

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 546.296:539.16.04(476)

ЧЕХОВСКИЙ
Артур Леонидович

**ОЦЕНКА РАДОНОВОЙ ОПАСНОСТИ
ПО КОСВЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ РАДОНА
(НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ БЕЛАРУСИ)**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук
по специальности 03.01.01 – радиобиология

Минск, 2017

Работа выполнена в Учреждении образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Научный руководитель – **Чунихин Леонид Александрович**,
кандидат биологических наук, доцент,
старший научный сотрудник лаборатории
моделирования и минимизации антропогенных рисков
ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси»

Официальные оппоненты: **Стожаров Александр Николаевич**,
доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой радиационной
медицины и экологии УО «Белорусский
государственный медицинский университет»

Власова Наталья Генриховна,
доктор биологических наук, доцент,
заведующая лабораторией радиационной защиты
ГУ «Республиканский научно-практический
центр радиационной медицины и экологии человека»

Оппонирующая организация – Республиканское научно-исследовательское
унитарное предприятие «Институт радиологии»

Защита состоится «31» января 2018 г. в 14.30 на заседании совета по защите
диссертаций Д 02.01.22 при Белорусском государственном университете по адресу:
220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 8 юридический факультет, ауд. 407.

Телефон ученого секретаря: +375(17)209-55-58; e-mail: nlysukha@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского
государственного университета

Автореферат разослан « » декабря 2017 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат технических наук, доцент

Н.А. Лысухо

ВВЕДЕНИЕ

Естественный радиоактивный газ радон постоянно поступает из почвы в жилые здания и становится источником облучения населения. Точное определение объемной активности радона является сложной задачей, требующей существенных временных и финансовых затрат. Учитывая, что распределение радона по территории носит, как правило, неравномерный характер, появляется необходимость проведения первоочередных исследований на территориях, где значения объемной активности радона в жилых зданиях больше, чем в среднем по стране.

Дозы облучения от естественных радионуклидов, представленных в основном радоном, важны при сравнительном анализе последствий радиационных аварий или штатной деятельности предприятий ядерно-топливного цикла. Это особенно актуально для территории Республики Беларусь в связи с последствиями аварии на Чернобыльской АЭС и предстоящим введением в эксплуатацию первой белорусской АЭС РУП «Белорусская атомная электростанция». В связи с этим актуальной является оценка существующей радиационной обстановки и ее прогнозирование с учетом основных источников радиационного воздействия.

Оценка уровней облучения радоном населения Республики Беларусь требует проведения масштабных исследований. В условиях ограниченных ресурсов и времени имеется необходимость разработать методический подход по оценке так называемых критических зон радоноопасности. Критическая зона радоноопасности, по определению Публикации № 65 Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), – это территория, на которой в 1 % жилых зданий объемная активность радона в 10 раз превышает среднее республиканское значение.

Необходимо отметить, что с ростом значений объемной активности радона наблюдается увеличение количества заболеваний раком легкого, вследствие облучения радоном и его дочерними продуктами распада, что и определяется как радоновая опасность. При объемных активностях радона более 400 Бк/м^3 количество заболеваний раком легкого является существенным и требует проведения противорадиационных мероприятий.

Определенные пути решения указанных проблем разработаны за рубежом, но их применение требует углубленной оценки с учетом экологических, региональных особенностей и нормативных правовых актов Республики Беларусь.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами.

Исследования, результаты которых использовались в диссертации, проводились по договору о сотрудничестве между УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» и ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований–Сосны НАН Беларуси» в рамках Задания 3.3.07. «Проведение комплексных исследований природных источников ионизирующих излучений, обусловленных радоном–222. Оценка доз радиоактивного облучения населения Беларуси в различных регионах в обеспечение Закона Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии» (№ гос. регистрации 20160839).

Научно-исследовательская работа, выполняемая в рамках диссертации, поддерживалась грантом Министерства образования Республики Беларусь «Картирование радонового риска на территории Республики Беларусь по косвенным показателям радона» (№ гос. регистрации 20163911).

Цель и задачи исследования. Целью настоящей диссертационной работы являлась оценка радоновой опасности по косвенным показателям радона и определение средних годовых эффективных доз облучения населения от радона и его дочерних продуктов распада для Гомельской, Могилевской и Витебской областей Республики Беларусь.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

– обосновать использование косвенных показателей, оказывающих влияние на объемную активность радона в жилых зданиях, совокупность которых представляет собой комплексный радоновый показатель для оценки радоновой опасности;

– провести расчет ожидаемых значений объемной активности радона в жилых зданиях по модели комплексного радонового показателя;

– определить принадлежность исследуемых населенных пунктов к критической зоне радоноопасности;

– рассчитать значения средних годовых эффективных доз облучения населения от радона и его дочерних продуктов распада в жилых зданиях на исследуемых территориях Республики Беларусь с использованием моделей МКРЗ и Национального комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН).

Объект исследования: объемная активность радона в жилых зданиях и комплексный радоновый показатель на территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей.

Предмет исследования: зависимость объемной активности радона в жилых зданиях от значений комплексного радонового показателя, а также метод определения критических зон радоноопасности по объемной активности радона.

Научная новизна. Впервые предложен комплексный радоновый показатель, позволяющий оценить ожидаемые значения объемной активности радона в жилых зданиях, отнести населенные пункты к критической зоне радоноопасности, рассчитать средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его дочерних продуктов распада.

Впервые предложен новый метод по оценке радоновой опасности территории с использованием комплексного радонового показателя.

Впервые составлена картосхема комплексного радонового показателя и картосхема объемной активности радона в жилых зданиях исследуемых территорий Республики Беларусь.

Впервые на основе комплексного радонового показателя, моделей МКРЗ и НКДАР ООН оценены средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его дочерние продукты распада в жилых зданиях на исследуемых территориях Республики Беларусь.

Положения, выносимые на защиту:

1. Комплексный радоновый показатель как критерий оценки радоновой опасности территории, представленный совокупностью косвенных факторов, оказывающих влияние на объемную активность радона в жилых зданиях.

2. Модель определения объемной активности радона в жилых зданиях по комплексному радоновому показателю. При отсутствии или недостатке данных по измерению объемной активности радона в жилых зданиях среднегодовые значения объемной активности радона определяются с помощью комплексного радонового показателя.

3. Модель для оценки принадлежности населенного пункта к критической зоне радоноопасности на основе эталонного распределения значений объемной активности радона. Сопоставив значение 99 %-ого квантиля распределения объемной активности радона в населенном пункте с десятикратным среднереспубликанским уровнем определяется принадлежность населенного пункта к критической зоне радоноопасности.

Личный вклад соискателя. Постановка цели и задач исследования, интерпретация результатов, подготовка к публикации работ осуществлялись совместно с научным руководителем – кандидатом биологических наук, доцентом Л.А. Чунихиным.

Выбор объектов (жилых зданий, населенных пунктов) для получения экспериментального материала; участие в проведении измерений объемной

активности радона и статистическая обработка данных; выполнение анализа и обобщение полученных экспериментальных результатов; освоение компьютерных программ для построения тематических картосхем исследуемых показателей; разработка методического подхода по оценке радоновой опасности территории, включая определение значений комплексного радонового показателя, объемной активности радона в жилых зданиях и расчет средних годовых эффективных доз облучения населения от радона и его дочерние продукты распада, проводился лично соискателем.

