

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

Минск БГМУ 2021

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ И ЭКОЛОГИИ

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по высшему медицинскому, фармацевтическому образованию
Республики Беларусь в качестве пособия для студентов
учреждений высшего образования, обучающихся по специальности
1-79 01 03 «Медико-профилактическое дело»



Минск БГМУ 2021

УДК 614.876(075.8)

ББК 53.6я73

P15

Авторы: А. Н. Стожаров, Л. А. Квиткевич, Л. М. Шевчук, М. А. Назарова, О. А. Стаховская

Рецензенты: д-р мед. наук, проф., проф. каф. гигиены и медицинской экологии Белорусской медицинской академии последипломного образования В. И. Тернов; каф. экологической медицины и радиобиологии Международного государственного экологического института имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета

Радиационная гигиена : пособие / А. Н. Стожаров [и др.]. – P15 Минск : БГМУ, 2021. – 123 с.

ISBN 978-985-21-0891-1.

Изложены основные вопросы радиационно-гигиенического контроля и мониторинга источников ионизирующих излучений, методологии оценки облучения населения за счет радиоактивных выбросов, разработанной Научным комитетом ООН по действию атомной радиации. Даны алгоритмы выполнения лабораторных работ и оценки полученных результатов, контрольные вопросы и тестовые задания по темам.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 1-79 01 03 «Медико-профилактическое дело».

УДК 614.876(075.8)

ББК 53.6я73

ISBN 978-985-21-0891-1

© УО «Белорусский государственный медицинский университет», 2021

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

H-3-НТО — тритиевая вода

H-3-ОВТ — органически связанный тритий

АСКРО — автоматизированная система контроля радиационной обстановки

АПИ — автоматический пункт измерений

АЭС — атомная электростанция

ВВЭР — водо-водяной энергетический реактор

ГО — гражданская оборона

ГСН — государственный санитарный надзор

ГСЧС — государственная система предупреждения чрезвычайных ситуаций

ЗНО — злокачественные новообразования

ЗРНИ — закрытый радионуклидный источник

ИИ — ионизирующее излучение

ИИИ — источник ионизирующего излучения

ЛБК — линейная беспороговая концепция

НЭ — наследственные эффекты

ПРК — пункт радиационного контроля

РБ — радиационная безопасность

РБМК — реактор большой мощности канальный

РГ — радиационная гигиена

ОРНИ — открытый радионуклидный источник

СГЭД — средняя годовая эффективная доза

ССЭТ — специфические санитарно-эпидемиологические требования

ТВЭЛ — тепловыделяющий элемент

УГИИ — устройства, генерирующие ионизирующее излучение

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время многие технологические процессы, применяемые в современном обществе, являются источником загрязнения окружающей среды радиоактивными элементами. За исключением этапов ядерного топливного цикла, в среду попадают радионуклиды естественного происхождения, родоначальники радиоактивных рядов и продукты их деления. К таким производством относятся, прежде всего, предприятия тепло- и электроэнергетики. Они используют ископаемые виды топлива: уголь, природный газ и нефть. Состав радионуклидов, присутствующих в природных ископаемых весьма разнообразен, но оказываясь при сжигании в атмосфере, они могут распространяться на большие расстояния.

Научным комитетом ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) была проведена большая работа по обобщению научных данных и в 2016 году был опубликован отчет «Радиационное воздействие при производстве электроэнергии» («Radiation exposure from electricity generation»), а в 2017 г. разработана и издана «Методология для оценки облучения населения за счет радиоактивных выбросов» («Methodology for estimating public exposures due radioactive discharges»). Методология была дополнена связанными электронными таблицами и всеми необходимыми справочными данными. Эта методология была положена в основу ряда практических занятий в субординатуре, на которых студенты получают навыки оценки воздействия на население выбросов радиоактивных элементов.

Помимо радиоактивных выбросов все большую актуальность получает оценка естественной радиоактивности, которая обусловлена радоном. С использованием методики косвенной оценки радоновой опасности, на примере различных регионов Беларуси студенты учатся определять степень риска для населения за счет этого радиоактивного газа.

Так как конечным этапом санитарно-гигиенического мониторинга является оценка радиационного риска, ряд занятий у субординаторов посвящен этой сложной теме с тем, чтобы сформировать у них понимание и навыки расчетов различных видов радиационного риска.

Знание и использование на практике методологии расчета радиационного воздействия за счет всех видов формирования доз облучения позволят разработать защитные мероприятия с наибольшей эффективностью для профилактической медицины.

Издание предназначено для студентов, обучающихся по специальности 1-79 01 03 «Медико-профилактическое дело» профиля субординатуры «Гигиена и эпидемиология» к занятиям по учебной дисциплине «Радиационная гигиена».

Глава 1

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНЫЙ НАДЗОР В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ. НОРМАТИВНОЕ ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО САНИТАРНОГО НАДЗОРА В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ

Цель изучения: усвоить особенности применения нормативных правовых и иных актов, регламентирующих организацию работ с источниками ионизирующих излучений и обеспечение радиационной безопасности персонала и населения, при осуществлении государственного санитарного надзора за радиационными объектами.

Неотъемлемой частью существования современного общества стало широкое использование источников ионизирующих излучений (ИИИ). По информации Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) Республики Беларусь по состоянию на 30 июня 2019 г. 1511 организаций, предприятий и учреждений использовали в своей деятельности 23758 ИИИ.

Радиационная гигиена (РГ) изучает влияние ионизирующих излучений (ИИ) на здоровье человека с целью разработки мер противорадиационной защиты. РГ разрабатывает вопросы нормирования ионизирующего излучения, средства и методы противорадиационной защиты и физиолого-гигиенические требования к ним. Одной из задач РГ является разработка методов прогнозирования гигиенической обстановки и мероприятий по защите населения при радиационных авариях.

Объектами изучения РГ являются естественный и техногенно-измененный радиационный фон, ИИИ различного предназначения, комплекс предприятий ядерно-топливного цикла и др.

Радиационная безопасность (РБ) — состояние защищенности населения, персонала и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения (Закон Республики Беларусь «О радиационной безопасности» от 18.06.2019 г. № 198). РБ обеспечивается системой административных, инженерно-технических, санитарно-гигиенических и организационных мероприятий по снижению уровня облучения населения и персонала при использовании атомной энергии и ИИИ в различных сферах человеческой деятельности. В задачи РБ входит также разработка рекомендаций и санитарных правил и нормативов радиационной безопасности для разных категорий облучаемых лиц (персонала и населения) в зависимости от ситуации и категории облучения.

В соответствии со ст. 48 Закона Республики Беларусь «О радиационной безопасности» государственный санитарный надзор (ГСН) в части обеспечения РБ включает в себя надзор за соблюдением специфических санитарно-эпидемиологических требований, гигиенических нормативов, а также иных актов законодательства в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения, в том числе при воздействии радона и гамма-излучения природных радионуклидов, производстве пищевых продуктов и потреблении питьевой воды, медицинском облучении, воздействии ионизирующего излучения в ходе выполнения работ с источниками ионизирующего излучения, обращения с радиоактивными отходами. При осуществлении ГСН в части обеспечения РБ используется дифференцированный подход, который заключается в применении мер по надзору соразмерно степени радиационной опасности источника ионизирующего излучения, в том числе риску для жизни и здоровья персонала и населения.

Основными задачами ГСН по разделу РГ являются:

- 1) осуществление надзора за соблюдением организациями, физическими лицами, в том числе индивидуальными предпринимателями, законодательства в области обеспечения РБ;
- 2) подготовка и внесение в установленном порядке в соответствующие государственные органы управления предложений по выполнению санитарно-эпидемиологического законодательства, обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения в области обеспечения РБ;
- 3) реализация мер по профилактике заболеваний путем предупреждения, обнаружения и пресечения нарушений санитарно-эпидемиологического законодательства в области обеспечения РБ;
- 4) осуществление государственной санитарно-гигиенической экспертизы в области обеспечения РБ;
- 5) гигиеническое воспитание и обучение населения по разделу РГ;
- 6) государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование в области обеспечения РБ;
- 7) рассмотрение в установленном порядке вопросов охраны здоровья населения в связи с воздействием на человека неблагоприятных факторов (ИИ) среды обитания, условий жизнедеятельности и медицинского облучения;
- 8) организация и проведение радиационно-гигиенического мониторинга за содержанием радионуклидов в пищевых продуктах, питьевой воде, других объектах среды обитания человека;
- 9) информирование населения о радиационной обстановке и мерах по обеспечению РБ;
- 10) участие в мероприятиях отраслевой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ГСЧС) и гражданской обороны (ГО).

ГСН осуществляется за организациями, проектирующими, добывающими, производящими, хранящими, использующими, транспортирующими, перерабатывающими, захоранивающими ИИИ; организациями, осуществляющими эксплуатацию, монтаж, демонтаж, ремонт и наладку приборов, установок и аппаратов, действие которых основано на использовании ИИ, и устройств, генерирующих ИИ; организациями, деятельность которых может привести к повышенному производственному облучению работников и облучению населения природными ИИИ; организациями, выполняющими работы на территории, загрязненной радиоактивными веществами.

Классификация ИИИ осуществляется по следующим признакам: вид, назначение, транспортируемость, степень радиационной опасности.

По видам ИИИ разделяются на:

1) радионуклидные источники на основе естественных и искусственных радиоактивных изотопов; радионуклидные источники подразделяются на открытые (ОРНИ) и закрытые (ЗРНИ);

2) устройства, генерирующие ионизирующее излучение (УГИИ).

По назначению ИИИ подразделяют на медицинские, технологические, контрольные и образцовые. Медицинские ИИИ предназначены для применения в медицинской практике с диагностической, профилактической и терапевтической целями. Технологические ИИИ применяют в различных производственных и научных процессах. Контрольные источники используются для проверки работоспособности и настройки радиационных, ядерно-физических приборов и установок. Образцовые источники используются при метрологической поверке радиационной, ядерно-физической аппаратуры.

По транспортируемости ИИИ разделяются на:

1) стационарные — ИИИ, назначение и конструкция которых предполагают их эксплуатацию в течение всего проектного срока службы на постоянном месте, для размещения и эксплуатации которых требуются специально оборудованные сооружения (или помещения) и дополнительные технические системы и средства;

2) передвижные — ИИИ, смонтированные и используемые по назначению на транспортных (самоходных или специально приспособленных для транспортирования) средствах;

3) переносные — ИИИ, конструкция и масса составных блоков (составных частей) которых позволяют их переносить (или в случае необходимости перевозить, в том числе в собранном виде) и использовать по назначению непосредственно в месте проведения работ в помещениях (без переоборудования и усиления защиты помещений) или в полевых условиях.

По степени радиационной опасности выделяют 5 категорий ИИИ (табл. 1). Порядок и критерии отнесения ИИИ к категориям по степени радиационной опасности устанавливаются МЧС. Система категорирования основана на концепции «опасного источника», определенного как источник, который, если он не находится под контролем, может приводить к облучению людей с возникновением тяжелых детерминированных эффектов. Чтобы установить опасность источника используют уровни изъятия¹ и освобождения от контроля² и D-величины.

Уровни изъятия и освобождения от контроля приведены в прил. 4 к Гигиеническому нормативу «Критерии оценки радиационного воздействия».

D-величины³ приведены в табл. 2 прил. 17 к Гигиеническому нормативу «Критерии оценки радиационного воздействия». D-величина характеризует вероятность возникновения детерминированных эффектов для заданных сценариев облучения:

а) ношение незащищенного источника в течение 1 ч в руке или в течение 10 ч в кармане;

б) нахождение в помещении с незащищенным источником в течение от нескольких дней до нескольких недель;

в) диспергирование (рассеивание, рассыпание) источника, например, при пожаре, взрыве или действии человека, приводящее к облучению от ингаляции, приема пищи и / или загрязнению кожи.

Критериями категоризации ИИИ являются:

1) вид ИИИ и область его применения с учетом потенциальной опасности, вытекающей из предсказуемых неисправностей и отклонений от нормальных режимов работы;

2) активность и удельная активность (для радионуклидных источников).

¹ Уровень изъятия — значение, установленное уполномоченным органом государственного управления и выраженное в единицах активности (удельной, объемной или поверхностной) или суммарной активности, мощности дозы или энергии излучения, при котором или ниже которого в отношении источника излучения нет необходимости применять некоторые или все аспекты регулирующего контроля.

² Уровень освобождения от контроля — значение, установленное уполномоченным органом государственного управления и выраженное в единицах активности (удельной, объемной или поверхностной) или суммарной активности, мощности дозы или энергии излучения, при котором или ниже которого регулирующий контроль источника излучения, используемого в практической деятельности, являющейся объектом уведомления или официального разрешения, может быть отменен.

³ D-величина — опасное количество радиоактивного материала — это такое количество радиоактивного материала, которое в отсутствие контроля может привести к смерти облученного человека или к непоправимому вреду здоровью, снижающему качество жизни этого человека. Единица D-величины — беккерель (Бк).

Таблица 1

Перечень категорий ИИИ по степени радиационной опасности

Категория	Категоризация ИИИ в зависимости от области применения	Отношение активности в источнике к активности, считающейся опасной (A/D)*	Вид категории опасности
I	Облучатели технологические. Оборудование для дистанционной лучевой терапии	$A/D \geq 1000$	Источник наивысшей опасности
	Работы с ОРНИ по I классу		
II	Радионуклидные дефектоскопы. Оборудование для брахитерапии высоких/средних мощностей доз	$1000 > A/D \geq 10$	Источник высокой опасности
	Ускорители. Работы с ОРНИ по II классу		
III	Уровнемеры, плотномеры, толщиномеры и другие радиационно-информационные устройства. Приборы для геофизических исследований и каротажа	$10 > A/D \geq 1$	Опасный источник
	Аппараты рентгеновские медицинские с анодным напряжением ≥ 100 кВ. Работы с ОРНИ по III классу		
IV	Брахитерапия малых мощностей доз [исключая глазные бляшки и перманентные (долговременные) имплантатные источники]. Толщиномеры. Портативные средства измерений (например, влажности/плотности). Нейтрализаторы статического электричества	$1 > A/D \geq 0,01$	Потенциально опасный источник
	Аппараты рентгеновские медицинские с анодным напряжением < 100 кВ. Аппараты рентгеновские технологические с анодным напряжением ≥ 100 кВ		
V	Брахитерапия малых мощностей доз глазных бляшек и перманентные имплантатные источники. Контрольные, образцовые ИИИ. ЗРНИ, находящиеся в извещателях дыма	$0,01 > A/D$ и $A > \text{уровень изъятия}$	Наименее потенциально опасный источник
	Аппараты рентгеновские технологические с анодным напряжением < 100 кВ. Аппараты неиспользуемого рентгеновского излучения		

* А — активность радионуклида в источнике; D — активность данного радионуклида, которая считается опасной.

В системе радиационной защиты в зависимости от ситуации и категории облучения используют следующие типы ограничения дозы облучения: предел дозы облучения, граничная доза и референтный уровень (табл. 2, в соответствии с приложением 5 ГН «Критерии оценки радиационного воздействия»).

Таблица 2

Типы ограничения дозы облучения, используемые в системе радиационной защиты в зависимости от ситуации и категории облучения

Тип ситуации	Профессиональное облучение	Облучение населения	Медицинское облучение
Планируемое облучение	Предел дозы облучения Граничная доза	Предел дозы облучения Граничная доза	Диагностический референтный уровень ¹ (Граничная доза) ²
Аварийное облучение	Референтный уровень ³	Референтный уровень	Не применимо
Существующее облучение	Не применимо ⁴	Референтный уровень	Не применимо

Примечания:

¹ Пациенты.

² Только лица, обеспечивающие комфорт и уход за пациентами, и лица, добровольно участвующие в биомедицинских исследованиях.

³ Долгосрочные работы по ликвидации последствий аварии следует рассматривать как часть планируемого профессионального облучения.

⁴ Облучение вследствие длительных восстановительных (реабилитационных) работ или долговременной занятости на загрязненной территории следует рассматривать как часть планируемого профессионального облучения, даже если источник излучения является «существующим».

Установление и применение граничных доз облучения и референтных уровней регламентировано «Положением о порядке установления и применения граничных доз облучения и референтных уровней», утвержденным приказом Министерства здравоохранения Республики Беларусь 31.08.2020 г. № 881.

Использование ИИИ в современной медицине для диагностических и лечебных целей охватывает значительную часть населения. Воздействию ИИ от медицинских источников подвергается больше людей, чем в любой другой отрасли человеческой деятельности. Применение современных высокоинформативных исследований (интервенционные, рентгеновская компьютерная томография и др.) ведет к увеличению годовой эффективной дозы медицинского облучения. Облучению подвергаются как пациенты, так и медицинские работники (категория «персонал»), и отдельные лица из населения, что обуславливает необходимость использования разнообразных методов радиационной защиты.

Лабораторная работа

РАСЧЕТ СТАЦИОНАРНЫХ СРЕДСТВ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ РЕНТГЕНОВСКОГО КАБИНЕТА

Стационарные средства радиационной защиты процедурной рентгеновского кабинета (стены, пол, потолок, защитные двери, смотровые окна, ставни и др.) должны обеспечивать ослабление рентгеновского излучения до уровня, при котором не будет превышен основной предел дозы (ПД) для соответствующих категорий облучаемых лиц.

В процессе выполнения работы необходимо **освоить** алгоритм расчета стационарных средств радиационной защиты процедурной рентгеновского кабинета и **выполнить** расчет по заданию, используя гл. 5 и приложения 10–17, 26 к СанПиН 2.6.1.8-38-2003 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».

Алгоритм расчета. Основной расчетный параметр представлен в виде физически корректного коэффициента кратности ослабления K . Коэффициент кратности ослабления представляет собой отношение мощности поглощенной дозы рентгеновского излучения в данной точке воздуха в отсутствие защиты (D_0) к допустимой мощности поглощенной дозы в воздухе (ДМД_п, см. прил. 12):

$$K = D_0 / \text{ДМД}_п.$$

Или с учетом расчетного значения D_0 :

$$K = 1000 \cdot K_R \cdot W \cdot N / (30 \cdot r^2 \cdot \text{ДМД}_п),$$

где 1000 — коэффициент перевода мГр в мкГр;

K_R — радиационный выход — отношение мощности воздушной кермы в первичном пучке рентгеновского излучения на расстоянии 1 м от фокуса трубки, умноженной на квадрат этого расстояния, к силе анодного тока, мГр · м² / (мА · мин), см. прил. 10;

W — рабочая нагрузка рентгеновского аппарата, (мА · мин) / нед., см. прил. 11 и 26;

N — коэффициент направленности излучения (см. п. 63), отн. ед.;

30 — значение нормированного времени работы рентгеновского аппарата в неделю при односменной работе персонала (30-часовая рабочая неделя), ч/нед.;

r — расстояние от фокуса рентгеновской трубки до точки расчета, м.

Расчитанное значение коэффициента кратности ослабления K (отн. ед.) по прил. 13 переводим в требуемый свинцовый эквивалент защиты (мм), а затем по прил. 14 оцениваем свинцовые эквиваленты основных строительных

материалов. И, если необходимо, добавляется соответствующий дополнительный материал защиты.

Типовое условие задачи по расчету стационарных средств радиационной защиты. В процедурной рентгеностоматологического кабинета, расположенного в цокольном этаже медицинского центра, проектом предусмотрена установка ортопантомографа цифрового с техническими характеристиками: номинальное анодное напряжение $U = 90$ кВ, $K_R = 9$ мГр · м² / (мА · мин). В состав кабинета входит процедурная, комната управления и фотолаборатория. Проход пациентов в процедурную осуществляется из коридора (рис. 1). Расстояние от фокуса рентгеновской трубки до защитной точки (стена «А») — 1,1 м.

Рассчитайте необходимую защиту (основной и дополнительный строительный материал) для стены «А».

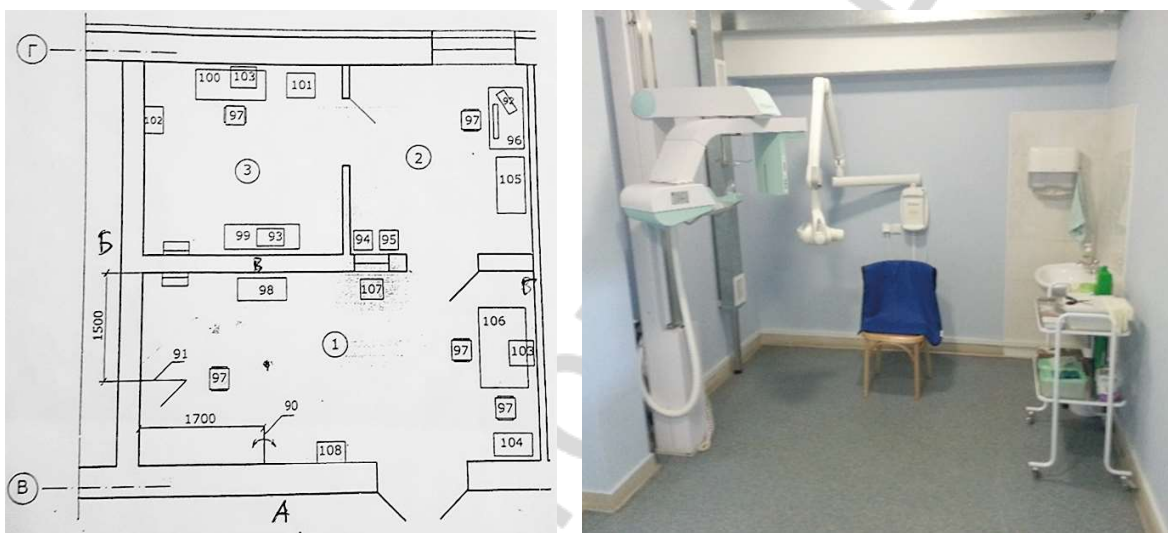


Рис. 1. План рентгенодиагностического кабинета медицинского центра и фото процедурной

Ход работы:

1. Собираем данные для расчета K .

В прил. 26 к СанПиН 2.6.1.8-38-2003 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» находим W и анодное напряжение для данного вида аппарата:

$$W = 200 \text{ (мА · мин) / нед.};$$

анодное напряжение — 90 кВ.

Из технической документации к аппарату или по прил. 10:

$$K_R = 9 \text{ мГр · м}^2 / \text{(мА · мин)}.$$

В соответствии с п. 63 берем значение коэффициента направленности (аппарат с подвижным источником излучения): $N = 0,1$.

По прил. 12 находим ДМД_н:

$$\text{ДМД}_n = 2 \text{ мкГр/ч.}$$

2. Подставляем данные в формулу:

$$K = 10^3 \cdot 9 \cdot 200 \cdot 0,1 / (30 \cdot 1,1^2 \cdot 2) = 2479,3 \text{ отн. ед.}$$

3. По прил. 13 находим требуемое значение свинцового эквивалента (**Рb-экв.**_{треб}) при напряжении 90 кВ (в табл. — 100 кВ; 2479,3 находится между цифрами 2500 и 3000 в таблице, берется всегда большее числовое значение, т.е. в данном случае — 3000) — 1,8 мм.

4. По прил. 14 оцениваем свинцовый эквивалент (**Рb-экв.**_{сущ}) строительных материалов (достаточно ли существующих строительных материалов для стационарных средств радиационной защиты) — может быть использован кирпич полнотелый плотностью 1,6 г/см³:

- 220 мм толщиной (обеспечит 2 мм в свинцовом эквиваленте);
- 135 мм толщиной (обеспечит 1 мм в свинцовом эквиваленте).

5. Если в качестве основного строительного материала будет использован кирпич полнотелый плотностью 1,6 г/см³ и толщиной 135 мм (**Рb-экв.**_{сущ} = 1 мм), то необходимо найти свинцовый эквивалент дополнительной защиты:

$$\text{Рb-экв.}_{\text{доп}} = \text{Рb-экв.}_{\text{треб}} - \text{Рb-экв.}_{\text{сущ}} = 1,8 - 1,0 = 0,8 \text{ мм.}$$

Таким образом, 0,8 мм свинцового эквивалента необходимо обеспечить дополнительным строительным материалом (например: слой толщиной 10,5 мм баритовой штукатурки плотностью 2,7 г/см³ обеспечивает 1 мм свинцового эквивалента).

Задание для самостоятельной работы. В процедурной рентгеностоматологического кабинета, расположенного в цокольном этаже медицинского центра (рис. 1), установлен ортопантомограф цифровой производства фирмы «Сименс» с техническими характеристиками: номинальное анодное напряжение $U = 90 \text{ кВ}$, $K_R = 9 \text{ мГр} \cdot \text{м}^2 / (\text{мА} \cdot \text{мин})$.

1. Рассчитайте необходимую защиту для стены «Г», за которой расположена зуботехническая лаборатория. Расстояние от фокуса рентгеновской трубки до защитной точки (стена «Г») — 3,5 м. По проекту основной строительный материал — кирпич полнотелый плотностью 1,6 г/см³ — 135 мм.

2. Рассчитайте необходимую защиту для потолка. Смежное по вертикали помещение — аптека. Расстояние от фокуса рентгеновской трубки до защитной точки (потолок) — 2,0 м. Перекрытие выполнено из бетона плотностью 2,3 г/см³ толщиной 85 мм.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

1. Перечислите основные принципы обеспечения радиационной безопасности:

- а) принцип допустимости вмешательства;
- б) принцип обоснования вмешательства;
- в) принцип дозообразования;
- г) принцип оптимизации;
- д) принцип невмешательства.

2. Основным документом, дающим право на выполнение работ с источниками ионизирующего излучения, является:

- а) санитарный паспорт на право работы с источниками ионизирующего излучения на конкретном предприятии;
- б) санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности»;
- в) Закон Республики Беларусь «О радиационной безопасности»;
- г) санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения»;
- д) гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия».

3. Какой показатель применяется для количественной оценки условий труда при работе с устройствами, генерирующими ионизирующее излучение:

- а) допустимая мощность дозы при внешнем облучении персонала;
- б) среднегодовая активность радионуклида на рабочем месте;
- в) доза внутреннего облучения персонала;
- г) интенсивность пучка ускорителей заряженных частиц;
- д) тип нейтронного генератора?

4. К персоналу, работающему в зоне воздействия источников ионизирующего излучения и подлежащему аттестации рабочих мест, относятся:

- а) работники, занятые на лазерных установках;
- б) работники ангиографических кабинетов;
- в) санитарка рентгенкабинета стоматологического отделения;
- г) работники кабинетов МРТ;
- д) руководители структурных подразделений, при условии занятости на рабочем месте с источниками ионизирующего излучения вне зависимости от времени выполняемых работ.

5. В соответствии с требованиями закона Республики Беларусь «О радиационной безопасности» и гигиенического норматива «Критерии оценки

радиационного воздействия» при профессиональном облучении предел средней годовой эффективной дозы облучения равен:

а) 50 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 100 мЗв в год;

б) 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год;

в) 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год;

г) 2 бэра в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 10 бэр в год;

д) 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 200 мЗв в год.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 355–359, 375–380.

Дополнительная

2. Сайт кафедры radbez.bsmu.by.

Нормативные документы

3. Закон Республики Беларусь от 18.06.2019 № 198-З «О радиационной безопасности».

4. Нормы и правила по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с источниками ионизирующего излучения». Постановление МЧС Республики Беларусь № 22 от 31.05.2010 (в редакции постановления МЧС от 21.08.2013 № 37), гл. 4 «Классификация источников ионизирующего излучения».

5. Приказ Министерства здравоохранения № 881 от 31.08.2020 «О порядке установления и применения граничных доз облучения и референтных уровней».

6. Санитарные нормы и правила «Гигиеническая классификация условий труда», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 211. Гл. 12, 13, прил. 2, табл. 13.

7. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137. Гл. 1–7, 9–12, 14, прил. 1–10.

8. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

9. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Прил. 1, 5, 15, 17, 19–21.

10. Инструкция 2.6.1.10-13-43-2006 «Работа органов и учреждений, осуществляющих государственный санитарный надзор, по разделу радиационной гигиены» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 22.11.2006 г. № 163).

11. Санитарные правила и нормы 2.6.1.8-38-2003 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».

Глава 2

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНЫЙ НАДЗОР ЗА ОБЪЕКТАМИ, ПРИМЕНЯЮЩИМИ ЗАКРЫТЫЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель занятия: усвоить особенности организации и планирования работы отделения радиационной гигиены при осуществлении ГСН за радиологическими объектами, использующими ЗРнИ и УГИИ.

В настоящее время устройства, генерирующие электромагнитные излучения, и закрытые радионуклидные источники широко используются человеком. Более 70 % данных ИИИ применяется в медицине. Наибольшее распространение получили рентгенодиагностические аппараты. Обеспечение радиационной безопасности пациентов, персонала и населения контролируется в ходе ГСН за объектами, их эксплуатирующими. Категорирование медицинской рентгенодиагностической аппаратуры проводится с учетом их назначения и стандартного анодного напряжения. Они отнесены к источникам 3–5 категории опасности (см. табл. 1).

В рамках выполнения основных задач по разделу радиационной гигиены *центры гигиены и эпидемиологии, в структуре которых имеются подразделения по радиационной гигиене,*

1) осуществляют:

– ГСН за соблюдением специфических санитарно-эпидемиологических требований (ССЭТ) и гигиенических нормативов в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения, в результате радиационной аварии, воздействия природных источников излучения и при медицинском облучении;

– подготовку и вносят в установленном порядке в соответствующие местные органы исполнительной и распорядительной власти предложения по выполнению требований санитарно-эпидемиологического законодательства, ССЭТ и гигиенических нормативов в области обеспечения радиационной безопасности населения;

– оказание организационно-методической помощи по разделу радиационной гигиены центрам гигиены и эпидемиологии, в составе которых отсутствуют структурные подразделения по радиационной гигиене;

– информирование населения о мерах по обеспечению радиационной безопасности; гигиеническое обучение населения в области обеспечения радиационной безопасности;

– контроль и учет индивидуальных доз внешнего облучения в установленном порядке;

2) принимают участие:

– в расследовании всех случаев радиационных аварий;

– в разработке нормативных правовых актов в области обеспечения радиационной безопасности;

– в разработке территориальных программ в области обеспечения радиационной безопасности населения;

3) организуют и проводят исследования по содержанию радионуклидов в объектах среды обитания человека, пищевых продуктах, питьевой воде в установленном порядке;

4) организуют и проводят радиационно-гигиенический мониторинг пищевых продуктов и объектов среды обитания человека в установленном порядке;

5) выдают разрешения (санитарный паспорт) на право работы с ИИИ (производство, применение, хранение, транспортировка и захоронение радиоактивных веществ, других источников ионизирующего излучения и проведение с ними работ);

6) выдают организациям разрешения (санитарный паспорт) на право работы на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС;

7) выполняют иные функции в соответствии с нормативными правовыми актами, в том числе техническими нормативными правовыми актами в области обеспечения радиационной безопасности.

