^2 \cdot U \cdot S^2} \left[F_0 \cdot \left(S \cdot \frac{x}{U} - \frac{1 - e^{-2S \frac{x}{U}}}{2} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + M_0 \cdot S \cdot \left(S \cdot \frac{x}{U} + \frac{1 - e^{-2S \frac{x}{U}}}{2} \right) \right] + \left(\frac{R_0}{\beta_H} \right)^3 \right\}^{1/3} - \frac{R_0}{\beta_H} \quad (3.12)$$

- для категорий Е, F и G:

$$\Delta H_0(x) = \left\{ \frac{3}{2\beta_H^2 \cdot U \cdot S^2} \left[F_0 + S \cdot M_0 - \left\langle S \cdot M_0 \left(\cos \left(S \frac{x}{U} \right) - \sin \left(S \frac{x}{U} \right) \right) \right\rangle + \right. \right. \\ \left. \left. + F_0 \cdot \left(\cos \left(S \frac{x}{U} \right) + \sin \left(S \frac{x}{U} \right) \right) \right] \cdot e^{-S \frac{x}{U}} + \left(\frac{R_0}{\beta_H} \right)^3 \right\}^{1/3} - \frac{R_0}{\beta_H} \quad (3.13)$$

где x – расстояние от основания трубы, м; U – скорость ветра на высоте выброса, м/с; β_H – безразмерная константа переноса; $f = 0,007 \text{ с}^{-1}$ характерная частота спектра турбулентности при нейтральной атмосфере; S – параметр, зависящий от устойчивости атмосферы, с^{-1} ; рассчитывается по формуле:

$$S = \sqrt{\left| \frac{g}{T_0} \cdot \frac{d\theta}{dz} \right|} \quad (3.14)$$

g – ускорение свободного падения, $9,8 \text{ м/с}^2$; T_0 – абсолютная температура атмосферного воздуха, К; $\frac{d\theta}{dz}$ – градиент потенциальной температуры (разница измеренного и адиабатического градиента температуры), К/м;

R_0 – начальный радиус струи с поправкой Ханны, м, рассчитывается по формуле:

$$R_0 = \frac{d}{2} \sqrt{2 \frac{w_0}{U}} \quad (3.15)$$

M_0 – величина, пропорциональная потоку кинетической энергии истекающей струи выброса, $\text{м}^4/\text{с}^2$, рассчитывается по формуле:

$$M_0 = \left(w_0 \cdot \frac{d}{2} \right)^2 \quad (3.16)$$

F_0 – величина, пропорциональная потоку сил плавучести, $\text{м}^4/\text{с}^3$, рассчитывается по формуле:

$$F_0 = \left(0,25 \cdot \frac{\Delta T}{T_0} \cdot g \cdot w_0 \cdot d^2 \right) \quad (3.17)$$

где $\Delta T = T - T_0$ разность температур выбрасываемого (T) и атмосферного (T_0) воздуха, К.

Параметр M_0 учитывает динамический подъем струи выброса в результате скоростного напора выброса, параметр F_0 – тепловой подъем вследствие перегрева выбрасываемого воздуха.

На рисунке 3.3 показано распределение расчетного среднегодового фактора метеорологического разбавления (с учетом теплового и динамического подъема струи) в районе расположения Кольской АЭС. В таблице 3.8 приведены максимальные значения фактора разбавления в каждом из 16-ти румбов и расстояния от источника, на которых достигаются эти максимальные значения.