Данные по измерению объемной активности радона в жилых зданиях на территории Республики Беларусь были получены в ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований–Сосны НАН Беларуси» (г. Минск, проведенных под руководством кандидата технических наук И.В. Жука). При содействии специалистов ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований–Сосны НАН Беларуси» соискателем были проведены собственные измерения объемной активности радона и обработка экспериментального материала на базе лаборатории №13 «Ядерно-физических исследований и экспертных анализов радиоактивных материалов», за что соискатель выражает благодарность.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов.

Результаты диссертационной работы доложены и представлены на международных, республиканских научных конференциях и семинарах: Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы радиационной медицины: от науки к практике» (Гомель, Республика Беларусь, 2014 г.); VI, VII, VIII Республиканская научно-практическая конференция с международным участием «Проблемы и перспективы развития современной медицины» (Гомель, Республика Беларусь, 2014 г., 2015 г., 2016 г.); VI научная конференция «Физические методы в экологии, биологии и медицине» (Львов-Ворохта, Украина, 2015 г.); VII съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность) (Москва, Россия, 2014 г.); Республиканская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы медицины» (Гомель, Республика Беларусь, 2015 г.); Юбилейная научно-практическая конференция, посвященная 85-летию Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины (Гомель, Республика Беларусь, 2015 г.); Международная научная конференция «Радиобиология: «Маяк», Чернобыль, Фукусима» (Гомель, Республика Беларусь, 2015 г.); Fourth international conference on radiation and applications in various fields of research (Nis, Serbia, 2016).

Имеются следующие документы о практическом использовании результатов исследования:

– Акт о практическом использовании результатов исследования лабораторией экспериментальных ядерно-физических исследований и экспертных анализов радиоактивных материалов ГНУ «ОИЭЯИ–Сосны», июнь 2016 г.;

– Акт о практическом использовании результатов исследования лабораторией радиационной защиты ГУ «РНПЦ РМЭЧ», январь 2017 г.;

– Акт о практическом использовании результатов исследования отделением радиационной гигиены ГУ «ГОЦГЭОЗ», февраль 2017 г.;

– Акт о практическом использовании результатов исследования Белорусской комплексной геологоразведочной экспедицией ГП «НПЦ по геологии», март 2017 г.

Опубликование результатов диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 34 научных работах, из них 8 – в рецензируемых журналах в соответствии с требованиями пункта 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (5,01 авторского листа) и 11 в сборниках научных трудов; 15 тезисов докладов и материалов конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, перечня сокращений, общей характеристики работы, основной части из пяти глав, заключения, библиографического списка, состоящего из списка использованных источников (включающего 100 наименования, из них 52 на русском, 48 на английском языке), списка публикаций соискателя из 34 наименований, и приложения. Общий объем диссертации составляет 118 страниц, в том числе 17 формул, 15 рисунков и 29 таблиц на 19 страницах, библиографический список на 15 страницах, включая собственные публикации автора, приложение к работе на 6 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Аналитический обзор литературы. В главе представлена общая характеристика радона и его влияние на организм человека. Описаны четыре основных изотопа радона: ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn , ^{218}Rn с периодами полураспада 3,82 дня, 55 сек, 4 сек, 35 мс соответственно. Показано, что наибольший вклад в облучение человека вносит изотоп ^{222}Rn и его дочерние продукты распада, которые определяют примерно 66 % средней годовой эффективной дозы облучения человека от природных радионуклидов.

Проведен анализ исследований ведущих мировых организаций по изучению радона. В цикле публикаций МКРЗ, НКДАР ООН, Национального исследовательского совета США, Всемирной организации здравоохранения, Международного агентства по атомной энергии подчеркивается важность и

актуальность радоновых исследований, и более глубокое изучение влияния радона и его дочерние продукты распада на здоровье человека.

Рассмотрены основные подходы проведения эпидемиологических радоновых исследований: когортные, по принципу случай-контроль, экологические. Наиболее достоверными являются исследования по принципу случай-контроль, в которых было однозначно установлено увеличение риска заболеть раком легкого с ростом значений объемной активности радона в жилых зданиях. Показано, что в среднем абсолютный риск заболеть раком легкого в возрасте до 75 лет при объемных активностях радона 0 Бк/м³, 100 Бк/м³, 200 Бк/м³, 400 Бк/м³ для некурящих равен, соответственно, 0,41 %; 0,47 %; 0,55 %; 0,67 %. Для курильщиков этот риск, соответственно, составляет 10 %, 12 %, 13 %, 16 % (С. Дерби, Д. Хилл).

Изучены особенности проведения исследований по определению объемной активности радона в жилых зданиях. Основными требованиями для получения репрезентативных результатов являются: формирование выборки случайным образом из всего жилого фонда населенного пункта согласно взвешенному количеству зданий с различными конструктивными особенностями. Объем выборки не менее 1 дом из 10000 (для страны) и не менее 20 жилых единиц на исследуемый населенный пункт. Исследование проводится длительный период времени или состоит из серий измерений в холодный и теплый сезон года. Максимально полно документируются характеристика объекта исследования и другие особенности (тип здания, год постройки, наличие и параметры цокольного этажа или подпольного пространства, особенности вентиляции, сезон года и т.д.).

Представлена система оценок и нормирование объемной активности радона в жилых зданиях. В России и Беларуси, согласно действующим нормативным документам, в качестве контролируемой величины принята эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона – взвешенная сумма объемной активности смеси дочерних продуктов распада в воздухе, которая создает такую же эффективную дозу облучения, как и смесь дочерних продуктов распада, находящихся в радиоактивном равновесии с материнским радионуклидом ²²²Rn. ПДК по ЭРОА радона установлены на уровне 200 Бк/м³ в существующих зданиях, и 100 Бк/м³ в проектируемых зданиях (или 400 Бк/м³ и 200 Бк/м³ объемной активности радона соответственно, с учетом коэффициента равновесия F = 0,5).

Показано, что наиболее точной моделью перехода от объемной активности радона к эффективной дозе является модель сопоставления ущерба от экспозиции по скрытой энергии радона с ущербом на единицу эффективной дозы. При этом, значения дозовых коэффициентов перехода от объемной активности радона к эффективной дозе в зависимости от рекомендаций МКРЗ, НКДАР ООН существенно изменялись: от 6,1 до 23 нЗв·ч⁻¹/Бк·м⁻³ ЭРОА радона на количество

часов пребывания в жилом здании. Наиболее точными и широко распространенными моделями являются: модель МКРЗ, предложенная в Публикации № 65, и модель НКДАР ООН, описанная в отчете 2000 г., которые используются в настоящей работе.

Глава 2. Методы исследования. В главе рассмотрена эколого-географическая характеристика территории Гомельской, Могилевской и Витебской области. Почвенно-географическое районирование наиболее полно отражает экологические и геологические особенности территории, поскольку при этом учитываются специфика рельефа, водного режима, характер почвенного покрова территории и т.д. Такой анализ важен для выбора факторов, которые могут обуславливать формирование объемной активности радона. Также проведен анализ классификации территории Республики Беларусь по степени радоновой опасности грунтов. Данная классификация основана на измеренных значениях объемной активности радона в почвенном воздухе различных по составу четвертичных отложений, платформенного чехла и фундамента.

Проведенная оценка почвенно-геологических условий и районирование территории Беларуси по степени радоновой опасности грунтов позволила сделать ряд выводов, указывающих на потенциальные предпосылки (косвенные факторы) радоновой опасности территории.