Центры гигиены и эпидемиологии, в составе которых отсутствуют структурные подразделения по радиационной гигиене:

1) осуществляют государственный санитарный надзор:

– за соблюдением гигиенических требований к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований;

– за соблюдением гигиенических требований по обеспечению радиационной безопасности при заготовке и реализации металлолома;

– за соблюдением гигиенических требований по обеспечению радиационной безопасности на стадии отвода участка, при вводе в эксплуатацию

после завершения строительства или реконструкции жилых зданий и зданий социально-бытового назначения;

– за содержанием радионуклидов в пищевых продуктах, продукции, сырье и материалах;

2) согласовывают в установленном законодательством порядке радиационно-гигиенические паспорта пользователей источников ионизирующего излучения, эксплуатирующих рентгеновские аппараты;

3) организуют и проводят радиационный контроль за содержанием радионуклидов в пищевых продуктах, производимых в личных подсобных хозяйствах, в установленном порядке, а также по обращаемости населения;

4) организуют и проводят контроль за содержанием радионуклидов в пищевых продуктах, продукции, сырье и материалах, производимых в общественном секторе, в установленном порядке;

5) участвуют в организации и проведении радиационно-гигиенического мониторинга за содержанием радионуклидов в пищевых продуктах и других объектах среды обитания человека в установленном порядке, в том числе в 30 км зоне АЭС сопредельных государств;

6) осуществляют информирование населения о мерах по обеспечению радиационной безопасности;

7) выполняют иные функции в соответствии с нормативными правовыми актами, в том числе техническими нормативными правовыми актами в области обеспечения радиационной безопасности.

Обследование радиационного объекта завершается оформлением акта обследования при проведении государственной санитарно-гигиенической экспертизы работ и услуг, представляющих потенциальную опасность для жизни и здоровья населения и санитарно-гигиенического заключения.

Лабораторная работа

ОФОРМЛЕНИЕ АКТА ОБСЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО ОБЪЕКТА, ЭКСПЛУАТИРУЮЩЕГО УГИИ

В процессе выполнения работы необходимо **освоить** алгоритм анализа обеспечения гигиенической и радиационной безопасности на объекте, эксплуатирующем медицинскую рентгенодиагностическую аппаратуру и, изучив предоставленный комплект документов, **оформить** акт обследования данного объекта.

В акте обследования при проведении государственной санитарно-гигиенической экспертизы работ и услуг, представляющих потенциальную опасность для жизни и здоровья населения (прил. 1), **должно быть отражено:**

I. Реквизиты учреждения, специалисты которого проводят обследование.

II. Вводная часть:

1. Дата, фамилия, инициалы и должность лица, проводившего обследование.
2. Наименование субъекта (название юридического лица, фамилия, инициалы индивидуального предпринимателя, адрес, телефон/факс).
3. На основании чего проводилось обследование (например, заявления с указанием даты и номера).
4. Цель обследования (например, проведение государственной санитарно-гигиенической экспертизы работ и услуг, представляющих потенциальную опасность для жизни и здоровья населения — деятельность в области здравоохранения).
5. В чьем присутствии проводится обследование объекта.

III. Основные данные:

1. Фамилия, инициалы и должность лица, ответственного за радиационную безопасность, приказ, специальное обучение по вопросам обеспечения радиационной безопасности с оценкой знаний.
2. Фамилия, инициалы и должность лица, ответственного за контроль за обеспечением радиационной безопасности, приказ, специальное обучение по вопросам обеспечения радиационной безопасности с оценкой знаний.
3. Фамилия, инициалы и должность лица, ответственного за учет и хранение рентгеновских аппаратов, приказ.
4. Фамилия, инициалы и должность лица, ответственного за техническое состояние ИИИ; приказ.
5. Приказ об отнесении работающих лиц к категории «персонал».

IV. Документация:

1. Санитарный паспорт на право работы с источниками ионизирующего излучения (номер, срок действия).
2. Эксплуатационная документация на рентгеновский аппарат (установку) на одном из государственных языков.
3. Технический паспорт на рентгеновский кабинет (номер, срок действия).
4. Протокол контроля эксплуатационных параметров аппарата.
5. Протоколы испытаний индивидуальных и передвижных средств радиационной защиты.
6. Акт проверки эффективности вентиляции.
7. Акт испытания устройства защитного заземления с указанием сопротивления растекания тока основных заземлителей.
8. Инструкция по радиационной безопасности при работе с рентгеновской аппаратурой.
9. Журнал регистрации инструктажа по радиационной безопасности.
10. Контрольно-технический журнал.

11. Приходно-расходный журнал учета источников ионизирующего излучения.
12. Порядок проведения контроля за обеспечением радиационной безопасности.
13. Система радиационного контроля.
14. Контролируемые параметры воздействия радиационного фактора.
15. План мероприятий по защите персонала и населения в случае радиационной аварии.
16. Инструкция по действиям персонала в аварийных ситуациях.
17. Радиационно-гигиенический паспорт пользователя ИИИ.
18. Протокол проверки знаний правил радиационной безопасности.
19. Заключение медицинской комиссии о прохождении персоналом предварительных и периодических медицинских осмотров.
20. Карточки учета индивидуальных доз внешнего облучения лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений.
21. ССЭТ, санитарные правила, иные нормативные и инструктивно-методические документы, регламентирующие требования радиационной безопасности.

Вопросы для самоконтроля усвоения темы

1. Индивидуальные дозиметры используют:

- а) для контроля доз, формирующихся за счет ингаляционного поступления радионуклидов в организм;
- б) для контроля доз внешнего облучения организма, получаемых при работе с источниками ионизирующих излучений;
- в) для контроля доз, формирующихся за счет перорального поступления радионуклидов в организм;
- г) для контроля доз облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов в организм;
- д) для получения информации о дозах облучения всего населения за определенный период времени.

2. Дополнительные ограничения для профессионального облучения персонала (в ситуации планируемого облучения) установлены для:

- а) лиц из персонала мужского пола в возрасте 23–39 лет;
- б) лиц из персонала женского пола в возрасте до 45 лет;
- в) студентов и учащихся моложе 16 лет;
- г) лиц, страдающих хроническими заболеваниями;
- д) лиц из персонала в возрасте 50 лет и старше.

3. Контроль индивидуальных дозовых нагрузок персонала проводится:

- а) один раз в день;

- б) один раз в квартал;
- в) один раз в месяц;
- г) постоянно с регистрацией результатов измерения один раз в квартал;
- д) постоянно с регистрацией результатов измерения один раз в год.

4. Нормируемой величиной доз профессионального облучения в ситуации планируемого облучения является:

- а) месячная эквивалентная доза облучения кожи;
- б) годовая эффективная доза облучения кожи;
- в) годовая эквивалентная доза на поверхности нижней части живота женщин в возрасте до 45 лет;
- г) годовая эффективная доза, усредненная за любые последовательные 5 лет;
- д) плотность потока частиц с загрязненной радионуклидами поверхности.

5. Комната управления рентгеновского кабинета — это помещение, в котором:

- а) размещен рентгеновский излучатель и проводятся рентгенологические исследования или рентгенотерапия;
- б) размещено оборудование для подготовки пациента к рентгенологическому исследованию;
- в) размещены стационарные средства радиационной защиты;
- г) размещены дистанционные системы управления рентгеновским аппаратом и ведется наблюдение за состоянием пациента во время выполнения рентгенологических исследований;
- д) размещено оборудование для локализации последствий нештатных ситуаций в рентгенкабинете.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 132–145, 165–178, 190–195, 355–359, 375–380.

Дополнительная

2. Сайт кафедры radbez.bsmu.by.

Нормативные документы

3. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137. Гл. 9–14, 20–22.

4. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Гл. 2.

5. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Прил. 1, 5, 8.

6. Санитарные правила и нормы 2.6.1.8-38-2003 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».

7. Инструкция по применению «Метод определения эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенодиагностических процедур», утв. Министерством здравоохранения Республики Беларусь 08.09.2016, рег. № 038-0716.

8. Инструкция 2.6.1.11-11-12-2003 «Организация и проведение ИДК в лечебно-профилактических учреждениях» (сборник «Радиационная безопасность» ч. 1).

9. Инструкция 2.6.1.11-8-41-2004 «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками ионизирующего излучения» (утверждена постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 29.12.2004 г. № 157) (сборник «Радиационная безопасность» ч. 2).

10. Инструкция 2.6.1.10.11.99-2005 «Радиационный контроль при санитарно-гигиеническом обследовании радиационных объектов», утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 28.12.2005 г. № 275.

Глава 3

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНЫЙ НАДЗОР ЗА ОБЪЕКТАМИ, ПРИМЕНЯЮЩИМИ ОТКРЫТЫЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель занятия: усвоить особенности организации и осуществления государственного санитарного надзора за объектами, использующими открытые радионуклидные источники ионизирующего излучения (ОРНИ).

Открытый источник ионизирующего излучения — источник ионизирующего излучения, при обращении с которым возможно поступление радиоактивных веществ в окружающую среду.

Все работы с ОРНИ по степени потенциальной опасности переоблучения за счет поступления радионуклидов в организм подразделяют на 3 класса в зависимости от количества радионуклидов (фактическая активность) на рабочем месте и группы радиационной опасности изотопа.

Класс работ — характеристика работ с открытыми источниками ионизирующего излучения по степени потенциальной опасности для персонала, определяющая требования по радиационной безопасности.

В зависимости от класса выполняемых работ ОРНИ относят к I–III категории радиационной опасности (табл. 1).

Принадлежность радионуклида к группе радиационной опасности устанавливается по МЗА в соответствии с пунктом 114 Санитарных норм и правил «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения» и прил. 13 к Гигиеническому нормативу «Критерии оценки радиационного воздействия». Короткоживущие радионуклиды с периодом полураспада менее 24 ч, не приведенные в данном приложении, относятся к группе Г.

Виды классов работ с ОРНИ приведены в прил. 16 к Гигиеническому нормативу «Критерии оценки радиационного воздействия». В случае нахождения на рабочем месте радионуклидов разных групп радиационной опасности их активность приводится к группе А радиационной опасности по формуле:

$$C_{\Sigma} = C_A + MZA_A \sum (C_i / MZA_i),$$

где C_{Σ} — суммарная активность, приведенная к активности группы А, Бк;
 C_A — активность радионуклидов группы А, находящихся на рабочем месте, Бк;
 MZA_A — минимально значимая активность для группы А, Бк;
 C_i — активность радионуклида i , не относящегося к группе А, Бк;
 MZA_i — минимально значимая активность радионуклида i , Бк.

Лабораторная работа

ОФОРМЛЕНИЕ АКТА ОБСЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО ОБЪЕКТА, ЭКСПЛУАТИРУЮЩЕГО ОРНИ

В процессе выполнения работы необходимо **освоить** алгоритм анализа обеспечения гигиенической и радиационной безопасности на объекте, эксплуатирующем ОРНИ и, изучив предоставленный комплект документов, **оформить** акт обследования данного объекта.

В акте обследования при проведении государственной санитарно-гигиенической экспертизы работ и услуг, представляющих потенциальную опасность для жизни и здоровья населения (прил. 2), **должно быть отражено:**

I. Реквизиты учреждения, специалисты которого проводят обследование.

II. Вводная часть:

1. Дата, фамилия, инициалы и должность лица, проводившего обследование.

2. Наименование субъекта (название юридического лица, фамилия, инициалы индивидуального предпринимателя, адрес, телефон/факс).

3. На основании чего проводилось обследование (например, заявления с указанием даты и номера).

4. Цель обследования (например, проведение государственной санитарно-гигиенической экспертизы работ и услуг, представляющих потенциальную опасность для жизни и здоровья населения — деятельность в области здравоохранения, в части применения открытых радионуклидных источников в изотопной лаборатории).

5. В чьем присутствии проводится обследование.

III. Основные данные:

1. Описание расположения объекта (здание, этаж, состав помещений); оценка санитарно-технического состояния помещений.

2. Назначение помещений, класс проводимых работ, наличие знака радиационной опасности (где указано, например, на двери).

3. Описание места проведения технологических операций по подготовке радиоактивных фармацевтических препаратов (РФП) к введению в организм пациентов (например, шкаф лабораторный защитный модель ____, лотки и поддоны и т.п.); если используется генератор технеция — указать, где находится.

4. Если в лаборатории проводится радионуклидная диагностика *in vivo*, то обязательно указывается: активность генератора радионуклидов технеция-99 (МБк), общее количество (активность) в год (МБк). Аналогичным образом описываются все используемые в подразделении РФП.

5. Наличие и использование средств радиационной защиты пациентов и персонала. Контроль защитной эффективности средств радиационной защиты (протокол испытаний с указанием номера, даты и учреждения, проводившего испытания).

6. Наличие аварийных комплектов СИЗ.

7. Сбор, временное хранение, маркировка и обращение с радиоактивными отходами.

8. Приборы, используемые для проведения радиационного контроля, в том числе и калибратор: название, заводской номер; свидетельство о поверке с указанием номера и срока действия.

9. Контроль нерадиационных факторов в кабинетах с указанием сроков проведения.

10. Маркировка рабочего инвентаря.

IV. Документация:

1. Санитарный паспорт на право работы с ИИИ (номер, срок действия).

2. Технический паспорт (номер, срок действия).

3. Заказ-заявка на поставку ИИИ (срок, номер и дата согласования).

4. Приходно-расходный журнал учета генераторов короткоживущих радионуклидов (дата получения последнего генератора), как, кому и с чьего разрешения выдается генератор.

5. Ведение журналов:

- журнала приготовления рабочих растворов РФП;
- журнала введения радиофармацевтических препаратов пациентам;
- журнала радиоактивных отходов.

6. Оформление расходования РФП.

7. Когда и кем согласована и утверждена система радиационного контроля для обеспечения радиационной безопасности. Дата согласования контролируемых параметров воздействия радиационного фактора.

8. Проведение радиационного контроля за обеспечением радиационной безопасности: соответствие системе радиационного контроля и плану-схеме замеров МЭД в лаборатории.

9. Регистрация результатов замеров: журнал радиационного дозиметрического контроля, журнал учета бета-загрязненности у персонала.

10. Учет дозовых нагрузок пациентов при исследованиях. Наличие назначения врача-специалиста и письменного согласия пациента.

11. Технический отчет электрофизических испытаний электрооборудования с протоколами проверки соединений заземлителей с заземляемыми элементами (номер, дата).

12. Технический отчет по результатам обследования, испытания и паспортизации вентиляционных установок (номер, дата), акт обследования кратности воздухообмена в помещениях изотопной лаборатории (номер, дата).

Приказ (номер, дата) об отнесении работников к категории «персонал» (актуальность списочного состава и количество человек). Проверка знаний персонала по радиационной безопасности: периодичность, приказ (номер, дата) о создании комиссии по проверке знаний персонала по радиационной безопасности, протокол проверки знаний с зачетом (номер, дата).

13. Приказ (номер, дата) о назначении ответственного за контроль за обеспечением радиационной безопасности по учреждению и ответственного за радиационную безопасность в изотопной лаборатории; ответственного за осуществление радиационного контроля (с указанием занимаемой должности и Ф.И.О.). Подготовка специалистов по вопросам обеспечения радиационной безопасности (номер, дата и кем выданы свидетельства). Проверка знаний законодательства в области радиационной безопасности (номер, дата протоколов).

14. Приказ (номер, дата) о назначении ответственного за получение, учет, хранение ОРНИ, получение РФП.

15. Инструктаж по радиационной безопасности персонала, работающего с ИИИ: периодичность проведения, учет в соответствующем журнале, дата последнего повторного инструктажа.

16. Прохождение медицинского осмотра персоналом: периодичность, акт периодического медосмотра (даты).

17. Обеспечение персонала средствами индивидуального дозиметрического контроля: периодичность, организация, ведение карточек учета индивидуальных доз внешнего облучения лиц, работающих с ИИИ.

18. Наличие и с кем согласован радиационно-гигиенический паспорт пользователя ИИИ.

19. Наличие и с кем согласованы следующие документы:

– план мероприятий по защите персонала и населения в случае радиационной аварии;

– порядок проведения контроля за обеспечением радиационной безопасности;

– инструкция по радиационной безопасности при работе с ИИИ в изотопной лаборатории;

– инструкция по действиям персонала в аварийных ситуациях в изотопной лаборатории;

– категория потенциальной опасности ИИИ;

– схема обращения с радиоактивными отходами.

20. Референтные уровни и граничные дозы (дата утверждения).

21. Программа контроля качества при использовании РФП (наличие, дата утверждения).

22. Наличие необходимых ТНПА по радиационной безопасности.

Вопросы для самоконтроля усвоения темы

1. К открытым источникам ионизирующего излучения относят:

а) радионуклидные источники излучения, устройство которых исключает поступление содержащихся в них радиоактивных веществ в окружающую среду;

б) радионуклидные источники излучения, при использовании которых возможно поступление содержащихся в них радиоактивных веществ в окружающую среду;

в) радионуклидные источники излучения, при работе с которыми персонал может подвергаться только внешнему облучению;

г) устройства, генерирующие электромагнитное ионизирующее излучение.

2. Класс работ — это:

а) характеристика работ с любыми источниками ионизирующего излучения по степени потенциальной опасности для населения;

б) характеристика работ с открытыми радионуклидными источниками ионизирующего излучения по степени потенциальной опасности для пер-

сонала, определяющая требования по обеспечению радиационной безопасности;

в) характеристика работ с закрытыми радионуклидными источниками ионизирующего излучения по степени потенциальной опасности для персонала, определяющая требования по обеспечению радиационной безопасности;

г) характеристика работ с открытыми радионуклидными источниками ионизирующего излучения в зависимости от применяемых средств защиты персонала.

3. Класс работ при использовании открытых радионуклидных источников излучения устанавливается в зависимости от:

а) биологического периода полувыведения радионуклида из организма;

б) периода полураспада радионуклида;

в) группы радиационной опасности радионуклида и его фактической активности на рабочем месте;

г) обеспеченных условий радиационной безопасности;

д) эффективного периода уменьшения активности радионуклида в организме.

4. Индивидуальные дозиметры используют для:

а) контроля доз, формирующихся за счет ингаляционного поступления радионуклидов в организм;

б) контроля доз внешнего и внутреннего облучения организма, получаемых при работе с источниками ионизирующих излучений;

в) контроля доз, формирующихся за счет перорального поступления радионуклидов в организм;

г) контроля доз внутреннего облучения организма, получаемых при работе с открытыми источниками ионизирующих излучений;

д) получения информации о дозах внешнего облучения персонала за определенный период времени.

5. Индивидуальный дозиметрический контроль внутреннего облучения персонала вводится:

а) для работников, у которых возможно превышение ожидаемой эффективной дозы облучения в результате ингаляционного поступления радиоактивных аэрозолей;

б) для врачей-радиологов кабинета дистанционной гамма-терапии;

в) при проведении работ с использованием стационарных аппаратов для рентгеновской дефектоскопии;

г) для врачей-рентгенологов;

д) при проведении операций с любым источником ионизирующего излучения, при которых возможно возникновение аварийных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 145–178, 190–195, 355–359, 375–380.

Дополнительная

2. Радиационная и экологическая медицина. Лабораторный практикум / под ред. А. Н. Стожарова. Минск : Минфина, 2012. С. 137–139.

3. Сайт кафедры gadbez.bsmu.by.

Нормативные документы

4. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137. Гл. 9–12, 15–22, прил. 1–10.

5. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

6. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Прил. 1, 5, 8, 12, 16, 19–21.

7. Санитарные нормы и правила 2.6.1.13-55-2005 «Гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики», утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 28.12.2005 г. № 273 с изменениями и дополнениями, утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 18 июня 2007 г. № 56.

8. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при обращении с радиоактивными отходами», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31 декабря 2015 г. № 142.

Глава 4

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНЫЙ НАДЗОР В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ. РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРЕДПРИЯТИЙ УГОЛЬНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Цель изучения: оценить радиационное воздействие на население за счет выбросов предприятий теплоэнергетики, использующих уголь в качестве топлива. С использованием методологии Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) произвести расчет радиационного воздействия на население Беларуси за счет функционирования Белхатовской ТЭС (Республика Польша), использующей в качестве топлива бурый уголь.

Одним из видов топлива, которое используется на предприятиях теплоэнергетики является уголь. Уголь — это общее название различных твердых органических топлив. Ископаемый уголь образовался из частей древних растений (в основном болотистых), подвергшихся преобразованиям вследствие опускания торфа на большие глубины под землю при высокой температуре и без доступа кислорода. Под давлением наслоений толщиной в один километр из слоя торфа получается пласт бурого угля. Если глубина залегания растительного материала достигает трех километров, то такой же слой торфа превратится в пласт каменного угля. На большей глубине, порядка шести километров, и при более высокой температуре слой торфа становится пластом антрацита. Таким образом, наиболее молодой вид угля — это бурый уголь, самый старый и качественный — антрацит.

Международное Энергетическое Агентство (МЭА) классифицирует уголь двух основных категорий; каменный уголь с высокой теплотворной способностью не менее 5700 ккал/кг и бурый уголь с теплотворной способностью менее 5700 ккал/кг). Сжигание угля для производства электроэнергии является преимущественным во всем мире. Доля угля в общей выработке электроэнергии составляет около 40 %.

Уголь содержит естественные радионуклиды из уранового и ториевого рядов и калий-40 (табл. 3). Концентрация природного радиоактивного материала в угле зависит от характеристика геологической формации угольных пластов, где он образовался.

Таблица 3

Радионуклиды, содержащиеся в угле различного происхождения, Бк/кг

Страна	²³⁸ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th	²²⁸ Ra	⁴⁰ K
Австралия	8,5–47	21–68	19–24	20–33	16–28	11–69	11–64	23–140
Египет	59	–	26	–	–	8	8	–
Греция	117–390	–	44–206	59–205	–	–	9–41	–
Польша	< 159	–	< 557	< 510	< 580	< 170	–	–
США	6,3–73	–	8,9–59,2	12,2–77,7	3,3–51,8	3,7–21,1	–	–
Германия	–	–	10–145	–	–	10–63	–	10–700

При сжигании угля большая часть негорючего вещества остается в золе. Поскольку радионуклиды присутствуют в минеральных компонентах, они также имеют тенденцию оставаться в золе, где их концентрация увеличивается. Однако радон — инертный газ, присутствующий в угле, выбрасывается через дымовую трубу. С течением времени предприятия теплоэнергетики модернизировались, системы очистки и фильтрации стали более эффективными, что предотвращает выброс твердых продуктов в атмосферу. Собранная

угольная зола либо перерабатывается для последующего использования, либо вывозится на свалки. В табл. 4 представлены данные годовых нормализованных выбросов на ГВт мощности радионуклидов в атмосферу, основанные на средней активности ^{238}U в угле равной 20 Бк/кг.

Таблица 4

Нормализованные выбросы радионуклидов в атмосферу на ГВт мощности, основанные на активности ^{238}U в угле 20 Бк/кг

Радионуклид	Нормализованные выбросы, ТБк/ГВт в год	
	ТЭС	Модернизированные ТЭС
Rn-222	0,07	0,07
Po-210	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$9,3 \cdot 10^{-5}$
Pb-210	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$9,3 \cdot 10^{-5}$
Ra-226	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$
U-234	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$
U-238	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$
Th-230	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$

Сжигание угля способно приводить к радиационному облучению населения за счет:

- 1) радиоактивных выбросов в атмосферу;
- 2) выбросов в атмосферу радона;
- 3) образование золы с повышенными концентрациями естественных радионуклидов по сравнению с углем.

В Республике Беларусь в качестве топлива уголь на предприятиях тепло-электроэнергетики не используется, хотя в южных регионах имеются запасы этого топлива. Однако в соседних странах, в Республике Польша весьма активно применяют бурый уголь для получения электроэнергии. Эта европейская страна имеет его весьма внушительные запасы. Самым крупным потребителем этого вида топлива является Белхатовская ТЭС. Расположена возле города Лодзь (Польша) в 300 км от границы с Беларусью (рис. 2). Использует уголь из ближайшего разреза.

Ее мощность составляет 0,54 ГВт. Является самой крупной станцией в Европе и четвертой по мощности в мире. В силу большого количества выбросов в окружающую среду (станция входит в европейская список одиннадцати самых загрязняющих окружающую среду предприятий) и в силу направленного с запада на восток перемещения воздушных масс, ТЭС может в определенной степени загрязнять территорию нашей республики. В силу этих обстоятельств представляет интерес оценка радиационных выбросов Белхатовской ТЭС на территории Беларуси.



Рис. 2. Расположение Белхатовской ТЭС на территории Польши

Лабораторная работа

РАСЧЕТ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗА СЧЕТ ВСЕХ ВИДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ БЕЛХАТУВСКОЙ ТЭС

В процессе выполнения работы необходимо **освоить** расчет радиационного воздействия на население Беларуси за счет сжигания бурого угля на Белхатовской ТЭС. На основе методологии НКДАР ООН **выполнить** расчет объемной активности воздуха за счет иммерсированных выбрасываемых радионуклидов на различном расстоянии от ТЭС, поверхностной активности территорий, годовых эффективных доз внешнего и внутреннего облучения, загрязнение основных продуктов питания.

Параллельно с подготовкой НКДАР ООН публикации «Радиационное воздействие при производстве электроэнергии» («Radiation exposure from electricity generation») в 2017 г. была подготовлена и издана «Методология для оценки облучения населения за счет радиоактивных выбросов» («Methodology for estimating public exposures due radioactive discharges»). Для облегчения расчетов данная методология была дополнена связанными электронными таблицами. В ее основу был положен ряд основных принципов:

1. Основные пути миграции радионуклидов в окружающей среде (рис. 3). Выбросы от предприятий могут происходить как в атмосферу, так и в водную среду. Первый путь ведет к дисперсии радионуклидов в воздухе, т.е. его загрязнению. Это формирует внешнее и внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радионуклидов (1). Находясь в воздухе радионуклиды могут попадать на почву путем сухих выпадений, а также в виде

выпадения с осадками. Это ведет к загрязнению местности и формированию доз внешнего облучения человека (2). Попадая по трофическим цепям в растения и организм животных, радионуклиды с продуктами питания оказываются в организме человека и тем самым формируют внутреннее облучение (3). Дополнительным фактором внутреннего облучения является питьевая вода (4). Водный путь поступления радионуклидов в данном случае не рассматривается.



Рис. 3. Схема миграции радионуклидов в окружающей среде:

1 — облучение от радиоактивного облака, ингаляция; 2 — внешнее облучение от загрязненной местности; 3 — внутреннее облучение от перорального поступления; 4 — внутреннее облучение от питьевой воды

Выбросы от предприятий могут происходить как в атмосферу, так и в водную среду. Первый путь ведет к дисперсии радионуклидов в воздухе, т.е. его загрязнению. Это формирует внешнее и внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радионуклидов (1). Находясь в воздухе радионуклиды могут попадать на почву путем сухих выпадений, а также в виде выпадений с осадками. Это ведет к загрязнению местности и формированию доз внешнего облучения человека (2). Попадая по трофическим цепям в растения и организм животных, радионуклиды с продуктами питания оказываются в организме человека и тем самым формируют внутреннее облучение (3). Дополнительным фактором внутреннего облучения является питьевая вода (4). Водный путь поступления радионуклидов в данном случае не рассматривается.

2. Методология подразумевает только непрерывные рутинные выбросы.

3. Учитывается постоянное воздействие долгоживущих радионуклидов и после прекращения выбросов (в силу длительных периодов полураспада).

4. При расчете доз внутреннего облучения за счет перорального поступления радионуклидов учитывается потребление только местных продуктов питания.

5. При расчете коллективных доз учитывается плотность населения, свойственная странам восточной Европы.

Для расчета необходимых параметров необходимо использование большого количества физических констант, сложных формул, математических действий, применение множества коэффициентов перехода радионуклидов в разные среды и т.д. Для упрощения все эти параметры введены в состав электронных таблиц разработчиками, что значительно облегчает расчеты.

Для хранения полученных расчетных результатов в лабораторной работе используются соответствующие шаблоны, которые содержат пустые таблицы, необходимые для последующего заполнения и хранения данных.

В состав семейства электронных таблиц НКДАР ООН входят следующие страницы (рис. 4):

1. **Радионуклиды** — перечень с физическими характеристиками радионуклидов, которые могут подлежать расчетам (вносить какие-либо изменения в этот лист электронных таблиц не следует).

2. **Основные параметры** — перечень физических констант и характеристик, которые участвуют в расчетах. На этой странице электронных таблиц имеются данные о рационе питания, свойственным жителям Беларуси и плотности населения в нашей республике. Эти параметры используются в последующих расчетах. Для расчетов в лабораторной работе необходимо внесение исходных данных лишь в строку 13, колонка С в виде выбросов (Бк) в единицах объемной активности (куб.м) в одну секунду (Бк/с). Ячейка помечена коричневым цветом. Остальные параметры на этой странице изменять не следует.

3. **Активность** — результаты рассчитанной объемной активности воздуха (Бк/куб.м) на различном удалении от источника выбросов для конкретного радионуклида, а также скорости выпадения радионуклида на территории (Бк/кв.м) на различном удалении от источника выброса. Этот параметр используется в последующих расчетах.

4. **Ингаляция, иммерсия** — рассчитанные дозы облучения (Зв/год) за счет ингаляционного поступления от конкретного радионуклида, а также доза внешнего облучения (Зв/год) за счет иммерсии радионуклида в воздухе на различном удалении от источника выброса.

5. **Внешнее облучение** — рассчитанные дозы внешнего облучения за счет проживания на загрязненной для конкретного радионуклида (Зв/год) на различном удалении от источника выброса.

6. **Внутреннее облучение** — рассчитанные дозы внутреннего облучения (Зв/год) за счет потребления продуктов питания для конкретного радионуклида (зерно, овощи, молоко, мясо) при различном удалении от источника выброса.

7. **Суммарные дозы** — рассчитанные индивидуальные ГЭД (Зв/год) и коллективные дозы облучения (чел.-Зв/год) для конкретного радионуклида на различном удалении от источника выброса.

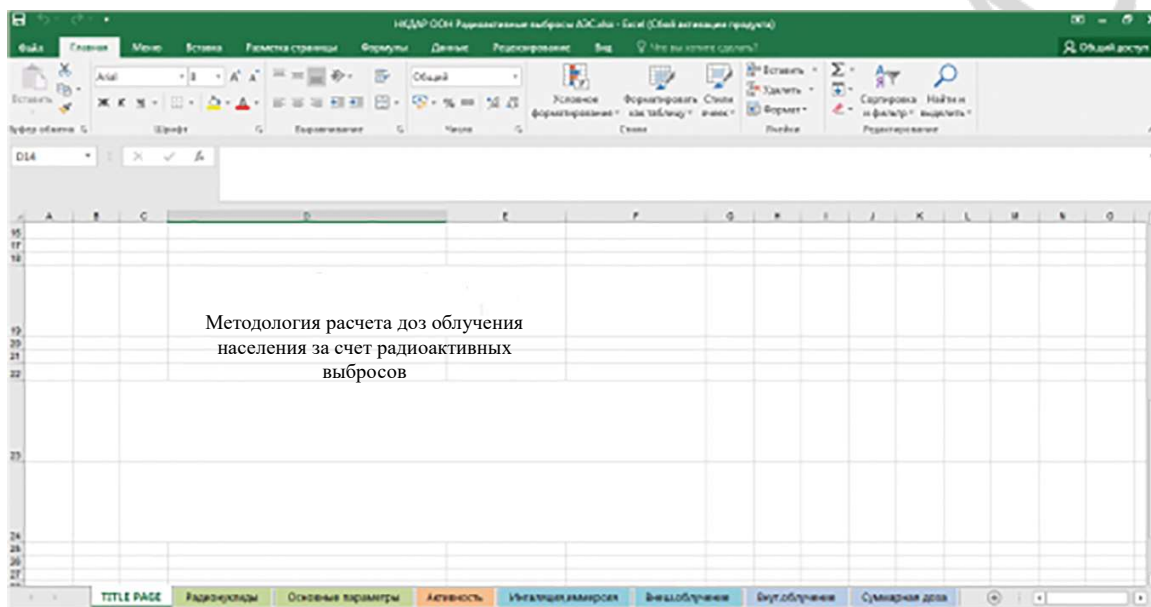


Рис. 4. Титульная страница электронных таблиц НКДАР ООН

Условие лабораторной работы. Рассчитать радиационное воздействие (активность радионуклидов в воздухе (Бк/куб.м), дозы за счет ингаляционного поступления (Зв/год), внешнего облучения за счет загрязнения воздуха (Зв/год), дозы за счет внешнего облучения вследствие загрязнения территории (Зв/год), дозы внутреннего облучения за счет потребления зерна и зернопродуктов, овощей и картофеля, молока и молокопродуктов, мяса (Зв/год), индивидуальные (Зв/год) и коллективные дозы (чел.-Зв/год)), а также активность основных продуктов питания (Бк/кг или Бк/л). Расчет необходимо осуществить для радионуклидов, перечисленных в табл. 3, за исключением U-234. В расчет брать территории проживания населения на расстоянии 300, 600 и 900 км от Белхатовской ТЭС. Эти расстояния перекрывают всю территорию Беларуси и, следовательно, дают представление о радиационном воздействии на население республики. В расчете необходимо принять во внимание тот факт, что содержание U-238 в буром угле Белхатовского разреза составляет не 20, а 160 Бк/кг.