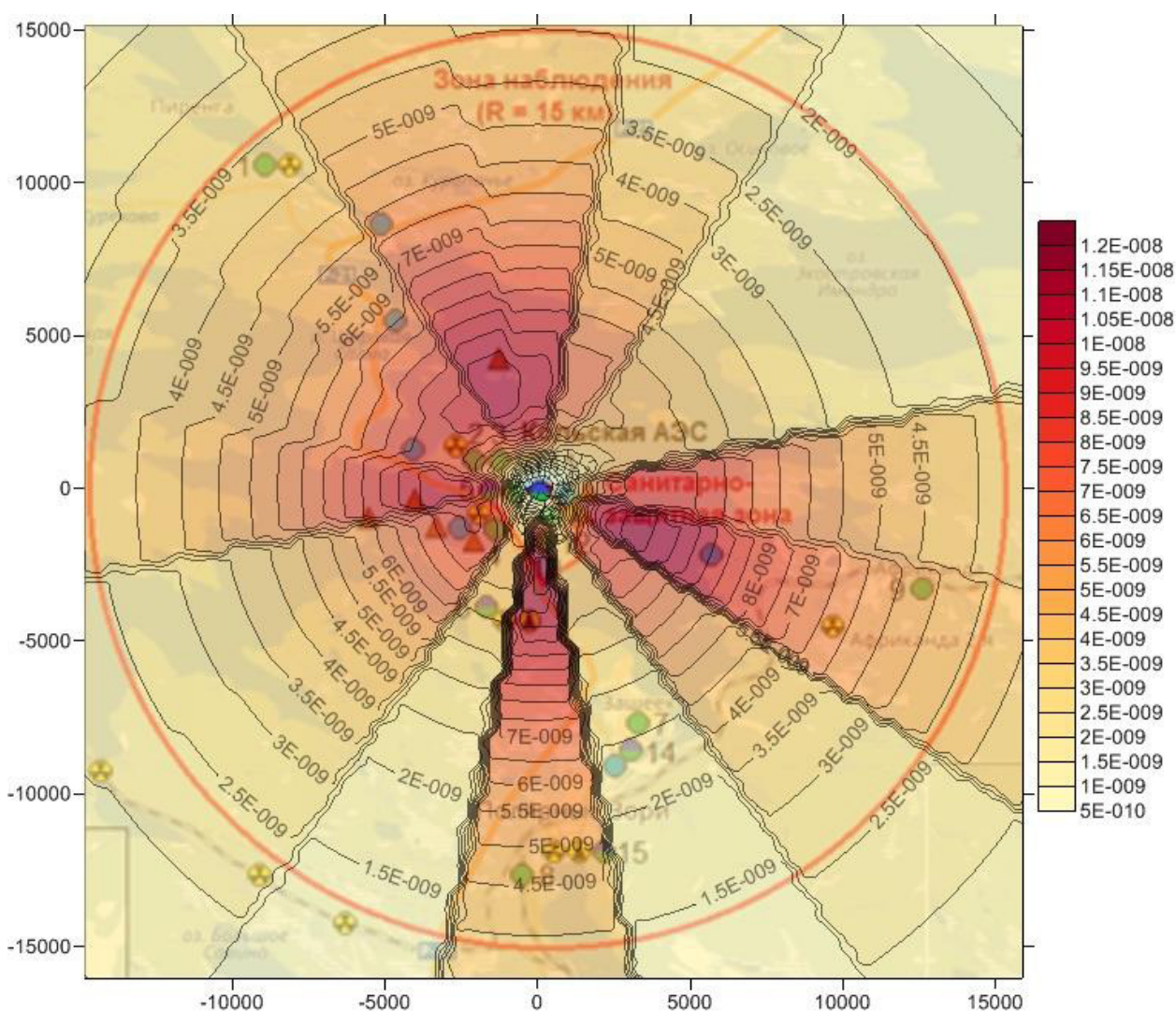


Рисунок 3.3 – Распределение расчетного среднегодового фактора метеорологического разбавления (с учетом теплового и динамического подъема струи) в районе расположения Кольской АЭС

Таблица 3.8 – Максимальные значения среднегодового фактора метеорологического разбавления в каждом из 16-ти румбов и расстояния от источника, на которых достигаются эти значения для выброса радионуклидов Кольской АЭС

Румб, откуда дует ветер	Расстояние от источника, м	Координата X относительно источника, м	Координата Y относительно источника, м	Фактор разбавления, с/м^3
1, С	3200	0	-3200	1,17E-08
2, ССВ	2720	-800	-2600	4,73E-09
3, СВ	2560	-1800	-1800	7,97E-09
4, СВВ	2420	-2200	-1000	8,07E-09
5, В	3000	-3000	0	9,86E-09
6, ЮВВ	3400	-3000	1600	8,30E-09
7, ЮВ	3400	-2600	2200	8,65E-09
8, ЮЮВ	3600	-2000	3000	1,04E-08
9, Ю	3400	0	3400	9,78E-09
10, ЮЮЗ	3600	2000	3000	6,84E-09
11, ЮЗ	3400	2400	2400	5,02E-09
12, ЮЗЗ	3600	3000	2000	4,78E-09
13, З	3800	3800	0	8,39E-09
14, СЗЗ	3740	3600	-1000	1,11E-08
15, СЗ	3110	2200	-2200	7,62E-09
16, ССЗ	3050	1600	-2600	4,38E-09

3.4 Результат расчета радиуса зоны наблюдения

Определение размера зоны наблюдения вокруг Кольской АЭС производится следующим образом.

Сначала из таблицы 3.8 определяется параметр R , то есть расстояние от источника до самой удаленной критической точки среди всех румбов: $R = x_*(n_{0c}) = \max x_*(n_0) = 3800$ м. Значение 3800 м достигается в румбе №13, западный ветер (ветер, дующий с запада и, соответственно, переносящий примесь в восточном направлении). Величина фактора разбавления в этой точке (по таблице 3.8) $G_{nc}(R) = 8,39 \cdot 10^{-9}$ с/м^3 . По формуле (3.4) $G_{nc}(x) = 0,5 \cdot G_{nc}(R) = 4,195 \cdot 10^{-9}$ с/м^3 .

Для определения R_{\max} , то есть расстояния большего, чем R , от источника в румбе №13, на котором фактор разбавления будет составлять $4,195 \cdot 10^{-9}$ с/м^3 , построим график зависимости фактора разбавления от расстояния от источника в этом румбе. Эта зависимость приведена на рисунке 3.4.

Из графика следует, что величина фактора разбавления $4,195 \cdot 10^{-9}$ с/м^3 (при условии $R_{\max} > R$) достигается на расстоянии $R_{\max} = 13400$ м. В соответствии с методическими указаниями [1] в качестве радиуса зоны наблюдения принимается такое расстояние от источника выброса Кольской АЭС, за пределами которого измеренные значения параметра радиационного контроля, характеризующего радиационную обстановку в окружающей

среде, статистически значимо будут меньше максимального значения этого параметра в зоне наблюдения. Как было показано в разделе 4.2 отчета эти условия будут соблюдены, если принять $R_{\text{ЗН}} = k_a \cdot R_{\text{max}}$, где k_a – коэффициент запаса, учитывающий неопределенность метода расчета критической точки (точки достижения максимального значения) величины среднегодового фактора метеорологического разбавления G . В методических указаниях [1] рекомендуется принимать равным $k_a = 1,1$.

