

УДК 699.887.3

ПРОБЛЕМА ПОСТУПЛЕНИЯ РАДОНА В ЖИЛЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ И ПУТИ ПОДАВЛЕНИЯ РАДОНОВОГО РИСКА В ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОМ ДОМЕ

ТИМОШЕНКО Е. А., к. т. н., доц.

Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-05, e-mail: timshenkelenka09121969@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

Аннотация. *Цель.* Анализ природы радона, его соединений и их влияния на человека, источников поступления радона в жилой дом и способов подавления радонового риска являются целями данной статьи. *Изложение основного материала.* Принцип регистрации радона в воздухе основан на регистрации ионов дочерних продуктов распада. Объемная активность радона в воздухе помещений формируется в основном из почвы. Строение и структура земной коры определяют диффузионные процессы атомов радона, их миграционную способность. Важным фактором, уменьшающим поступление радона в помещение, является выбор территории для строительства. Кроме почвы и воздуха источником радона в доме являются строительные материалы. Доза облучения легких от ДПР радона определяется величиной, эквивалентной равновесной объемной активности радона. Основным источником радона в помещениях являются не строительные материалы, а грунт под домом. Изложены основные направления региональных и государственной программ радиационной безопасности Украины. Систематизирован ряд профилактических мер, которые необходимо применять с целью предотвращения возможного радонового накопления в жилом помещении. *Результаты.* Сформулированы проблемы радонового проникновения в жилые помещения. *Практическая значимость.* Проблема радонового проникновения в жилые помещения и радоновой защиты зданий достаточно глубоко и давно исследована многими учеными. Решение задачи уменьшения уровня ионизирующих излучений радионуклидов объектов строительства возможно только на стадии проектирования дома, когда можно разработать и обеспечить комплексное решение повышения радиационного качества выпускаемой продукции, которая удовлетворяет принципам концепции радиационной защиты человека и требованиям ISO-9000. Проектирование и строительство современных экологически безопасных жилых зданий востребовано и актуально в условиях сложных экономических и экологических условий в Украине. Сформулированы факторы, влияющие на вариабельность активностей радона в воздухе экологически безопасных жилых домов Украины.

Ключевые слова: радиационная безопасность; экологически безопасный дом; радоновая опасность; радон и его дочерние продукты распада; эквивалентная равновесная объемная активность радона

ПРОБЛЕМА НАДХОДЖЕННЯ РАДОНУ В ЖИТЛОВІ ПРИМІЩЕННЯ ТА ШЛЯХИ ПРИДУШЕННЯ РАДОНОВОГО РИЗИКУ В ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОМУ БУДИНКУ

ТИМОШЕНКО О. А., к. т. н., доц.

Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-05, e-mail: timshenkelenka09121969@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

Анотація. *Мета.* Аналіз природи радону, його сполук та їх впливу на людину, джерел надходження радону в житловий будинок і способів придушення радонового ризику є цілями даної статті. *Виклад основного матеріалу.* Принцип реєстрації радону в повітрі заснований на реєстрації іонів дочірніх продуктів розпаду. Об'ємна активність радону в повітрі приміщень формується в основному з ґрунту. Будова і структура земної кори визначають дифузійні процеси атомів радону, їх міграційну здатність. Важливим фактором, що зменшує надходження радону в приміщення, є вибір території для будівництва. Крім ґрунту і повітря джерелом радону в будинку є будівельні матеріали. Доза опромінення легених від ДПР радону визначається величиною, еквівалентною рівноважною об'ємної активності радону. Основним джерелом радону у приміщеннях є не будівельні матеріали, а ґрунт під будинком. Викладені основні напрямки регіональних та державної програм радіаційної безпеки України. Систематизовано ряд профілактичних заходів, які необхідно застосовувати з метою запобігання можливого радонового накопичення в житловому приміщенні. *Результати.* Сформульовано проблеми радонового проникнення в житлові приміщення. *Практична значимість.* Проблема радонового проникнення в житлові приміщення і радонового захисту будівель досить глибоко і давно досліджена багатьма вченими. Рішення завдання зменшення рівня іонізуючих випромінювань радіонуклідів об'єктів будівництва можливе тільки на стадії проектування будинку, коли можна розробити і забезпечити комплексне рішення підвищення радіаційної якості продукції, що випускається, яка задовольняє принципам концепції радіаційного захисту людини і вимогам ISO-9000. Проектування і

будівництво сучасних екологічно безпечних житлових будівель затребуване і актуально в умовах складних економічних та екологічних умов в Україні. Сформульовано фактори, що впливають на варіабельність активностей радону в повітрі екологічно безпечних житлових будинків України.