Ход работы:

1. Пересчитайте активности всех упомянутых выше радионуклидов на 1 ГВт мощности ТЭС в секунду с учетом повышенной активности U-238 в угле Белхатовского разреза.

2. Загрузите электронную таблицу «НКДАР ООН радиоактивные выбросы» и файл «НКДАР ООН шаблон ТЭС».

3. В электронной таблице «НКДАР ООН радиоактивные выбросы» зайдите на страницу «Основные параметры». В ячейку C13 (Количество выброса) введите значение выбросов активности в секунду для первого радионуклида (табл. 4). Нажмите клавишу «Ввод» (рис. 5).

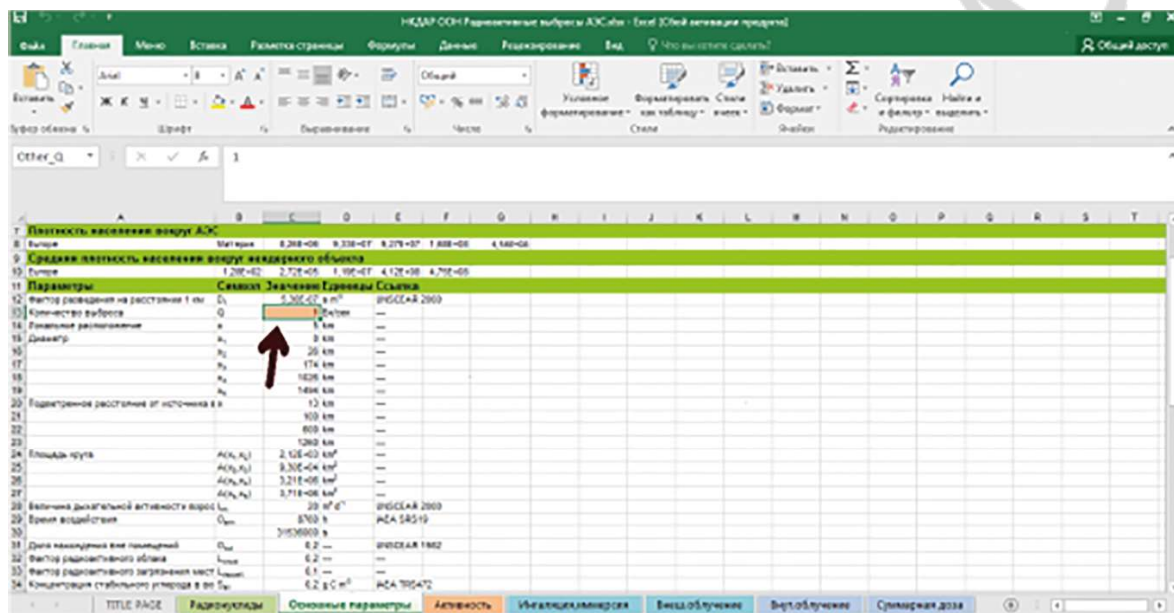


Рис. 5. Страница «Основные параметры» электронных таблиц

4. Перейдите на следующую страницу «Активность». В столбике А выберите радионуклид, для которого происходит расчет. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (300, 600, 900 км) выделите ячейки. Они соответствуют объемной активности воздуха в Бк/куб.м. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

5. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН шаблон ТЭС» в раздел «Активность радионуклидов в воздухе (Бк/куб.м)». Для вставки пользуйтесь не горячими клавишами, а кнопками мыши.

6. Перейдите на страницу «Ингаляция, иммерсия» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (300, 600, 900 км) выделите ячейки. Они соответствуют дозам облучения населения от ингаляционного поступления этого радионуклида (Зв/год) и дозам облучения за счет внешнего облучения от загрязненного воздуха в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

7. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН шаблон ТЭС» в раздел «Дозы за счет ингаляционного поступления, внешнего облучения от радиоактивного облака».

8. Перейдите на страницу «Внешнее облучение» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (300, 600, 900 км) выделите ячейки. Они соответствуют дозам внешнего облучения населения от загрязненной территории в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

9. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН шаблон ТЭС» в раздел «Дозы внешнего облучения от загрязненной территории».

10. Перейдите на страницу «Внутреннее облучение» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (300, 600, 900 км) выделите ячейки по основным продуктам питания (зерно, овощи, молоко, мясо). Они соответствуют дозам внутреннего облучения населения от потребления продуктов питания в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

11. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН шаблон ТЭС» соответственно расстояниям от источника выбросов в раздел «Дозы внутреннего облучения».

12. Перейдите на страницу «Суммарные дозы» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (300, 600, 900 км) выделите ячейки. Они соответствуют индивидуальной ГЭД дозе (Зв/год) и коллективной дозе (чел.-Зв/год). Скопируйте их содержимое в память компьютера.

13. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН шаблон ТЭС» соответственно расстояниям от источника выбросов в раздел «Индивидуальные годовые дозы» и «Коллективные годовые дозы».

14. После заполнения перечисленных разделов по выбранному радионуклиду произойдет автоматический расчет и заполнение таблицы «Активность в продуктах» соответственно расстояниям от источника выброса по данному радионуклиду (Бк/кг или Бк/л).

15. Все перечисленные этапы выполнения лабораторной работы (1–14) необходимо проделать для остальных радионуклидов, перечисленных в табл. 4.

Алгоритм оценки результатов:

1. По данным заполненной таблицы «НКДАР ООН шаблон ТЭС» проведите анализ вклада различных радионуклидов в дозы облучения населения.

2. Проанализируйте динамику снижения доз облучения населения на различном расстоянии от Белхатовской ТЭС.

3. Сделайте вывод о радиационном воздействии Белхатовской ТЭС на территорию Беларуси.

4. Оцените степень загрязнения продуктов питания различными радионуклидами.

Задание для самостоятельной работы. Скопируйте и сохраните заполненную таблицу для последующей подготовки рисунков и презентации на выбранную тему.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

1. Объемная активность образца — это:

- а) отношение активности A радионуклида в образце к массе образца:
 $A_v = A/m$;
- б) отношение активности A радионуклида в образце к объему образца:
 $A_v = A/V$;
- в) отношение активности A радионуклида в образце к массе точечной пробы: $A_v = A/m_{\text{пробы}}$;
- г) отношение активности A радионуклида в образце к скорости счета образца: $A_v = A/v$;
- д) отношение активности A радионуклида в образце к времени счета образца: $A_v = A/t$.

2. Зиверт — это единица:

- а) радиоактивности;
- б) поглощенной дозы;
- в) экспозиционной дозы;
- г) мощности амбиентного эквивалента дозы;
- д) эффективной дозы.

3. Операционными величинами являются:

- а) керма;
- б) амбиентный эквивалент дозы;
- в) эквивалентная доза в коже;
- г) керма в воздухе;
- д) эффективная доза.

4. Назовите родоначальники радиоактивных рядов:

- а) Уран-238;
- б) К-40;
- в) Радон-222;
- г) Йод-131;
- д) Углерод-14.

5. Назовите продукт распада урана-238:

- а) Th-232;
- б) Нептуний-237;
- в) Радон-222;
- г) Уран-235;
- д) К-40.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 355-359, 375-380.

Дополнительная

2. Радиационное воздействие при производстве электроэнергии. НКДАР ООН, 2017. С. 135–240.

3. Методология для оценки облучения населения за счет радиоактивных выбросов. НКДАР ООН, 2016. С. 19–134.

4. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

5. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

6. Сайт кафедры radbez.bsmu.by.

Глава 5

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНЫЙ НАДЗОР В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ. ОЦЕНКА РИСКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ГАЗОВЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Цель изучения: оценить радиационное воздействие на население за счет выбросов предприятий теплоэнергетики, использующих газ или мазут в качестве топлива. С использованием методологии НКДАР ООН произвести расчет радиационного воздействия на население Беларуси за счет функционирования Минской ТЭЦ-4 и Новолукомльской ГРЭС.

Производство электроэнергии за счет сжигания природного газа находится на втором месте после использования в качестве топлива угля и в 1,7 превышает количество электроэнергии, вырабатываемой атомными электростанциями. Природный газ состоит в основном из метана (CH_4) с небольшими количествами других органических компонентов. Основным радионуклидом, выделяющийся при сжигании природного газа является ^{222}Rn . Природный газ может транспортироваться по трубопроводам на большие расстояния, а также обычно хранится около мест использования. Поскольку период полураспада ^{222}Rn составляет 3,8 дня, может происходить заметный распад этого инертного газа. Так в области газовых месторождений актив-

ность радона в газе составляет около 600 Бк/м³. После транспортировки по трубопроводам активность радона падает до 300 Бк/м³. В местах добычи природного газа могут содержаться другие радионуклиды. Сюда относится ²²⁰Rn. Период его полураспада составляет 55,6 с, и следовательно, в местах его использования он отсутствует. Крупнейшим потребителем природного газа в Беларуси является теплоэлектроцентраль ТЭЦ-4, расположенная в границах г. Минска. Ее мощность составляет 1035 МВт.

Нефть добывается из подземных резервуаров, контактирующими с материнскими породами (гранитами и базальтами), которые содержат ⁴⁰K, ²³⁸U и ²³²Th; последние два являются родоначальниками радиоактивных рядов. Сырая нефть обычно содержит некоторое количество пластовой воды, и она содержит растворенный радий, предшественник ²²²Rn. Радон также хорошо растворяется в гидрофобных субстанциях, какой является нефть. Соотношение радон-радий составляет в среднем 15. Предполагается, что активность ²²²Rn в нефтепродуктах составляет около 1 Бк/кг. В нефти могут содержаться другие радионуклиды, например, ²¹⁰Pb. Однако это зависит от географических мест нефтедобычи. Потребляющей нефть в качестве топлива является Новолукомльская ГРЭС. Расположена в городе Новолукомль Витебской области. Ее мощность составляет 2900 МВт. В табл. 5 представлены нормированные годовые выбросы радона в атмосферу на предприятиях газовой и нефтяной тепло-электроэнергетики.

Таблица 5

Нормированные годовые выбросы радона в атмосферу на предприятиях газовой и нефтяной теплоэлектроэнергетики

Радионуклид	Нормализованные выбросы, ТБк/ГВт в год	
	Природный газ	Мазут
ТЭЦ-4	0,75	–
Новолукомльская ГРЭС	–	0,002

Лабораторная работа

РАСЧЕТ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗА СЧЕТ ВСЕХ ВИДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ Минской ТЭЦ-4 и Новолукомльской ГРЭС

В процессе выполнения работы необходимо **освоить** расчет радиационного воздействия на население г. Минска за счет функционирования ТЭЦ-4 и города Новолукомль за счет работы Новолукомльской ГРЭС. На основе методологии НКДАР ООН **выполнить** расчет объемной активности воздуха за счет иммерсированных выбрасываемых радионуклидов на различном расстоянии от ТЭС или ГРЭС, годовых эффективных доз внешнего облучения, индивидуальных и коллективных доз облучения.

Условие лабораторной работы. Рассчитать радиационное воздействие (активность радионуклидов воздухе (Бк/куб.м), дозы за счет ингаляционного поступления (Зв/год), внешнего облучения за счет загрязнения воздуха (Зв/год), индивидуальные (Зв/год) и коллективные дозы (чел.-Зв/год) за счет функционирования ТЭЦ-4 и Новолукомльской ГРЭС). Расчет необходимо осуществить для радона-222. В расчет брать территории проживания населения на расстоянии 5 и 13 км от предприятий. Эти расстояния перекрывают большую часть территории Минска и Новолукомля и, следовательно, дают представление о радиационном воздействии на население города.

Основные характеристики электронных таблиц НКДАР ООН описаны в главе 4.

Ход работы:

1. Пересчитайте активность радона на 1 ГВт мощности ТЭЦ-4 и ГРЭС в секунду с учетом его содержания в газообразном топливе и мазуте.
2. Загрузите электронную таблицу «НКДАР ООН радиоактивные выбросы» и файл «НКДАР ООН шаблон_газ_нефть».
3. В электронной таблице «НКДАР ООН радиоактивные выбросы» зайдите на страницу «Основные параметры». В ячейку C13 (Количество выброса) введите значение выбросов ²²²Rn в виде активности в секунду. Нажмите клавишу «Ввод» (рис. 6).

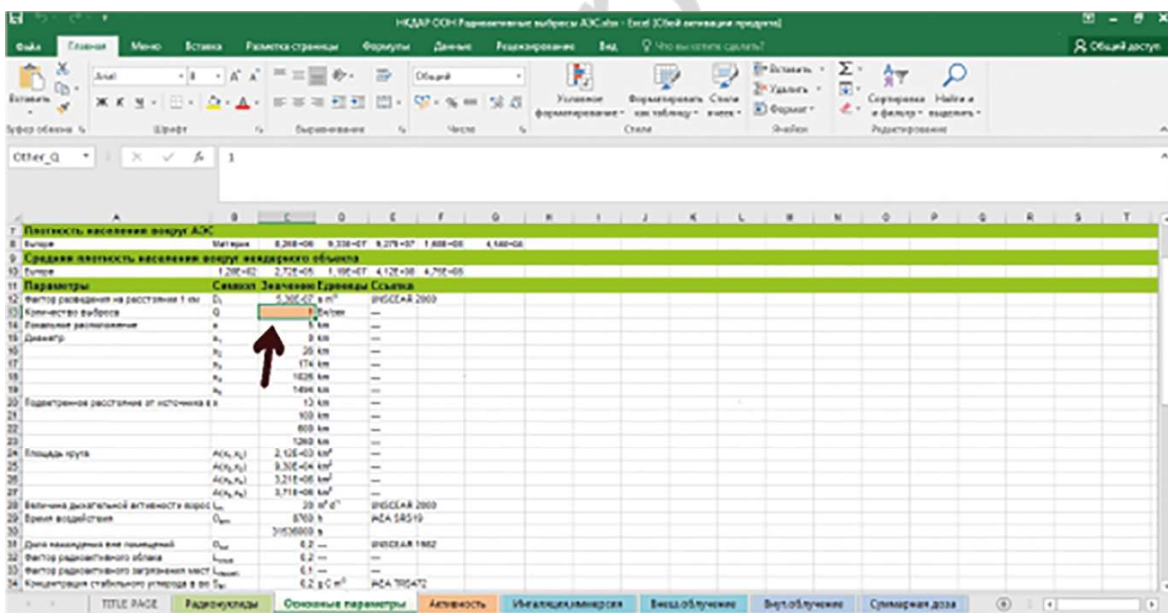


Рис. 6. Страница «Основные параметры» электронных таблиц

4. Перейдите на следующую страницу «Активность». В столбике А выберите радон-222. В этой строке (5 и 13 км) выделите ячейки. Они соответствуют объемной активности воздуха в Бк/куб.м. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

5. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН шаблон_газ_нефть» в раздел «Активность радионуклидов в воздухе (Бк/куб.м)». **Для вставки пользуйтесь не горячими клавишами, а кнопками мыши.**

6. Перейдите на страницу «Ингаляция, иммерсия» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите радон-222. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5 и 13 км) выделите ячейки. Они соответствуют дозам облучения населения от ингаляционного поступления этого радионуклида (Зв/год) и дозам облучения за счет внешнего облучения от загрязненного воздуха в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

7. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН шаблон_газ_нефть» в раздел «Дозы за счет ингаляционного поступления, внешнего облучения от радиоактивного облака».

8. Перейдите на страницу «Суммарные дозы» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите радон-222. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5 и 13 км) выделите ячейки. Они соответствуют индивидуальной ГЭД дозе (Зв/год) и коллективной дозе (чел.-Зв/год). Скопируйте их содержимое в память компьютера.

9. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН шаблон_газ_нефть» соответственно расстояниям от источника выбросов в раздел «Индивидуальные годовые дозы» и «Коллективные годовые дозы».

10. Расчеты необходимо сделать по двум предприятиям теплоэнергетики.

Алгоритм оценки результатов:

1. По данным заполненной таблицы «НКДАР ООН шаблон_газ_нефть» проведите анализ вклада радона-222 в дозы облучения населения двух городов.

2. Проанализируйте динамику снижения доз облучения населения на различном расстоянии от ТЭЦ-4 и Новолукомльской ГРЭС.

3. Сделайте вывод о радиационном воздействии ТЭЦ-4 и Новолукомльской ГРЭС на территорию близ расположенных городов.

Задание для самостоятельной работы. Скопируйте и сохраните заполненную таблицу для последующей подготовки рисунков и презентации на выбранную тему.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

1. Объемная активность образца — это:

а) отношение активности А радионуклида в образце к массе образца:

$$A_v = A/m;$$

б) отношение активности А радионуклида в образце к объему образца:

$$A_v = A/V;$$

в) отношение активности A радионуклида в образце к массе точечной пробы: $A_v = A/m_{\text{пробы}}$;

г) отношение активности A радионуклида в образце к скорости счета образца: $A_v = A/v$;

д) отношение активности A радионуклида в образце к времени счета образца: $A_v = A/t$.

2. МкЗв/с — это размерность:

- а) радиоактивности;
- б) поглощенной дозы;
- в) экспозиционной дозы;
- г) мощности амбиентного эквивалента дозы;
- д) эффективной дозы.

3. Операционными величинами являются:

- а) керма;
- б) амбиентный эквивалент дозы;
- в) эквивалентная доза в коже;
- г) керма в воздухе;
- д) эффективная доза.

4. Назовите родоначальники радиоактивных рядов:

- а) Уран-235;
- б) К-40;
- в) Радон-222;
- г) Йод-131;
- д) Углерод-14.

5. Назовите продукт альфа-превращения радона-222:

- а) Th-232;
- б) Нептуний-237;
- в) Полоний-218;
- г) Уран-235;
- д) К-40.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 355-359, 375-380.

Дополнительная

2. Радиационное воздействие при производстве электроэнергии. НКДАР ООН, 2017. С. 135–240.

3. Методология для оценки облучения населения за счет радиоактивных выбросов. НКДАР ООН, 2017. С. 19–134.

4. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.
5. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.
6. Сайт кафедры radbez.bsmu.by.

Глава 6

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНЫЙ НАДЗОР В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ. РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ ШТАТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕАКТОРОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ КАНАЛЬНЫХ

Цель изучения: оценить радиационное воздействие на население за счет выбросов предприятий ядерной энергетики в условиях эксплуатации реакторов большой мощности канальных. С использованием методологии НКДАР ООН произвести расчет радиационного воздействия на население Беларуси за счет функционирования Смоленской и Игналинской АЭС.

Функционирование предприятий ядерной энергетики является частью ядерного топливного цикла, который помимо данного этапа включает в себя добычу ядерного топлива, его обогащение, производство тепловыделяющих сборок (ТВЭЛов) и захоронение отработанного топлива. В непосредственной близости от территории Беларуси добыча ядерного топлива не происходит и происходит только эксплуатация АЭС: Смоленской АЭС на территории Российской Федерации, Ровенской и Чернобыльской АЭС на территории Украины и закрытой к настоящему моменту Игналинской АЭС на территории Литвы. Три из них, за исключением Ровенской АЭС работают на основе реакторов большой мощности канальных (РБМК). Последний представляет из себя канальный энергетический реактор на тепловых нейтронах, одноконтурный, кипящего типа. Теплоносителем является вода. Этому типу реакторов присущ ряд серьезных недостатков, которые, в частности привели к аварии на Чернобыльской АЭС. В силу чего, строительство этих реакторов было прекращено. Последний реактор этого типа был введен в эксплуатацию на Смоленской АЭС в 1990 г.

Любой тип реакторов в процессе штатной эксплуатации служит источником выбросов радиоактивных элементов в окружающую среду (атмосферы и воду).

Смоленская АЭС расположена на территории Российской Федерации в 90 км от границы Могилевской области (рис. 7). В эксплуатации находятся 3 энергоблока, мощностью 1000 МВт каждый.

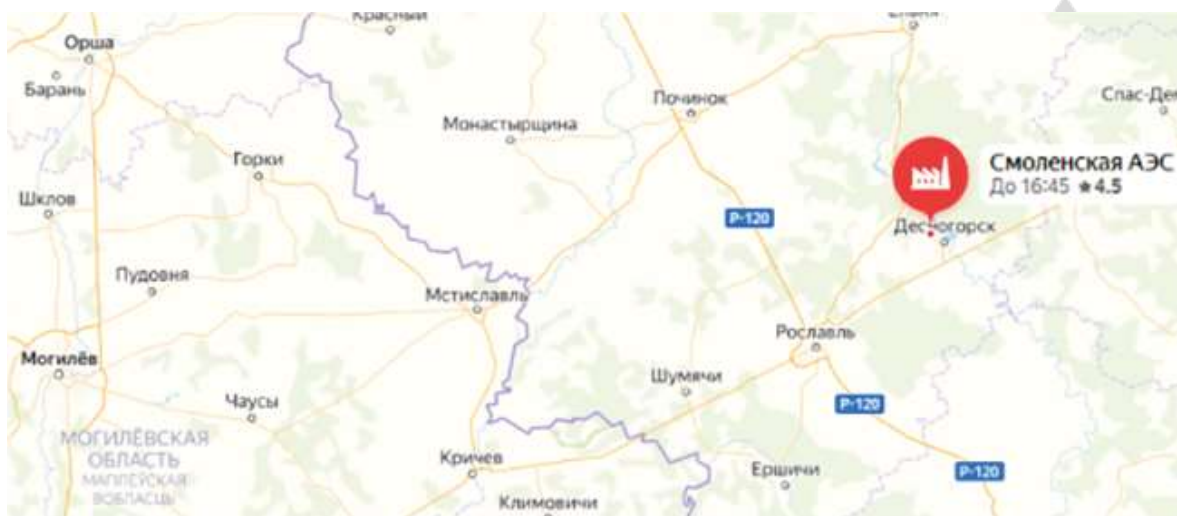


Рис. 7. Схема расположения Смоленской АЭС

В табл. 6 представлены данные о выбросах в атмосферу радиоактивных элементов при работе Смоленской АЭС.

Таблица 6

Выбросы радиоактивных элементов в атмосферу при работе Смоленской АЭС (в год)

Радионуклид	Выбросы, ГБк/год
H-3	3,37
C-14	26,4
Co-58	0,00298
Co-60	0,109
Sr-89	0,0547
Sr-90	0,0599
Cs-134	0,00381
Cs-137	0,0648
I-131	7,7
I-133	0,152
Ar-41	11100
Kr-85	4,33
Kr-87	94200
Xe-133	41000
Xe-135	5280

Игналинская АЭС расположена в Литве в 5 км от Витебской области (рис. 8). В эксплуатации находились два энергоблока по 1500 МВт каждый.

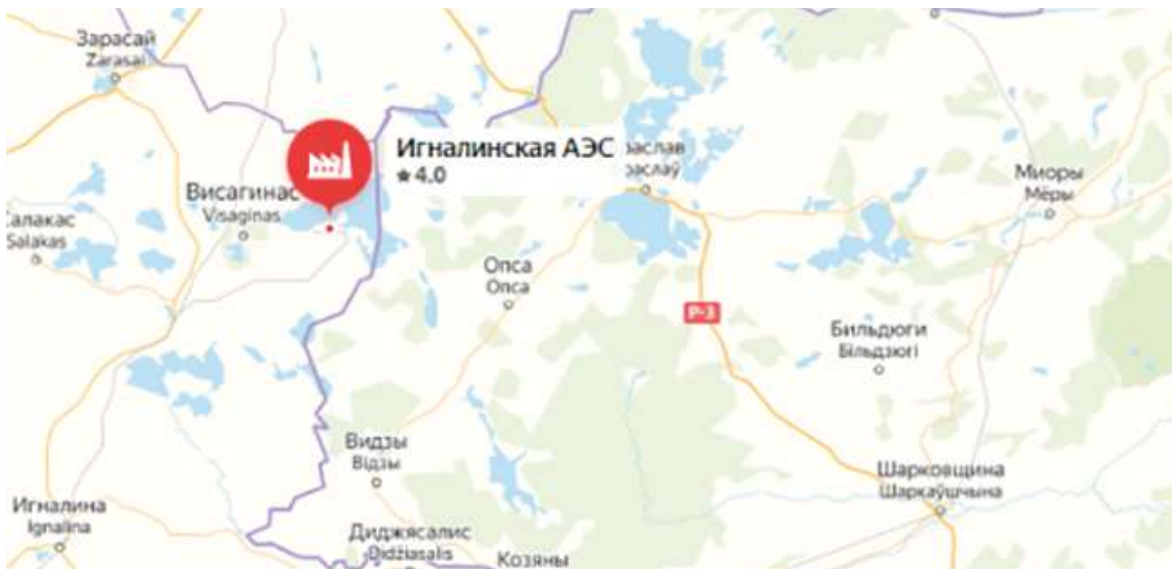


Рис. 8. Схема расположения Игналинской АЭС

По требованию Евросоюза из-за конструктивных недостатков этого типа реакторов станция была остановлена 1 января 2010 г. Топливо из нее не выгружено, и она является также источником радиоактивных выбросов в атмосферу и водную среду. Часть радионуклидов к настоящему моменту времени не поступает из реактора в окружающую среду (например, йод-131). Однако в табл. 7 представлены данные о радиоактивных выбросах Игналинской АЭС на 2018 г.

Таблица 7

Радиоактивные выбросы в атмосферу Игналинской АЭС (в год)

Радионуклид	Выбросы, ГБк/год	Радионуклид	Выбросы, ГБк/год
H-3	3,9233	Sr-90	0,00424
C-14	2,7	Cs-134	0,000085
Co-60	0,02	Cs-137	0,01487
Sr-89	0,00171	—	—

Лабораторная работа

РАСЧЕТ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗА СЧЕТ ВСЕХ ВИДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ СМОЛЕНСКОЙ АЭС И ОСТАНОВЛЕННОЙ ИГНАЛИНСКОЙ АЭС

В процессе выполнения работы необходимо освоить расчет радиационного воздействия на население Беларуси за счет функционирования Смоленской АЭС и остановленной Игналинской АЭС. На основе методологии

НКДАР ООН **выполнить** расчет объемной активности воздуха за счет иммерсированных выбрасываемых радионуклидов на различном расстоянии от АЭС, поверхностной активности территории, годовых эффективных дозы внешнего и внутреннего облучения, загрязнение основных продуктов питания.

Условие лабораторной работы. Рассчитать радиационное воздействие (активность радионуклидов воздухе (Бк/куб.м), дозы за счет ингаляционного поступления (Зв/год), внешнего облучения за счет загрязнения воздуха (Зв/год), дозы за счет внешнего облучения вследствие загрязнения территории (Зв/год), дозы внутреннего облучения за счет потребления зерна и зернопродуктов, овощей и картофеля, молока и молокопродуктов, мяса (Зв/год), индивидуальные (Зв/год) и коллективные дозы (чел.-Зв/год), а также активность основных продуктов питания (Бк/кг или Бк/л)). Расчет необходимо осуществить для радионуклидов, перечисленных в табл. 6 и 7. В расчет брать территории проживания населения на расстоянии 5, 13, 100, 300 и 600 км от упомянутых АЭС. Эти расстояния перекрывают всю территорию Беларуси и, следовательно, дают представление о радиационном воздействии на население республики.

Основные характеристики электронных таблиц НКДАР ООН описаны в главе 4.

Ход работы:

1. Пересчитайте активности всех упомянутых выше радионуклидов в секунду.

2. Загрузите электронную таблицу «НКДАР ООН радиоактивные выбросы» и файл «НКДАР ООН штатные выбросы РБМК».

3. В электронной таблице «НКДАР ООН радиоактивные выбросы» зайдите на страницу «Основные параметры». В ячейку С13 (Количество выброса) введите значение выбросов активности в секунду. Нажмите клавишу «Ввод» (рис. 9).

4. Перейдите на следующую страницу «Активность». В столбике А выберите радионуклид, для которого происходит расчет. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют объемной активности воздуха в Бк/куб.м. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

5. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН штатные выбросы РБМК» в раздел «Активность радионуклидов в воздухе (Бк/куб.м)». **Для вставки пользуйтесь не горячими клавишами, а кнопками мыши.**

6. Перейдите на страницу «Ингаляция, иммерсия» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите рассчитываемый радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют дозам облучения населения от инга-

ляционного поступления этого радионуклида (Зв/год) и дозам облучения за счет внешнего облучения от загрязненного воздуха в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

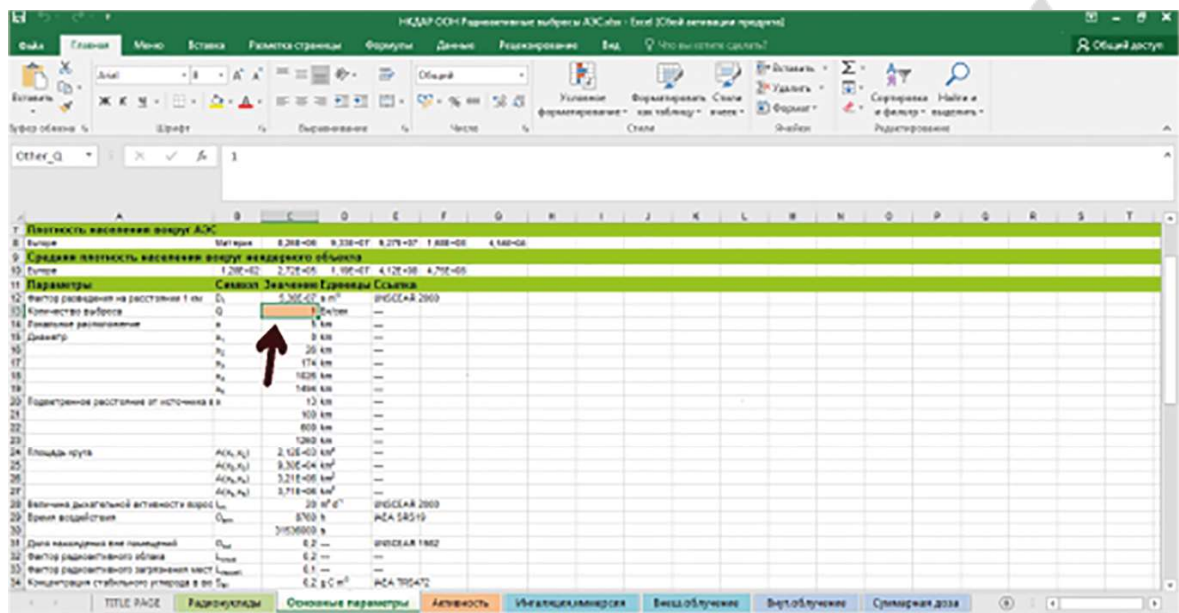


Рис. 9. Страница «Основные параметры» электронных таблиц

7. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН штатные выбросы РБМК» в раздел «Дозы за счет ингаляционного поступления, внешнего облучения от радиоактивного облака».