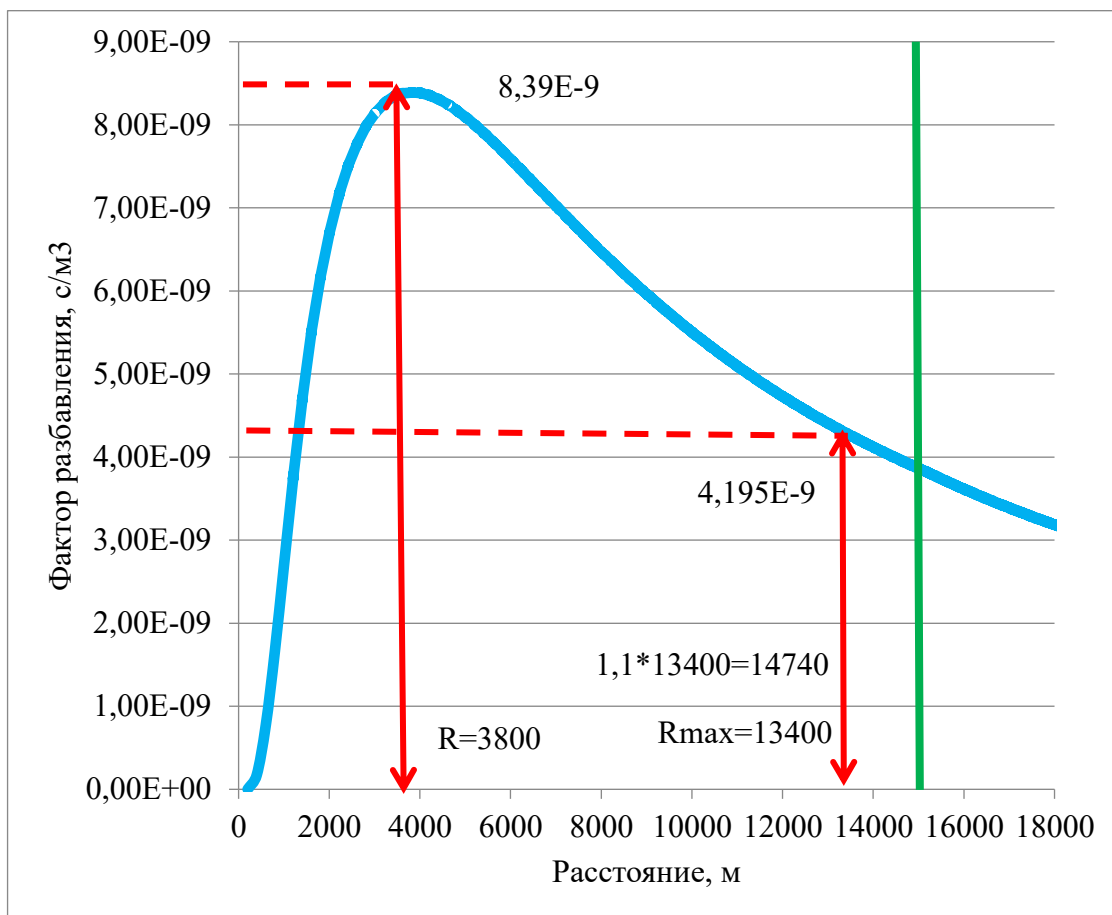


Рисунок 3.4 – Зависимость среднегодового фактора метеорологического разбавления от расстояния от источника выброса радиоактивных веществ Кольской АЭС при западном ветре (румб №13)

Расчетный радиус зоны наблюдения Кольской АЭС составляет 14740 м. Консервативно можно принять радиус зоны наблюдения Кольской АЭС равным 15 км, что соответствует существующему размеру зоны наблюдения Кольской АЭС.

4 Радиационный мониторинг окружающей среды в районе расположения Кольской АЭС

4.1 Организация радиационного мониторинга окружающей среды

Мониторинг радиационной обстановки на промплощадке, в СЗЗ и ЗН Кольской АЭС осуществляет отдел радиационной безопасности (ОРБ) Кольской АЭС. Схема расположения постов постоянного наблюдения представлена на рисунке 4.1.