Ключові слова: радіаційна безпека; екологічно безпечний будинок; радонова небезпека; радон і його дочірні продукти розпаду; еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону

PROBLEM OF EXPOSURE RADON IN LIVING SPACES AND WAYS TO SUPPRESS THE RADON RISK IN AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY HOUSE

TIMOSHENKO E., *Cand. Sc. (Tech.)*

Department of Ecology and Environmental Protection, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-05, e-mail: timshenkelenaa09121969@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

Abstract. Purpose. Analysis of the nature of radon and its compounds and their effects on human sources of radon in the house and how to suppress the radon risk are the objectives of this article. **Basic material research.** The principle of registration of radon in the air based on the registration of ions decay daughter products. Activity concentration of radon in indoor air is formed mainly from the soil. The structure and the structure of the Earth's crust is determined diffusion processes radon atoms, their migration ability. An important factor that reduces the flow of radon in the room is the choice of site for construction. In addition to soil and air source of radon in a home is a building material. The radiation dose to the lungs is determined by the DWP radon equivalent equilibrium volume activity of radon. The main source of indoor radon are not construction materials, and the ground under the house itself. The basic directions of regional and state programs Radiation Safety of Ukraine. Systematized number of preventive measures to be applied in order to prevent possible accumulation of radon in the living room. **Findings.** Formulated the problem of radon penetration into the living room. **Practical value.** The problem of radon penetration into living quarters and radon protection of buildings deep enough and long studied by many scientists. Solution of the problem reducing the level of ionizing radiation radionuclides construction projects is possible only at the stage of designing a house when you can develop and provide a comprehensive solution to increase the radiation quality product that meets the principles of radiation protection concepts and human requirements ISO-9000. Design and construction of modern, environmentally sound residential buildings and actual demand in complex economic and ecological conditions in Ukraine. Formulated factors influencing the variability of the activity of radon in the air of environmentally sound residential buildings in Ukraine.

Keywords: radiation safety; environmentally safe home; radon hazard; radon and its daughter products of decay; equivalent equilibrium volume activity of radon

Введение

Обеспечение условий жизнедеятельности человека неразрывно связано с ростом количества ионизирующих излучений техногенного характера. По данным Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН наибольшая часть дозы облучения (около 80 % от общей), получаемой населением в обычных условиях, связана именно с природными источниками радиации. Более половины этой дозы обусловлено присутствием газа радона и его дочерних продуктов распада (ДПР) в воздухе зданий, в которых человек проводит более 70 % времени. В цивилизованном обществе уже пришло осознание того, что радоновая опасность является крупной и непростой комплексной проблемой, так как радиоэкологические процессы, вызываемые радоном, происходят на трех структурных уровнях материи: ядерном, атомно-молекулярном и макроскопическом. Поэтому решение этой проблемы делится на задачи диагностики и технологии последующей нейтрализации воздействия радона на человека и биологические объекты.

Цель

Анализ природы радона, его соединений и их влияния на человека, источников поступления радона в жилой дом и способов подавления радонового риска являются целями данной статьи.

Изложение основного материала

Сравнительная оценка средних годовых доз облучения населения Украины показывает, что приблизительно 5,05 м³/год приходится на радоновое облучение, природные радионуклиды в воде и строительных материалах, 1,1 м³/год – на фоновое (космическое, террагенное) облучение, 0,5 м³/год – облучение в медицине и 0,3 м³/год – облучение от аварии на ЧАЭС [6]. Таким образом, радон и его дочерние продукты распада обеспечивают примерно ¾ годовой эффективной дозы облучения, которую получает население от земных источников радиации.