8. Перейдите на страницу «Внешнее облучение» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют дозам внешнего облучения населения от загрязненной территории в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

9. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН штатные выбросы РБМК» в раздел «Дозы внешнего облучения от загрязненной территории».

10. Перейдите на страницу «Внутреннее облучение» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки по основным продуктам питания (зерно, овощи, молоко, мясо). Они соответствуют дозам внутреннего облучения населения от потребления продуктов питания в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

11. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН штатные выбросы РБМК» соответственно расстояниям от источника выбросов в раздел «Дозы внутреннего облучения».

12. Перейдите на страницу «Суммарные дозы» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют индивидуальной ГЭД (Зв/год) и коллективной дозе (чел.-Зв/год). Скопируйте их содержимое в память компьютера.

13. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН штатные выбросы РБМК» соответственно расстояниям от источника выбросов в раздел «Индивидуальные годовые дозы» и «Коллективные годовые дозы».

14. После заполнения перечисленных разделов по выбранному радионуклиду произойдет автоматический расчет и заполнение таблицы «Активность в продуктах» соответственно расстояниям от источника выброса по данному радионуклиду (Бк/кг или Бк/л).

15. Все перечисленные этапы выполнения лабораторной работы (1–14) необходимо проделать для остальных радионуклидов, перечисленных в табл. 6 и 7.

Алгоритм оценки результатов:

1. По данным заполненной таблицы «НКДАР ООН штатные выбросы РБМК» проведите анализ вклада различных радионуклидов в дозы облучения населения.

2. Проанализируйте динамику снижения доз облучения населения Беларуси на различном расстоянии от Смоленской и Игналинской АЭС.

3. Сделайте вывод о радиационном воздействии Смоленской и Игналинской АЭС на территорию Беларуси.

4. Оцените степень загрязнения продуктов питания различными радионуклидами.

Задание для самостоятельной работы. Скопируйте и сохраните заполненную таблицу для последующей подготовки рисунков и презентации на выбранную тему.

Вопросы для самоконтроля усвоения темы

1. Поверхностная активность — это:

а) отношение активности A радионуклида в образце к площади распространения: $A_v = A/s$;

б) отношение активности A радионуклида в образце к объему образца: $A_v = A/V$;

в) отношение активности A радионуклида в образце к массе точечной пробы: $A_v = A/m_{\text{пробы}}$;

г) отношение активности A радионуклида в образце к скорости счета образца: $A_v = A/v$;

д) отношение активности A радионуклида в образце к времени счета образца: $A_v = A/t$.

2. МЗв — это единица:

- а) радиоактивности;
- б) поглощенной дозы;
- в) экспозиционной дозы;
- г) мощности амбиентного эквивалента дозы;
- д) эффективной дозы.

3. Операционными величинами являются:

- а) керма;
- б) амбиентный эквивалент дозы;
- в) эквивалентная доза в коже;
- г) керма в воздухе;
- д) эффективная доза.

4. Назовите родоначальники радиоактивных рядов:

- а) Нептуний-237;
- б) К-40;
- в) Радон-222;
- г) Йод-131;
- д) Углерод-14.

5. Назовите продукт распада урана-238:

- а) Th-232;
- б) Нептуний-237;
- в) Свинец-206;
- г) Уран-235;
- д) К-40.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 355–359, 375–380.

Дополнительная

2. Радиационное воздействие при производстве электроэнергии. НКДАР ООН, 2017. С. 135–240.

3. Методология для оценки облучения населения за счет радиоактивных выбросов. НКДАР ООН, 2017. С. 19–134.

4. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

5. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

6. Сайт кафедры radbez.bsmu.by.

Глава 7

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНЫЙ НАДЗОР В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ. РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ ШТАТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДО-ВОДЯНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

Цель изучения: оценить радиационное воздействие на население за счет выбросов предприятий ядерной энергетики в условиях штатной эксплуатации водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР). С использованием методологии НКДАР ООН произвести расчет радиационного воздействия на население Беларуси при штатной эксплуатации Белорусской АЭС.

Функционирование предприятий ядерной энергетики является частью ядерного топливного цикла, который помимо этого этапа включает в себя добычу ядерного топлива, его обогащение, производство тепловыделяющих сборок (ТВЭЛов) и захоронение отработанного топлива.

На территории Беларуси, на территории Островецкого района построена АЭС, основу которой составляют два энергоблока с водо-водяными реакторами (ВВЭР-1200) (рис. 10).

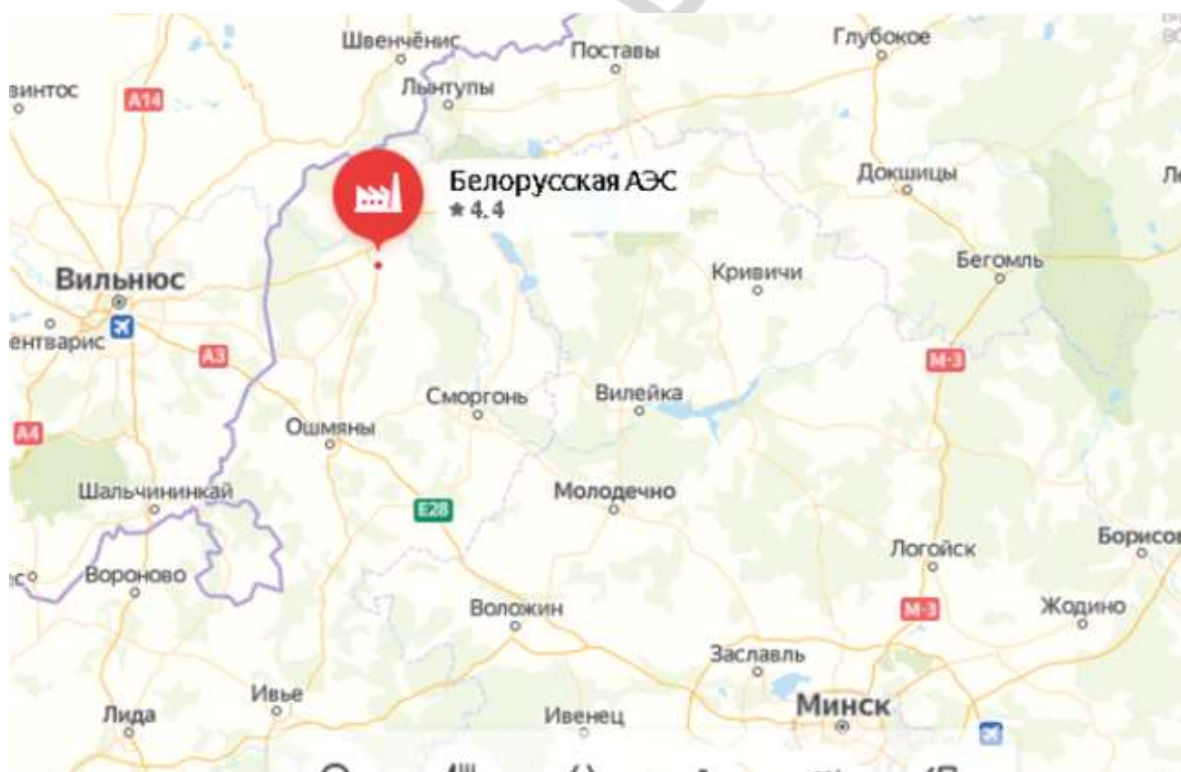


Рис. 10. Схема расположения БелАЭС

Суммарная электрическая мощность БелАЭС составляет 2400 МВт. Станция возведена в 18 км от города Островца и примерно в 100 км от Минска. Согласно прил. 3 «Санитарным нормам, правилам и гигиеническим нормативам «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций» (утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 39 от 31.03.2010) при штатной работе АЭС с ВВЭР может сопровождаться допустимыми выбросами в атмосферу радиоактивных газов и аэрозолей (табл. 8).

Таблица 8

Значение годовых допустимых выбросов радионуклидов (радиоактивных газов и аэрозолей) в атмосферный воздух

Радионуклид	Годовой допустимый выброс
Инертные радиоактивные газы	690 ГБк
^{131}I (газовая и аэрозольная форма)	18 ГБк
^{60}Co	7,4 ГБк
^{134}Cs	0,9 ГБк
^{137}Cs	2,0 ГБк

Известно, что доля главных инертных газов в их общей активности составляет: Хе-133 — 72 %, Хе-135 — 13 %, Кр-85 — 6 % и Аг-41 — 0,2 %. Остальное количество составляют $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{88}Kr и др. Радиоактивные инертные газы могут поступать во внешнюю среду за счет их плохой улавливаемости с помощью фильтров, вследствие утечки воды из первого контура. Из всех инертных газов наиболее подвижен криптон. Он не вовлекается в биологические процессы. Однако хорошо поглощается тканями человека при дыхании и накапливается в жировых тканях человека.

Лабораторная работа

РАСЧЕТ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗА СЧЕТ ВСЕХ ВИДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ЗА СЧЕТ ДОПУСТИМЫХ ШТАТНЫХ ВЫБРОСОВ БЕЛАЭС

В процессе выполнения работы необходимо **освоить** расчет радиационного воздействия на население Беларуси за счет допустимых штатных выбросов БелАЭС. На основе методологии НКДАР ООН **выполнить** расчет объемной активности воздуха за счет иммерсированных выбрасываемых радионуклидов на различном расстоянии от АЭС, поверхностной активности территории, годовых эффективных доз внешнего и внутреннего облучения, загрязнение основных продуктов питания.

Условие лабораторной работы: рассчитать радиационное воздействие (активность радионуклидов в воздухе (Бк/куб.м), дозы за счет ингаляционного поступления (Зв/год), внешнего облучения за счет загрязнения воздуха (Зв/год), дозы за счет внешнего облучения вследствие загрязнения территории (Зв/год), дозы внутреннего облучения за счет потребления зерна и зернопродуктов, овощей и картофеля, молока и молокопродуктов, мяса (Зв/год), индивидуальные (Зв/год) и коллективные дозы (чел.-Зв/год)), а также активность основных продуктов питания (Бк/кг или Бк/л). Расчет необходимо осуществить для радионуклидов, перечисленных в табл. 8 с учетом процентного вклада различных инертных газов. В расчет брать территории проживания населения на расстоянии 5, 13, 100, 300 и 600 км от БелАЭС. Эти расстояния перекрывают санитарно-защитную зону, зону наблюдения (ЗН) АЭС, границы Минска, а также всю территорию Беларуси и, следовательно, дают представление о радиационном воздействии на население республики.

Основные характеристики электронных таблиц НКДАР ООН описаны в главе 4.

Ход работы:

1. Пересчитайте активности всех упомянутых выше радионуклидов (с учетом отдельных инертных газов) в секунду.
2. Загрузите электронную таблицу «НКДАР ООН радиоактивные выбросы» и файл «НКДАР ООН штатные выбросы БелАЭС».
3. В электронной таблице «НКДАР ООН радиоактивные выбросы» зайдите на страницу «Основные параметры». В ячейку С13 (Количество выброса) введите значение выбросов объемной активности в секунду. Нажмите клавишу «Ввод» (рис. 11).

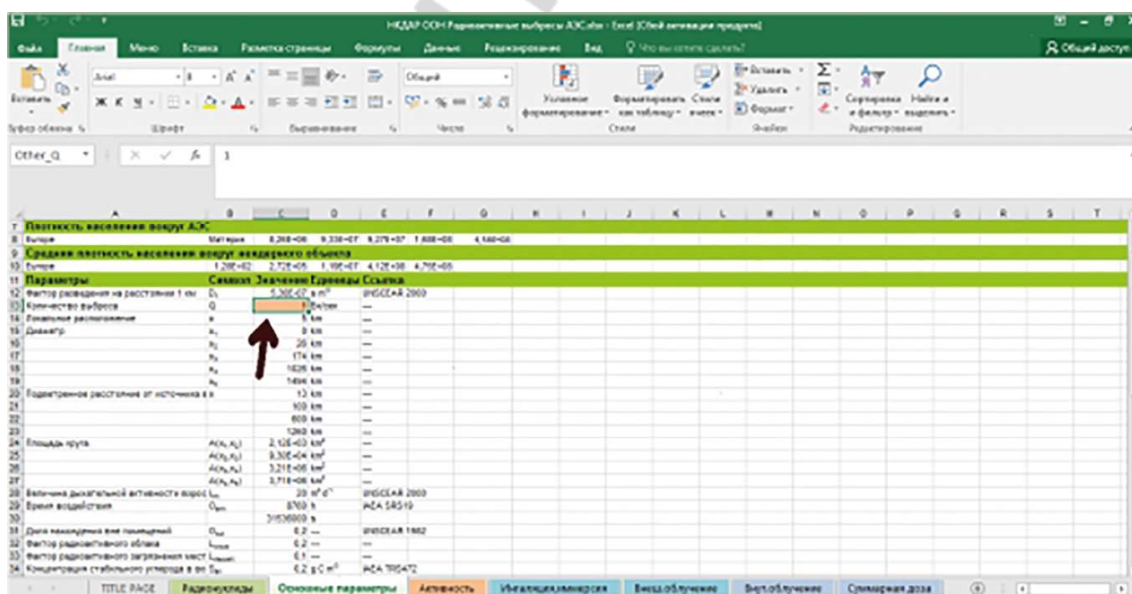


Рис. 11. Страница «Основные параметры» электронных таблиц

4. Перейдите на следующую страницу «Активность». В столбике А выберите радионуклид, для которого происходит расчет. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют объемной активности воздуха в Бк/куб.м. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

5. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН штатные выбросы БелАЭС» в раздел «Активность радионуклидов в воздухе (Бк/куб.м)». **Для вставки пользуйтесь не горячими клавишами, а кнопками мыши.**

6. Перейдите на страницу «Ингаляция, иммерсия» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите рассчитываемый радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют дозам облучения населения от ингаляционного поступления этого радионуклида (Зв/год) и дозам облучения за счет внешнего облучения от загрязненного воздуха в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

7. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН штатные выбросы БелАЭС» в раздел «Дозы за счет ингаляционного поступления, внешнего облучения от радиоактивного облака».

8. Перейдите на страницу «Внешнее облучение» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют дозам внешнего облучения населения от загрязненной территории в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

9. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН штатные выбросы БелАЭС» в раздел «Дозы внешнего облучения от загрязненной территории».

10. Перейдите на страницу «Внутреннее облучение» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки по основным продуктам питания (зерно, овощи, молоко, мясо). Они соответствуют дозам внутреннего облучения населения от потребления продуктов питания в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

11. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН штатные выбросы БелАЭС» соответственно расстояниям от источника выбросов в раздел «Дозы внутреннего облучения».

12. Перейдите на страницу «Суммарные дозы» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно рас-

стояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют индивидуальной ГЭД дозе (Зв/год) и коллективной дозе (чел.-Зв/год). Скопируйте их содержимое в память компьютера.

13. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН штатные выбросы БелАЭС» соответственно расстояниям от источника выбросов в раздел «Индивидуальные годовые дозы» и «Коллективные годовые дозы».

14. После заполнения перечисленных разделов по выбранному радионуклиду произойдет автоматический расчет и заполнение таблицы «Активность в продуктах» соответственно расстояниям от источника выброса по данному радионуклиду (Бк/кг или Бк/л).

15. Все перечисленные этапы выполнения лабораторной работы (1–14) необходимо проделать для остальных радионуклидов, отраженных в табл. 8 и для отдельных инертных газов.

Алгоритм оценки результатов:

1. По данным заполненной таблицы «НКДАР ООН штатные выбросы БелАЭС» проведите анализ вклада различных радионуклидов в дозы облучения населения.

2. Проанализируйте динамику снижения доз облучения населения на различном расстоянии от БелАЭС (санитарно-защитная зона, ЗН, граница г. Минска, граница Беларуси).

3. Сделайте вывод о радиационном воздействии при штатной эксплуатации БелАЭС на территорию Беларуси.

4. Оцените степень загрязнения продуктов питания различными радионуклидами при штатной эксплуатации БелАЭС.

Задание для самостоятельной работы. Скопируйте и сохраните заполненную таблицу для последующей подготовки рисунков и презентации на выбранную тему.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

1. Удельная активность образца — это:

а) отношение активности A радионуклида в образце к массе образца:

$$A_v = A/m;$$

б) отношение активности A радионуклида в образце к объему образца:

$$A_v = A/V;$$

в) отношение активности A радионуклида в образце к массе точечной пробы: $A_v = A/m_{\text{пробы}}$;

г) отношение активности A радионуклида в образце к скорости счета образца: $A_v = A/v$;

д) отношение активности A радионуклида в образце к времени счета образца: $A_v = A/t$.

2. Грей — это единица:

- а) радиоактивности;
- б) поглощенной дозы;
- в) экспозиционной дозы;
- г) мощности амбиентного эквивалента дозы;
- д) эффективной дозы.

3. Операционными величинами являются:

- а) керма;
- б) амбиентный эквивалент дозы;
- в) эквивалентная доза в коже;
- г) керма в воздухе;
- д) эффективная доза.

4. Какой из радионуклидов не является продуктом распада ^{238}U :

- а) Радий-226;
- б) Радон-222;
- в) К-40;
- г) Свинец-210;
- д) Уран-234?

5. Назовите продукт распада урана-238:

- а) Th-232;
- б) Нептуний-237;
- в) Радон-222;
- г) Уран-235;
- д) К-40.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 355–359, 375–380.
2. Оценка воздействия на окружающую среду 1588-ПЗ-ОИ4. Часть 8. Отчет об ОВОС. Часть 8.1. Описание АЭС.

Дополнительная

3. Радиационное воздействие при производстве электроэнергии. НКДАР ООН, 2017. С. 135–240.
4. Методология для оценки облучения населения за счет радиоактивных выбросов. НКДАР ООН, 2017. С. 19–134.

Нормативные документы

5. Закон Республики Беларусь «Об использовании атомной энергии» № 426-З от 30.07.2008 с изменениями и дополнениями.
6. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использова-

нию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137. Гл. 20.

7. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Гл. 2–5.

8. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Прил. 7.

9. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций» (утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 39 от 31.03.2010).

Глава 8

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНЫЙ НАДЗОР В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ. РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛОКАЛЬНО И РЕГИОНАЛЬНО РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ БИОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ (С-14 И Н-3)

Цель изучения: Радиационно-гигиеническая оценка локально и регионально распространяющихся биогенных радионуклидов (С-14 и Н-3). С использованием методологии НКДАР ООН произвести расчет радиационного воздействия на население Беларуси радиоуглерода и трития при штатной эксплуатации Белорусской АЭС.

Помимо радиоактивных газов и аэрозолей любая атомная электростанция является источником выброса двух значимых глобальных радионуклидов (радиоуглерода ^{14}C и трития ^3H). Эти радиоактивные элементы имеют особое значение в формировании доз облучения человека. Оба являются биологически активными элементами, так как входят в состав составных компонентов клеток живых организмов (белки, нуклеиновые кислоты, углеводы и жиры). В атмосферу радиоуглерод выбрасывается в основном в виде углекислого газа (CO_2). Последний, как известно, утилизируется при фотосинтезе зелеными растениями, переходя в углеводы, которые становятся радиоактивно-мечеными. Они потребляются человеком непосредственно или по трофической цепи через организм животных попадают с продуктами питания в организм человека. Все это приводит к формированию у человека доз внутреннего облучения. Несколько другой механизм радиационного воздействия на человека трития. Также как и радиоуглерод он может встраиваться в структурные компоненты клетки, образуя органически связанный тритий (Н-3-ОВТ). Другой путь состоит в обмене с водородом воды с образованием так называемой тритиевой

воды (Н-3-НТО). Данная радиоактивная вода поступает в организм человека и также, в свою очередь формирует дозу внутреннего облучения.

Еще одной особенностью этих радионуклидов является большой потенциал их распространения. Они могут распространяться на тысячи километров, в силу чего их относят к глобальным радионуклидам. В прил. 3 «Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций» (утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 39 от 31.03.2010) эти радионуклиды не оговорены, однако известны их предполагаемые годовые выбросы, присущие водо-водяным энергетическим реакторам (табл. 9).

Таблица 9

Значение годовых допустимых выбросов глобальных радионуклидов в атмосферный воздух в реакторах ВВЭР

Радионуклид	Годовой допустимый выброс
^{14}C	$2,3 \cdot 10^{11}$ Бк
^3H	$3,0 \cdot 10^{13}$ Бк

Лабораторная работа

РАСЧЕТ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗА СЧЕТ ВСЕХ ВИДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ЗА СЧЕТ ГЛОБАЛЬНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ, ВЫБРАСЫВАЕМЫХ В АТМОСФЕРУ БЕЛАЭС

В процессе выполнения работы необходимо **освоить** расчет радиационного воздействия на население Беларуси за счет глобальных радионуклидов, выбрасываемых в атмосферу БЕЛАЭС. На основе методологии НКДАР ООН **выполнить** расчет объемной активности воздуха за счет иммерсированных выбрасываемых радионуклидов (^{14}C , органически связанных тритий — Н-3-ОВТ, тритиевая вода — Н-3-НТО) на различном расстоянии от АЭС, поверхностной активности территории, годовых эффективных доз внешнего и внутреннего облучения, загрязнение основных продуктов питания.

Условие лабораторной работы: рассчитать радиационное воздействие (активность радионуклидов в воздухе (Бк/куб.м), дозы за счет ингаляционного поступления (Зв/год), внешнего облучения за счет загрязнения воздуха (Зв/год), дозы за счет внешнего облучения вследствие загрязнения территории (Зв/год), дозы внутреннего облучения за счет потребления зерна и зернопродуктов, овощей и картофеля, молока и молокопродуктов, мяса (Зв/год), индивидуальные (Зв/год) и коллективные дозы (чел.-Зв/год)), а также активность основных продуктов питания (Бк/кг или Бк/л). Расчет необходимо осуществить для радионуклидов, перечисленных в табл. 9. В расчет брать территории проживания населения на расстоянии 5, 13, 100, 300

и 600 км от БелаЭС. Эти расстояния перекрывают санитарно-защитную зону, зону наблюдения (ЗН) АЭС, границы Минска, а также всю территорию Беларуси и, следовательно, дают представление о радиационном воздействии на население республики.

Основные характеристики электронных таблиц НКДАР ООН описаны в главе 4.

Ход работы:

1. Пересчитайте активности радиоуглерода и трития в значение выбросов в секунду.
2. Загрузите электронную таблицу «НКДАР ООН радиоактивные выбросы» и файл «НКДАР ООН глобальные выбросы».
3. В электронной таблице «НКДАР ООН радиоактивные выбросы» зайдите на страницу «Основные параметры». В ячейку С13 (Количество выброса) введите активность выбросов ^3H в секунду. Нажмите клавишу «Ввод» (рис. 12).

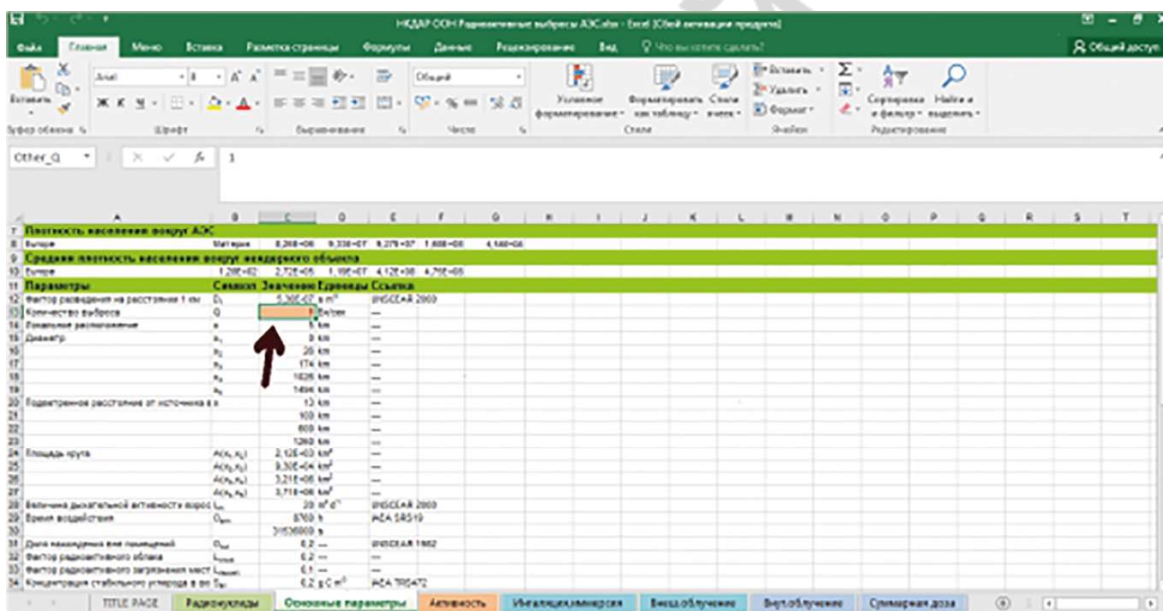


Рис. 12. Страница «Основные параметры» электронных таблиц

4. Перейдите на следующую страницу «Активность». В столбике А выберите радионуклид, для которого происходит расчет. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют объемной активности воздуха в Бк/куб.м. Скопируйте их содержимое в память компьютера. Обращайте внимание на различные формы трития (Н-3, Н-3-ОВТ, Н-3-НТО).

5. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН глобальные выбросы» в раздел «Активность радионуклидов в воздухе (Бк/куб.м)». Для вставки пользуйтесь не горячими клавишами, а кнопками мыши.

6. Перейдите на страницу «Ингаляция, иммерсия» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите рассчитываемый радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют дозам облучения населения от ингаляционного поступления этого радионуклида (Зв/год) и дозам облучения за счет внешнего облучения от загрязненного воздуха в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

7. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН глобальные выбросы» в раздел «Дозы за счет ингаляционного поступления, внешнего облучения от радиоактивного облака».

8. Перейдите на страницу «Внешнее облучение» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют дозам внешнего облучения населения от загрязненной территории в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

9. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН глобальные выбросы» в раздел «Дозы внешнего облучения от загрязненной территории».

10. Перейдите на страницу «Внутреннее облучение» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки по основным продуктам питания (зерно, овощи, молоко, мясо). Они соответствуют дозам внутреннего облучения населения от потребления продуктов питания в Зв/год. Скопируйте их содержимое в память компьютера.

11. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН глобальные выбросы» соответственно расстояниям от источника выбросов в раздел «Дозы внутреннего облучения».

12. Перейдите на страницу «Суммарные дозы» электронной таблицы «НКДАР ООН радиоактивные выбросы». В колонке А выберите нужный радионуклид. В строке по рассчитываемому радионуклиду, соответственно расстояниям от источника выброса (5, 13, 100, 300 и 600 км) выделите ячейки. Они соответствуют индивидуальной ГЭД дозе (Зв/год) и коллективной дозе (чел.-Зв/год). Скопируйте их содержимое в память компьютера.

13. Перенесите их содержимое в таблицу «НКДАР ООН глобальные выбросы» соответственно расстояниям от источника выбросов в раздел «Индивидуальные годовые дозы» и «Коллективные годовые дозы».

14. После заполнения перечисленных разделов по выбранному радионуклиду произойдет автоматический расчет и заполнение таблицы «Активность

в продуктах» соответственно расстояниям от источника выброса по данному радионуклиду (Бк/кг или Бк/л).

15. Все перечисленные этапы выполнения лабораторной работы (1–14) необходимо проделать для второго радионуклида (^{14}C).

Алгоритм оценки результатов:

1. По данным заполненной таблицы «НКДАР ООН глобальные выбросы» проведите анализ вклада различных радионуклидов в дозы облучения населения.

2. Проанализируйте динамику снижения доз облучения населения на различном расстоянии от БелАЭС (санитарно-защитная зона, ЗН, граница г. Минска, граница Беларуси).

3. Сделайте вывод о радиационном воздействии глобальных радионуклидов, выбрасываемых при эксплуатации БелАЭС на территорию Беларуси.

4. Оцените степень загрязнения продуктов питания глобальными радионуклидами, выбрасываемые БелАЭС.

5. Оценить вклад органически связанного трития и тритиевой воды в формирование доз внутреннего облучения населения.

Задание для самостоятельной работы. Скопируйте и сохраните заполненную таблицу для последующей подготовки рисунков и презентации на выбранную тему.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

1. Удельная активность образца — это:

а) отношение активности A радионуклида в образце к массе образца:
 $A_v = A/m$;

б) отношение активности A радионуклида в образце к объему образца:
 $A_v = A/V$;

в) отношение активности A радионуклида в образце к массе точечной пробы: $A_v = A/m_{\text{пробы}}$;

г) отношение активности A радионуклида в образце к скорости счета образца: $A_v = A/v$;

д) отношение активности A радионуклида в образце к времени счета образца: $A_v = A/t$.

2. Грей — это единица:

а) радиоактивности;

б) поглощенной дозы;

в) экспозиционной дозы;

г) мощности амбиентного эквивалента дозы;

д) эффективной дозы.

3. Операционными величинами являются:

- а) керма;
- б) амбиентный эквивалент дозы;
- в) эквивалентная доза в коже;
- г) керма в воздухе;
- д) эффективная доза.

4. Какой из радионуклидов не является продуктом распада ^{238}U :

- а) Радий-226;
- б) Радон-222;
- в) К-40;
- г) Свинец-210;
- д) Уран-234?

5. Назовите продукт распада урана-238:

- а) Th-232;
- б) Нептуний-237;
- в) Радон-222;
- г) Уран-235;
- д) К-40.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 355-359, 375-380.

2. Оценка воздействия на окружающую среду 1588-ПЗ-ОИ4. Часть 8. Отчет об ОВОС. Часть 8.1. Описание АЭС.

Дополнительная

3. Радиационное воздействие при производстве электроэнергии. НКДАР ООН, 2017. С. 135–240.

4. Методология для оценки облучения населения за счет радиоактивных выбросов. НКДАР ООН, 2017. С. 19–134.

5. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

6. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

7. Сайт кафедры radbez.bsmu.by.

Нормативные документы

8. Закон Республики Беларусь «Об использовании атомной энергии» № 426-З от 30.07.2008 г. с изменениями и дополнениями.

9. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137. Гл. 20.

10. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Гл. 2–5.

11. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Прил. 7.

12. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций», утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 39 от 31.03.2010.

Глава 9

МЕТОДИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Цель изучения: усвоить методику проведения радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий.

Контролируемой величиной в зданиях и сооружениях является мощность эффективной дозы H (мкЗв/ч) (далее МЭД) гамма-излучения. В помещениях зданий регламентируется мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы гамма-излучения (мкЗв/ч) (далее МЭД). Измерения этих радиационных факторов в помещениях проводятся подразделениями радиационного контроля, аккредитованными в установленном порядке в данной области измерений. Средства измерений, предназначенные для контроля радиационной обстановки в жилых и других помещениях, должны иметь действующие свидетельства о государственной метрологической поверке.

Измерения МЭД гамма-излучения на открытой местности производятся вблизи обследуемого здания не менее чем в 5 точках, расположенных на расстоянии от 30 до 100 м от существующих зданий и сооружений и не ближе 20 м друг от друга. Точки измерений следует выбирать на участках местности с естественным грунтом, не имеющим локальных техногенных изменений (щебень, песок, асфальт) и радиоактивного загрязнения. При измерениях блок детектирования располагают на высоте 1 м над поверхностью земли. В каждой точке число измерений должно быть не менее десяти. За результаты измерений в каждой i -й точке на открытой местности принимается сред-

нее арифметическое полученных в ней измерений, а случайную составляющую погрешности результата измерения Δoi (для доверительной вероятности $P = 0,95$) рассчитывают по формуле:

$$\Delta oi = t_{0,95} \cdot Si,$$

где $t_{0,95}$ — значение коэффициента Стьюдента для доверительной вероятности $P = 0,95$ (значения коэффициентов Стьюдента $t_{0,95}$ и $t_{0,99}$ приведены в табл. 10);

Si — среднеквадратичное отклонение результата измерения от среднего, которое рассчитывается по результатам всех N повторных измерений в i -й точке по формуле:

$$S_i^2 = (1/N \cdot (N - 1)) \cdot \Sigma(H_{oi} - H_{oi,n}),$$

где $H_{oi,n}$ — n -ное измерение МЭД гамма-излучения в i -й точке.

Таблица 10

Значения критерия Стьюдента t_p в зависимости от числа степеней свободы $(n - 1)$ и доверительной вероятности P

$n - 1$	$t_{0,95}$	$t_{0,99}$	$n - 1$	$t_{0,95}$	$t_{0,99}$	$n - 1$	$t_{0,95}$	$t_{0,99}$
1	—	63,657	13	2,160	3,012	25	2,060	2,787
2	4,303	9,925	14	2,145	2,977	26	2,056	2,779
3	3,182	5,841	15	2,131	2,947	27	2,052	2,771
4	2,776	4,604	16	2,120	2,921	28	2,048	2,763
5	2,571	4,032	17	2,110	2,898	29	2,045	2,756
6	2,447	3,707	18	2,101	2,878	30	2,043	2,750
7	2,365	3,499	19	2,093	2,861	40	2,021	2,704
8	2,306	3,355	20	2,086	2,845	60	2,000	2,660
9	2,262	3,250	21	2,080	2,831	120	1,980	2,617
10	2,228	3,169	22	2,074	2,819	> 120	1,960	2,576
11	2,201	3,106	23	2,069	2,807	—	—	—
12	2,179	3,055	24	2,064	2,797	—	—	—

$$n = (\Delta^2 o - \Delta^2 k)^2 / [\Delta^4 o / (N_o + 1) + \Delta^4 k / (N_k + 1) - 2],$$

где N_o и N_k — число повторных измерений на открытой местности (в пункте с наименьшим средним значением МЭД) и в k -м помещении соответственно.

В качестве оценки измеренного значения МЭД гамма-излучения на открытой местности за H_o принимают наименьшее из полученных результатов измерений H_{oi} в i -й точке, а за случайную составляющую погрешности этого результата Δo — соответствующую величину для результата измерений в этой точке. Результат измерения МЭД гамма-излучения на открытой местности вблизи обследуемого здания представляют в форме: $H_o \pm \Delta o$, мкЗв/ч.

Значение H_0 может различаться для разных типов и экземпляров приборов, поэтому эти значения должны быть получены для всех экземпляров приборов, используемых при обследовании здания.

Значение МЭД гамма-излучения в проектируемых новых зданиях жилищного и общественного назначения не должно превышать среднее значение мощности дозы на открытой местности (в районе расположения здания) более чем на 0,2 мкЗв/ч. Объем контроля МЭД гамма-излучения должен быть достаточным для выявления всех помещений, где значения МЭД могут превышать установленный предел, а также для оценки максимальных значений МЭД в типичных помещениях (по функциональному назначению, занимаемой площади, на этаже, в подъезде, а также по типу использованных строительных материалов).

Измерения МЭД гамма-излучения в помещениях сдаваемого в эксплуатацию здания проводятся, как правило, выборочно. Для проведения измерений выбирают типичные помещения, ограждающие конструкции которых изготовлены из различных строительных материалов. При этом в многоэтажных зданиях выбирают помещения, подлежащие обследованию, на каждом этаже. Число обследуемых помещений выбирается в зависимости от этажности здания, числа помещений (квартир) и других характеристик здания. При этом в односемейных домах, коттеджах (в том числе многоэтажных), школьных и дошкольных учреждениях измерения должны проводиться в каждом помещении; в многоквартирных домах при числе квартир до 10 и зданиях социально-бытового назначения при числе помещений до 30 измерения проводятся в каждой квартире для жилых зданий и в каждом помещении для других зданий; в многоквартирных домах при числе квартир до 100 и в зданиях социально-бытового назначения при числе помещений до 300 измерения проводятся не менее чем в 50 % квартир (помещений) в каждом подъезде; при числе квартир в жилом здании свыше 100 и числе помещений в здании социально-бытового назначения свыше 300 число обследуемых квартир (помещений) должно быть не менее 25 % от их общего числа в каждом из подъездов здания. При обследовании многоквартирных жилых домов измерения в каждой обследуемой квартире следует проводить не менее чем в двух помещениях, которые должны быть различными по функциональному назначению.

Для предварительной оценки радиационной обстановки в помещениях с целью выявления возможных локальных источников гамма-излучения проводят предварительное обследование, для проведения которого следует использовать поисковые высокочувствительные гамма-радиометры (индикаторы) или высокочувствительные гамма-дозиметры, имеющие поисковый режим работы.

С поисковым радиометром (дозиметром) производят обход всех помещений обследуемого здания по периметру каждой комнаты, производя за-

меры на высоте 1 м от пола на расстоянии 5–10 см от стен, и по оси каждой комнаты, производя замеры на высоте 5–10 см над полом. При обнаружении локальных повышений показаний используемого прибора, производят поиск максимума и фиксируют в журнале его положение и показания прибора в точке максимума. Кроме того, в журнал заносят максимальные показания прибора в каждом помещении.

Конкретные помещения (квартиры), подлежащие обследованию по пункту выбираются с учетом результатов предварительного обследования. При этом обязательно должны обследоваться те из них, в которых зафиксированы максимальные показания поисковых радиометров (дозиметров), а также обнаружены точки локальных максимумов. Измерения МЭД внешнего гамма-излучения в каждом обследуемом помещении выполняют в точке, расположенной в его центре на высоте 1 м от пола, а также в выявленных участках с максимальным значением МЭД гамма-излучения. Число повторных измерений N выбирают из условия, чтобы случайная составляющая относительной погрешности оценки среднего значения результата измерения не превышала 20 %:

$$100 \cdot \Delta/H \leq 20 \%,$$

где H — оценка среднего значения результата измерения в помещении, а случайную составляющую погрешности результата измерения Δ для доверительной вероятности $P = 0,95$ рассчитывают по формуле:

$$\Delta = t_{0,95} \cdot S \text{ (мкЗв/ч)},$$

где $t_{0,95}$ — значение коэффициента Стьюдента для доверительной вероятности $P = 0,95$ (значения коэффициентов Стьюдента $t_{0,95}$ и $t_{0,99}$ приведены в табл. 10);

S — среднее квадратичное отклонение результата измерения от среднего, которое рассчитывается по результатам всех N повторных измерений в точке по формуле:

$$S^2 = (1/N \cdot (N - 1)) \cdot \Sigma(H_0 - H_{0,n}),$$

где $H_{0,n}$ — n -е измерение МЭД гамма-излучения в точке.

Результат измерения МЭД гамма-излучения в данном помещении представляют в форме: $H + \Delta$ (мкЗв/ч).

Результаты всех измерений заносятся в рабочий журнал.

В зависимости от результатов оценки максимального значения измеренной мощности дозы в помещении принимаются следующие варианты решений:

1. Помещение считается удовлетворяющим нормативу, если измеренное значение МЭД в этом помещении (H , мкЗв/ч) с учетом погрешности (Δ_2 , мкЗв/ч) удовлетворяет условию:

$$H - H_0 + \Delta_{\Sigma} < 0,2 \text{ мкЗв/ч},$$

где H — измеренное значение МЭД гамма-излучения на открытой местности, мкЗв/ч; Δ_{Σ} — суммарная погрешность оценки разности двух величин — H и H_0 (мкЗв/ч), определяемая из выражения:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta \cdot (H + H_0) + t_{0,95}(v) \cdot \sqrt{(S_0^2 + S^2)},$$

где δ — предел основной относительной погрешности дозиметра, значение которого принимают по паспорту или свидетельству о поверке;

$t_{0,95}(v)$ — значение коэффициента Стьюдента для доверительной вероятности $P = 0,95$ при числе наблюдений v ;

v — число степеней свободы, рассчитываемое по формуле:

$$v = [(S_0)^2 + S^2]^2 / [(S_0)^4 / (n + 1) + S^4 / (m + 1)] - 2,$$

где n — число повторных наблюдений при измерении H_0 и S_0 ;

m — то же для H и S соответственно.

2. Если условие $H - H_0 + \Delta_{\Sigma} < 0,2$ мкЗв/ч не выполняется из-за большой погрешности оценки значения МЭД, то проводят дополнительные измерения с целью снижения суммарной погрешности измерения Δ_{Σ} , делая большее количество повторных измерений или используя дозиметры, имеющие меньшее значение основной погрешности.

3. Если по результатам измерений условие $H - H_0 + \Delta_{\Sigma} < 0,2$ мкЗв/ч не выполняется, то принимаются меры по выявлению причин повышенного значения мощности дозы гамма-излучения и решается вопрос о возможности их устранения, после чего измерения в данном помещении повторяют.

Если проведенные мероприятия не дали необходимого результата, то решается вопрос о перепрофилировании сдаваемых в эксплуатацию зданий (или их отдельных помещений).

В случае реконструкции или капитального ремонта существующих зданий перед началом проектно-изыскательских работ необходимо провести в них радиационное обследование с целью выяснения необходимости проведения защитных мероприятий и внесения их в план работ. При проведении обследования в эксплуатируемых зданиях выбор помещений для обследования зависит от конкретной ситуации, требований Заказчика (домовладельца, администрации и тому подобных) и должен согласовываться с территориальным органом государственного санитарного надзора. При отсутствии каких-либо чрезвычайных ситуаций (наличие информации о локальных источниках, прогнозируемом превышении норматива и тому подобных) и требований заказчика обследовать конкретные помещения, их выбор (при обследовании здания) и обследование проводится также, как и при приемке в эксплуатацию.

Для эксплуатируемого здания защитные мероприятия должны проводиться, если мощность эффективной дозы гамма-излучения в помещениях превышает мощность на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч.

Лабораторная работа

ПРОВЕДЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо **освоить**: методику проведения радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий с оценкой результата. **Выполнить**: измерение мощности амбиента эквивалентной дозы в воздухе (МЭД) гамма-излучения на открытой местности; измерение МЭД гамма-излучения в учебном корпусе; расчет и оценку средних результатов измерения с вычислением погрешности; оформление результатов проведенных измерений в виде протокола.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо выбрать средства измерения МЭД для контроля радиационной обстановки в помещениях. Все пункты лабораторной работы следует проводить в соответствии с теоретическим материалом, размещенным в теоретической части главы.

Ход работы:

1. Выбор точек измерения на открытой местности.
2. Измерение МЭД гамма-излучения на открытой местности.
3. Расчет результатов измерения с учетом погрешности.
4. Определение числа обследуемых помещений для контроля МЭД гамма-излучения.
5. Предварительная оценка радиационной обстановки в помещениях поисковым дозиметром.
6. Запись в журнал максимальных показаний прибора в каждом помещении.
7. Выбор конкретных помещений, подлежащих обследованию по результатам предварительных измерений.
8. Измерение МЭД гамма-излучения в каждом обследуемом помещении.
9. Оформление результатов всех измерений в рабочем журнале.
10. Расчет и оценка средних результатов измерения с вычислением погрешности.
11. Проведение дополнительных измерений при необходимости (большая погрешность оценки значения МЭД).
12. Оценка максимального значения измеренной мощности дозы в помещении.

13. Выяснение необходимости проведения защитных мероприятий и внесения их в план работ.

14. Оформление результатов проведенных измерений в виде протокола установленной формы.

ФОРМА ПРОТОКОЛА РАДИАЦИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

(Наименование организации и лаборатории)

(номер аттестата об аккредитации и срок его действия)

ПРОТОКОЛ

радиационного обследования № от « ____ » _____ 20 ____ г.

Наименование объекта, его адрес

Назначение объекта (жилое или общественное здание)

Цель обследования объекта:

О приемка в эксплуатацию после завершения строительства;

О приемка в эксплуатацию после реконструкции или капремонта;

Об обследование эксплуатируемого здания

Заказчик:

Проект здания (тип, серия):

Характеристика объекта:

Год постройки (реконструкции, капремонта)

Количество этажей

Тип фундамента

Использованные стройматериалы

Содержание (ЕРН) радия-226 в стройматериалах _____

В засыпке _____

Система вентиляции в здании (естественная, принудительная, кондиционирование):

Система вентиляции подвальных помещений (естественная, принудительная, кондиционирование):

Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	Номер свидетельства о госповерке	Срок действия свидетельства	Кем выдано свидетельство	Основная погрешность измерения

Нормативно-методическая документация, использованная при проведении измерений (методика выполнения измерения, номер и дата утверждения, кем утверждено)

Условия проведения измерений:

Состояние принудительной вентиляции (кондиционеров):

Подвал (штатный режим работы вентиляции, нештатный режим работы):

Вентиляция в остальные помещения здания (штатный режим работы, нештатный режим работы):

окна, двери помещений и подъездов (закрыты, открыты)

Указывать не обязательно:

Температура воздуха: в помещениях — °С
вне здания — °С.

Барометрическое давление, скорость ветра

Результаты измерений:

МЭД внешнего гамма-излучения на открытой местности

№ п/п	Место измерения	Заводской № дозиметра	Дата измерения	Среднее значение Н0, j мкЗв/ч	Минимальное значение Н0, мкЗв/ч	Погрешность Д, мкЗв/ч

МЭД внешнего гамма-излучения в помещениях

№ п/п	Место измерения: этаж, № помещения, назначение	Заводской номер дозиметра	Дата измерения	Показание показного прибора (без указания погрешности)	Результат измерения Н, мкЗв/ч	Погрешность Л, мкЗв/ч	Н-Н0+Д, мкЗв/ч

Лицо, ответственное за проведение обследования

Должность

Ф.И.О. _____ Подпись

Зав. лабораторией

Ф.И.О. _____ Подпись

Задания для самостоятельной работы:

1. Проведите радиационно-гигиеническое обследование учебного корпуса № 4 по адресу ул. Ленинградская, 6.
2. Оцените результаты обследования.
3. Заполните протокол установленной формы.

Вопросы для самоконтроля усвоения темы

1. При проведении радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий необходимо провести:

- а) измерение МЭД на открытой местности на расстоянии 10 м от здания;
- б) измерение МЭД (режим поиска) по периметру помещения расстоянии 1 м от стен;
- в) измерение МЭД (режим поиска) по оси помещения на высоте 5–10 см над полом;
- г) измерение МЭД только в центре обследуемого помещения;
- д) измерение МЭД на открытой местности на расстоянии от 30 до 100 м от существующих зданий.

2. При радиационно-гигиеническом обследовании жилых и общественных зданий необходимо провести:

- а) измерение МЭД на открытой местности не менее чем в 3 точках;
- б) измерение МЭД на открытой местности не менее чем в 5 точках не ближе 20 м друг от друга;
- в) измерение МЭД на открытой местности не менее чем в 5 точках на расстоянии от 50 до 100 м от существующих зданий;
- г) измерение МЭД на открытой местности вдоль стен по периметру здания;
- д) измерение МЭД на открытой местности на расстоянии 1 см от стен здания.

3. При проведении радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий число обследуемых помещений выбирается в зависимости от:

- а) этажности здания;
- б) количества населения, проживающего в здании;
- в) максимального значения МЭД в обследуемом здании;
- г) значения МЭД на открытой местности вдоль стен по периметру здания;
- д) благоустройства территории вокруг здания.

4. При проведении радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий точки измерений МЭД на открытой местности следует выбирать на участках местности:

- а) с естественным грунтом;
- б) с локальными техногенными изменениями;

- в) покрытых асфальтом;
- г) покрытых тротуарной плиткой;
- д) непосредственно прилегающим к стене здания.

5. Значение МЭД гамма-излучения в проектируемых новых зданиях жилищного и общественного назначения не должно превышать среднее значение мощности дозы на открытой местности (в районе расположения здания) более чем:

- а) на 0,2 мЗв/ч;
- б) на 0,2 мкЗв/ч;
- в) на 0,25 мкЗв/ч;
- г) на 0,5 мкЗв/ч;
- д) на 0,5 мЗв/ч.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 175–178.

2. Радиационная и экологическая медицина. Лабораторный практикум / под ред. А. Н. Стожарова. Минск : Минфина, 2012. С. 128–131.

Дополнительная

3. Сайт кафедры radbez.bsmu.by.

Нормативные документы:

4. «Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий». МУК Республики Беларусь № 11-8-6-2002.

Глава 10

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель изучения: оценить радоновую опасность различных территорий Республики Беларусь по косвенным показателям радона.

Радон — это бесцветный, не имеющий запаха инертный газ, тяжелее воздуха; образуется в процессе радиоактивного распада радионуклидов урановых и ториевого рядов. Существует три естественных (природных) изотопа радона (рис. 13):

- радон-222 ($T_{1/2}$ — 3,8 дня; ряд распада U-238);
- радон-220 или торон ($T_{1/2}$ — 55 с; ряд распада Th-232);
- радон-219 или актинон ($T_{1/2}$ — 4 с; ряд распада U-235).

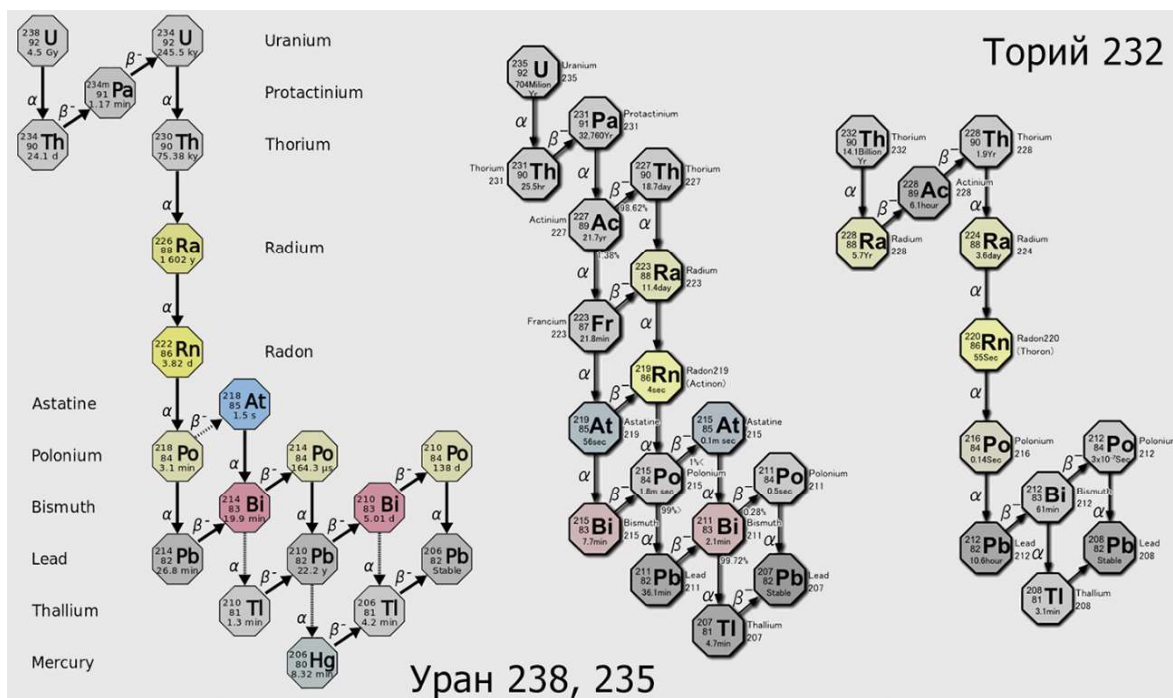


Рис. 13. Радиоактивные ряды U-235, U-238, Th-232

Все изотопы радона являются альфа-излучателями; дальнейший распад их дочерних продуктов сопровождается испусканием альфа- и бета-частиц.

Согласно оценке НКДАР ООН, радон и его дочерние продукты распада определяют примерно 2/3 годовой индивидуальной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации и половину от всех источников радиации. Также радон является второй после курения причиной развития рака легких. Увеличение среднего значения долгосрочной объемной активности радона на каждые 100 Бк/м³ повышает риск рака легких на 16 %.

В большинстве случаев воздействию радона люди подвергаются в жилых помещениях. Поэтому облучение радоном в жилищах занимает особое место среди проблем радиационной безопасности. Главными источниками поступления радона в воздух жилых помещений являются грунт и строительные материалы. Обычно перед проведением работ по строительству зданий определяют радоноопасность территории застройки, используя для этого измерение плотности потока радона на земной поверхности, т.к. этот радиоактивный газ поступает с помощью активной и пассивной диффузии из грунта через фундамент и поверхности подвальных помещений зданий. В Санитарных нормах и правилах «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения» ска-

зано, что 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 защита (монолитная бетонная подушка, улучшенная изоляция перекрытия подвального помещения и др.). Радон выделяется из водопроводной воды и природного газа, используемых в помещениях. Экспозиция радона и продуктов его распада из стройматериалов зависит от их происхождения. Некоторые материалы будут выделять больше радона, например: фосфогипс, газобетон с квасцовым глинистым сланцем и отвалы урановых рудников. Изменение строительных технологий также влияет на процессы поступления радона во внутреннюю среду помещений. Например, использование решений, повышающих энергоэффективность здания, приводит к созданию условий для накопления радона в воздухе жилищ за счет снижения кратности воздухообмена.

Государственный санитарный надзор за выполнением требований по обеспечению радиационной безопасности в жилых домах и зданиях социально-бытового назначения при их строительстве, реконструкции, сдаче в эксплуатацию и при эксплуатации осуществляют территориальные органы Госсаннадзора.

Снизить концентрацию радона в уже существующих зданиях позволяет принятие следующих мер:

- более интенсивная вентиляция подпольного пространства;
- обустройство системы отвода радона в основании здания или под монолитным полом на грунтовом основании;
- предотвращение поступления радона из подвального пространства в жилые помещения;
- заделка трещин и щелей в полах и стенах;
- улучшение вентилирования помещений.

Доказано, что пассивные системы защиты от радона позволяют снизить концентрацию этого газа внутри помещений более чем на 50 %. Добавление принудительной вентиляции обеспечит еще большую защиту от радона.

Лабораторная работа

ОЦЕНКА РАДОНОВОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ПО КОСВЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ РАДОНА

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо **освоить**: методику расчета эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в жилых зданиях. **Выполнить**: расчет комплексного радонового показателя (КРП); расчет ЭРОА радона в жилых зданиях; расчет 99%-ного квантиля распределения значений объемной активности (ОА) радона в населенных пунктах (НП) для определения критических зон радоноопасности.

1. Определение относительного значения концентрации урана в почве:

$$U_{\text{отн.}} = U_{\text{к}} / U_{\text{макс}},$$

где $U_{\text{отн.}}$ — относительное содержание урана в почве (относительных единиц);
 $U_{\text{к}}$ — значение концентрации урана в почве, определяемое по картосхеме ($n \cdot 10^{-4} \%$) согласно географическим координатам, в которых производится расчет КРП;

$U_{\text{макс}}$ — максимальное значение урана в почве ($2,5 \cdot 10^{-4} \%$).

2. Расчет относительной мощности экспозиционной дозы (МЭД) в населенных пунктах до аварии на ЧАЭС:

$$M_{\text{отн.}} = M_{\text{к}} / M_{\text{макс}},$$

где $M_{\text{отн.}}$ — относительная МЭД в населенных пунктах до аварии на ЧАЭС (относительных единиц);

$M_{\text{к}}$ — значение МЭД в населенных пунктах до аварии на ЧАЭС, определяемое по картосхеме (мкР/ч) согласно географическим координатам, в которых производится расчет КРП;

$M_{\text{макс}}$ — максимальное значение фона в населенных пунктах до аварии на ЧАЭС (12 мкР/ч).

3. Расчет относительного коэффициента фильтрации почв:

$$F_{\text{отн.}} = F_{\text{к}} / F_{\text{макс}},$$

где $F_{\text{отн.}}$ — относительный коэффициент фильтрации почв (относительных единиц);

$F_{\text{к}}$ — значение коэффициента фильтрации почв, определяемое по картосхеме (м/сут) согласно географическим координатам, в которых производится расчет КРП;

$F_{\text{макс}}$ — максимальное значение коэффициента фильтрации почв (30 м/сут).

4. Определение относительной глубины залегания водоносного горизонта:

$$W_{\text{отн.}} = W_{\text{к}} / W_{\text{макс}},$$

где $W_{\text{отн.}}$ — относительная глубина залегания водоносного горизонта (относительных единиц);

$W_{\text{к}}$ — значение глубины залегания водоносного горизонта, определяемое по картосхеме (м) согласно географическим координатам, в которых производится расчет КРП;

$W_{\text{макс}}$ — максимальное значение глубины залегания водоносного горизонта (10 м).

5. Расчет комплексного радонового показателя:

$$\text{КРП} = U_{\text{отн.}} \cdot M_{\text{отн.}} \cdot F_{\text{отн.}} \cdot W_{\text{отн.}}$$

Результаты расчетов по формулам в пп. 1–5 округляются до трех значащих цифр после запятой.

6. Расчет среднегодовой ОА радона в жилых зданиях по КРП.

Данное уравнение линейной регрессии составлено на основе многолетних измерений среднегодовых значений ОА радона в жилых зданиях населенных пунктов Республики Беларусь за период 2004–2015 гг.

$$\text{ОА}_{\text{изм.}} = 6200 \cdot \text{КРП} + 40,$$

где $\text{ОА}_{\text{изм.}}$ — измеренное среднегодовое значение ОА радона в жилых зданиях, Бк/м³.

7. Расчет эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в жилых зданиях.

Зная ОА радона, можно рассчитать ЭРОА радона в жилых зданиях:

$$\text{ЭРОА} = \text{ОА} \cdot F,$$

где F — величина коэффициента равновесия (согласно Публикации МКРЗ № 65 для стран с умеренным климатом он равен 0,5).

В соответствии с пунктами 107 и 108 Санитарных норм и правил «Требования к радиационной безопасности», среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений проектируемых и сдаваемых в эксплуатацию зданий жилищного и общественного назначения не должно превышать 100 Бк/м³, в эксплуатируемых зданиях — 200 Бк/м³.

Расчет 99%-ного квантиля распределения значений ОА радона в населенных пунктах для определения критических зон радоноопасности.

Согласно Публикации МКРЗ № 65: «радоноопасная зона может быть определена как зона, в которой около 1 % жилищ имеют концентрацию радона в 10 раз превышающую среднее национальное значение».

Рассчитываются параметры эталонного распределения ОА с учетом:

- количества измерений в населенных пунктах (более 20 измерений);
- охвата территории (все области в Республике Беларусь);
- значений КРП (низкие, средние, высокие);
- специфики жилищного фонда (этажность зданий, из каких строительных материалов построены здания и т.д.).

Основные параметры эталонного распределения

Среднее арифметическое значение, Бк/м ³	Среднее геометрическое значение, Бк/м ³	Медиана, Бк/м ³	Значение 99%-ного квантиля распределения ОА радона, Бк/м ³
70	55	60	210

Согласно эталонному распределению значение 99%-ного квантиля ОА радона в 3 раза выше среднего арифметического значения ОА радона. Измерив ОА радона и, рассчитав его среднее значение, или, восстановив его по КРП (п. 6), можно определить значение 99%-ного квантиля распределения ОА радона в любом населенном пункте по формуле:

$$P_{99} = OA_{\text{средн.}} \cdot 3,$$

где P_{99} — значение 99%-ного квантиля распределения ОА радона, Бк/м³;
 $OA_{\text{средн.}}$ — среднее значение ОА радона по населенному пункту, Бк/м³.

Рассчитав значение 99%-ного квантиля распределения ОА радона в населенном пункте и сравниваем его с десятикратным среднереспубликанским значением ОА радона. Если оно его превышает ($P_{99} > OA_{\text{ср.РБ}} \cdot 10$), населенный пункт относится к критической зоне радоноопасности и требует проведения противорадоновых защитных мероприятий. Из данных многолетних измерений среднегодовых значений ОА радона в жилых зданиях Республики Беларусь в 2004–2015 гг. среднегодовое значение составило **40 Бк/м³**.

Задания для самостоятельной работы. По данным таблиц абсолютных величин косвенных показателей радона для населенного пункта (табл. 12) (рассчитанных в зависимости от значений МЭД на территории Республики Беларусь в период до аварии на ЧАЭС (за 1969–1985 гг.), расположения почв с различным содержанием в них урана, данных по коэффициенту фильтрации почв (виды почв), глубины залегания водоносного горизонта) **выполнить**:

- 1) расчет комплексного радонового показателя в этих населенных пунктах;
- 2) расчет среднегодовой ОА радона в жилых зданиях по КРП;
- 3) расчет ЭРОА радона в жилых зданиях;
- 4) сравнить рассчитанные значения ОА с измеренными практически значениями ОА радона в жилых зданиях населенных пунктов (табл. 13);
- 5) расчет значения 99%-ного квантиля распределения ОА радона в населенном пункте и сравнить его с десятикратным среднереспубликанским значением ОА радона.