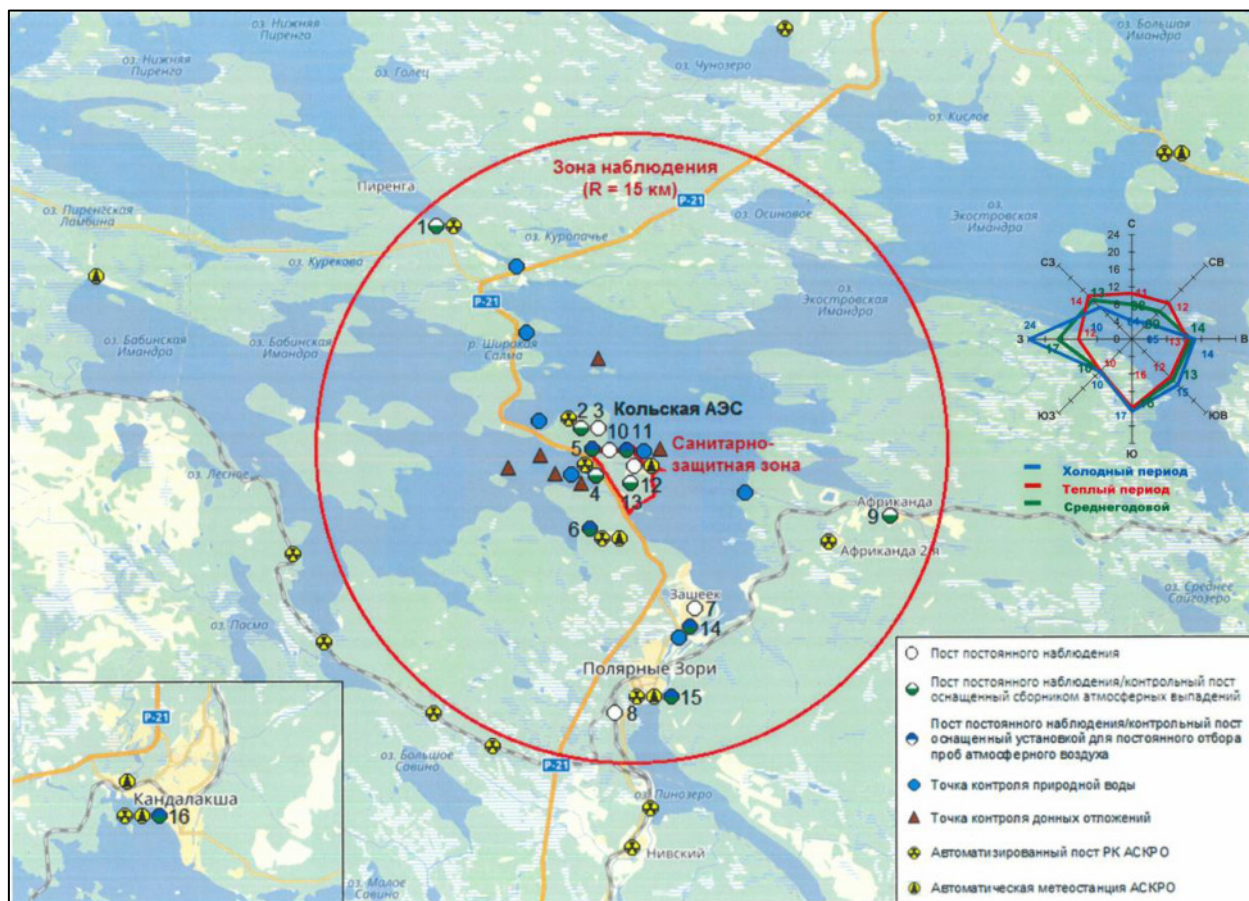


Рисунок 4.1 – Схема расположения постов постоянного наблюдения в СЗЗ и ЗН Кольской АЭС

Объем и периодичность радиационного мониторинга в районе размещения Кольской АЭС, а также перечень необходимых дозиметрических, радиометрических, спектрометрических и др. приборов, оборудования и методов, применяемых при осуществлении радиационного контроля, определены «Регламентом радиационного контроля Кольской АЭС», согласованным с Межрегиональным управлением № 118 ФМБА России. ОРБ Кольской АЭС контролируются следующие характеристики загрязнения окружающей среды: объемная активность радионуклидов в приземном слое атмосферы, радиоактивность атмосферных выпадений и снежного покрова, радиоактивное загрязнение сточных и технологических вод, поверхностных водных объектов, содержание

радионуклидов в грунтовых водах, питьевой воде, содержание радионуклидов в пробах донных отложений и почве, содержание радионуклидов в продуктах питания (грибы, ягоды, рыба) и растительности (водоросли, трава, ягель), радиационный фон в непрерывном (АСКРО), постоянном (с использованием ГЛД, экспонируемых на местности в течение года) и периодическом режимах.

АСКРО включает 5 автоматизированных метеостанций и 15 постов контроля мощности дозы γ -излучения, позволяющих получать информацию о радиационной обстановке, динамике ее изменения на промплощадке, в СЗЗ, ЗН и населенных пунктах 30-км зоны АЭС и осуществлять ее прогнозирование. На Кольской АЭС также используется передвижная радиоэкологическая лаборатория, позволяющая проводить γ -съемку местности по маршруту следования, выполнять отборы проб воздуха и воды с помощью автоматических пробоотборников, определять содержание радионуклидов в пробах.

В 2021 г. ОРБ контролировались следующие характеристики загрязнения окружающей среды:

- объёмная активность радионуклидов в приземном слое атмосферы на территории СЗЗ, ЗН и в контрольном пункте (г. Кандалакша) с периодичностью замены фильтров аспирационных установок – от 1 раза в неделю;
- радиоактивность атмосферных выпадений в 11 пунктах постоянного наблюдения, расположенных в СЗЗ, ЗН и контрольном пункте (г. Кандалакша). С 2018 г. пробы отбираются с помощью универсальных баков-сборников атмосферных выпадений увеличенного объёма ($0,5 \times 0,5 \times 0,5$) м³, разработанных в НПО «Тайфун». Время экспозиции – один месяц;
- содержание радионуклидов в воде из оз. Имандра в шести точках, три из которых расположены в месте забора питьевой воды, и в воде из р. Пиренга в одной точке – периодически (от 1 раза в месяц до 1 раза в год);
- радионуклидный состав подпиточной воды, воды тепловой сети и питьевой воды из скважин, расположенных в ЗН – периодически (от 1 раза в месяц до 1 раза в год);
- содержание радионуклидов в почве и растительности в 16 постоянных пунктах наблюдения (пробы объединялись по постам СЗЗ, ЗН и контрольного пункта) – ежегодно;
- содержание радионуклидов в пробах донных отложений в 6 постоянных точках контроля акватории оз. Имандра в пределах ЗН – ежегодно;

- содержание радионуклидов в садковой рыбе, выращиваемой в месте поступления тёплых вод отводящего канала АЭС в оз. Имандра – ежегодно;
- содержание радионуклидов в грибах и ягодах (пробы объединялись по СЗЗ, ЗН и контрольному пункту) – ежегодно;
- МАЭД в непрерывном (АСКРО) и периодическом (ежеквартально переносными дозиметрическими приборами по установленным маршрутам, а также с использованием передвижной радиоэкологической лаборатории) режимах. АСКРО включает 15 постов контроля МАЭД в 30-км зоне вокруг АЭС.

Измерения удельной $\Sigma\alpha$ - и $\Sigma\beta$ -активности в пробах, служащей критерием для проведения более детального анализа, удельной активности ^{90}Sr , выполняются на спектрометрических установках МКС-01А «Мультирад». Гамма-спектрометрические измерения проб проводятся на спектрометрических комплексах «Canberra» с автоматизированной обработкой γ -спектров. Для измерения проб применяются полупроводниковые детекторы из особо чистого германия: GC3018, GC2018. Мониторинг содержания ^3H , ^{14}C , ^{40}K , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th , ^{234}U , ^{238}U в водных пробах проводится с помощью ультранизкофонного жидкосцинтилляционного радиометра Quantulus 1220.

Наблюдения за радиационной обстановкой в 100-км зоне вокруг Кольской АЭС независимо от АЭС осуществляет Мурманское УГМС. Радиационный мониторинг, проводимый Мурманским УГМС, включает наблюдения за содержанием радионуклидов в аэрозолях приземного воздуха, атмосферных выпадениях, снеге, растительности и почве, поверхностных водах и донных отложениях, мощностью экспозиционной дозы гамма-излучения на сети Мурманского УГМС.