Описаны методы определения объемной активности радона в жилых зданиях: аспирационные, интегральные, ретроспективные. Как правило, для модельных и широкомасштабных исследований применяют интегральные методы, позволяющие учесть суточные и среднесрочные изменения объемной активности радона. Для исследований в рамках настоящей работы также был выбран интегральный метод измерения, который позволил с высокой точностью определить среднегодовые значения объемной активности радона, а специально оборудованная лаборатория (при ГНУ «ОИЭЯИ–Сосны») с необходимой приборной базой позволила снизить временные и финансовые затраты.

В главе также представлена методика определения объемной активности радона с использованием интегральных радиометров радона, которая разработана специалистами ГНУ «ОИЭЯИ–Сосны» (МВИ. МН 1111-99), метрологически аттестована РУП «Белорусский государственный институт метрологии» и апробирована в исследованиях радона. В ее основе лежит подсчет треков альфа-частиц от радона и его дочерних продуктов распада, образовавшихся на пленочном твердотельном трековом детекторе за длительный период экспонирования интегрального радиометра радона в жилом здании (до 3х месяцев).

Статистическая обработка проводилась с помощью пакетов прикладных компьютерных программ с применением стандартных методов обработки и анализа данных, что способствовало достоверности, точности и воспроизводимости полученных результатов.

Глава 3. Разработка комплексного радонового показателя. Исходя из эколого-географической характеристики и классификации территории Республики Беларусь по степени радоновой опасности грунтов, были выделены косвенные показатели, которые оказывают влияние на объемную активность радона в жилых зданиях: концентрация урана в почвах, мощность дозы дочернобыльского фона, коэффициент фильтрации почвы, глубина залегания водоносного горизонта. Для обоснования применения указанных показателей в качестве критерия для оценки радоновой опасности была рассмотрена их связь с объемной активностью радона в жилых зданиях. Значения исследуемых факторов были получены по литературным источникам и картам. Наибольшая степень связи была показана при использовании произведения указанных факторов, нормированных на их максимальные значения, и выступающих в качестве комплексного радонового показателя.

Расчет комплексного радонового показателя проводился по формуле (1):

$$KPI = M \cdot U \cdot F \cdot W \quad (1)$$

где KPI – значение комплексного радонового показателя, отн. ед.;

M – средневзвешенное значение относительной мощности дозы дочернобыльского фона, отн. ед.;

U – средневзвешенное значение относительной концентрации урана в почве, отн. ед.;

F – средневзвешенное значение относительного коэффициента фильтрации почвы, отн. ед.;

W – средневзвешенное значение относительного уровня залегания водоносного горизонта, отн. ед.

Коэффициент линейной корреляции, указывающий на связь значений комплексного радонового показателя для исследуемых районов Гомельской, Могилевской, Витебской области и среднерайонных значений объемной активности радона, составил $r = 0,81 \pm 0,001$ ($t_{эмп} > t_{ст}$ при $p < 0,05$). Имеет место сильная, прямая, достоверная связь комплексного радонового показателя и объемной активности радона. Зависимость значений объемной активности радона от комплексного радонового показателя представлена на рисунке 1:

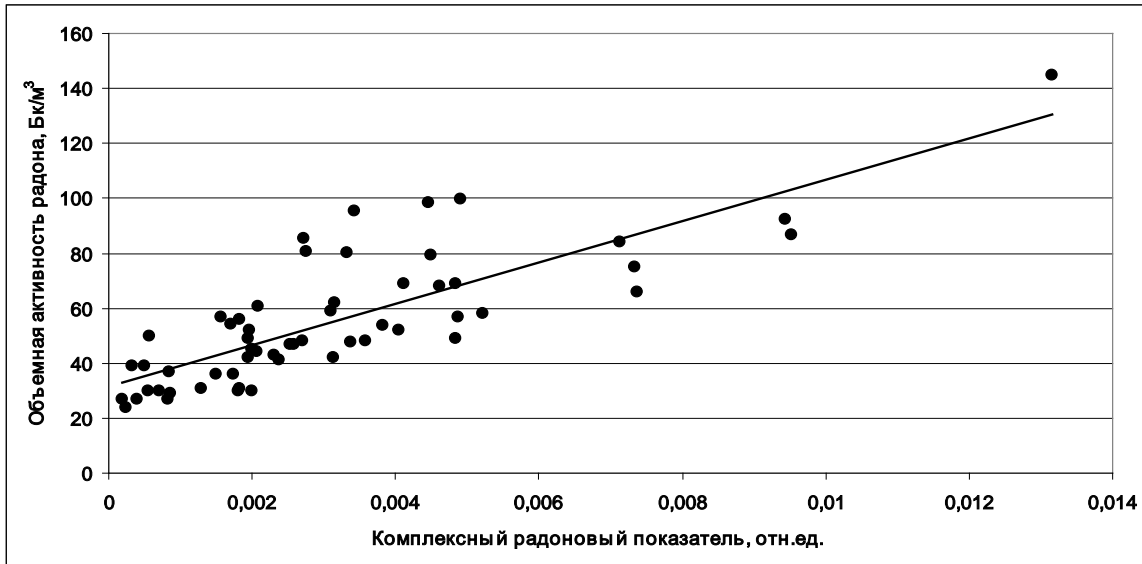


Рисунок 1. – Зависимость значений объемной активности радона от комплексного радонового показателя

При разработке комплексного радонового показателя проведен анализ моделей наиболее точно и достоверно описывающих значения объемной активности радона в жилых зданиях. Показано, что наиболее точной является линейная модель на основе произведения рассматриваемых факторов (неопределенность модели 34 %). Прочие виды формализации уравнения комплексного радонового показателя (множественная регрессия, криволинейные модели, различные виды уравнения) дают худшие значения коэффициентов корреляции (r), детерминации (r^2) и повышают неопределенность модели ввиду большей ошибки моделирования по сравнению с линейной моделью.

Проведен анализ вклада косвенных показателей в формирование объемной активности радона в жилых зданиях. Наибольший вклад вносят факторы: концентрации урана в почвах (U) и мощность дозы дочернобыльского фона (M) – по 19 %. Вклад факторов коэффициента фильтрации почвы (F) и уровня залегания водоносного горизонта (W) в формирование объемной активности радона составляет 17 % и 11 % соответственно. 34 % не описывается уравнением комплексного радонового показателя (неопределенность модели).

При анализе и сопоставлении измерений объемной активности радона в жилых зданиях и значений факторов, обуславливающих объемную активность радона, а также их сочетания в виде комплексного радонового показателя, показана общая тенденция полученных результатов. Картирование территории по значениям комплексного радонового показателя и объемной активности радона в жилых зданиях является схожим, что подчеркивает возможность применения комплексного радонового показателя как основного критерия для оценки радоновой опасности территории.

Согласно расчетам комплексного радонового показателя показано, что наиболее неблагоприятная радоновая обстановка наблюдается для Могилевской области – в Горецком (0,014 отн. ед.), Шкловском (0,017 отн. ед.), районах; для Витебской области – в Шарковщинском (0,018 отн. ед.), Глубокском (0,015 отн. ед.) районах. Районы Гомельской области имеют меньшие значения комплексного радонового показателя и характеризуются низким уровнем потенциальной радоновой опасности.