Таблица 12

Абсолютные величины косвенных показателей радиона для населенных пунктов

Наименование населенного пункта	Uк, н10 ⁻⁴⁰ % (отн. ед.)	Fк, м/сут (отн. ед.)	Wк, м (отн. ед.)	Mк, мкР/ч (отн. ед.)
Лиозненский район Витебской области				
Высочаны	0,75	0,8	5	7,5
Горелики	1,75	0,8	2,5	7,5
Добромысли	1,75	0,8	5	7,5
Крынки	1,75	0,8	5	7,5
Новое село	2,5	0,8	7,5	7,5
Перемонт	1,75	0,8	2,5	7,5
Сенненский район Витебской области				
Богданово	1,75	1,2	5	7,5
Ульяновичи	2,5	1,2	7,5	7,5
Большой озерцецк	1,75	1,2	5	7,5
Поженьки	2,5	1,2	7,5	7,5
Ходцы	2,5	1,2	7,5	7,5
Новоселки	1,75	0,8	5	7,5
Белая Липа	1,75	0,8	2,5	7,5
Липно	1,75	0,8	5	7,5
Мошканы	1,75	0,8	5	7,5
Константиново	0,75	0,12	5	7,5
Кругляны	0,75	0,12	5	7,5
Новая Оболь	1,75	0,8	5	7,5
Шкловский район Могилевской области				
Шклов	1,75	0,8	10	10,5
Забродье	1,75	1,2	10	7,5
Староселье	1,75	1,2	10	7,5
Говяды	1,75	1,2	10	7,5
Толкачи	1,75	0,8	10	7,5
Заречье	1,75	0,8	10	7,5
Житковичский район Гомельской области				
Житковичи	1,25	1,2	1,5	1,5
Туров	1,25	0,8	1,5	1,5
Люденевици	0,75	0,8	1,5	1,5
Рудня	0,75	0,8	1,5	1,5
Гребень	0,75	0,8	1,5	1,5
Кольно	0,75	0,8	1,5	1,5

Таблица 13

Данные по практическому измерению ОА радона в жилых зданиях населенных пунктов и результаты моделирования

Наименование населенного пункта	Модель, Бк/м³	Практическое измерение ОА радона, Бк/м³
<i>Лиозненский район Витебской области</i>		
Высочаны		45
Горелики		64
Добромысли		75
Крынки		83
Новое село		121
Перемонт		63
<i>Сенненский район Витебской области</i>		
Богданово		86
Ульяновичи		160
Большой озерцк		120
Поженьки		197
Ходцы		210
Новоселки		89
Белая Липа		48
Липно		63
Мошканы		94
Константиново		61
Кругляны		46
Новая Оболь		74
<i>Шкловский район Могилевской области</i>		
Шклов		142
Забродье		225
Староселье		200
Говяды		205
Толкачи		105
Заречье		150
<i>Житковичский район Гомельской области</i>		
Житковичи		34
Туров		39
Люденевичи		47
Рудня		34
Гребень		37
Кольно		45

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

1. Самый долгоживущий изотоп радона — это:

- а) радон-222;
- б) радон-220;
- в) торон;
- г) радон-219;
- д) актинон.

2. Все изотопы радона являются:

- а) излучателями нейтронов;
- б) гамма-излучателями;
- в) альфа-излучателями;
- г) излучателями фотонов;
- д) бета- и гамма-излучателями.

3. Согласно закону Республики Беларусь «О радиационной безопасности», облучение населения и работников (персонала), обусловленное содержанием радона и природных гамма-излучающих радионуклидов, в жилых и производственных помещениях:

- а) не регламентируется;
- б) не должно превышать установленные нормативы;
- в) не учитывается при оценке дозовых нагрузок за счет радиационного фона;
- г) суммируется с дозами в ситуации аварийного облучения;
- д) не оценивается.

4. В воздухе эксплуатируемых жилых помещений среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов изотопов радона ($Rn-222$ и $Rn-220$):

- а) не должна превышать 400 Бк/м^3 ;
- б) не должна превышать 100 Бк/м^3 ;
- в) не должна превышать 200 Бк/м^3 ;
- г) не нормируется;
- д) суммируется с эффективной удельной активностью природных радионуклидов в строительных материалах.

5. В воздухе проектируемых новых жилых помещений среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов изотопов радона ($Rn-222$ и $Rn-220$):

- а) не должна превышать 400 Бк/м^3 ;
- б) не должна превышать 100 Бк/м^3 ;
- в) не должна превышать 200 Бк/м^3 ;
- г) не нормируется;
- д) суммируется с эффективной удельной активностью природных радионуклидов в строительных материалах.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 200–227.

2. Радиационная медицина : учеб. / под ред. А. Н. Стожарова. Минск : Минфина, 2010. С. 56–69.

Дополнительная

3. Сайт кафедры gadbez.bsmu.by.

Нормативные документы

4. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137. Гл. 23.

5. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Гл. 4.

6. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Прил. 9.

7. Санитарные нормы и правила 2.6.2.11-4-2005 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения», утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 1 апреля 2005 г. № 36.

Глава 11

РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ИЗБЫТОЧНОГО ПОЖИЗНЕННОГО РАДИАЦИОННОГО РИСКА СРЕДИ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ НАСЕЛЕНИЯ

Цель изучения: усвоить методологию оценки популяционного избыточного пожизненного риска онкологической заболеваемости населения, проживающего на территориях, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС.

В последние годы в практике работы органов государственного санитарного надзора одним из эффективных инструментов для принятия решений по результатам анализа влияния факторов среды обитания, результативным способом оценки и анализа информации стала методология оценки риска. Утрата здоровья, рост заболеваемости вследствие неблагоприятной экологической обстановки, наносит существенный ущерб бюджету страны. С ростом заболеваемости возрастает объем затрат на медицинское обслуживание

(в стационарах и амбулаторно), выплат в связи с временной утратой трудоспособности или в связи с необходимостью осуществления ухода за заболевшим членом семьи, а также экономический ущерб из-за недополучения прибыли в связи с временной утратой трудоспособности экономически активного населения.

Понятие «риск» широко используется в различных сферах деятельности людей, в том числе в сфере использования источников ионизирующих излучений, и означает вероятность наступления нежелательных последствий вследствие воздействия какого-либо фактора. Выделяют риски индивидуальные, выражающиеся в наличии вероятности возникновения вредных эффектов у человека или его потомства, и популяционные (сумма индивидуальных рисков для всех лиц, составляющих популяцию). В основе обеспечения безопасности (в том числе и радиационной) персонала и населения лежат величины приемлемого риска.

Приемлемый риск сочетает в себе технические, экономические, социальные и политические аспекты и представляет некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения. Прежде всего, нужно иметь в виду, что экономические возможности повышения безопасности технических систем небезграничны. Затрачивая чрезмерные средства на повышение безопасности в какой-либо одной сфере, можно нанести ущерб другой.

Таким образом, управление рисками при выявлении или прогнозировании неблагоприятного результата воздействия факторов окружающей среды на состояние здоровья населения является эффективным механизмом контрольно-надзорной деятельности и служит важным методом регулирования всех видов деятельности, отвечая интересам защиты здоровья населения от неблагоприятного воздействия факторов окружающей среды, а также способствует снижению экономического ущерба, наносимого ростом заболеваемости. «Вред» — понятие, применяемое для обозначения клинически наблюдаемых вредных эффектов, которые проявляются у индивидуумов (соматические эффекты) и их потомков (наследуемые эффекты). «Ущерб» — это сложное понятие, сочетающее вероятность, степень тяжести эффекта и время его проявления. Его трудно представить с помощью одной переменной величины. Между тем, проблема оценки возможного влияния большого числа различных вредных факторов на здоровье населения в сопоставимых единицах является актуальной. В рамках социально-гигиенического мониторинга оценка влияния факторов окружающей среды на здоровье населения осуществляется по величине риска.

Оценка риска для здоровья населения помогает в решении научно-исследовательских и практических задач в области гигиены, медицины труда, токсикологии, эпидемиологии и экологии, с целью установления причинно-

следственных связей между уровнями воздействия факторов среды обитания и состоянием здоровья населения.

Риск для здоровья характеризует собой вероятность развития у населения неблагоприятных для здоровья эффектов в результате реального или потенциального загрязнения окружающей среды и выражается в виде:

- 1) математической вероятности развития определенного неблагоприятного эффекта (индивидуальный риск);
- 2) ожидаемого числа случаев развития соответствующих эффектов среди населения или его части (популяционный риск).

Анализ риска — процесс оценки органами и учреждениями, осуществляющими государственный санитарный надзор, государственными органами и иными государственными организациями, осуществляющими ведомственный контроль в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения, медицинскими научными организациями общедоступной информации для выявления (обнаружения) и оценки рисков в целях принятия мер по предупреждению и минимизации этих рисков (управление рисками), а также в целях информирования в установленном порядке о наличии рисков.

Оценка риска осуществляется в соответствии с полной (базовой) и/или сокращенной схемами.

Полная (базовая) схема оценки риска предусматривает проведение четырех этапов:

- 1) идентификация опасности;
- 2) оценка экспозиции;
- 3) оценка зависимости «доза-ответ»;
- 4) характеристика риска.

Сокращенная схема применяется при скрининге и может быть ограничена одним или несколькими этапами. Скрининг проводится для уточнения задач исследований, а также экспресс-оценки конкретной санитарно-эпидемиологической ситуации.

Все методы, используемые для анализа и оценки рисков, можно условно разделить на качественные и количественные.

В органе по оценке риска проводится два основных вида работ по оценке риска:

- оценка риска для здоровья населения от воздействия факторов окружающей среды;
- оценка риска для здоровья работающих от воздействия факторов рабочей среды и трудового процесса (профессиональный риск).

В условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения пределы доз облучения в течение года устанавливаются исходя из следующих значений индивидуального пожизненного риска: для персонала — $1,0 \cdot 10^{-3}$, для населения — $5,0 \cdot 10^{-5}$. Уровень пренебрежимо малого ри-

ска разделяет область оптимизации риска и область безусловно приемлемого риска и составляет 10^{-6} [8].

Количественная связь между эффективной дозой облучения и величиной риска обеспечивается путем введения коэффициентов номинального радиационного риска [9]. Однако использование этих коэффициентов ограничено областью радиационной защиты при ее оптимизации. Использование данных коэффициентов риска, как и величины эффективной дозы, для прогнозных оценок недопустимо для популяций с конкретным половозрастным составом населения и конкретным набором параметров, характеризующих заболеваемость и смертность.

Оценка радиационного риска у населения за счет длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах представляет интерес для варианта облучения в течение года и за период в несколько лет. Облучение может происходить как с равномерным облучением всех органов и тканей человека, так и с существенной неравномерностью их облучения. Каждый такой случай требует развития отдельных методик.

Методика оценки радиационного риска для ситуации равномерного⁴ облучения населения [10] может рассматриваться как инструмент для выполнения количественной оценки риска для населения, проживающего на территориях, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС.

Методика не применяется для ситуаций:

- 1) облучения пациентов, персонала и населения при использовании ИИИ в медицине с целью диагностики и лечения;
- 2) облучения связанного с воздействием природных ИИИ;
- 3) облучения персонала, состоящего на ИДК;
- 4) облучения в больших дозах и/или с большой мощностью дозы;
- 5) неравномерного облучения, связанного с поступлением в организм радионуклидов, неравномерно распределяющихся по телу.

Исследования по оценке риска могут иметь различную временную направленность:

– **ретроспективные** исследования ставят своей целью оценку риска, обусловленного предшествующими воздействиями фактора (облучение населения, проживавшего на рассматриваемой территории в течение ряда лет в любой период с 1987 г.);

– **текущая оценка** риска связана с существующей на момент исследования ситуацией (облучение населения в течение года);

⁴ Под равномерным облучением тела подразумевается внешнее и внутреннее облучение, при котором органы и ткани получают примерно равные поглощенные дозы, например, при проживании на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС.

– **проспективная** (прогнозная) оценка риска характеризует уровни риска, которые, вероятно, будут наблюдаться через определенный, заданный период времени при конкретном сценарии воздействия (облучение населения — фиксированная когорта, исходя из предположения дальнейшего проживания на рассматриваемой территории в течение ряда лет).

Количественные показатели пожизненного популяционного избыточного радиационного риска могут использоваться для сравнительной оценки рисков и выявления причин повышенной заболеваемости злокачественными новообразованиями при одновременном воздействии на население различных вредных факторов среды обитания

Количественной мерой воздействия радиационного фактора на человека является средняя годовая эффективная доза (СГЭД) внешнего и внутреннего облучения жителей за счет ^{137}Cs , содержащегося в почве и в пищевых продуктах. Доза, обусловленная природным (фоновым) облучением, не учитывается.

Оценка риска может осуществляться для следующих групп облучаемого населения:

- 1) дети в возрасте 0–14 лет;
- 2) подростки 15–17 лет;
- 3) дети и подростки 0–17 лет;
- 4) взрослое население от 18 лет и старше;
- 5) все население в возрасте 0–85 лет и старше.

Лабораторная работа

ОЦЕНКА ПОПУЛЯЦИОННОГО ИЗБЫТОЧНОГО ПОЖИЗНЕННОГО РИСКА ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИИ НА ЧАЭС И ПОЛУЧАЮЩЕГО ДЛИТЕЛЬНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ ТЕЛА В МАЛЫХ ДОЗАХ

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо **освоить** процедуру расчета пожизненного риска онкологической заболеваемости, связанной с облучением тела в малых дозах от техногенных источников ионизирующего излучения, у населения, проживающего на территориях, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС и получающего длительное облучение тела в малых дозах, а также **выполнить** расчет и оценку пожизненного риска онкологической заболеваемости за счет воздействия внешнего и внутреннего облучения, вызванного последствиями аварии на ЧАЭС; вычислить количество злокачественных новообразований (ЗНО), которые могут возникнуть в заданной популяции в течение предстоящей жизни по той же причине.

Методика расчета. Популяционная оценка возможных последствий облучения производится как для населения в целом, так и для отдельных групп населения.

В оценках радиационного риска для конкретной группы населения используются данные о численности данной возрастной группы на том административном уровне, для которого производится такая оценка.

Информацию о половозрастной структуре населения следует брать только из официальных данных.

Оценка риска возникновения ЗНО у населения, проживающего на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, производится по величине СГЭД⁵:

$$\text{Риск} = \text{СГЭД (Зв)} \cdot \text{Коэффициент риска}^6. \quad (1)$$

Количество дополнительных случаев заболевания ЗНО в рассматриваемой возрастной группе в течение предстоящей жизни вычисляется путем умножения значения риска на общую численность населения данной территории:

$$\text{Кол-во ЗНО} = \text{Численность населения} \cdot \text{Риск}. \quad (2)$$

Для случаев, когда данные о численности какой-либо возрастной группы отсутствуют, при расчете используют коэффициент, отражающий долю данной возрастной группы в структуре населения региона:

$$\text{Кол-во ЗНО} = \text{Численность населения} \cdot \text{Доля населения}^7 \cdot \text{Риск}. \quad (3)$$

1. Ретроспективная оценка. При ретроспективной оценке производится расчет только дополнительного числа случаев ЗНО, обусловленных облучением за предшествующий период (с 1987 г.) с учетом изменения общей численности населения (включая рождаемость, смертность, миграцию) и величины СГЭД в разные годы рассматриваемого периода, без оценки риска как такового.

$$\text{Количество ЗНО} = \sum_{i=1}^n \text{Риск}_i \cdot \text{Численность населения}_i. \quad (4)$$

2. Оценка текущей ситуации. Для лиц, проживавших на данной территории на начало календарного года, оцениваются популяционные риски и число дополнительных случаев ЗНО только за счет облучения в течение одного года.

⁵ При отсутствии данных о средних дозах облучения населения в отдельных возрастных группах значения СГЭД принимаются одинаковыми для всего населения в пределах административно-территориальной единицы, для которой осуществляется оценка риска.

⁶ Расчет риска возникновения ЗНО для конкретной возрастной группы населения производится путем умножения средней величины СГЭД в течение периода облучения на соответствующий коэффициент риска из табл. 11.1.

⁷ Данные о доле численности возрастных групп в общей численности населения Республики Беларусь по состоянию на начало 2019 г. приведено в табл. 11.2

В данном варианте анализа имеется возможность оценить пожизненный риск возникновения дополнительных случаев ЗНО для лиц, относящихся к конкретной возрастной группе, за счет облучения в рассматриваемом году, а также рассчитать возможное число дополнительных случаев ЗНО для заданной возрастной группы.

3. Прогнозная оценка. Возможные последствия облучения всего населения или фиксированной когорты оцениваются исходя из предположения, что на протяжении всего времени дальнейшего проживания на рассматриваемой территории СГЭД не меняется. При этом может быть дана консервативная оценка риска и ожидаемого числа дополнительных случаев ЗНО.

При проведении прогнозной оценки и оценки текущей ситуации расчеты проводятся с использованием формул 1–3.

Ход работы:

1. Рассчитать пожизненный риск онкологической заболеваемости детского населения (от 0 до 14 лет) в г. «Н» за счет воздействия внешнего и внутреннего облучения в течение 2019 г., вызванного последствиями аварии на Чернобыльской АЭС, если средняя индивидуальная годовая эффективная доза внешнего и внутреннего техногенного облучения у жителей г. «Н» в 2019 г. составляла 0,63 мЗв.

2. Вычислить количество ЗНО, которые возникнут в течение предстоящей жизни у указанной части жителей г. «Н» по той же причине. Численность населения г. «Н» составляет 143 038 человек.

При проведении оценки текущей ситуации используем формулу:

$$\text{Риск} = \text{СГЭД (Зв)} \cdot \text{Коэффициент риска.}$$

Рассчитываем, используя значение СГЭД в Зв и значение коэффициента риска из табл. 14:

$$\text{Риск} = 0,63 \cdot 0,001 \cdot 0,17 = 0,0001071 = 1,07 \cdot 10^{-4}.$$

В связи с отсутствием данных о численности детского населения, при расчете количества ЗНО используем формулу:

$$\text{Кол-во ЗНО} = \text{Риск} \cdot \text{Численность населения} \cdot \text{Доля населения.}$$

Рассчитываем, используя информацию о доле детского населения из табл. 15:

$$\text{Кол-во ЗНО} = 0,0001071 \cdot 143038 \cdot 0,17 = 2,6 \approx 3 \text{ случая.}$$

Вывод:

1. Уровень пожизненного риска онкологической заболеваемости детского населения (от 0 до 14 лет) в г. «Н» за счет воздействия внешнего и внутреннего облучения в течение 2019 г. составляет $1,07 \cdot 10^{-4}$.

2. Три случая ЗНО возникнут в течение предстоящей жизни у указанной части жителей г. «Н» по причине воздействия внешнего и внутреннего облучения в течение 2019 г.

**СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ
К ЗАДАНИЯМ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Таблица 14

Коэффициенты избыточного пожизненного риска онкологической заболеваемости в расчете на 1 Зв равномерного техногенного облучения в течение заданного периода

Возрастная группа на начало облучения	Период облучения, лет								
	1	2	3	5	10	20	30	40	50
Дети 0–14 лет	0,17	0,33	0,48	0,77	1,42	2,47	3,26	3,85	4,25
Подростки 15–17 лет	0,12	0,24	0,35	0,57	1,07	1,88	2,49	2,91	3,15
Дети и подростки 0–17 лет	0,16	0,31	0,46	0,73	1,35	2,34	3,10	3,65	4,02
Взрослые от 18 лет и старше	0,06	0,12	0,18	0,28	0,51	0,85	1,04	1,14	1,17
Все население	0,08	0,16	0,23	0,37	0,67	1,12	1,42	1,61	1,70

Таблица 15

Доля численности населения возрастных групп в общей численности населения для Республики Беларусь (по состоянию на начало 2019 г.)

Группа	Доля населения
Дети 0–14 лет	0,17
Подростки 15–17 лет	0,03
Дети и подростки 0–17 лет	0,20
Взрослые от 18 лет и старше	0,80
Все население	1,00

Задания для самостоятельной работы:

1. Рассчитать пожизненный риск онкологической заболеваемости детского и подросткового населения (от 0 до 17 лет) в г. «М» за счет воздействия внешнего и внутреннего облучения в течение 2019 г., вызванного последствиями аварии на Чернобыльской АЭС, если средняя индивидуальная годовая эффективная доза внешнего и внутреннего техногенного облучения у жителей г. «М» в 2019 г. составляла 0,58 мЗв.

Вычислить количество ЗНО, которые возникнут в течение предстоящей жизни у указанной части жителей г. «М» по той же причине. Численность населения г. «Н» составляет 143 038 человек.

2. Рассчитать пожизненный риск онкологической заболеваемости населения (все население) в г. «А» за счет воздействия внешнего и внутрен-

него облучения в течение 2019 г., вызванного последствиями аварии на Чернобыльской АЭС, если средняя индивидуальная годовая эффективная доза внешнего и внутреннего техногенного облучения у жителей г. «А» в 2019 г. составляла 0,65 мЗв.

Вычислить количество ЗНО, которые возникнут в течение предстоящей жизни у указанной части жителей г. «А» по той же причине. Численность населения г. «А» составляет 83 069 человек.

3. Рассчитать пожизненный риск онкологической заболеваемости взрослого населения (от 18 лет и старше) в г. «Н» за счет воздействия внешнего и внутреннего облучения в течение 2019 г., вызванного последствиями аварии на Чернобыльской АЭС, если средняя индивидуальная годовая эффективная доза внешнего и внутреннего техногенного облучения у жителей г. «Н» в 2019 г. составляла 0,52 мЗв.

Вычислить количество ЗНО, которые возникнут в течение предстоящей жизни у указанной части жителей г. «Н» по той же причине. Численность населения г. «Н» составляет 67 025 человек.

4. Рассчитать пожизненный риск онкологической заболеваемости детского населения (от 0 до 14 лет) в г. «Б» за счет воздействия внешнего и внутреннего облучения в течение 2019 г., вызванного последствиями аварии на Чернобыльской АЭС, если средняя индивидуальная годовая эффективная доза внешнего и внутреннего техногенного облучения у жителей г. «Б» в 2019 г. составляла 0,57 мЗв.

Вычислить количество ЗНО, которые возникнут в течение предстоящей жизни у указанной части жителей г. «Б» по той же причине. Численность населения г. «Б» составляет 123 625 человек.

5. Рассчитать пожизненный риск онкологической заболеваемости взрослого населения (от 18 лет и старше) в г. «Н» за счет воздействия внешнего и внутреннего облучения в течение 2019 г., вызванного последствиями аварии на Чернобыльской АЭС, если средняя индивидуальная годовая эффективная доза внешнего и внутреннего техногенного облучения у жителей г. «Н» в 2019 г. составляла 0,71 мЗв.

Вычислить количество ЗНО, которые возникнут в течение предстоящей жизни у указанной части жителей г. «Н» по той же причине. Численность населения г. «Н» составляет 143 038 человек.

6. Рассчитать пожизненный риск онкологической заболеваемости взрослого населения (от 18 лет и старше) в г. «Б» за счет воздействия внешнего и внутреннего облучения в течение 2019 г., вызванного последствиями аварии на Чернобыльской АЭС, если средняя индивидуальная годовая эффективная доза внешнего и внутреннего техногенного облучения у жителей г. «Б» в 2019 г. составляла 0,57 мЗв.

Вычислить количество ЗНО, которые возникнут в течение предстоящей жизни у указанной части жителей г. «Б» по той же причине. Численность населения г. «Б» составляет 123 625 человек.

7. Рассчитать пожизненный риск онкологической заболеваемости детского населения (от 0 до 14 лет) в г. «А» за счет воздействия внешнего и внутреннего облучения в течение 2019 г., вызванного последствиями аварии на Чернобыльской АЭС, если средняя индивидуальная годовая эффективная доза внешнего и внутреннего техногенного облучения у жителей г. «А» в 2019 г. составляла 0,65 мЗв.

Вычислить количество ЗНО, которые возникнут в течение предстоящей жизни у указанной части жителей г. «А» по той же причине. Численность населения г. «А» составляет 83 069 человек.

8. Рассчитать пожизненный риск онкологической заболеваемости населения (все население) в г. «Б» за счет воздействия внешнего и внутреннего облучения в течение 2019 г., вызванного последствиями аварии на Чернобыльской АЭС, если средняя индивидуальная годовая эффективная доза внешнего и внутреннего техногенного облучения у жителей г. «Б» в 2019 г. составляла 0,57 мЗв.

Вычислить количество ЗНО, которые возникнут в течение предстоящей жизни у указанной части жителей г. «Б» по той же причине. Численность населения г. «Б» составляет 123 625 человек.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

1. Обязательным этапом оценки риска воздействия вредных факторов на здоровье человека являются:

- а) идентификация опасности;
- б) классификация риска;
- в) элиминация загрязнителей;
- г) оценка зависимости «доза-риск»;
- д) устранение опасности.

2. Приемлемым уровнем риска, при котором не требуется принятия дополнительных мер по его снижению, считается уровень ниже:

- а) 10^{-1} ;
- б) 10^{-2} ;
- в) 10^{-3} ;
- г) 10^{-4} ;
- д) 10^{-6} .

3. Оценка радиационного риска у населения может быть:

- а) переменной;
- б) постоянной;

- в) перманентной;
- г) текущей;
- д) проходящей.

4. Методика оценки радиационного риска у населения применяется для ситуаций:

- а) облучения связанного с воздействием природных ИИИ;
- б) облучения персонала, состоящего на ИДК;
- в) неравномерного облучения, связанного с поступлением в организм радионуклидов, неравномерно распределяющихся по телу;
- г) облучения в больших дозах и/или с большой мощностью дозы;
- д) длительного техногенного равномерного облучения в малых дозах.

5. При ретроспективной оценке радиационного риска у населения:

- а) производится расчет только дополнительного числа случаев ЗНО, обусловленных облучением;
- б) оцениваются только популяционные риски;
- в) оцениваются как популяционные риски, так и число дополнительных случаев ЗНО;
- г) последствия облучения всего населения оцениваются исходя из предположения, что на протяжении всего времени проживания на рассматриваемой территории СГЭД не меняется;
- д) оценка риска связана с существующей на момент исследования радиационной ситуацией.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 81–97, 375–380.

Дополнительная

2. Стожаров, А. Н. Медицинская экология : учеб. пособие / А. Н. Стожаров. Минск : Выш. шк., 2007. С. 342–358.

3. Радиационно-гигиенический и социально-гигиенический мониторинг в Республике Беларусь : учеб.-метод. пособие / А. Н. Стожаров [и др.]. Минск : БГМУ, 2017. 20 с.

4. Сайт кафедры radbez.bsmu.by.

Нормативные документы

5. Закон Республики Беларусь от 18.06.2019 № 198-З «О радиационной безопасности». Ст. 37.

6. Закон Республики Беларусь «Об использовании атомной энергии» № 426-З от 30.07.2008 г. с изменениями и дополнениями. Ст. 17.

7. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использова-

нию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137.

8. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

9. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Прил. 6.

10. Оценка радиационного риска у населения за счет длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах : методические указания. 2.1.10.3014-12. Москва : «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека, 2011. 26 с.

Глава 12

РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ. ОЦЕНКА ИЗБЫТОЧНОГО ПОЖИЗНЕННОГО РИСКА ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ И ПРОГНОЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ СРЕДИ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ НАСЕЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ

Цель изучения: усвоить критерии, позволяющие производить комплексное сравнение радиационных рисков, научиться анализировать индивидуальные и популяционные радиационные риски.

Оценка стохастических эффектов, главным образом канцерогенных, в настоящее время базируется на линейной беспороговой концепции (ЛБК) и осуществляется путем линейной экстраполяции реально наблюдаемых в эксперименте или в эпидемиологических исследованиях зависимостей в область малых доз и нулевого канцерогенного риска. Считают, что ИИ независимо от дозы и мощности дозы являются абсолютно вредным фактором. Облучение в любой дозе, отличной от нуля, связано с риском возможного канцерогенного действия, проявляющегося в отдаленные сроки после облучения.

Цель оценки риска развития стохастических эффектов от облучения в эффективном управлении рисками и контроль рисков, а именно, определении необходимого и достаточного уровня воздействия на риск с целью его снижения с последующей оценкой результата воздействия (рис. 14).

В настоящее время для прогнозирования рисков ожидаемых канцерогенных эффектов по окончании их латентного периода и пожизненного риска стохастических эффектов используют две модели: абсолютного (аддитивного) риска и относительного (мультипликативного) риска [1].

Для любых практических оценок наиболее существенным понятием является «коэффициент риска», используемый в общем смысле для обозначения риска на единицу дозы (риск на 1 Гр в случае поглощенной дозы или риск на 1 Зв в случае эффективной или эквивалентной дозы).



Рис. 14. Процесс управления рисками

Количественная связь между эффективной дозой облучения и величиной риска в области радиационной защиты при ее оптимизации обеспечивается путем введения коэффициентов номинального радиационного риска [7, 8]. Номинальные коэффициенты вероятности стохастических эффектов были даны в Публикации 60 МКРЗ, а затем корректировались. Согласно санитарным нормам и правилам «Требования к радиационной безопасности», утвержденным постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213, и в соответствии с общепринятой линейной беспороговой теорией зависимости риска стохастических эффектов от дозы, величина риска пропорциональна дозе излучения и связана с дозой через линейные коэффициенты радиационного риска, приведенные в прил. 6 Гигиенического норматива «Критерии оценки радиационного воздействия». При этом указанные коэффициенты номинального риска учитывают как вред рака, так и вред наследственных заболеваний для всех категорий облучаемых лиц.

Принятие решения об уровне воздействия на риск будет зависеть от его величины.

Приемлемый (минимальный) риск характеризуется фоновым уровнем онкологической заболеваемости населения. Данный риск не требует никаких дополнительных мероприятий и подлежит только периодическому контролю.

При **допустимом** (низком) уровне риска отмечается тенденция к росту фонового уровня заболеваемости. Данные уровни подлежат постоянному

контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

При **неприемлемом** (высоком) уровне риска отмечается достоверное превышение фонового уровня онкологической заболеваемости населения. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий. Планирование мероприятий по снижению рисков в этом случае должно основываться на результатах более углубленной оценки различных аспектов существующих проблем.

Для оценки приемлемости риска и обоснования необходимости защитных мероприятий можно использовать пункты 20–25 СанНиП «Требования к радиационной безопасности».

Уровень пренебрежимо малого риска разделяет область оптимизации риска и область безусловно приемлемого риска и составляет 10^{-6} .

Снижение риска до возможно низкого уровня следует осуществлять с учетом двух обстоятельств:

- предел риска регламентирует потенциальное облучение от всех возможных источников ионизирующего излучения, поэтому для каждого источника ионизирующего излучения при оптимизации устанавливается граница риска;
- при снижении риска потенциального облучения существует минимальный уровень риска, ниже которого риск считается пренебрежимым и дальнейшее снижение риска нецелесообразно.

Лабораторная работа **ОЦЕНКА РИСКА СТОХАСТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ** **В РЕЗУЛЬТАТЕ ОБЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ**

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо **освоить** процедуру оценки риска онкологической заболеваемости и наследственных эффектов, связанных с облучением тела в малых дозах от техногенных источников ионизирующего излучения, а также **выполнить** расчет и оценку риска онкологической заболеваемости и наследственных эффектов, связанных с облучением тела в малых дозах от техногенных источников ионизирующего излучения.

Методика расчета. Расчет риска развития стохастических эффектов может быть выполнен с использованием коэффициентов номинального риска по следующей формуле:

$$\text{Риск} = 0,001 \cdot \text{ГЭД} \cdot \text{КНР},$$

где ГЭД — суммарная годовая эффективная доза, мЗв;

0,001 — множитель для перевода мЗв в Зв;

КНР — коэффициент номинального риска (прил. 6 к ГН «Критерии оценки радиационного воздействия»).

Пример расчета. Средняя ожидаемая суммарная ГЭД у жителей населенного пункта (категория все население) 1,6 мЗв, коэффициент риска злокачественных новообразований (ЗНО) для всего населения равен $5,5 \cdot 10^{-2}/\text{Зв}$, коэффициент риска наследственных эффектов (НЭ) для всего населения равен $0,2 \cdot 10^{-2}/\text{Зв}$.