В 2021 г. радиационный мониторинг, проводимый Мурманским УГМС, включал:

- мониторинг радиоактивного загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха: в трёх пунктах отбора проб атмосферных выпадений и в двух пунктах отбора проб радиоактивных аэрозолей с экспозицией 5 суток на фильтр ФПП-15-1.5. В отобранных пробах атмосферных выпадений и аэрозолей определялось содержание суммы β -активных и отдельных радионуклидов техногенного и естественного происхождения;
- наблюдения за МАЭД на семи стационарных пунктах;
- маршрутные обследования в ближней зоне КолаАЭС с отбором снега, растительности, почвы.

В отобранных пробах атмосферных аэрозолей и выпадений определялись $\Sigma\beta$ -активность, а также содержание отдельных радионуклидов техногенного и естественного происхождения. Содержание ^{90}Sr в пробах определялось радиохимическим методом в ФГБУ «НПО «Тайфун».

4.2 Контроль содержания радионуклидов в приземном воздухе и атмосферных выпадениях

Объемная активность радионуклидов в аэрозолях приземного слоя воздуха измеряется ОРБ Кольской АЭС с использованием непрерывно действующих воздухофильтрующих установок, размещенных на территории СЗЗ и ЗН Кольской АЭС, а также в контрольном пункте (г. Кандалакша) (рисунок 4.2, таблица 4.1). Радиоактивность атмосферных выпадений измеряется в 11 пунктах постоянного наблюдения, расположенных в СЗЗ, ЗН и контрольном пункте (г. Кандалакша).

Радиационный контроль содержания радионуклидов в атмосферных аэрозолях и выпадениях осуществляется ОРБ Кольской АЭС в соответствии с «Методикой контроля объемной активности аэрозолей атмосферного воздуха и йода-131 в районе расположения Кольской АЭС» МВК 6.1.9(8)-18 и «Методикой контроля радиоактивных выпадений на поверхность земли в районе расположения Кольской АЭС» МВК 6.1.4(7)-18.



Рисунок 4.2 – Схема расположения пунктов постоянного наблюдения в СЗЗ Кольской АЭС

Таблица 4.1 – Перечень постов постоянного наблюдения ОРБ Кольской АЭС за объемной активностью радиоактивных аэрозолей в приземном слое воздуха и плотностью атмосферных радиоактивных выпадений

Пост №	Местонахождение	Оснащение
СЗЗ		
2	Территория ХССО	Сборник выпадений
5	Блок-пост Кольской АЭС	Сборник выпадений, ВФУ
11	Территория Кольской АЭС (БНС-1)	Сборник выпадений, ВФУ
13	Очистные сооружения ХФК	Сборник выпадений
ЗН		
1	Район р. Пиренга	Сборник выпадений
4	Территория УТП-2	Сборник выпадений
6	Территория УТП-3	Сборник выпадений, ВФУ
9	пос. Африканда	Сборник выпадений
14	Водозабор пос. Зашеек	Сборник выпадений, ВФУ
15	г. Полярные Зори (ЗПУПДг)	Сборник выпадений, ВФУ
КП		
16	г. Кандалакша (ЗПУПД РЭ)	Сборник выпадений, ВФУ

Регламент контроля радиоактивного загрязнения аэрозолей приземного воздуха и атмосферных выпадений представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Регламент контроля ОРБ Кольской АЭС радиоактивного загрязнения аэрозолей приземного воздуха и атмосферных выпадений

Объект контроля, контролируемый параметр, выполняемая работа	Периодичность контроля*	Примечание
Атмосферный воздух (ППН №№ 5, 6, 11, 14, 15, 16) - отбор проб - объемная активность радионуклидов ^7Be , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs (аэрозоли)	1 раз в неделю	Непрерывный отбор проб с помощью ВФУ
Атмосферные выпадения (ППН №№ 1, 2, 4-6, 9, 11, 13-16) - отбор проб - плотность выпадений радионуклидов ^7Be , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs (аэрозоли и осадки) - удельная (объемная) активность радионуклидов ^3H , ^{14}C (осадки)	1 раз в квартал (2 и 3 квартала)	Объединенные пробы по СЗЗ, ЗН и КП
Снежный покров (ППН №№ 1, 2, 4-6, 9, 11, 13-16) - отбор проб - плотность загрязнения радионуклидами ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs	1 раз в год (перед снеготаянием)	Объединенные пробы по СЗЗ, ЗН и КП

Примечание: * - указана минимальная периодичность контроля.

Согласно Регламенту РК отбор проб приземного воздуха с помощью воздухофильтрующих установок осуществляется в ППН № 5, 6, 11, 14, 15, 16 (территория Кольской АЭС, г/к «Салма», н.п. Зашеек, г. Полярные Зори, г. Кандалакша) непрерывно. Замена фильтров и их измерение на ППН № 11 и 14 – еженедельно, на ППН № 5, 6, 15, 16 – ежемесячно.

Отбор проб атмосферных выпадений в универсальные баки-сборники в ППН №№ 1, 2, 4, 5, 6, 9, 11, 13, 14, 15, 16 проводится 1 раз в месяц в тёплый период года. Определение плотности выпадений гамма-излучающих радионуклидов, ^3H и ^{14}C производится ежеквартально в объединенных пробах по СЗЗ, ЗН и КП. Отбор проб снежного покрова в ППН №№ 1, 2, 4, 5, 6, 9, 11, 13, 14, 15, 16 и измерение плотности загрязнения радионуклидами в объединенных пробах снега по СЗЗ, ЗН и КП проводится 1 раз в год.