Среднегодовые эффективные дозы облучения от источников природного происхождения можно разделить на две компоненты: неуправляемую (внутреннее β-облучение – 3 %, космическое облучение – 5 %, природный γ-фон – 2 %) и

управляемую (природные радионуклиды в питьевой воде – 3 %, радиоактивность строительных материалов – 4 %, радон-220 – 19 % и радон-222 в воздухе жилых помещений – 64 %) [6].

По оценкам учёных [10] радон-222, с точки зрения вклада в суммарную дозу облучения, в 20 раз мощнее других изотопов. Этот изотоп изучается больше других и называется просто радоном. Основными источниками радона являются почва и строительные материалы.

Все строительные материалы, почва, земная кора содержат радионуклиды радия-226 и тория-232. В результате распада этих изотопов возникает радиоактивный газ – радон. Кроме того, при α -распадах образуются ядра, находящиеся в возбуждённом состоянии, которые при переходе в основное состояние испускают γ -кванты. Эти γ -кванты формируют радиоактивный фон помещений, в которых мы находимся. Интересен тот факт, что радон, являясь инертным газом, не образует аэрозолей, т. е. не присоединяется к пылинкам, тяжёлым ионам и т. д. Из-за химической инертности и большого периода полураспада радон-222 может мигрировать по трещинам, порам почв и горных пород на большие расстояния.

Длительный период времени вопрос о биологическом влиянии радона оставался открытым. Оказалось, что при распаде все три изотопа радона образуют дочерние продукты распада (ДПР). Они являются химически активными. ДПР, присоединяя электроны, становятся ионами, легко присоединяются к аэрозолям воздуха, становясь его составной частью. Принцип регистрации радона в воздухе основан на регистрации ионов ДПР. При вдыхании радона и продуктов его распада процесс распада продолжается, что может привести к небольшим вспышкам освобождённой энергии уже внутри лёгочных тканей и бронхов, способствуя появлению онкологических заболеваний.

Какими путями радон появляется в воздухе? Проанализировав данные можно выделить следующие источники атмосферного радона.

Таблица 1

Источники атмосферного радона Sources of atmospheric radon

Источники радона	Мощность выделения, 10^{12} Бк/год
Выход из почвы	$740 \cdot 10^5$
Грунтовые воды	$185 \cdot 10^5$
Океан	$111 \cdot 10^4$
Фосфатные отходы	$740 \cdot 10^2$
Угольные отходы	740
Сжигание угля	33,3
Природный газ	370

Основную часть дозы, обусловленную радоном, человек получает, находясь в закрытом, непрветриваемом помещении. В зонах с умеренным климатом концентрация радона в закрытом помещении примерно в 8 раз выше, чем в наружном

воздухе. В таблице 2 приведена характерная тенденция поступления радона в жилые помещения от различных источников.

Таблица 2

Источники радона в доме Sources of radon in the home

Источники радона в доме	Доля от общего поступления, %
Почва и породы под зданием	70
Наружный воздух	13
Строительные материалы	7
Вода	5
Природный газ	4

Из приведенных данных следует, что объёмная активность радона в воздухе помещений формируется в основном из почвы. Концентрация радона в почве определяется содержанием в ней радионуклидов радия-226, тория-228, строением почвы и влажностью. Строение и структура земной коры определяют диффузионные процессы атомов радона, их миграционную способность. Миграция атомов радона увеличивается с увеличением влажности почвы, а эмиссия радона из почвы имеет сезонный характер.

Повышение температуры вызывает расширение пор в почве, а, следовательно, увеличивает выделение радона. Кроме того, повышение температуры усиливает испарение воды, с которой в окружающее пространство выносятся радиоактивный газ радон. Повышение атмосферного давления способствует проникновению воздуха вглубь почвы, концентрация радона при этом падает. Напротив, при понижении внешнего давления богатый радоном грунтовый газ устремляется к поверхности, и концентрация радона в атмосфере увеличивается.

Важным фактором, уменьшающим поступление радона в помещение, является выбор территории для строительства. Кроме почвы и воздуха источником радона в доме являются строительные материалы. Испарение радона из гранул микрочастиц породы или стройматериала – эксхалация – зависит от содержания в них радия, плотности, пористости материала, параметров помещения, толщины стен, вентиляции помещений. Объёмная активность радона в воздухе помещения всегда выше, чем в атмосферном воздухе. Для характеристики строительных материалов вводится понятие длины диффузии радона в веществе.