Глава 4. Методический подход к определению критических зон радоноопасности. В главе представлен методический подход по оценке радоновой опасности, который включает в себя следующие этапы: определение значений косвенных показателей, влияющих на объемную активность радона; их нормирование на максимальные значения; расчет комплексного радонового показателя; переход от комплексного радонового показателя через уравнение линейной регрессии к объемной активности радона; определение принадлежности населенного пункта к критической зоне радоноопасности; сопоставление объемной активности радона с нормативными величинами; определение средних годовых эффективных доз облучения населения от радона и его дочерних продуктов распада (последние 2 этапа представлены отдельно в главе 5).

Учитывая, что между комплексным радоновым показателем и объемной активностью радона в жилых зданиях имеется сильная прямая корреляционная связь – при отсутствии или недостатке данных по измерению объемной активности радона в жилых зданиях среднегодовые значения объемной активности радона определяются с помощью комплексного радонового показателя по уравнению линейной регрессии (2):

$$OA_{Rn} = 6200 \cdot KPII + 40 \quad (2)$$

где OA_{Rn} – значение объемной активности радона, Бк/м³;

$KPII$ – комплексный радоновый показатель, отн. ед.

При проведении дисперсионного анализе достоверных различий между экспериментальными измерениями и модельными расчетами объемной активности радона по уравнению линейной регрессии во всех случаях обнаружено не было ($F_{эпм} < F_{крит}$ при $p > 0,05$).

Первостепенное значение имеет определение критических зон радоноопасности, где объемная активность радона в жилых зданиях ожидается выше средних значений по стране. Согласно Публикации № 65 МКРЗ: «радоноопасная зона может быть определена как зона, в которой около 1 % жилищ имеют концентрацию радона в 10 раз превышающую среднее национальное

значение». Исходя из этого, определив значение 99%-ого квантиля распределения объемной активности радона в населенном пункте (1 % с наибольшей объемной активности радона) и сравнив его с десятикратным среднереспубликанским значением объемной активности радона, можно определить принадлежность данного населенного пункта к критической зоне радоноопасности.

Для модельного определения 99 %-ого квантиля распределения значений объемной активности радона в населенном пункте рассчитаны параметры эталонного распределения значений объемной активности радона, сформированного на основе наиболее представительных данных по измерению объемной активности радона на территории Республики Беларусь (отвечающих требованиям для радоновых исследований, описанных в главе 1). Согласно эталонному распределению значение 99 %-ого квантиля распределения объемной активности радона (210 Бк/м^3) в 3 раз больше среднего арифметического значения объемной активности радона по населенному пункту (70 Бк/м^3). При анализе параметров распределений в отдельных населенных пунктах указанное соотношение находилось в интервале от 2,9 до 3,3 и не имело достоверных различий от соотношения эталонного распределения ($F_{\text{эпм}} < F_{\text{крит}}$ при $p > 0,05$).

Таким образом, измерив среднее значение объемной активности радона по населенному пункту или рассчитав его по комплексному радоновому показателю с помощью уравнения линейной регрессии (2), определялось значение 99 %-ого квантиля объемной активности радона в населенном пункте по формуле (3):

$$P_{99} = OA_{\text{српн}} \cdot 3 \quad (3)$$

где P_{99} – значение 99 %-ого квантиля объемной активности радона в населенном пункте, Бк/м^3 ;

$OA_{\text{српн}}$ – среднее значение объемной активности радона по населенному пункту, Бк/м^3 .

По данным многолетних измерений среднегодовых значений объемной активности радона в жилых зданиях населенных пунктов Республики Беларусь, выполненных в ГНУ «ОИЭЯИ–Сосны» среднереспубликанское значение составляет 40 Бк/м^3 . Таким образом, в случае превышения значением 99 %-ого квантиля распределения объемной активности радона в населенном пункте десятикратного среднереспубликанского уровня (400 Бк/м^3) – населенный пункт относится к критической зоне радоноопасности ($P_{99} > OA_{\text{срРБ}} \cdot 10 = 400 \text{ Бк/м}^3$) и требует проведения полномасштабных измерений объемной активности радона в жилых зданиях.

Согласно представленному подходу была проведена оценка радоновой опасности для Лиозненского, Сенненского (Витебская область), Шкловского (Могилевская область), Житковичского (Гомельская область) районов с проведением экспериментальных измерений объемной активности радона в жилых зданиях для верификации представленной модели. Исследуемые населенные пункты располагались относительно равномерно на территории района, содержали не менее 100 дворовых хозяйств. В каждом населенном пункте проводилось не менее 20 измерений объемной активности радона в жилых зданиях. Жилые здания в пределах населенного пункта выбирались таким образом, чтобы располагаться равномерно по территории населенного пункта, пропорционально типам строений в жилищном фонде.

Для исследования на территории Лиозненского района были выбраны 6 населенных пунктов (Высочаны, Горелики, Добромысли, Крынки, Новое Село, Перемонт), где была проведена оценка радоновой опасности и выполнены измерения объемной активности радона в жилых зданиях. Значения комплексного радонового показателя для исследуемых населенных пунктов указывают на низкий уровень потенциальной радоновой опасности. Полученные модельные значения (среднее 74 Бк/м^3) соответствуют экспериментальным измерениям объемной активности радона (среднее 75 Бк/м^3) в жилых зданиях согласно дисперсионному анализу ($F_{\text{эпм}} = 0,0049 < F_{\text{крит}} = 4,96$ при $p > 0,05$). Значения 99 %-ого квантиля распределения объемной активности радона в исследуемых населенных пунктах не превышают десятикратное среднереспубликанское значение объемной активности радона ($P_{99} < OA_{\text{срРБ}} \cdot 10 = 400 \text{ Бк/м}^3$). Исследуемые населенные пункты не относятся к критической зоне радоноопасности.

Аналогичным образом были проведены исследования на территории Сенненского района в 12 населенных пунктах (Богданово, Ульяновичи, Большой озерек, Поженьки, Ходцы, Новоселки, Белая Липа, Липно, Мошканы, Константово, Кругляны, Новая Оболь). Полученные модельные значения (среднее 92 Бк/м^3) соответствуют экспериментальным измерениям объемной активности радона (среднее 104 Бк/м^3) в жилых зданиях согласно дисперсионному анализу ($F_{\text{эпм}} = 0,34 < F_{\text{крит}} = 4,3$ при $p > 0,05$). Значение 99 %-ого квантиля распределения объемной активности радона превышает десятикратное среднереспубликанское значение ($P_{99} > OA_{\text{срРБ}} \cdot 10 = 400 \text{ Бк/м}^3$) для населенных пунктов Ульяновичи, Поженьки, Ходцы и составляет 468 Бк/м^3 . Указанные населенные пункты относятся к критической зоне радоноопасности и нуждаются в полномасштабных исследованиях объемной активности радона в жилых зданиях.

Исследования по оценке радоновой обстановки были проведены для Шкловского района в 6 населенных пунктах (Шклов, Забродье, Староселье, Говяды, Толкачи, Заречье). Полученные модельные значения (среднее 171 Бк/м^3) соответствуют экспериментальным измерениям объемной активности радона (среднее 167 Бк/м^3) в жилых зданиях согласно дисперсионному анализу ($F_{\text{эпм}} = 0,0466 < F_{\text{крит}} = 4,96$ при $p > 0,05$). Значение 99 %-ого квантиля распределения объемной активности радона во всех исследуемых населенных пунктах превышает десятикратное среднереспубликанское значение объемной активности радона ($P_{99} > OA_{\text{срРБ}} \cdot 10 = 400 \text{ Бк/м}^3$) и составляет от 429 Бк/м^3 до 576 Бк/м^3 . Указанные населенные пункты имеют неблагоприятную радоновую обстановку и относятся к критической зоне радоноопасности.