4.3 Данные мониторинга содержания радионуклидов в приземном воздухе и атмосферных выпадениях

Атмосферные выпадения и объёмная $\Sigma\beta$ в воздухе в 100-км зоне вокруг КолаЭС в 2021 г., по данным Мурманского УГМС, приведены в таблице 4.3. Там же для сравнения приведены данные о выпадениях и объёмной $\Sigma\beta$ по Заполярному региону. Среднегодовые суточные $\Sigma\beta$ выпадений в 100-км зоне КолаЭС в 2021 г. в н.п. Зашеек остались на уровне предыдущего года, в г. Мончегорске и в г. Кандалакша уменьшились в 1,2 и 1,3 раза соответственно. Среднегодовые суточные $\Sigma\beta$ выпадений в 100-км зоне КолаЭС в 2021 г. превышали уровень региональных выпадений в 1,9–2,0 раза. Среднемесячная величина $\Sigma\beta$ суточных выпадений в 100-км зоне КолаЭС в 2021 г. колебалась в пределах от 0,9 до 2,2 Бк/м²·сут. Максимальные суточные значения $\Sigma\beta$ -выпадений наблюдались в г. Кандалакша в марте и составляли 8,4 Бк/м²·сут.

Таблица 4.3 – Среднегодовые и суммарные значения выпадений (Бк/м²·сут) и объёмной $\Sigma\beta$ в воздухе (10^{-5} Бк/м³) в 100-км зоне КолаЭС в 2021 г. (данные Мурманского УГМС [6])

Годовое значение		Зашеек		Мончегорск	Кандалакша		Заполярный регион	
		Выпадения	ОА $\Sigma\beta$	Выпадения	Выпадения	ОА $\Sigma\beta$	Выпадения	ОА $\Sigma\beta$
Среднее	2021	1,4	6,9	1,3	1,4	6,9	0,7	4,3
	2020	1,4	4,9	1,6	1,6	5,4	0,7	4,0
Сумма, Бк/м ² ·год	2021	493		485	518		256	
	2020	511		584	584		256	

Среднемесячная объёмная $\Sigma\beta$ в воздухе н.п. Зашеек, расположенном в 20-км зоне КолаЭС, по данным Мурманского УГМС, колебалась в 2021 г. в пределах от $4,4 \cdot 10^{-5}$ до $13,0 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, в г. Кандалакша – от $3,6 \cdot 10^{-5}$ до $13,4 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³. Максимальная среднесуточная объёмная $\Sigma\beta$ наблюдалась в январе в г. Кандалакша и составляла $36,9 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ [6].

Данные радиоизотопного анализа проб аэрозолей из н.п. Зашеек (входит в 20-км зону КолаЭС) за 2015–2021 гг. и из г. Кандалакша за 2010–2014 гг. и 2021 г. (с 2015 г. отбор

проб в г. Кандалакша прекращён, в сентябре 2020 г. – возобновлен), проводимого Мурманским УГМС и «НПО «Тайфун», приведены в таблице 4.4, из которой видно, что среднегодовая объёмная активность ^{137}Cs в приземной атмосфере в н.п. Зашеек и г. Кандалакша в 2021 г. превышали средневзвешенное значение по территории Заполярья в 1,1 раза. Среднегодовая объёмная активность ^{90}Sr в приземной атмосфере в н.п. Зашеек в 2021 г. была в 2,6, в г. Кандалакша в 1,3 раза ниже регионального уровня. Значение плотности выпадения ^{137}Cs в 100-км зоне КолаЭС, по данным Мурманского УГМС, в 2021 г. было ниже предела обнаружения.

Таблица 4.4 – Объёмные активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в приземном слое атмосферы в 100-км зоне вокруг КолаЭС, 10^{-7} Бк/м³ (данные Мурманского УГМС и НПО «Тайфун» [6])

Пункт наблюдения	Год	Среднее за год	Средневзвешенное по территории Заполярья
^{137}Cs			
Кандалакша	2010	1,0	0,9
	2011	26,4	21,2
	2012	3,0	1,6
	2013	1,8	1,8
	2014	2,1	1,3
	2020	4,3	0,9
	2021	1,1	1,0
Зашеек	2015	1,1	1,4
	2016	1,4	1,2
	2017	2,8	1,2
	2018	1,7	0,7
	2019	1,5	0,7
	2020	1,2	0,9
	2021	1,1	1,0
^{90}Sr			
Кандалакша	2010	0,06	0,25
	2011	0,09	0,29
	2012	0,16	0,33
	2013	0,14	0,36
	2014	0,13	0,26
	2020	0,38	0,24
	2021	0,20	0,26
Зашеек	2015	0,19	0,31
	2016	0,31	0,55
	2017	0,11	0,53
	2018	0,15	0,35
	2019	0,16	0,24
	2020	0,09	0,24
	2021	0,10	0,26

Среднегодовые значения плотности выпадения радионуклидов в СЗЗ, ЗН и контрольном пункте КолаЭС по данным ОРБ представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Среднегодовые значения плотности выпадения радионуклидов в СЗЗ и ЗН КолаЭС, Бк/м²·сут (данные ОРБ КолаЭС)

Радионуклид	СЗЗ		ЗН		г. Кандалакша – контрольный пункт	
	2021	2020	2021	2020	2021	2020
Среднегодовые значения плотности выпадения радионуклидов, Бк/м ² ·сут						
¹³⁷ Cs	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02
¹³⁴ Cs	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02
⁶⁰ Co	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02
Объемная активность радионуклидов в атмосферных осадках, Бк/л						
³ H	<1,84	2,56	<1,39	1,20	<1,42	1,44

Благодаря использованию в 2020 г. сборников атмосферных выпадений увеличенного объема в СЗЗ, ЗН и контрольном пункте регистрировался ³H, в одной из проб по СЗЗ – ¹³⁷Cs на уровне нижнего предела измерений. В таблице 4.6 приведена объемная активность радионуклидов в воздухе СЗЗ, ЗН и контрольном пункте КолаЭС по данным ОРБ.