Рассчитать и оценить риск развития злокачественных новообразований и рассчитать риск развития наследственных эффектов для данной категории лиц:

$$\text{Риск ЗНО} = 0,001 \cdot 1,6 \cdot 5,5 \cdot 10^{-2} = 8,8 \cdot 10^{-5}.$$

$$\text{Риск НЭ} = 0,001 \cdot 1,6 \cdot 0,2 \cdot 10^{-2} = 0,32 \cdot 10^{-5} = 3,2 \cdot 10^{-6}.$$

Вывод: риск развития наследственных эффектов составляет $3,2 \cdot 10^{-6}$; риск развития злокачественных новообразований составляет $8,8 \cdot 10^{-5}$, что соответствует допустимому уровню, данный уровень риска подлежит постоянному контролю. Риск развития злокачественных новообразований у данной категории лиц выше уровня обобщенного граничного риска для населения $1,0 \cdot 10^{-5}$ (п. 24 СанНиП «Требования к радиационной безопасности»), следовательно, необходимо внедрение комплекса мероприятий по снижению дозовых нагрузок.

Задания для самостоятельной работы:

1. Средняя ожидаемая суммарная ГЭД у жителей населенного пункта (категория все население) 1,3 мЗв, коэффициент риска злокачественных новообразований (ЗНО) для всего населения равен $5,5 \cdot 10^{-2}/\text{Зв}$, коэффициент риска наследственных эффектов (НЭ) для всего населения равен $0,2 \cdot 10^{-2}/\text{Зв}$.

Рассчитать и оценить риск развития злокачественных новообразований и рассчитать риск развития наследственных эффектов для данной категории лиц.

2. Средняя ожидаемая суммарная ГЭД у жителей населенного пункта (категория все население) 1,5 мЗв, коэффициент риска злокачественных новообразований (ЗНО) для всего населения равен $5,5 \cdot 10^{-2}/\text{Зв}$, коэффициент риска наследственных эффектов (НЭ) для всего населения равен $0,2 \cdot 10^{-2}/\text{Зв}$.

Рассчитать и оценить риск развития злокачественных новообразований и рассчитать риск развития наследственных эффектов для данной категории лиц.

3. Средняя ожидаемая суммарная ГЭД у жителей населенного пункта (категория все население) 1,1 мЗв, коэффициент риска злокачественных новообразований (ЗНО) для всего населения равен $5,5 \cdot 10^{-2}/\text{Зв}$, коэффициент риска наследственных эффектов (НЭ) для всего населения равен $0,2 \cdot 10^{-2}/\text{Зв}$.

Рассчитать и оценить риск развития злокачественных новообразований и рассчитать риск развития наследственных эффектов для данной категории лиц.

4. Средняя ожидаемая суммарная ГЭД у жителей населенного пункта (категория все население) 0,9 мЗв, коэффициент риска злокачественных

новообразований (ЗНО) для всего населения равен $5,5 \cdot 10^{-2}/Зв$, коэффициент риска наследственных эффектов (НЭ) для всего населения равен $0,2 \cdot 10^{-2}/Зв$.

Рассчитать и оценить риск развития злокачественных новообразований и рассчитать риск развития наследственных эффектов для данной категории лиц.

5. Средняя ожидаемая суммарная ГЭД у жителей населенного пункта (категория все население) 1,2 мЗв, коэффициент риска злокачественных новообразований (ЗНО) для всего населения равен $5,5 \cdot 10^{-2}/Зв$, коэффициент риска наследственных эффектов (НЭ) для всего населения равен $0,2 \cdot 10^{-2}/Зв$.

Рассчитать и оценить риск развития злокачественных новообразований и рассчитать риск развития наследственных эффектов для данной категории лиц.

6. Средняя ожидаемая суммарная ГЭД у жителей населенного пункта (категория все население) 1,4 мЗв, коэффициент риска злокачественных новообразований (ЗНО) для всего населения равен $5,5 \cdot 10^{-2}/Зв$, коэффициент риска наследственных эффектов (НЭ) для всего населения равен $0,2 \cdot 10^{-2}/Зв$.

Рассчитать и оценить риск развития злокачественных новообразований и рассчитать риск развития наследственных эффектов для данной категории лиц.

7. Средняя ожидаемая суммарная ГЭД у жителей населенного пункта (категория все население) 0,8 мЗв, коэффициент риска злокачественных новообразований (ЗНО) для всего населения равен $5,5 \cdot 10^{-2}/Зв$, коэффициент риска наследственных эффектов (НЭ) для всего населения равен $0,2 \cdot 10^{-2}/Зв$.

Рассчитать и оценить риск развития злокачественных новообразований и рассчитать риск развития наследственных эффектов для данной категории лиц.

8. Средняя ожидаемая суммарная ГЭД у жителей населенного пункта (категория все население) 1,7 мЗв, коэффициент риска злокачественных новообразований (ЗНО) для всего населения равен $5,5 \cdot 10^{-2}/Зв$, коэффициент риска наследственных эффектов (НЭ) для всего населения равен $0,2 \cdot 10^{-2}/Зв$.

Рассчитать и оценить риск развития злокачественных новообразований и рассчитать риск развития наследственных эффектов для данной категории лиц.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

1. Граничный риск — это:

а) значение, связанное с определенным источником, которое обеспечивает максимальный уровень защиты для людей, подвергающихся наибольшему риску от данного источника;

б) значение, связанное с определенным источником, которое обеспечивает базовый уровень защиты для людей, подвергающихся наибольшему риску от данного источника;

в) значение, связанное с определенным источником, которое обеспечивает максимальный уровень защиты для людей, подвергающихся наименьшему риску от данного источника;

г) значение, связанное с определенным источником, которое обеспечивает базовый уровень защиты для людей, подвергающихся наименьшему риску от данного источника;

д) значение, связанное с определенным источником, которое обеспечивает оптимальный уровень защиты для людей, подвергающихся наибольшему риску от данного источника.

2. В соответствии с общепринятой в мире линейной беспороговой теорией зависимости риска стохастических эффектов от дозы облучения величина риска:

а) прямо пропорциональна дозе облучения и связана с дозой через линейные коэффициенты радиационного риска;

б) обратно пропорциональна дозе облучения и связана с дозой через линейные коэффициенты радиационного риска;

в) прямо пропорциональна дозе облучения и связана с дозой через экспоненциальные коэффициенты радиационного риска;

г) обратно пропорциональна дозе облучения и связана с дозой через экспоненциальные коэффициенты радиационного риска;

д) не зависит от дозы облучения.

3. Уровень пренебрежимо малого риска разделяет область оптимизации риска и область безусловно приемлемого риска и составляет:

а) 10^{-5} ;

б) 10^{-6} ;

в) 10^{-4} ;

г) 10^{-2} ;

д) 10^{-3} .

4. Количественная связь между эффективной дозой облучения и величиной риска в области радиационной защиты при ее оптимизации обеспечивается путем введения:

а) коэффициентов максимального радиационного риска;

б) коэффициентов минимального радиационного риска;

в) коэффициентов оптимального радиационного риска;

г) коэффициентов номинального радиационного риска;

д) коэффициентов экстремального радиационного риска.

5. При снижении риска потенциального облучения существует минимальный уровень риска, ниже которого:

а) дальнейшее снижение риска необходимо;

б) дальнейшее снижение риска недопустимо;

в) дальнейшее снижение риска нецелесообразно;

г) дальнейшее снижение риска неприемлемо;

д) дальнейшее снижение риска неизбежно.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 71–97.
2. Стожаров, А. Н. Медицинская экология : учеб. пособие / А. Н. Стожаров. Минск : Выш. шк., 2007. С. 342–358.
3. Радиационно-гигиенический и социально-гигиенический мониторинг в Республике Беларусь : учеб.-метод. пособие / А. Н. Стожаров [и др.]. Минск : БГМУ, 2017. 20 с.

Дополнительная

4. Радиационная и экологическая медицина. Лабораторный практикум / под ред. А. Н. Стожарова. Минск : Минфина, 2012. 184 с.
5. Сайт кафедры radbez.bsmu.by.

Нормативные документы

6. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137. Гл. 1–7, 9–12, 14, прил. 1–10.
7. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.
8. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

Глава 13

РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Цель изучения: усвоить основные принципы организации и проведения радиационно-гигиенического мониторинга.

Важнейшим аспектом современной профилактической медицины является мониторинг здоровья населения. В последние годы потребность в корректном мониторинге радиационно-экологической ситуации в Республике Беларусь многократно возросла, т.к. помимо мониторинга радиационно-экологической ситуации, связанной с последствиями Чернобыльской катастрофы, появилась необходимость мониторинга ситуации вокруг Белорусской

АЭС. При выборе методов оценки и прогнозирования радиационно-экологической ситуации преследуется лишь одна цель: наиболее точно осуществить прогноз при наименьших затратах сил и материальных средств. Эта цель в большинстве случаев достигается компьютерным моделированием. Подтвердить точность результатов моделирования радиационно-экологической ситуации позволяют периодические прямые измерения дозовых нагрузок на отдельные группы населения с помощью СИЧ и ТЛД-дозиметрии. Таким образом моделирование радиационной обстановки позволяет, с одной стороны, максимально широко и оперативно использовать на практике результаты мониторинга, а с другой стороны, сохранить предельную точность и надежность результатов такого моделирования.

В общем случае, в соответствии с рекомендациями МКРЗ, к объектам радиационного мониторинга отнесены:

- 1) потенциальные источники радиоактивного загрязнения (в первую очередь радиационные объекты);
- 2) окружающая среда (объекты окружающей среды, среда обитания человека, в том числе жилище, сельскохозяйственная и животноводческая продукция, пища, вода, воздух и т.д.);
- 3) сам человек (определение доз от внешнего и внутреннего облучения и расчет суммарных дозовых нагрузок).

Основные объекты радиационного мониторинга представлены на рис. 15.

Радиационный мониторинг в Республике Беларусь проводится в соответствии с «Инструкцией о порядке проведения наблюдений за естественным радиационным фоном и радиоактивным загрязнением атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод на пунктах наблюдений радиационного мониторинга», утвержденной приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18.07.2014 г. № 230 — ОД и «Перечнем находящихся в ведении Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь пунктов наблюдений радиационного мониторинга», утвержденным постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 08.04.2014 г. № 20 (Постановление № 20).

Радиационный мониторинг проводится с целью наблюдения за:

- 1) естественным радиационным фоном;
- 2) радиационным фоном в районах воздействия потенциальных источников радиоактивного загрязнения, в том числе для оценки трансграничного переноса радиоактивных веществ;
- 3) радиоактивным загрязнением атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС.

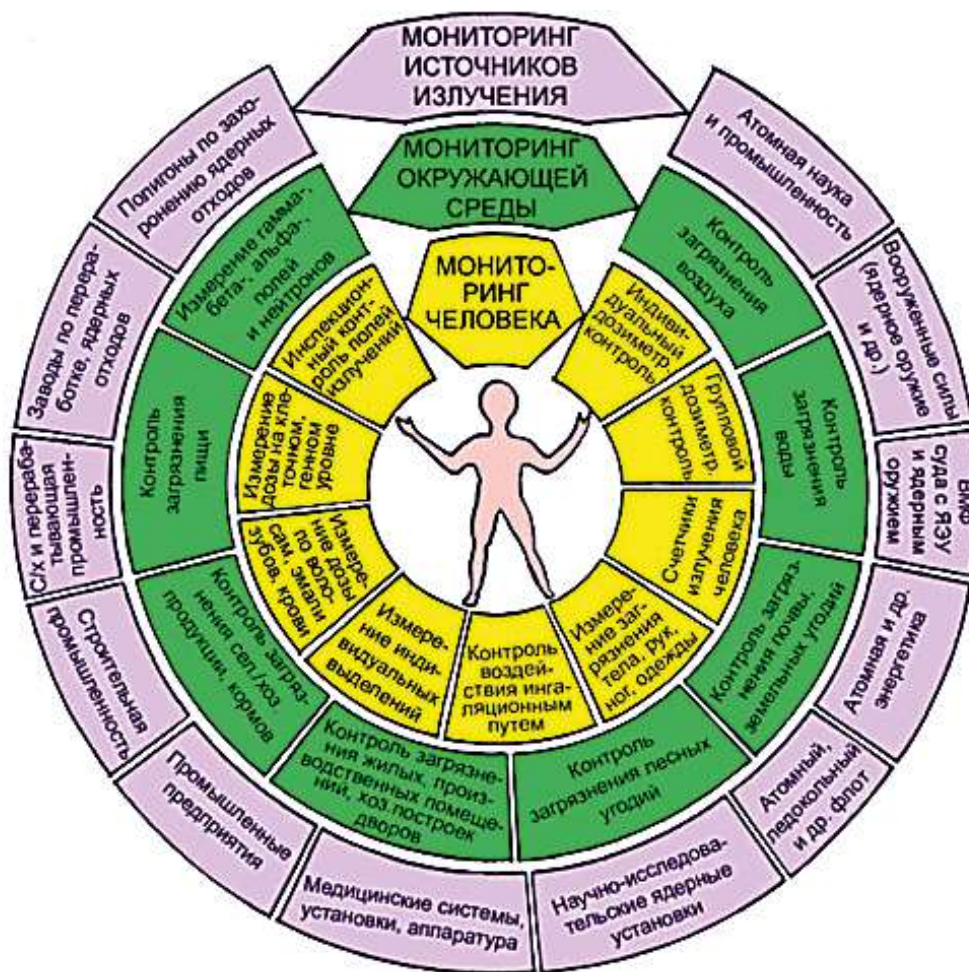


Рис. 15. Общая схема радиационного мониторинга

В соответствии с Постановлением № 20 на территории Республики Беларусь функционирует 41 пункт наблюдений радиационного мониторинга (Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, рис. 3), на которых ежедневно проводятся измерения мощности дозы гамма-излучения. На 24 пунктах наблюдения, расположенных на всей территории Республики Беларусь, контролируются радиоактивные выпадения из атмосферы. На 5 пунктах наблюдения (Мозырь, Нарочь, Пинск, Браслав и Мстиславль) ежедневно производится отбор проб для определения суммарной бета-активности естественных атмосферных выпадений, на 19 пунктах — один раз в 10 дней.

На 6 пунктах наблюдений, расположенных в городах Браслав, Гомель, Могилев, Мозырь, Мстиславль, Пинск проводится отбор проб радиоактивных аэрозолей в приземном слое атмосферы с использованием фильтровентиляционных установок. Из них: на 5 пунктах, расположенных в зонах воздействия атомных электростанций сопредельных государств (рис. 16), отбор проб проводится ежедневно; на одном пункте (Могилев) — отбор проб проводится в дежурном режиме (1 раз в 10 дней).



Рис. 16. Схема размещения пунктов радиационного мониторинга

Вся информация по мощности дозы гамма-излучения, радиоактивным выпадениям из атмосферы и содержанию радиоактивных аэрозолей в воздухе вносится в автоматизированный банк данных, где хранятся метеоданные.

Проведение радиационного мониторинга вокруг АЭС является международным требованием и определено национальным законодательством Республики Беларусь.

В проведении радиационного мониторинга принимают участие:

- 1) эксплуатирующая организация — Белорусская АЭС, отвечающая за радиационный мониторинг на площадке, на границе СЗЗ и в зоне наблюдения;
- 2) Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, являющееся ответственным за организацию и проведение радиационного мониторинга окружающей среды (почва, воздух, поверхностные и подземные воды) и оценку метео- и гидрологических параметров;
- 3) Министерство сельского хозяйства и продовольствия — мониторинг загрязненности сельскохозяйственной продукции;
- 4) Министерство здравоохранения отвечает за проведение мониторинга пищевых продуктов и питьевой воды и оценку доз облучения населения на основе результатов мониторинга, выполняемого всеми участниками. Таким образом Министерство здравоохранения осуществляет конечную оценку результатов мониторинга.

Для контроля радиационной обстановки окружающей среды в зоне Белорусской АЭС используется автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО), которая включает пункты радиационного контроля (ПРК). Разновидностью ПРК является автоматический пункт измерений (АПИ). Базовый комплекс АСКРО, состоящий из 3 АПИ, обеспечивает получение информации о мощности дозы гамма-излучения в зоне воздействия Белорусской АЭС в целях дальнейшего их использования в качестве «фоновых». ПРК могут иметь фильтровентиляционные установки, воздуходувки, использовать планшеты, спектрометры, системы метеоконтроля (например, автоматические). АПИ должны быть оснащены:

- 1) датчиками измерения мощности дозы;
- 2) датчиками измерения метеопараметров;
- 3) спектрометрическими датчиками для идентификации отдельных радионуклидов.

Радиационно-гигиенический мониторинг — это система комплексного длительного наблюдения и оценки параметров радиационной и санитарно-гигиенической обстановки среды обитания человека, оценки доз облучения и интерпретации полученных результатов.

Государственный санитарный надзор по разделу радиационной гигиены проводится:

- 1) структурными подразделениями ЦГЭ по радиационной гигиене;
- 2) врачами-гигиенистами из числа сотрудников отдела гигиены;
- 3) специалистами подразделений (групп) радиационного контроля лабораторных отделов.

Основные задачи госнадзора по разделу радиационной гигиены:

- 1) надзор за соблюдением законодательства в области обеспечения радиационной безопасности;

2) подготовка и внесение в установленном порядке в соответствующие государственные органы управления предложений по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия в области радиационной безопасности;

3) реализация мер по профилактике заболеваний путем предупреждения, обнаружения и пресечения нарушения санитарно-эпидемиологического законодательства в области обеспечения радиационной безопасности;

4) осуществление государственной санитарно-гигиенической экспертизы по вопросам радиационной гигиены;

5) государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование в области обеспечения радиационной безопасности;

6) рассмотрение в установленном порядке вопросов охраны здоровья населения в связи с воздействием на человека ионизирующего излучения;

7) организация и проведение радиационно-гигиенического мониторинга за содержанием радионуклидов в пищевых продуктах, питьевой воде, других объектах среды обитания человека;

8) информирование населения о радиационной обстановке и мерах по обеспечению радиационной безопасности;

9) участие в мероприятиях отраслевой системы ГСЧС и ГО.

Лабораторная работа

РАСЧЕТ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ И ОНКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИИ НА ЧАЭС, С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ RESRAD-ONSITE

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо **освоить** методику расчета доз и онкологических рисков с помощью программы RESRAD-ONSITE и **выполнить** расчет дозовых нагрузок для населения за счет внешнего облучения; расчет дозовых нагрузок для населения за счет внутреннего облучения; прогноз пожизненных онкологических рисков.

Расчет доз и онкологических рисков с помощью программы RESRAD-ONSITE осуществляется с учетом радиоэкологической обстановки и с использованием значений параметров, установленных пользователем. В программе предусмотрен выбор следующих путей воздействия для расчетов дозовых нагрузок:

- внешнее облучение от находящихся в почве радионуклидов;
- внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радионуклидов;
- внутреннее облучение от случайного попадания радионуклидов почвы в ЖКТ (например, с продуктами питания);

- внутреннее облучение по пищевым цепочкам (потребление растительных продуктов, выращенных на загрязненной почве, употребление молока и молочных продуктов, а также мясных изделий);
- употребление загрязненной питьевой воды из скважины или открытых водоемов, прилегающих к зараженному участку;
- потребление продуктов из загрязненного водоема;
- вдыхание радона, испускаемого загрязненной почвой.

Исходная информация, необходимая для расчета, включает характеристики загрязнения, свойства почвы, метеорологические, гидрологические и гидрогеологические данные, а также схему облучения объекта.

Моделирование с помощью RESRAD-ONSITE предусматривает радиологический распад, а также накопление и перенос нуклидов в окружающей среде, разделение и разбавление, которые регулируются принципом сохранения массы с течением времени. По существу, все исходные параметры, используемые для расчета, могут быть указаны пользователем; поэтому пользователь может контролировать уровень консервативности каждого расчета и применять программу RESRAD-ONSITE для скрининга.

ВНИМАНИЕ! Для корректной работы программы Resrad необходимо убедиться, что дата/время и математические параметры переключены на американскую метрическую систему. Для этого необходимо зайти в раздел: «Пуск» – «Панель управления» – «Часы, язык, регион» – «Изменение форматов даты, времени и чисел» (Язык и региональные стандарты). Затем на вкладке «Форматы» выбрать в выпадающем меню формат «Английский (США)».

Исходные данные по загрязнению территории предоставляются ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» в виде таблиц формата Excel. В этой таблице указывается точная информация о населенном пункте (название, статус, область, район, сельсовет) и площадная активность нуклида в нем (табл. 16).

Таблица 16

Площадная активность Sr-90 в населенных пунктах Гомельской области

Область	Район	Сельсовет	Статус	Название н. п.	A_{Sr-90} , Ки/км ²
Гомельская	Брагинский	Асаревичский	Деревня	Асаревичи	0,52
Гомельская	Брагинский	Остроглядовский	Деревня	Бакуны	1,18
Гомельская	Брагинский	Новоиюлчанский	Деревня	Березки	0,78
Гомельская	Брагинский	Маложинский	Деревня	Бересневка	0,59

Перед началом прогнозирования площадную активность радионуклидов необходимо перевести в дозу. Для этого используется формула Гавшина:

$$P = A \cdot d \cdot h \cdot 107,$$

где P — площадная активность в Ки/км²;

A — дозовая нагрузка, пКи/г;

d — объемный вес пробы, г/см³;

h — глубина ячейки параллелепипеда отбираемой пробы, см.

Так как величины d и h являются постоянными, то формулу можно максимально упростить: для перехода от площадной активности к дозе необходимо величину активности умножить на 3,7.

После этого необходимо открыть программу Resrad. По завершению загрузки программы появится приветственное окно, закрыть которое можно, нажав клавишу ОК (рис. 17).

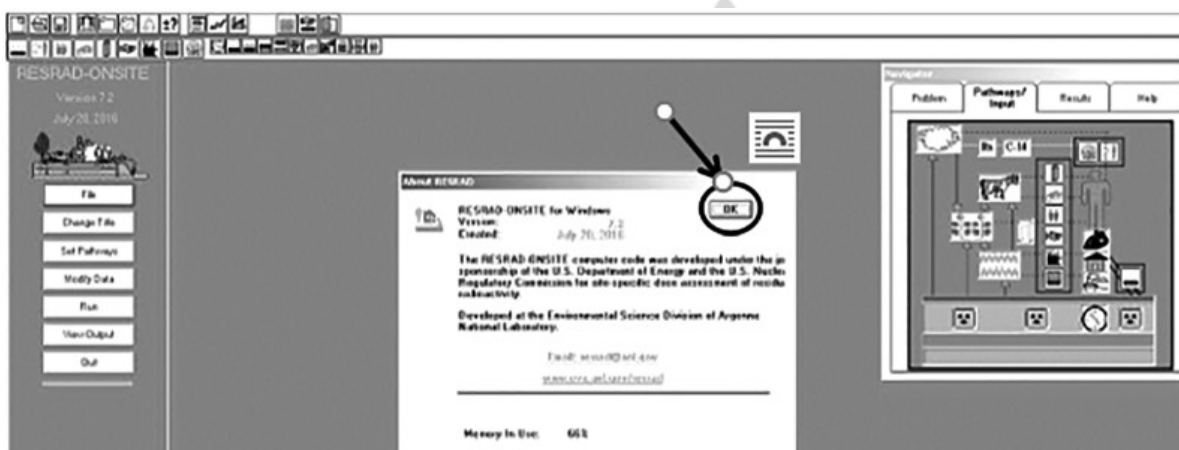


Рис. 17. Приветственное окно программы Resrad Onsite. Стрелкой обозначена кнопка начала работы

Для корректной работы программы производятся стартовые настройки: площадь загрязнения населенного пункта 150 000 м² для деревни и 2 000 000 м² для города; плотность почвы загрязненного слоя — 1,35 г/см³; потребление овощей и картофеля — 163 кг/год; потребление молочных продуктов — 260 кг/год; потребление мяса — 91 кг/год. Для загрузки готовых настроек можно нажать на клавиатуре сочетание клавиш Ctrl + O латинской раскладки или Ctrl + Щ русской раскладки. В открывшемся окне выбрать файл НАСТРОЙКА.RAD и двойным щелчком левой клавиши мыши открыть его. Далее необходимо нажать клавишу «Modify Data» (левая часть диалогового окна), а в новом диалоговом окне — кнопку «Contaminated Zone» (рис. 18).



Рис. 18. Последовательный выбор пунктов «Modify Data»-«Contaminated Zone» для редактирования параметров загрязнения территории

В открывшемся окне необходимо изменить параметр глубины залегания радионуклида (вторая строчка, «Thickness of contaminated zone»). Для Цезия-137 необходимо установить параметр 0,2 м, для Sr-90 1,5 м (рис. 19).

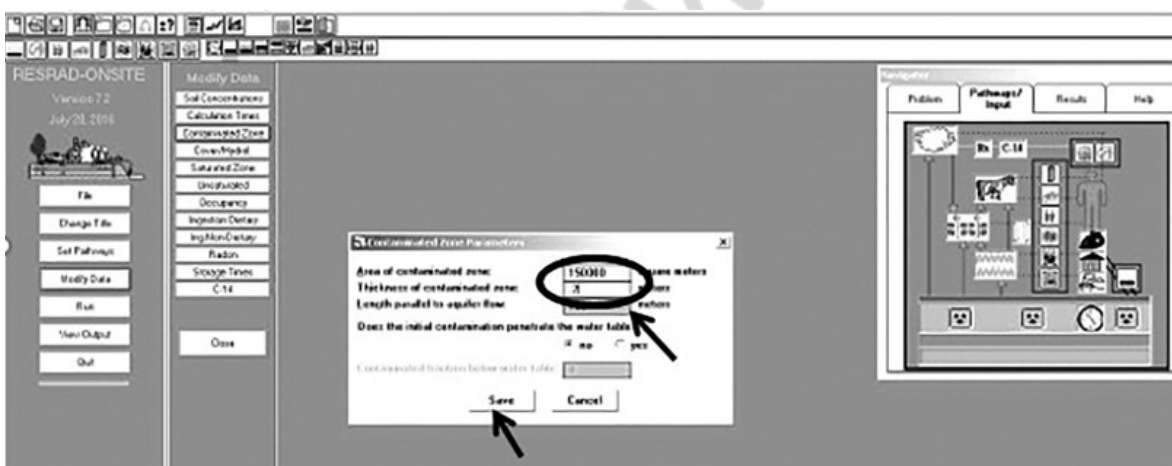


Рис. 19. Редактирование параметров глубины залегания нуклида и площади загрязнения

ВНИМАНИЕ! Ввод данных необходимо производить при английской раскладке клавиатуры! Разделителем десятичных знаков является точка! По умолчанию ноль перед точкой не вводится.

В поле «Area of contaminated zone» необходимо ввести соответствующий данному типу населенного пункта площадь загрязнения согласно представленным выше данным. После изменения параметра глубины залегания необходимо нажать клавишу Save.

Следующий этап настройки — временные рамки (рис. 20).

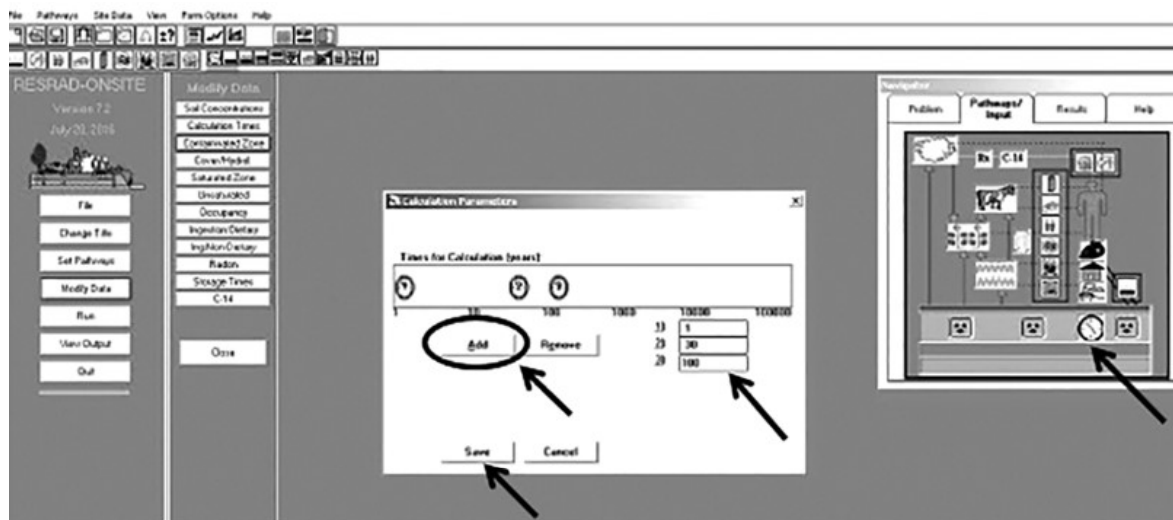


Рис. 20. Этап настройки

Принимается решение о том, на какой отрезок или отрезки времени нужно составить прогноз. Для этого следует нажать левой клавишей мыши на рисунок часов в правой части экрана. В появившемся диалоговом окне можно выставить параметры времени в годах. При нажатии кнопки Add можно добавить еще один или несколько параметров расчета во времени. Например, врача интересует радиоэкологическая ситуация в городе N через 1, 30 и 100 лет. Для этого необходимо вписать в диалоговое окно цифру 1, нажать клавишу Add и вписать цифру 30, вновь нажать клавишу Add и вписать цифру 100. Удаление производится стиранием ненужного числового значения или нажатием кнопки «Remove» при нахождении курсора на этом значении. После редактирования необходимо нажать клавишу Save.

На этом настройка программы завершена. Для выполнения прогноза необходимо левой клавишей мыши нажать на желто-черный значок радиационной опасности (любой из трех в правой части экрана, рис. 21). В появившемся диалоговом окне из списка справа выбрать интересующий вас нуклид двойным нажатием левой клавиши мыши. Нуклид можно и удалить из выбранных. Для этого однократно нажмите на него левой клавишей мыши в левой части диалогового окна, а затем в центральной части этого же окна — клавишу Delete Nuclide. После выбора нужного нуклида необходимо ввести его активность в центральной строке (pCi/g) и щелкнуть по нуклиду правой клавишей мыши. Результат обновится автоматически.

Возможностями программы предусмотрено выполнение прогноза по нескольким нуклидам одновременно. Второй и последующие нуклиды добавляются аналогично первому. В завершении нажимается клавиша ОК.