Для исследования на территории Житковичского района были выбраны 6 населенных пунктах (Житковичи, Туров, Люденевичи, Рудня, Гребень, Кольно). Полученные модельные значения (среднее 41 Бк/м^3) соответствуют экспериментальным измерениям объемной активности радона (среднее 39 Бк/м^3) в жилых зданиях согласно дисперсионному анализу ($F_{\text{эпм}} = 0,776 < F_{\text{крит}} = 4,96$ при $p > 0,05$). Значения 99 %-ого квантиля распределения объемной активности радона в исследуемых населенных пунктах не превышают десятикратное среднереспубликанское значение ($P_{99} < OA_{\text{срРБ}} \cdot 10 = 400 \text{ Бк/м}^3$) – исследуемые населенные пункты не относятся к критической зоне радоноопасности.

Определение радоновой опасности территории по комплексному радоновому показателю учитывает ряд косвенных факторов, оказывающих влияние на объемную активность радона. С помощью комплексного радонового показателя можно рассчитать ожидаемые среднегодовые значения объемной активности радона в жилых зданиях, что особенно актуально в случае отсутствия или недостатка данных по измерению объемной активности радона. Рассчитав значение 99 %-ого квантиля распределения объемной активности радона в населенном пункте и сопоставив его с десятикратным среднереспубликанским уровнем, можно определить принадлежность населенного пункта к критической зоне радоноопасности.

Глава 5. Дозиметрические характеристики радона и его дочерних продуктов распада. Для Республики Беларусь в качестве показателя для нормирования принята ЭРОА радона, ПДК которой установлено на уровне 100 Бк/м^3 в проектируемых и 200 Бк/м^3 в существующих зданиях. При этом ЭРОА радона, как правило, рассчитывается из объемной активности радона с использованием коэффициента равновесия $F = 0,5$. Данное значение было использовано при обработке собственных результатов измерения объемной активности радона и результатов исследований, проведенных ГНУ «ОИЭЯИ–Сосны».

Средние значения ЭРОА по районам Гомельской области находятся в интервале 17–29 Бк/м³. Более 100 Бк/м³ отмечено в 2,9 % обследованных жилых зданий. Средние значения ЭРОА по районам Могилевской области составляют 22–73 Бк/м³. Отмечены высокие значения ЭРОА района, особенно в северных регионах: Шкловском (73 Бк/м³), Горецком (65 Бк/м³) районах. Значения ЭРОА района более 100 Бк/м³ отмечены в 12,2 % обследованных жилых зданий, ЭРОА района более 200 Бк/м³ определяются почти в 3 % жилых зданий. Средние значения ЭРОА по районам Витебской области составляют 22–76 Бк/м³. Высокие значения ЭРОА района регистрируются по всей территории области: Глубокский (67 Бк/м³), Россонский (54 Бк/м³), Толочинский (60 Бк/м³), Шумилинский (51 Бк/м³), и особенно Шарковщинский (76 Бк/м³) район. Значения ЭРОА района более 100 Бк/м³ отмечены в 14,8 % обследованных жилых зданий, более 200 Бк/м³ ЭРОА района определяются почти в 3,8 % жилых зданий.

Для оценки средних годовых эффективных доз облучения населения от радона и его дочерних продуктов распада использовались две наиболее распространенные модели перехода от объемной активности радона к эффективной дозе: модель МКРЗ (Публикации № 65) и модель НКДАР ООН (Отчет 2000 года). Обе модели основаны на прямом сопоставлении ущерба от единицы экспозиции радона с единицей эффективной дозы при внешнем облучении. Дозовые коэффициенты моделей имеют значения: 0,017 мЗв/Бк·м³ объемной активности радона (МКРЗ) и 0,028 мЗв/Бк·м³ объемной активности радона (НКДАР ООН).

На территории Гомельской области регистрируются значения годовых эффективных доз облучения населения радоном и его дочерними продуктами распада в пределах 0,7–1,2 мЗв, в среднем около 0,85 мЗв (МКРЗ) и 1,1–1,9 мЗв, в среднем 1,4 мЗв (НКДАР ООН). На территории Могилевской области показаны значения годовых эффективных доз облучения населения радоном и его дочерними продуктами распада в пределах 0,9–3 мЗв, в среднем около 1,6 мЗв (МКРЗ) и 1,4–4,9 мЗв, в среднем 2,6 мЗв (НКДАР ООН), что почти в полтора раза больше, чем на территории Гомельской области. На севере области определяются высокие значениями эффективных доз облучения от радона и его дочерних продуктов распада, в особенности на территории Шкловского 3,0 мЗв (МКРЗ) и 4,9 мЗв (НКДАР ООН); Горецкого 2,6 мЗв (МКРЗ) и 4,3 мЗв (НКДАР ООН) районов. На территории Витебской области регистрируются значения годовых эффективных доз облучения населения радоном и его дочерними продуктами распада в пределах 1,0–3,1 мЗв, в среднем 1,8 мЗв (МКРЗ) и 1,5–5,1 мЗв, в среднем 2,9 мЗв (НКДАР ООН). Высокие значения эффективных доз облучения от радона наблюдаются на территории Шарковщинского 3,1 мЗв (МКРЗ) и 5,1 мЗв (НКДАР ООН); Глубокского 2,7 мЗв (МКРЗ) и 4,4 мЗв (НКДАР ООН) районов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Определены косвенные показатели, оказывающие влияние на объемную активность радона в жилых зданиях: мощность дозы дочерноблыльского фона, концентрация урана в почвах, коэффициент фильтрации почвы, глубина залегания водоносного горизонта. Произведение указанных факторов, нормированных на их максимальные значения, представляет собой комплексный радоновый показатель, который является критерием для оценки радоновой опасности: $KPP = M \cdot U \cdot F \cdot W$. Комплексный радоновый показатель имеет высокую степень корреляции со значениями объемной активности радона в жилых зданиях ($r = 0,81 \pm 0,001$; $t_{эмп} > t_{крит}$ при $p < 0,05$) [1, 5, 8–11, 13–18, 21–25, 33, 34].

2. Разработана модель определения объемной активности радона в жилых зданиях по комплексному радоновому показателю. Согласно модели при отсутствии или недостатке данных по измерению объемной активности радона в жилых зданиях среднегодовые значения определяются с помощью комплексного радонового показателя по уравнению линейной регрессии: $OA_{Rn} = 6200 KPP + 40$. Дисперсионный анализ показал отсутствие достоверных различий между модельными расчетами и экспериментальными измерениями объемной активности радона (во всех случаях $F_{эмп} < F_{крит}$ при $p > 0,05$) [2, 4–8, 17, 19, 26, 28, 31, 32].

3. Рассчитаны параметры эталонного распределения значений объемной активности радона в населенном пункте. Согласно эталонному распределению значение 99 %-ого квантиля распределения объемной активности радона (210 Бк/м^3) в 3 раз больше среднего арифметического значения объемной активности радона в населенном пункте (70 Бк/м^3). Данное соотношение для различных населенных пунктов находится в интервале от 2,9 до 3,3 и не имеет достоверных различий от соотношения эталонного распределения (во всех случаях $F_{эмп} < F_{крит}$ при $p > 0,05$). В случае превышения значением 99 %-ого квантиля распределения объемной активности радона десятикратного среднереспубликанского значения (400 Бк/м^3) населенный пункт относится к критической зоне радоноопасности [1, 3, 6, 7, 10, 11, 16, 25–31, 33].