Таблица 4.6 – Среднегодовая объемная активность радионуклидов в приземном слое атмосферы в СЗЗ и ЗН КолаЭС, 10⁻⁷ Бк/м³ (данные ОРБ КолаЭС)

Радионуклид	СЗЗ		ЗН		г. Кандалакша – контрольный пункт	
	2021	2020	2021	2020	2021	2020
¹³⁷ Cs	<14	12	<11	<11	<14	<16
¹³⁴ Cs	<12	<11	<11	<11	<12	<12
^{110m} Ag	30	13	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru	<101	<95	<86	<91	-	-
⁹⁵ Nb	19	13	-	-	-	-
⁶⁰ Co	23	13	<11	<12	<13	<14
⁵⁸ Co	14	11	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	13	<14	-	-	-	-
⁵¹ Cr	191	<169	-	-	-	-

Полученные данные свидетельствуют о том, что на территории СЗЗ АЭС в атмосферном воздухе присутствуют ^{110m}Ag, ⁹⁵Nb, ⁶⁰Co, ⁵⁸Co, ⁵⁴Mn и ⁵¹Cr. Среднегодовые объёмные активности всех обнаруженных радионуклидов в 2021 г. выросли по сравнению с предыдущим годом, оставаясь на семь порядков ниже ДОА_{нас} по НРБ-99/2009 [2].

Результаты измерений МАЭД в 100-км зоне вокруг КолаЭС в 2021 г. (по данным Мурманского УГМС) показывают, что по сравнению с 2020 г. в пунктах наблюдения среднегодовая величина МАЭД практически не изменилась и находилась в пределах от 0,08 до 0,12 мкЗв/ч при среднемесячных колебаниях от 0,05 до 0,16 мкЗв/ч, что соответствует фоновым значениям. По данным ОРБ КолаЭС, в 2021 г. МАЭД в СЗЗ, ЗН и контрольном пункте была равна 0,08 мкЗв/ч, максимальное значение не превышало 0,12 мкЗв/ч [6].

Таким образом, на основании представленных материалов можно сделать вывод, что КолАЭС оказывает незначительное влияние на радиоактивное загрязнение окружающей среды, которое выражается в присутствии (на семь порядков ниже ДОА_{нас} по НРБ-99/2009) в приземном воздухе промплощадки АЭС техногенных радионуклидов (^{110m}Ag , ^{95}Nb , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn и ^{51}Cr), отсутствующих в атмосфере Заполярья. С учётом потенциальной радиационной опасности АЭС мониторинг радиационной обстановки в районе её расположения необходимо продолжить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием методических указаний ФМБА МУ 2.6.5.010-2016 выполнено обоснование границы зоны наблюдения Кольской АЭС, исходя из фактических условий ее эксплуатации и анализа информативности радиационного контроля окружающей среды.

Расчетный радиус зоны наблюдения Кольской АЭС относительно геометрического центра источников выброса радиоактивных веществ станции составляет 14740 м. Консервативно можно принять радиус внешней границы зоны наблюдения Кольской АЭС равным 15 км, что соответствует существующему размеру зоны наблюдения Кольской АЭС. Внутренняя граница зоны наблюдения совпадает с границей санитарно-защитной зоны Кольской АЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. МУ 2.6.5.010-2016. Обоснование границ и условия эксплуатации санитарно-защитных зон и зон наблюдения радиационных объектов. Утв. главным государственным санитарным врачом ФМБА России 22.04.2016 г.
2. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).
3. СанПиН 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03).
4. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).
5. Разработка и установление нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ атомных станций в атмосферный воздух. Методика. МТ 1.2.1.15.1176-2016. АО «Концерн Росэнергоатом».
6. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2021 году. Ежегодник Росгидромета. Обнинск, НПО «Тайфун», 2022.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Матрица совместной повторяемости метеопараметров, определяющих перенос и рассеяние примеси в атмосфере в районе расположения Кольской АЭС

Таблица А.1 – Матрица совместной повторяемости направления ветра в n -м румбе φ_n , j -й категории устойчивости атмосферы p_j и k -й градации скорости ветра U_k по результатам 8-срочных наблюдений на опорной метеостанции (параметр $\omega_{n,j,k}$) в районе размещения Кольской АЭС

$n=1, \varphi_1=0^\circ, C$								
k	$U_k, \text{ м/с}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,03	1,08	0,00	0,39	0,53
2	1	0,04	0,02	0,23	0,16	0,00	0,15	0,41
3	2	0,01	0,04	0,13	0,13	0,12	0,13	0,22
4	3	0,00	0,03	0,07	0,29	0,09	0,12	0,00
5	4,4	0,00	0,01	0,02	0,51	0,06	0,02	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,02	0,38	0,01	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
$n=2, \varphi_2=22,5^\circ, CCB$								
k	$U_k, \text{ м/с}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,01	0,01	0,12	4,88	0,00	1,77	2,39
2	1	0,09	0,10	0,55	0,49	0,00	0,86	1,01
3	2	0,04	0,17	0,58	0,54	0,82	0,77	0,76
4	3	0,00	0,10	0,42	1,52	0,50	0,30	0,00
5	4,4	0,00	0,15	0,24	2,87	0,15	0,11	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,14	2,10	0,14	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00
$n=3, \varphi_3=45^\circ, CB$								
k	$U_k, \text{ м/с}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,01	0,01	0,12	4,66	0,00	1,69	2,28
2	1	0,11	0,10	0,46	0,47	0,00	0,94	1,00
3	2	0,01	0,26	0,62	0,84	0,86	0,77	0,80
4	3	0,00	0,22	0,39	1,72	0,52	0,32	0,00
5	4,4	0,00	0,12	0,21	2,51	0,22	0,10	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,15	1,13	0,10	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00
$n=4, \varphi_4=67,5^\circ, BCB$								
k	$U_k, \text{ м/с}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,02	0,85	0,00	0,31	0,42
2	1	0,08	0,04	0,13	0,15	0,00	0,21	0,27
3	2	0,01	0,06	0,14	0,20	0,13	0,09	0,13
4	3	0,00	0,03	0,04	0,31	0,07	0,04	0,00
5	4,4	0,00	0,04	0,05	0,25	0,03	0,04	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,01	0,05	0,02	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00