Из стены выходят только те атомы радона, которые находятся в порах материала на глубине не большей, чем длина диффузии. Пути проникновения радона в помещение следующие: щели в монолитных полах, монтажные соединения, трещины в стенах, фундаментах, промежутки вокруг коммуникационных труб, полости стен, штукатурка (гипс), природный газ (кухня), сланцевая глина

(алюмин), фосфатный шлак, вода (ванная), система накопления солнечной энергии.

По оценкам исследований скорость поступления радона в одноэтажный дом составляет 20 Бк/(м³·ч), при этом вклад бетона и других стройматериалов в эту дозу составляет всего 2 Бк/(м³·ч). Содержание радиоактивного газа радона в воздухе помещений определяется содержанием в стройматериалах радия и тория. Применение в производстве стройматериалов с использованием безотходных технологий сказывается на объемной активности радона в помещении. Использование кальций-силикатных шлаков, полученных при переработке фосфатных руд, пустых пород из отвалов обогатительных фабрик, уменьшает загрязнение окружающей среды, удешевляет производство стройматериалов. Особенно высокой удельной активностью обладают блоки из фосфогипса, кварцевых глинистых сланцев. С 1980 г. производство такого газобетона прекращено из-за высокой концентрации радия и тория.

При оценках радонового риска всегда надо помнить, что вклад собственно радона в облучение относительно невелик. При радиоактивном равновесии между радоном и его дочерними продуктами распада (ДПР) этот вклад не превышает 2 %. Поэтому доза облучения легких от ДПР радона определяется величиной, эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона :

$$C_{Rn \text{ экв}} = n_{Rn} F_{Rn} = 0,1046n_{RaA} + 0,5161n_{RaB} + 0,3793n_{RaC},$$

где n_{Rn} , n_{RaA} , n_{RaB} , n_{RaC} – объемные активности радона и его ДПР Бк/м³ соответственно; F_{Rn} – коэффициент равновесия, который определяется как отношение эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе к реальной объемной активности радона. На практике всегда $F_{Rn} < 1$ (0,4–0,5).

Нормативы ЭРОА радона в воздухе жилых зданий разных стран приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Нормативы эквивалентной равновесной
объемной активности радона в воздухе
жилых домов**
**Standards equivalent equilibrium volume activity
of radon in the air residential buildings**

Страна	ЭРОА, Бк/м ³
Швеция	200 (для новых зданий) 400 (для старых зданий)
Германия	200 (для новых зданий) 400 (для старых зданий)
Великобритания	200 (для новых зданий) 400 (для старых зданий)
США	150 (для новых зданий) 250 (для старых зданий)
Канада	200 (для новых зданий) 400 (для старых зданий)
Россия	100 (для новых зданий) 200 (для старых зданий)
Украина	50 (для новых зданий) 100 (для старых зданий)

Как очевидно из таблицы 3, в Украине нормы радиационной безопасности жилых помещений более жесткие, чем аналогичные в странах ЕС и Америки России. Тем не менее, необходимо отметить, что в развитых цивилизованных странах экологические нормативы, закрепленные на государственном законодательном уровне, соблюдаются жестко, а в Украине (и вообще на постсоветском пространстве) они существуют зачастую только на бумаге.

Ещё одним источником радона в помещениях является природный газ. При сгорании газа радон накапливается в кухне, котельных, прачечных и распространяется по зданию. Поэтому очень важно в местах сгорания природного газа иметь вытяжную вентиляцию.

Сегодня, особенно когда речь идет о проектировании и строительстве экологически безопасного жилого дома, необходимо учитывать опасность радонового заражения при выборе строительных материалов и места расположения будущего здания.