4. Согласно моделям МКРЗ и НКДАР ООН значения средних годовых эффективных доз облучения населения от радона и его дочерних продуктов распада на территории Витебской области составляют 1,0–3,1 мЗв, в среднем 1,8 мЗв (МКРЗ) и 1,5–5,1 мЗв, в среднем 2,9 мЗв (НКДАР ООН), что несколько выше значений Могилевской области: 0,9–3,0 мЗв, в среднем около 1,6 мЗв (МКРЗ) и 1,4–4,9 мЗв, в среднем 2,6 мЗв (НКДАР ООН), и значительно выше, чем на территории Гомельской области: 0,7–1,2 мЗв, в среднем около 0,85 мЗв (МКРЗ) и 1,1–1,9 мЗв, в среднем 1,4 мЗв (НКДАР ООН) [3, 12, 20, 25, 27, 29, 30].

5. Исследования по оценке радоноопасности территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей свидетельствуют о том, что наиболее неблагоприятная радоновая обстановка наблюдается в Витебской области – в Шарковщинском, Глубокском районах; в Могилевской области – в Шкловском, Горечком районах. Для этих районов фиксируются значения комплексного радонового показателя более 0,01 отн. ед., среднерайонные значения объемной активности радона находятся в пределах 100–150 Бк/м³ и средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его дочерних продуктов распада более 3,5 мЗв. На примере Шкловского района показана потенциальная критическая зона радоноопасности, где значения 99 %-ого квантиля распределения объемной активности радона в исследуемых населенных пунктах превышают десятикратное среднереспубликанское значение объемной активности радона [1–8].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Представленный методический подход по оценке радоновой опасности способствует формированию качественного процесса исследования. Определение географического положения критических зон радоноопасности является важным, т.к. позволяет без проведения дорогостоящих, длительных, широкомасштабных исследований сконцентрировать внимание на территориях, где это наиболее необходимо. Такой подход дает основу для проведения небольших по масштабу и затратам эффективных противорадиационных мероприятий на территориях с неблагоприятной радоновой обстановкой, а также может быть использован при проведении инженерно-геофизических изысканий, при проектировании и строительстве жилых и общественных зданий. Результаты исследований внедрены в:

ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований–Сосны НАН Беларуси» для формирования базы данных измерений объемной активности радона в помещениях зданий населенных пунктов Республики Беларусь (акт о практическом использовании результатов исследования от 17 июня 2016 г.);

ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» для оценки и структуры дозы облучения населения Беларуси от основных источников ионизирующего излучения в отдаленный период аварии на Чернобыльской АЭС (акт о практическом использовании результатов исследования от 18 января 2017 г.);

ГУ «Гомельский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» для оценки объемной активности радона в жилых зданиях, а также для оценки принадлежности населенных пунктов к критической зоне радоноопасности (акт о практическом использовании результатов исследования от 16 февраля 2017 г.).

ГП «Научно-производственный центр по геологии» для оценки радоновой опасности территории и определения географического положения критических зон радоноопасности по комплексному радоновому показателю (акт о практическом использовании результатов исследования от 17 марта 2017 г.).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи в научных изданиях,
включенных в перечень ВАК Республики Беларусь*

1. **Чеховский, А.Л.** Обоснование применения компонентов радонового показателя для картирования радонового потенциала / **А.Л. Чеховский** // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2014. – № 6 (87). – С. 100–106.
2. Чунихин, Л.А. Картирование и оценка радоновой обстановки Гомельской, Могилевской и Витебской областей / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – № 3 (90). – С. 71–76.
3. Радон и дочерние продукты распада в воздухе зданий на территории Беларуси / А.К. Карабанов, А.В. Матвеев, Л.А. Чунихин, Д.Н. Дроздов, **А.Л. Чеховский**, И.В. Жук, О.И. Ярошевич, М.В. Конопелько // Природопользование. – Минск: СтройМедиаПроект, 2015. – Вып. 27. – С. 49–53.
4. Карта радонового риска Беларуси / А.К. Карабанов, Л.А. Чунихин, Д.Н. Дроздов, **А.Л. Чеховский**, И.В. Жук, О.И. Ярошевич, М.В. Конопелько // Природные ресурсы. – Минск: РУП «НПЦ по геологии», 2015. – № 2. – С. 73–78.
5. **Чеховский, А.Л.** Определение критических зон радоноопасности по методу комплексного радонового показателя и картированию радонового риска / **А.Л. Чеховский** // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – № 6 (93). – С. 46–52.
6. Чунихин, Л.А. Карта радоновой опасности территории Республики Беларусь / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Радиационная гигиена. – СПб: НИИРГ, 2016. – Т. 9. – № 4. – С. 43–46.
7. **Чеховский, А.Л.** Картирование территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей по комплексному радоновому показателю и объемной активности радона в жилых зданиях / **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Радиация и риск. – М.: МРНЦ им. А.Ф. Цыба, 2016. – Т. 25. – № 4. – С. 126–136.
8. Чунихин, Л.А. Методический подход по оценке радоновой опасности территории / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // АНРИ. – М.: НПП «Доза», 2017. – № 1 (88). – С. 50–54.

Статьи в зарубежных научных изданиях

9. Chunihin, L. Analysis of factors as of radon index example of Vitebsk region / L. Chunihin, **A. Chehovskii**, D. Drozdov // ISJ Theoretical & Applied Science: ISPC Integration of Science & Education (Sweden, Gothenburg, 30.03.2014) / ed.: A. Shevtsov [et al.]. – Gothenburg: T&AS, 2014. – № 3 (11). – P. 86–90.

10. Chunihin, L. Optimization approach to assessing radon hazard territory of the Republic of Belarus / L. Chunihin, **A. Chehovskii**, D. Drozdov // ISJ Theoretical & Applied Science: ISPC European Innovation (France, Martigues, 30.09.2014) / ed.: A. Shevtsov [et al.]. – Martigues: T&AS, 2014. – 9 (17). – P. 85–88.

11. Chunihin, L. Methods of evaluation of radon danger area and the identification of critical zones radon hazard / L. Chunihin, **A. Chehovskii**, D. Drozdov // ISJ Theoretical & Applied Science: ISPC Technological advances (USA, Philadelphia, 30.03.2016) / ed.: A. Shevtsov [et al.]. – Philadelphia: T&AS, 2016 – 3 (35). – P. 107–112.

12. **Chehovskii, A.** Annual effective doses to public from radon in Gomel region / **A. Chehovskii** // ISJ Theoretical & Applied Science: ISPC Global Applied Research (USA, Harrisburg, 30.09.2016) / ed.: A. Shevtsov [et al.]. – Harrisburg: T&AS, 2016. – 9 (41). – P. 132–137.

Статьи в других научных изданиях

13. **Чеховский, А.Л.** Компоненты радонового показателя для картирования радоноопасности территории / **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Проблемы и перспективы развития современной медицины: сборник научных статей VI Республиканской научно-практической конференции с международным участием студентов и молодых ученых (Гомель, 23–24 апреля 2014 г.) / редкол.: А.Н. Лызиков [и др.]. – Гомель: ГГМУ, 2014. – Том 2. – С. 217–218.