$n=5, \varphi_5=90^\circ, B$								
k	$U_k, \text{m/c}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,02	0,61	0,00	0,22	0,30
2	1	0,08	0,04	0,09	0,06	0,00	0,11	0,16
3	2	0,03	0,05	0,06	0,06	0,08	0,11	0,13
4	3	0,00	0,02	0,04	0,25	0,03	0,04	0,00
5	4,4	0,00	0,02	0,04	0,25	0,03	0,02	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,01	0,06	0,02	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00

$n=6, \varphi_6=112,5^\circ, \text{BIOB}$								
k	$U_k, \text{m/c}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,01	0,31	0,00	0,11	0,15
2	1	0,01	0,02	0,04	0,17	0,00	0,07	0,08
3	2	0,00	0,00	0,02	0,21	0,02	0,04	0,04
4	3	0,00	0,01	0,02	0,09	0,01	0,03	0,00
5	4,4	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00

$n=7, \varphi_7=135^\circ, \text{IOB}$								
k	$U_k, \text{m/c}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,01	0,48	0,00	0,18	0,24
2	1	0,00	0,05	0,05	0,09	0,00	0,14	0,14
3	2	0,00	0,02	0,09	0,28	0,06	0,06	0,06
4	3	0,00	0,02	0,03	0,23	0,05	0,03	0,00
5	4,4	0,00	0,00	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00

$n=8, \varphi_8=157,5^\circ, \text{IOIOB}$								
k	$U_k, \text{m/c}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,01	0,51	0,00	0,18	0,25
2	1	0,00	0,04	0,04	0,17	0,00	0,15	0,20
3	2	0,00	0,04	0,08	0,25	0,02	0,06	0,10
4	3	0,00	0,02	0,02	0,32	0,01	0,02	0,00
5	4,4	0,00	0,01	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

n=9, $\varphi_9=180^\circ$, IO								
k	$U_k, \text{m/c}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,02	0,97	0,00	0,35	0,47
2	1	0,03	0,05	0,13	0,57	0,00	0,20	0,25
3	2	0,00	0,05	0,08	0,88	0,24	0,12	0,14
4	3	0,00	0,04	0,04	0,18	0,04	0,06	0,00
5	4,4	0,00	0,02	0,03	0,08	0,00	0,01	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

n=10, $\varphi_{10}=202,5^\circ$, IOIO3								
k	$U_k, \text{m/c}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,02	0,81	0,00	0,29	0,40
2	1	0,04	0,04	0,08	0,24	0,00	0,23	0,26
3	2	0,03	0,03	0,06	0,41	0,15	0,08	0,09
4	3	0,00	0,03	0,07	0,52	0,01	0,02	0,00
5	4,4	0,00	0,02	0,05	0,19	0,01	0,02	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

n=11, $\varphi_{11}=225^\circ$, IO3								
k	$U_k, \text{m/c}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,02	0,87	0,00	0,32	0,43
2	1	0,02	0,04	0,04	0,28	0,00	0,22	0,21
3	2	0,02	0,02	0,03	0,40	0,17	0,16	0,12
4	3	0,00	0,02	0,04	0,64	0,07	0,03	0,00
5	4,4	0,00	0,03	0,05	0,23	0,00	0,02	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,02	0,04	0,01	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

n=12, $\varphi_{12}=247,5^\circ$, 3IO3								
k	$U_k, \text{m/c}$	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,02	0,65	0,00	0,24	0,32
2	1	0,01	0,03	0,07	0,18	0,00	0,06	0,10
3	2	0,01	0,02	0,04	0,33	0,11	0,05	0,09
4	3	0,00	0,02	0,03	0,58	0,05	0,02	0,00
5	4,4	0,00	0,01	0,03	0,28	0,01	0,02	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,01	0,09	0,02	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

n=13, $\varphi_{13}=270^\circ$, 3								
k	U_k , m/c	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,03	1,02	0,00	0,37	0,50
2	1	0,02	0,03	0,08	0,09	0,00	0,21	0,25
3	2	0,02	0,05	0,07	0,25	0,17	0,18	0,18
4	3	0,00	0,02	0,05	0,80	0,06	0,07	0,00
5	4,4	0,00	0,01	0,04	0,68	0,06	0,02	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,01	0,13	0,00	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
n=14, $\varphi_{14}=292,5^\circ$, 3C3								
k	U_k , m/c	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,02	0,75	0,00	0,27	0,37
2	1	0,02	0,03	0,09	0,10	0,00	0,12	0,18
3	2	0,01	0,01	0,06	0,12	0,12	0,11	0,12
4	3	0,00	0,01	0,06	0,60	0,05	0,05	0,00
5	4,4	0,00	0,01	0,03	0,45	0,02	0,02	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,02	0,17	0,00	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
n=15, $\varphi_{15}=315^\circ$, C3								
k	U_k , m/c	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,01	0,34	0,00	0,13	0,17
2	1	0,01	0,01	0,07	0,13	0,00	0,03	0,07
3	2	0,01	0,01	0,03	0,19	0,05	0,01	0,03
4	3	0,00	0,01	0,02	0,28	0,01	0,00	0,00
5	4,4	0,00	0,01	0,02	0,13	0,00	0,00	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
n=16, $\varphi_{16}=337,5^\circ$, CC3								
k	U_k , m/c	j						
		1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G
1	0	0,00	0,00	0,01	0,36	0,00	0,13	0,17
2	1	0,02	0,01	0,05	0,08	0,00	0,11	0,12
3	2	0,01	0,02	0,05	0,14	0,06	0,03	0,05
4	3	0,00	0,01	0,01	0,19	0,01	0,02	0,00
5	4,4	0,00	0,00	0,02	0,12	0,01	0,02	0,00
6	6,3	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
7	8,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00