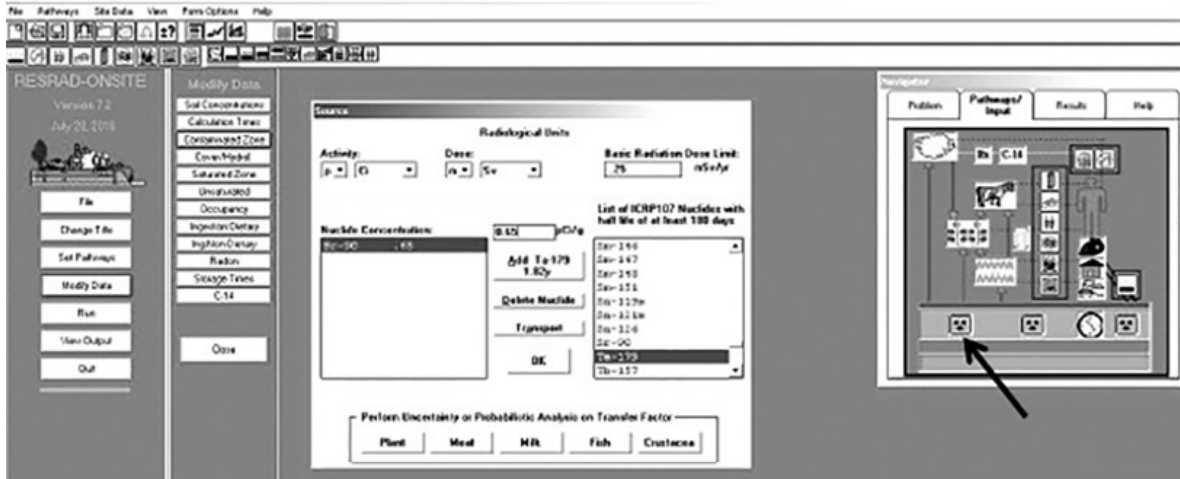


Рис. 21. Ввод данных по активности радионуклида в почве

После ввода исходных параметров для начала выполнения прогноза нажимается клавиша «Run» в левой части экрана. После окончания расчетов появится окно с подробной информацией о прогнозе на нескольких страницах. Наглядную графическую информацию можно найти, если нажать на вкладку «Results», а затем на кнопку «Standard Graphics» (рис. 22).

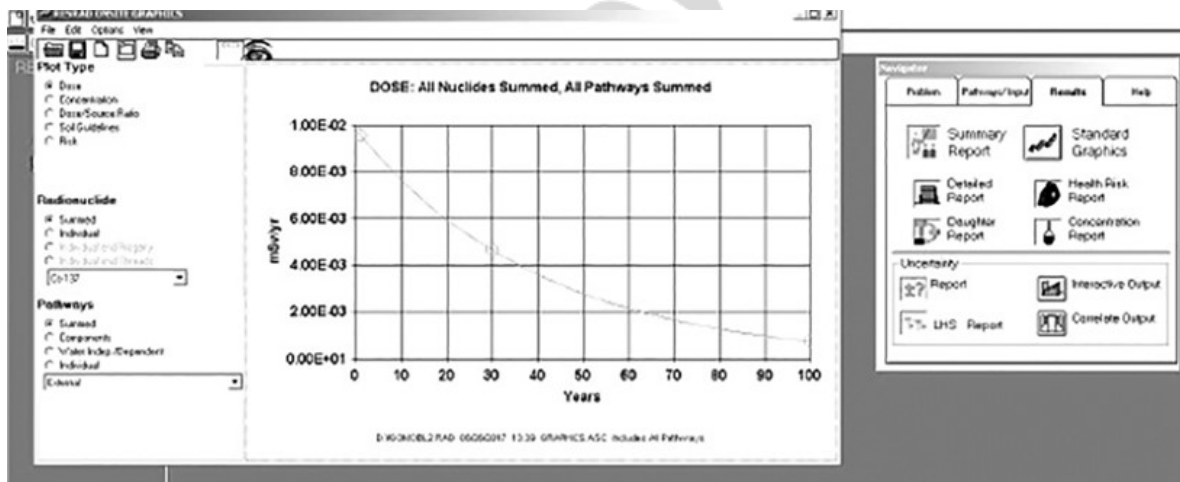


Рис. 22. Просмотр результатов в графической форме

Графическую информацию можно отображать по желаемым компонентам (рис. 23).

Если выбрать режим «Concentration» (1), то программа отобразит изменение активности радионуклида во времени, при выборе режима «Dose» (2) будет показан график изменения дозовых нагрузок, в режиме «Risk» (4) — онкологические риски облучения. Для отображения отдельных компонентов дозовой нагрузки необходимо в разделе «Pathways» выбрать соответствующий параметр: Components (3) — идет отображение дозовых нагрузок за счет

внешнего и компонентов внутреннего облучения. В режиме Risk (4) при этом отображаются пожизненные риски развития онкологических заболеваний у населения от различных компонентов облучения. В режиме «Pathways»-«Individual» можно посмотреть прогноз дозовых нагрузок и рисков облучения по отдельным компонентам (путям) дозовой нагрузки. Данные, представленные графически, можно сохранить в виде таблицы MS Excel при выборе меню «Edit»(5) – «Export to Excel».

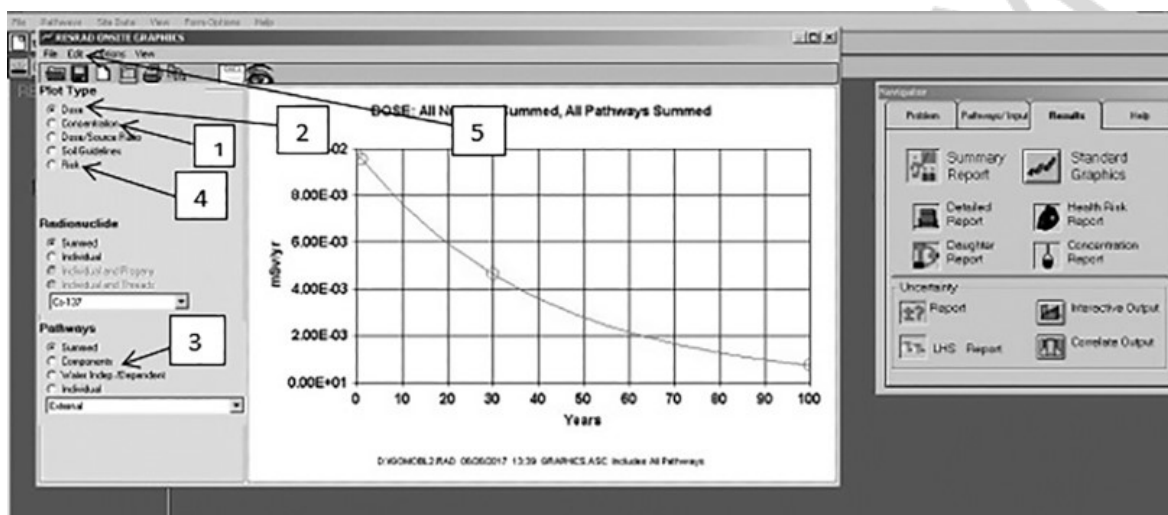


Рис. 23. Выбор вариантов просмотра графической информации

Стоит отметить, что любой график можно экспортировать в программу MS Excel. Таблицы кроме прогнозируемых годов имеют множество промежуточных значений, которые при отсутствии в них необходимости можно удалять из таблицы. В итоге прогноза должно получиться 3 таблицы. Таблица № 1 из графика Concentration содержит данные о суммарной дозе. Таблица № 2 из графика Dose/Components содержит данные о дозе внешнего облучения (External), а также внутреннего облучения за счет молочных продуктов (Milk), мясных продуктов (Meat) и растительных продуктов (Plant). Таблица № 3 из графика Risk показывает пожизненные риски развития онкологических заболеваний.

Задания для самостоятельной работы. По данным таблицы, отражающей загрязнение населенных пунктов, выполнить следующие действия:

Вариант 1. Выполнить прогноз дозовых нагрузок для жителей г. п. Брагин на 2046 и 2076 гг. за счет внешнего облучения по Cs-137.

Вариант 2. Выполнить прогноз пожизненных онкологических рисков для жителей г. п. Дублин на 2046 и 2076 гг. по Cs-137.

Вариант 3. Выполнить прогноз дозы по отдельным компонентам внутреннего облучения на 2046 г. для жителей г. п. Брагин за счет Sr-90.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

1. Радиационный мониторинг проводится с целью:

- а) наблюдения за естественным радиационным фоном;
- б) оценки доз облучения за счет медицинских исследований;
- в) нормирования и стандартизации в области экологического права;
- г) создания реестра индивидуальных доз облучения населения;
- д) выработки подхода к оценке доз облучения персонала БелАЭС.

2. Государственный санитарный надзор по разделу радиационной гигиены проводится:

- а) любыми структурными подразделениями ЦГЭ;
- б) Республиканским центром по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды;
- в) Госатомнадзором;
- г) врачами-гигиенистами из числа сотрудников отдела гигиены;
- д) министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды.

3. Основными задачами государственного санитарного надзора по разделу радиационной гигиены являются:

- а) рассмотрение в установленном порядке вопросов охраны природных сред от радиоактивного загрязнения;
- б) государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование в области обеспечения радиационной безопасности;
- в) проведение биологического мониторинга за радиоактивным загрязнением среды обитания человека;
- г) создание зональных центров радиационно-гигиенического мониторинга;
- д) привлечение лиц к ответственности за нарушение радиационного законодательства.

4. Для выполнения расчетов в программе Resrad используется значение:

- а) площадной активности в пКи/м²;
- б) площадной активности в Ки/км²;
- в) удельной активности в пКи/г;
- г) годовой эффективной дозы в мЗв/год;
- д) годовой эффективной дозы в Зв/год.

5. В программе Resrad невозможно рассчитать:

- а) дозу внешнего облучения;
- б) дозу внутреннего облучения за счет перорального поступления радионуклидов;
- в) суммарную годовую эффективную дозу;
- г) дозу облучения от попавших на кожу радионуклидов;
- д) дозу внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. С. 282–354, 375–380.

Дополнительная

2. Радиационная и экологическая медицина. Лабораторный практикум / под ред. А. Н. Стожарова. Минск : Минфина, 2012. 184 с.

Нормативные документы

3. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении работ в зонах радиоактивного загрязнения», утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 89 от 02.07.2015.

4. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137. Гл. 1–7, 9–12, 14, прил. 1–10.

5. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

6. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213. Прил. 1, 5, 15, 17, 19–21.

**ОТВЕТЫ К ВОПРОСАМ
ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ**

- Глава 1: 1 — г; 2 — а; 3 — а; 4 — б; 5 — с.
Глава 2: 1 — б; 2 — б; 3 — г; 4 — г; 5 — а.
Глава 3: 1 — б; 2 — б; 3 — в; 4 — д; 5 — а.
Глава 4: 1 — б; 2 — д; 3 — б; 4 — а; 5 — в.
Глава 5: 1 — б; 2 — г; 3 — б; 4 — а; 5 — в.
Глава 6: 1 — а; 2 — д; 3 — б; 4 — а; 5 — в.
Глава 7: 1 — а; 2 — б; 3 — б; 4 — в; 5 — в.
Глава 8: 1 — а; 2 — б; 3 — б; 4 — в; 5 — в.
Глава 9: 1 — д; 2 — б; 3 — а; 4 — а; 5 — б.
Глава 10: 1 — а; 2 — с; 3 — б; 4 — в; 5 — б.
Глава 11: 1 — а; 2 — д; 3 — г; 4 — д; 5 — а.
Глава 12: 1 — б; 2 — а; 3 — б; 4 — г; 5 — в.
Глава 13: 1 — а; 2 — г; 3 — б; 4 — в; 5 — г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Радиационная медицина* : учеб. пособие : в 3 ч. / Т. Б. Балтрукова [и др.] ; под ред. С. С. Алексанина, А. Н. Гребенюка. Санкт-Петербург : Политехника сервис, 2013. Ч. 3 : Основы обеспечения радиационной безопасности. 151 с.
2. *Ильин, Л. А.* Радиационная гигиена : учеб. / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Москва : ГЕОТАР-Медиа, 2010. 384 с.
3. *Радиационная и экологическая медицина. Лабораторный практикум* : учеб. пособие для студ. учреждений высшего образования по мед. специальностям / А. Н. Стожаров [и др.] ; под ред. А. Н. Стожарова. Минск : Минфина, 2012. 184 с.
4. *Радиобиология, радиационная физиология и медицина* : словарь-справочник / В. И. Легеза [и др.]. 3-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург : Фолиант, 2017. 176 с.
5. *Радиационная медицина* : учеб. / А. Н. Стожаров [и др.] ; под ред. А. Н. Стожарова. Минск : Минфина, 2010. 208 с.
6. *Стожаров, А. Н.* Медицинская экология : учеб. пособие / А. Н. Стожаров. Минск : Выш. шк., 2007. С. 342–358.
7. *Радиационно-гигиенический и социально-гигиенический мониторинг в Республике Беларусь* : учеб.-метод. пособие / А. Н. Стожаров [и др.]. Минск : БГМУ, 2017. 20 с.
8. *UNSCEAR. Methodology for estimating human exposures due radioactive discharges.* UNSCEAR, 2016 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2017. 133 p.
9. *UNSCEAR. Radiation exposures from electricity generation.* UNSCEAR, 2016 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2017. P. 135–240.
10. *Научные основы радиационной защиты в современной медицине* / М. И. Балонов [и др.] ; под ред. профессора М. И. Балонова. Санкт-Петербург : НИИРГ имени проф. П. В. Рамзаева, 2019. Т. 1 : Лучевая диагностика. 320 с.
11. *Кутьков, В. А.* Величины в радиационной защите и безопасности / В. А. Кутьков // АНРИ. 2007. № 3. С. 2–25.
12. *Обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республике Беларусь [Электронный ресурс].* Книга 11. Оценка воздействия на окружающую среду. 1588-ПЗ-ОИ4. Часть 8. Отчет об ОВОС. Часть 8.1. Описание АЭС. Пояснительная записка (редакция 06.07.2010 г.). Режим доступа: <https://belaes.by/ru/ekologiya.html>. Дата доступа : 28.10.2020.
13. *ГОСТ ISO/IEC 17043 2013.* Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации. 34 с.
14. *ГОСТ 8.638-2013.* Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения. Москва : Стандартиформ, 2019. 11 с.
15. *ГОСТ ИСО/МЭК 17025 2009.* Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. 62 с.
16. *Об использовании атомной энергии* : закон Респ. Беларусь от 30.07.2008 № 426-З : в ред. законов Респ. Беларусь от 09.11.2009 № 53-З, от 22.12.2011 № 326-З.
17. *О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС* : закон Респ. Беларусь от 26.05.2012 № 385-З.
18. *О радиационной безопасности* : закон Респ. Беларусь от 18.06.2019 № 198-З.

19. *О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения* : закон Респ. Беларусь от 07.01.2012 № 340-З : в ред. законов Республики Беларусь от 05.01.2016 № 355-З, от 30.06.2016 № 387-З.

20. *О единой государственной системе контроля и учета индивидуальных доз облучения* : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 17.06.1999 № 929 : в ред. постановлений Совмина от 27.12.2007 № 1840, от 04.05.2009 № 574.

21. *Публикация* 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите от 2007 г. : пер. с англ / под общ. ред. М. Ф. Киселева, Н. К. Шандалы. Москва : Алана, 2009. 343 с.

22. *Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности» и Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия»* : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 28.12.2012 № 213.

23. *Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения»* : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 31.12.2013 № 137.

24. *О порядке установления и применения граничных доз облучения и референтных уровней* : приказ М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 31.08.2020 № 881.

25. *Санитарные нормы и правила «Гигиеническая классификация условий труда»* : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 28.12.2012 № 211.

26. *Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций»* : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь № 39 от 31.03.2010.

27. *Санитарные нормы и правила 2.6.1.13-55-2005 «Гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики»* : утв. постановлением Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь от 28.12.2005 г. № 273 с изм. и доп. : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 18 июня 2007 г. № 56.

28. *Санитарные нормы и правила 2.6.2.11-4-2005 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения»* : утв. постановлением Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь от 1 апреля 2005 г. № 36.

29. *Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при обращении с радиоактивными отходами»* : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 31 декабря 2015 г. № 142.

30. *Нормы и правила по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с источниками ионизирующего излучения»* : постановление М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь от 31.05.2010 № 22, от 21.08.2013 № 37.

31. *Оценка радиационного риска у населения за счет длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах* : методические указания МУ 2.1.10.3014-12. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. 26 с.

32. *Работа органов и учреждений, осуществляющих государственный санитарный надзор, по разделу радиационной гигиены* : Инструкция 2.6.1.10-13-43-2006 : утв. постановлением Гл. гос. сан. врача Республики Беларусь от 22.11.2006 г. № 163.

33. *Санитарные нормы и правила 2.6.1.8-38-2003 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований»*. Минск, 2004. 72 с.

34. *Метод* определения эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенодиагностических процедур : Инструкция по применению : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 08.09.2016, рег. № 038-0716.

35. *Организация* и проведение индивидуального дозиметрического контроля в лечебно-профилактических учреждениях : Инструкция 2.6.1.11-11-12-2003.

36. *Определение* индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками ионизирующего излучения : Инструкция 2.6.1.11-8-41-2004 : утв. постановлением Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь от 29.12.2004 г. № 157.

37. *Радиационный* контроль при санитарно-гигиеническом обследовании радиационных объектов : Инструкция 2.6.1.10.11.99-2005 : утв. постановлением Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь от 28.12.2005 г. № 275.

38. МУК Республики Беларусь № 11-8-6-2002 «Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий». Минск, 2002. 22 с.

39. МУК 2.6.1.11-8-3-2003 «Радиационный контроль. Стронций-90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка» : сб. нормативных документов «Радиационная безопасность». Ч. 1.: Минск, 2004. 64 с.

**ПРИМЕРНАЯ ФОРМА АКТА ОБСЛЕДОВАНИЯ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ
РАБОТ И УСЛУГ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ОПАСНОСТЬ
ДЛЯ ЖИЗНИ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ
(АКТ ОБСЛЕДОВАНИЯ РЕНТГЕНКАБИНЕТА)**

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«**ЗДОРОВЬЯ**» 220013, г. _____
(адрес учреждения)

**АКТ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ САНИТАРНО-
ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ РАБОТ И УСЛУГ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ
ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ ЖИЗНИ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ**

Дата _____

(Ф.И.О., должность лица, проводившего обследование)

Наименование субъекта:

(название юридического лица, Ф.И.О. индивидуального предпринимателя)

(адрес, телефон/факс)

На основании заявления _____

от «___» _____ 20__ г. № _____

Цель: Проведение государственной санитарно-гигиенической экспертизы работ и услуг, представляющих потенциальную опасность для жизни и здоровья населения – деятельность в области здравоохранения, в части применения _____

В присутствии _____

1. Основные данные:

1.2 Ф.И.О. и должность лица, ответственного за радиационную безопасность:

Ф.И.О. _____

Должность _____

Приказ _____

Специальное обучение по вопросам обеспечения РБ с оценкой знаний _____

1.3 Ф.И.О. и должность лица, ответственного за контроль за обеспечением радиационной безопасности: _____
ФИО _____
Должность _____
Приказ _____
Специальное обучение по вопросам обеспечения РБ с оценкой знаний _____

1.4 Ф.И.О. и должность лица, ответственного за учет и хранение рентгеновских аппаратов: _____
ФИО _____
Должность _____
Приказ _____

1.5 Ф.И.О. и должность лица, ответственного за техническое состояние ИИИ: _____
ФИО _____
Должность _____
Приказ _____

1.6 Приказ об отнесении работающих лиц к персоналу _____

2. Документация

2.1 Санитарный паспорт на право работы с источниками ионизирующего излучения действителен до _____

2.2 Эксплуатационная документация на рентгеновский аппарат (установку) на одном из государственных языков _____

2.3 Технический паспорт на рентгеновский кабинет (указать срок действия) _____

2.4 Протокол контроля эксплуатационных параметров аппарата _____

2.5 Протоколы испытаний индивидуальных и передвижных средств радиационной защиты _____

2.6 Акт проверки эффективности вентиляции _____

2.7 Акт испытания устройства защитного заземления с указанием сопротивления растекания тока основных заземлителей _____

2.8 Инструкция по радиационной безопасности при работе с рентгеновской аппаратурой _____

2.9 План мероприятий по защите персонала и населения в случае радиационной аварии _____

2.10 Порядок проведения контроля за обеспечением радиационной безопасности _____

2.11 Инструкция по действиям персонала в аварийных ситуациях _____

2.12 Система радиационного контроля _____

2.13 Контролируемые параметры воздействия радиационного фактора _____

2.14 Приходно-расходный журнал учета источников ионизирующего излучения _____

2.15 Радиационно-гигиенический паспорт пользователя ИИИ _____

2.16 Контрольно-технический журнал _____

2.17 Протокол проверки знаний правил радиационной безопасности _____

2.18 Заключение медицинской комиссии о прохождении персоналом предварительных и периодических медицинских осмотров _____

2.19 Журнал регистрации инструктажа по РБ _____

2.20 Карточки учета индивидуальных доз облучения персонала _____

2.21 Санитарные правила, иные нормативные и инструктивно-методические документы, регламентирующие требования радиационной безопасности _____

Предложения _____

Принятые меры _____

Настоящий акт составлен в 2 экземплярах

И.О.Ф
(подпись должностного лица органа или учреждения, осуществляющих государственный санитарный надзор)

И.О.Ф
(подпись должностного лица об ознакомлении и получении 1 экземпляра настоящего акта)

**ПРИМЕР АКТА ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ РАБОТ И УСЛУГ,
ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ОПАСНОСТЬ
ДЛЯ ЖИЗНИ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ
(АКТ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЛАБОРАТОРИИ РАДИОИЗОТОПНОЙ ДИАГНОСТИКИ)**

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**

(название, адрес, телефон)

**АКТ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ САНИТАРНО-
ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ РАБОТ И УСЛУГ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ
ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ ЖИЗНИ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ**

Дата _____

(Ф.И.О., должность лица, проводившего обследование)
Наименование субъекта:

(название юридического лица, Ф.И.О. индивидуального предпринимателя)

(адрес, телефон/факс)

На основании заявления _____
(название юридического лица, Ф.И.О. индивидуального предпринимателя)
от «___» _____ г. № _____

Цель: Проведение государственной санитарно-гигиенической экспертизы работ и услуг, представляющих потенциальную опасность для жизни и здоровья населения – деятельность в области здравоохранения, в части применения открытых радионуклидов в изотопной лаборатории _____

В присутствии _____

Основные данные

Лаборатория радионуклидной диагностики расположена в отдельном здании на 1 этаже, помещения скомпонованы в виде блока. Состав помещений: гамма-камера, пультовая, генераторная, процедурная, хранилище для радиоактивных отходов, туалет для пациентов, санпропускник (состав санпропускника – душевые, гардеробная спецодежды, помещение для хранения СИЗ, пункт радиометрического контроля кожных покровов и спецодежды, кладовая грязной спецодежды, кладовая чистой спецодежды, туалетная комната), комната ожидания для больных, три кабинета для персонала, туалет для персонала.

Помещения лаборатории имеют удовлетворительное санитарно-техническое состояние. На дверях указано назначение помещений, класс проводимых работ, знак радиационной опасности. Технологические операции по подготовке радиофармацевтических препаратов к введению в организм пациентов проводятся в шкафу лабораторном защитном модель _____, на лотках и поддонах из слабо сорбирующих материалов, дно закрывается слоем фильтровальной бумаги.

Генератор технеция находится в шкафу лабораторном защитном модель _____. Лаборатория обеспечена аварийными комплектами, рабочий инвентарь имеет маркировку. Радиоактивные отходы в конце рабочего дня сдаются в хранилище РАО, мешок с радиоактивными отходами имеет этикетку с указанием типа радионуклида, даты поступления на хранение и даты удаления после выдержки на радиоактивный распад.

В лаборатории проводится диагностика радионуклидная *in vivo*, активность генератора радионуклидов технеция-99 _____ МБк, общее количество (активность) в год

___ Бк. Санитарный паспорт на право работы с ИИИ № __/__, срок действия до ___ г.; технический паспорт № ____, действителен до _____ г. Заказ-заявка на поставку ИИИ в ___ году согласована (дата) № ____.

Приходно-расходный журнал учета генераторов короткоживущих радионуклидов (последний генератор получен _____ г.), журнал приготовления рабочих радиофармацевтических растворов, журнал введения радиофармпрепаратов пациентам, журнал радиоактивных отходов ведутся. Генератор выдается ответственному лицу по требованию на выдачу радиоактивных веществ с разрешения руководителя _____ (название учреждения)

Расходование радиофармпрепаратов оформляется внутренними актами, утвержденными руководителем _____ (название учреждения).

Для проведения радиационного контроля используются: (название прибора, заводской номер), свидетельство о поверке № ____, действительно до _____ г., калибратор (название) свидетельство о поверке № ____, действительно до _____ г.

Контролируемые параметры воздействия радиационного фактора согласованы _____ г.

Система радиационного контроля для обеспечения радиационной безопасности в _____ (название учреждения) согласована и утверждена _____ г. Радиационный контроль за

обеспечением радиационной безопасности проводится в соответствии с системой радиационного контроля в (название учреждения) и планом схемой замеров МЭД в лаборатории. Результаты замеров регистрируются в журнале радиационного дозиметрического контроля, журнале учета бета-загрязненности у персонала.

Для обеспечения радиационной безопасности при проведении радионуклидных исследований используются средства радиационной защиты пациентов и персонала. Средства радиационной защиты прошли контроль защитной эффективности (протокол испытаний № ____ от _____ г. _____) (название учреждения, проводившего контроль).

Листы учета дозовых нагрузок пациентов при исследованиях ведутся и вклеиваются в историю болезни пациентов. Медицинское облучение пациентов проводится по назначению врача-специалиста и с письменного согласия пациентов.

Контроль за нерадиационными факторами в кабинетах проводится в установленные сроки - не реже одного раза в два года. Представлены: технический отчет № ____ от _____ г. электрофизических испытаний электрооборудования с протоколами проверки соединений заземлителей с заземляемыми элементами; технический отчет по результатам обследования, испытания и паспортизации вентиляционных установок, акт № ____ от _____ г. обследования кратности воздухообмена в помещениях изотопной лаборатории.

Приказом (название учреждения) от _____ г. № ____ определен список работников, отнесенных к категории «персонал», всего ____ человек. Приказом от ___ г. № ____ назначены: ответственный за контроль за обеспечением радиационной безопасности по (название учреждения) – (должность, Ф.И.О.), ответственный за радиационную безопасность в изотопной лаборатории – врача радионуклидной диагностики (заведующего изотопной лабораторией) Ф.И.О., ответственный за осуществление радиационного контроля – инженер по радиационной безопасности Ф.И.О. Специалисты прошли подготовку по вопросам обеспечения радиационной безопасности (свидетельства № ____ от _____ г., № ____ от _____ г., № ____ от _____ г. _____), также проверку знаний _____ (название учреждения, проводившего подготовку)

законодательства в области радиационной безопасности (протоколы № ____ от _____ г., № ____ от _____ г., № ____ от _____ г.).

Приказом от ____ г. № ____ назначен ответственный за получение, учет, хранение открытых ИИИ, получение РФП – (должность, Ф.И.О.).

Проверка знаний персонала по радиационной безопасности проводится ежегодно. Приказом (название учреждения) от ____ г. № ____ создана комиссия по проверке знаний персонала по радиационной безопасности, протокол проверки знаний с зачетом от ____ г.

Инструктаж по радиационной безопасности персонала, работающего с ИИИ, проводится ежеквартально и учитывается в соответствующем журнале, последний повторный инструктаж проведен ____ г. Медицинский осмотр персонал проходит ежегодно, акт периодического медосмотра с ____ г. по ____ г. Персонал обеспечен средствами индивидуального дозиметрического контроля. Индивидуальный дозиметрический контроль организован по договору с (Название учреждения), проводится ежеквартально, карточки учета индивидуальных доз внешнего облучения лиц, работающих с ИИИ, ведутся по установленной форме.

Радиационно-гигиенический паспорт пользователя ИИИ за ____ год согласован с ГУ (название ЦГЭ).

В целях обеспечения радиационной безопасности в (название учреждения) разработаны и утверждены (указать дату): план мероприятий по защите персонала и населения в случае радиационной аварии, порядок проведения контроля за обеспечением радиационной безопасности, инструкция по радиационной безопасности при работе с ИИИ в изотопной лаборатории, инструкция по действиям персонала в аварийных ситуациях в изотопной лаборатории, категория потенциальной опасности, схема обращения с радиоактивными отходами. Указанные документы согласованы с органом госсаннадзора. Разработаны и утверждены референтные уровни (дата), граничные дозы (дата), программа контроля качества при использовании РФП (дата).

Необходимыми ТНПА по радиационной безопасности изотопная лаборатория обеспечена.

Предложения

Принятые меры

Настоящий акт составлен в 2 экземплярах

И.О.Ф
(подпись должностного лица органа или учреждения, осуществляющих государственный санитарный надзор)

И.О.Ф
(подпись должностного лица об ознакомлении и получении 1 экземпляра настоящего акта)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	3
Введение	4
Глава 1. Государственный санитарный надзор в области радиационной гигиены. Нормативное правовое обеспечение организации государственного санитарного надзора в области радиационной гигиены.....	5
Глава 2. Государственный санитарный надзор за объектами, применяющими закрытые источники ионизирующего излучения	16
Глава 3. Государственный санитарный надзор за объектами, применяющими открытые источники ионизирующего излучения.....	22
Глава 4. Государственный санитарный надзор в области радиационной гигиены. Радиационно-гигиеническая оценка предприятий угольной теплоэнергетики	28
Глава 5. Государственный санитарный надзор в области радиационной гигиены. Оценка риска воздействия на здоровье населения радиоактивных выбросов от газовых теплоэлектростанций	38
Глава 6. Государственный санитарный надзор в области радиационной гигиены. Радиационно-гигиеническая оценка предприятий ядерной энергетики в условиях штатной эксплуатации реакторов большой мощности канальных.....	43
Глава 7. Государственный санитарный надзор в области радиационной гигиены. Радиационно-гигиеническая оценка предприятий ядерной энергетики в условиях штатной эксплуатации водо-водяных энергетических реакторов	50
Глава 8. Государственный санитарный надзор в области радиационной гигиены. Радиационно-гигиеническая оценка локально и регионально распространяющихся биогенных радионуклидов (С-14 и Н-3).....	56
Глава 9. Методические и инструментальные подходы к анализу радиоактивного загрязнения среды обитания человека.....	62
Глава 10. Обеспечение радиационной безопасности населения при воздействии природных источников ионизирующего излучения.....	71

Глава 11. Радиационно-гигиенический мониторинг. Методические подходы к оценке избыточного пожизненного радиационного риска среди различных категорий населения.....	80
Глава 12. Радиационно-гигиенический мониторинг. Оценка избыточного пожизненного риска онкологических заболеваний и прогноз стохастических эффектов среди различных категорий населения за счет радиоактивных выбросов.....	91
Глава 13. Радиационно-гигиенический мониторинг на территориях, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции.....	97
Ответы к вопросам для самоконтроля усвоения темы.....	111
Список использованной литературы.....	112
Приложение 1	115
Приложение 2	118

Учебное издание

Стожаров Александр Николаевич
Квиткевич Людмила Александровна
Шевчук Лариса Михайловна и др.

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

Пособие

Ответственный за выпуск А. Р. Аветисов
Компьютерная вёрстка О. В. Лавникович

Подписано в печать 24.08.21. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Хероx office».
Ризография. Гарнитура «Times».
Усл. печ. л. 7,21. Уч.-изд. л. 6,11. Тираж 40 экз. Заказ 441.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный медицинский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/187 от 18.02.2014.
Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.

ISBN 978-985-21-0891-1



9 789852 108911