14. **Чеховский, А.Л.** Оценка радоноопасности Гомельской, Могилевской, Витебской области по радоновому показателю / **А.Л. Чеховский** // Проблемы и перспективы развития современной медицины: сборник научных статей VII Республиканской научно-практической конференции с международным участием студентов и молодых ученых (Гомель, 23–24 апреля 2015 г.) / редкол.: А.Н. Лызиков [и др.]. – Гомель: ГГМУ, 2015. – С. 128–130.

15. **Чеховский, А.Л.** Факторы радонового показателя для определения радоноопасности территории / **А.Л. Чеховский** // Актуальные проблемы медицины: сборник научных статей Республиканской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 25-летию основания учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» (Гомель, 5-6 ноября 2015 г.) / редкол.: А.Н. Лызиков [и др.]. – Гомель: ГГМУ, 2015. – С. 1053–1055.

16. Чунихин, Л.А. Комплексный радоновый показатель для картирования радонового риска на территории Гомельской и Могилевской области / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Актуальные проблемы медицины: сборник научных статей Республиканской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 25-летию основания учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» (Гомель, 5-6 ноября 2015 г.) / редкол.: А.Н. Лызиков [и др.]. – Гомель: ГГМУ, 2015. – С. 1060–1062.

17. Чунихин, Л.А. Карта концентрации радона в помещениях зданий на территории Республики Беларусь / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Актуальные проблемы медицины: сборник научных статей Республиканской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 25-летию основания учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» (Гомель, 5-6 ноября 2015 г.) / редкол.: А.Н. Лызиков [и др.]. – Гомель: ГГМУ, 2015. – С. 1062–1064.

18. Чунихин, Л.А. Применение некоторых компонентов радонового показателя на примере Витебской области / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Проблемы и перспективы развития современной медицины: сборник научных статей VIII Республиканской научно-практической конференции с международным участием студентов и молодых ученых (Гомель, 28 апреля 2016 г.) / редкол.: А.Н. Лызиков [и др.]. – Гомель: ГГМУ, 2016. – С. 833–835.

19. Чунихин, Л.А. Оценка радоновой обстановки на территории Витебской области / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Проблемы и перспективы развития современной медицины: сборник научных статей VIII Республиканской научно-практической конференции с международным участием студентов и молодых ученых (Гомель, 28 апреля 2016 г.) / редкол.: А.Н. Лызиков [и др.]. – Гомель: ГГМУ, 2016. – С. 835–837.

Материалы конференций

20. **Чеховский, А.Л.** Радон: история, свойства, значение / **А.Л. Чеховский** // Проблемы и перспективы развития науки в начале третьего тысячелетия в странах СНГ: материалы XVIII Международной научно-практической интернет-конференции (Украина, Переяслав-Хмельницкий, 29–30 декабря 2013 г.) / редкол.: В.П. Коцур [и др.]. – Переяслав-Хмельницкий: ГПУ им. Григория Сковороды, 2014. – С. 27–29.

21. Чунихин, Л.А. Анализ факторов комплексного радонового показателя наличия радона в почве / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Современные проблемы радиационной медицины: от науки к практике: материалы Международной научно-практической конференции (Гомель,

11 апреля 2014 г.) / редкол.: А.В. Рожко [и др.]. – Гомель: ГУ «РНПЦ РМЭЧ», 2014. – С. 62–65.

22. Чунихин, Л.А. Анализ факторов радонового показателя на примере Могилевской области / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия: материалы IV международной научно-практической конференции (Россия, Новосибирск, 19–20.09.2014 г.) / редкол.: Б.М. Вершинин [и др.]. – Новосибирск: Educatio, 2014. – С. 58–61.

23. Чунихин, Л.А. Обоснование комплексного применения некоторых косвенных показателей радона для картирования радонового потенциала / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Современные концепции научных исследований: материалы IV Международной научно-практической конференции (Россия, Москва, 26–27 сентября 2014 г.) / редкол.: Т.В. Аркулин [и др.]. – М.: ЕСУ, 2014. – С. 96–98.

24. **Чеховский, А.Л.** Анализ факторов радонового показателя на примере Гомельской области / **А.Л. Чеховский** // Проблемы и перспективы развития науки в начале третьего тысячелетия в странах Европы и Азии: материалы VI международной научно-практической интернет-конференции (Украина, Переяслав-Хмельницкий, 29–30 сентября 2014 г.) / редкол.: В.П. Коцур [и др.]. – Переяслав-Хмельницкий: ГПУ им. Григория Сковороды, 2014. – С. 28–30.

25. **Чеховский, А.Л.** Обзор опасности воздействия радона на человека / **А.Л. Чеховский** // Интеграция мировых научных процессов как основа общественного прогресса: материалы Международных научно-практических конференций ОНТ за сентябрь 2014 года (Россия, Казань, 30 сентября 2014 г.) / редкол.: И.А. Айзикова [и др.]. – Казань: ОНТ, 2014. – С. 325–330.

26. Чунихин, Л.А. Карта концентрации радона в помещениях зданий на территории Республики Беларусь / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Физические методы в экологии, биологии и медицине: материалы VI конференции (Украина, Львов-Ворохта, 17–20 сентября 2015 г.) / редкол.: В.А. Грабовский [и др.]. – Львов: Издательский центр ЛНУ им. Ивана Франка, 2015. – С. 70–73.

27. Дроздов, Д.Н. Республика Беларусь: радиационные последствия чернобыльского загрязнения и наличия радона / Д.Н. Дроздов, Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский** // Физические методы в экологии, биологии и медицине: материалы VI конференции (Украина, Львов-Ворохта, 17–20 сентября 2015 г.) / редкол.: В.А. Грабовский [и др.]. – Львов: Издательский центр ЛНУ им. Ивана Франка, 2015. – С. 73–75.

28. Чунихин, Л.А. Карта радоноопасности Республики Беларусь / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Радиобиология: «Маяк», Чернобыль, Фукусима: материалы международной научной конференции

(Гомель, 24–25 сентября 2015 г.) / редкол.: А.Д. Наумов [и др.]. – Гомель: Ин-т радиологии, 2015. – С. 257–260.

29. Чунихин, Л.А. Радиационная обстановка в Республики Беларусь, обусловленная чернобыльским загрязнением и радоном / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // Радиобиология: «Маяк», Чернобыль, Фукусима: материалы международной научной конференции (Гомель, 24–25 сентября 2015 г.) / редкол.: А.Д. Наумов [и др.]. – Гомель: Ин-т радиологии, 2015. – С. 261–264.

30. Дроздов, Д.Н. Радиационная обстановка в Республике Беларусь, обусловленная чернобыльским загрязнением и радоном / Д.Н. Дроздов, **А.Л. Чеховский**, Л.А. Чунихин // Юбилейная научно-практическая конференция, посвященная 85-летию Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины: материалы в 4 ч. (Гомель, 17 июня 2015 г.) / редкол.: О.М. Демиденко [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – Ч. 4. – С. 187–189.

31. **Чеховский, А.Л.** Картирование и оценка радоновой обстановки на территории Гомельской области / **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов, Л.А. Чунихин // Юбилейная научно-практическая конференция, посвященная 85-летию Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины: материалы в 4 ч. (Гомель, 17 июня 2015 г.) / редкол.: О.М. Демиденко [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – Ч. 4. – С. 231–233.

32. **Чеховский, А.Л.** К вопросу об опасности воздействия радона на организм человека / **А.Л. Чеховский** // Молодежь – науке. 2016.: материалы молодежных научно-практических конференций Псковского государственного университета по итогам научно-исследовательской работы в 2015/2016 учебном году (Россия, Псков, апрель 2016 г.) / редкол.: В.А. Дмитриев [и др.]. – Псков: ПГУ, 2016. – Т. 2. – С. 66–72.

Тезисы докладов

33. Чунихин, Л.А. Анализ компонентов радонового показателя, указывающего на наличие радона в почве / Л.А. Чунихин, **А.Л. Чеховский**, Д.Н. Дроздов // VII Съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность): тезисы докладов (Россия, Москва, 21–24 октября 2014 г.) / редкол.: Н.А. Ясько [и др.]. – М.: РУДН, 2014. – С. 351.

34. Chunikhin, L. Mapping radon risk on territory of Republic of Belarus / L. Chunikhin, **A. Chekhovskii**, D. Drozdov // Fourth International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research (RAD 2016): book of abstracts (Serbia, Nis, 23–27 May 2016) / editor: G. Ristic [et al.]. – Nis: University, Faculty of Electronic Engineering, 2016. – P. 504.

РЭЗЮМЭ

Чахоўскі Артур Леанідавіч

Ацэнка радонай небяспекі па ўскосных паказчыках радону (на прыкладзе ўсходніх абласцей Беларусі)

Ключавыя словы: радон, аб'ёмная актыўнасць, комплексны радонавы паказчык, крытычная зона радонанебяспекі, ускосныя паказчыкі радону, даччыныя прадукты распаду, эфектыўныя дозы апраменення.

Мэта даследвання: ацэнка радонай небяспекі па ўскосных паказчыках радону, здабытак якіх прадстаўлен ў выглядзе комплекснага радонавага паказчыка. Вызначэнне па комплекснаму радонаваму паказчыку сярэдніх гадавых эфектыўных доз апраменення насельніцтва ад радону і яго даччыных прадуктаў распаду для Гомельскай, Магілёўскай і Віцебскай вобласці Рэспублікі Беларусь.

Метады даследвання: метады вызначэння аб'ёмнай актыўнасці радону з выкарыстаннем інтэгральных радыёметраў радону на аснове плёнкавых цвёрдацельных трэкавых дэтэктараў; метады ацэнкі радонай небяспекі па комплекснаму радонаваму паказчыку.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: прапанаваны метады па ацэнцы радонай небяспекі тэрыторыі з выкарыстаннем комплекснага радонавага паказчыка, які дазваляе ацаніць чаканыя значэнні аб'ёмнай актыўнасці радону ў жылых будынках, аднесці населены пункт да крытычнай зоны радонай небяспекі, разлічыць сярэднія гадавыя эфектыўныя дозы апраменення насельніцтва ад радону і яго даччыных прадуктаў распаду. Складзена картасхема комплекснага радонавага паказчыка і картасхема аб'ёмнай актыўнасці радону ў жылых будынках на тэрыторыі Гомельскай, Магілёўскай і Віцебскай абласцей.

Рэкамендацыі па выкарыстанню: ужыванне ў інжынерна-геафізічных пошуках, пры праектаванні і будаўніцтве жылых і грамацкіх будынкаў. Аптымізацыя радоновых даследванняў. Пабудова больш складаных мадэляў па ацэнцы радонай небяспекі. Вынікі дысертацыі ўкаранёны ў ДНУ «АІЭЯД–Сосны»; ДУ «РНПЦ РМЭЧ»; ДУ «ГАЦГЭГЗ»; ДП «НВЦ па геалогіі».

Галіна выкарыстання: даследванне і маніторынг аб'ёмнай актыўнасці радону ў жылых будынках, ацэнка доз апраменення насельніцтва ад натуральных крыніц радыяцыі, навучальны працэс.

РЕЗЮМЕ

Чеховский Артур Леонидович

Оценка радоновой опасности по косвенным показателям радона (на примере восточных областей Беларуси)

Ключевые слова: радон, объемная активность, комплексный радоновый показатель, критическая зона радоноопасности, косвенные показатели радона, дочерние продукты распада, эффективные дозы облучения.

Цель работы: оценка радоновой опасности по косвенным показателям радона, произведение которых представлено в виде комплексного радонового показателя. Определение по комплексному радоновому показателю средних годовых эффективных доз облучения населения от радона и его дочерних продуктов распада для Гомельской, Могилевской и Витебской области Республики Беларусь.

Методы исследования: метод определения объемной активности радона с использованием интегральных радиометров радона на основе пленочных твердотельных трековых детекторов; метод оценки радоновой опасности по комплексному радоновому показателю.

Полученные результаты и их новизна: предложен метод по оценке радоновой опасности территории с использованием комплексного радонового показателя, который позволяет оценить ожидаемые значения объемной активности радона в жилых зданиях, отнести населенный пункт к критической зоне радоноопасности, рассчитать средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его дочерних продуктов распада. Составлена картосхема комплексного радонового показателя и картосхема объемной активности радона в жилых зданиях на территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей.

Рекомендации по использованию: применение в инженерно-геофизических изысканиях, при проектировании и строительстве жилых и общественных зданий. Оптимизация радоновых исследований. Построение более сложных моделей по оценке радоновой опасности. Результаты диссертации внедрены в ГНУ «ОИЭЯИ–Сосны»; ГУ «РНПЦ РМЭЧ»; ГУ «ГОЦГЭОЗ»; ГП «НПЦ по геологии».

Область применения: исследование и мониторинг объемной активности радона в жилых зданиях, оценка доз облучения населения от естественных источников радиации, учебный процесс.

SUMMARY

Chekhovskiy Artur Leonidovich

The assessment of radon danger based on indirect indices of radon (by the example of eastern districts of Belarus)

Key words: radon, volume activity, complex radon index, critical area of radon danger, indirect indices of radon, daughter products of decay, effective irradiation dose.

Purpose of research: the assessment of radon danger based on indirect indices of radon, multiplication of which is represented as a complex radon index. The evaluation of average annual effective irradiation doses of radon and its daughter products of decay for population of Gomel, Mogilev and Vitebsk districts of the Republic of Belarus, are basing on complex radon index.

Research methods: method evaluation of volume radon activity using integrated radon radiometer based on membranous solid tracking detector; method of radon danger assessment based on complex radon index.

Findings and their novelty: suggestion of a method that assess radon danger in the area using complex radon index which allows estimating value of expected volume radon activity in residence buildings, classifying the settlement as a critical zone of radon danger, calculating average annual effective irradiation dose for population from radon and its daughter products of decay. A map chart of complex radon index was developed as well as a map chart of volume radon activity in residence buildings within Gomel, Mogilev and Vitebsk districts.

Implementation recommendations: application in engineering and geophysical investigations, while designing and constructioning residence and public buildings. Optimization of radon investigations. Development of more complex models of radon danger assessment. The results of dissertation are inculcated in SRI «UIENR–Sosni» (State research institution «United institute energy and nuclear research–Sosni»), SI «RARC NMHE» (State institution «Republic applied research center of nuclear medicine and human ecology»), SI «GDCHEPHC» (State institution «Gomel district center of hygiene, epidemiology and public health care»), SE «GR&DC» (State enterprise «Geological research and development center»).

Scope of application: investigation and monitoring of volume radon activity in residence buildings, assessment of irradiation doses for population from natural radiation sources, educational process.