Оказывается, что глинозем, кальций-силикатный шлак и фосфогипс, широко использовавшиеся при изготовлении цемента, штукатурки, строительных блоков, также обладают высокой радиоактивностью. Однако основным источником радона в помещениях являются не строительные материалы, а грунт под самим домом, даже если этот грунт содержит вполне приемлемую активность радия – 30...40 Бк/м³. Современные дома, как правило, строят на территориях, «пропитанных» радоном! Если в обычной комнате объемом 50 м³, присутствует всего 0,5 м³ почвенного воздуха, то активность радона в ней составляет 300...400 Бк/м³. То есть дома представляют собой коробки, улавливающие радон, «выдыхаемый» землей.

В практике геологических исследований нередки случаи, когда слаборадиоактивные породы содержат в своих пустотах и трещинах радон в количествах, в сотни и тысячи раз больших, чем более радиоактивные горные породы. При сезонных колебаниях температуры и давления воздуха радон выделяется в атмосферу. Возведение зданий и сооружений непосредственно над такими трещинными зонами приводит к тому, что в эти сооружения из недр Земли непрерывно поступает поток грунтового воздуха, содержащего высокие концентрации радона, который, накапливаясь в воздухе помещений, создаёт серьезную радиологическую опасность для находящихся в них людей. Известны случаи, когда в подвальных помещениях, снабженных вытяжной вентиляцией, концентрация радона за счет подсоса воздуха из почвы достигала 8 000...10 000 Бк/м³, что превышало нормы в 40...50 раз.

При строительстве экологически безопасных домов необходимо предусматривать выполнение следующих требований: выполнение радонозащитных мероприятий; ответственность за проведение таких мероприятий, а также за оценку

доз от природных источников и осуществление мероприятий по их снижению. Законом Украины “Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности” № 39/95-ВР от 08.02.95 г. и разработанными на его основе Нормами радиационной безопасности Украины НРБУ-97/Д 2000 от 14.07.97 г., такая ответственность возлагается на администрацию территорий.

Основные направления (мероприятия) региональных и государственной программ радиационной безопасности Украины заключаются в следующем :

- радиационно-гигиеническое обследование населения и народно-хозяйственных объектов;
- радиэкологическое сопровождение строительства зданий и сооружений;
- разработка и реализация мероприятий по снижению облучения населения;
- оценка состояния здоровья и осуществление профилактических медицинских мероприятий для групп радиационного риска;
- приборно-методическое и метрологическое обеспечение работ;
- информационное обеспечение;
- проведение экологического мониторинга концентрации радона в жилых помещениях, поскольку в районах геологических разломов эти концентрации могут существенно превышать средние значения по региону или стране.

Существует ряд профилактических мер, которые необходимо применять с целью предотвращения возможного радонового накопления в жилом помещении:

- оптимизация режима проветривания для более интенсивного поступления наружного воздуха;
- герметизация пола и стен подвальных и полуподвальных помещений с эффективным их проветриванием;
- установка оборудования для подпольной вентиляции;
- покрытие стен масляной краской или краской на эпоксидной основе, оклейка стен обоями;
- усиление вентиляции между этажами;
- установка системы для удаления радона из подвальных помещений;
- установка вентиляционной системы с положительным давлением или приточной вентиляционной системы, в том числе установка электрических вентиляционных систем;
- индивидуальное обследование каждого дома и, в случае необходимости, выбор способа защиты от радона (обеспечение достаточного воздухообмена, бетонирование подвалов, покрытие герметизирующим составом поверхностей строительных конструкций и т. д.).

Результаты

В проблеме радонового проникновения в жилые помещения остается много нерешенных вопросов.

Кратко эти проблемы можно сформулировать в следующем виде.

1. Модели радиационных рисков при облучении радоном получены на основе анализа данных по облучению шахтеров. До сих пор неясно, насколько справедлив перенос этой модели риска на облучение в жилых домах.

2. Достаточно неоднозначна проблема определения эффективных доз облучения при воздействии ДПР радона и торона. Для корректного перехода от ЭРОА радона или торона к эффективной дозе необходимо принимать во внимание такие факторы, как доля свободных атомов и распределение активности по размерам аэрозолей. Публикуемые в настоящее время оценки связи иногда различаются в несколько раз [9].

3. До сих пор не существует надежной формализованной математической модели, описывающей процессы накопления радона, торона и их ДПР в атмосфере помещений с учетом всех путей поступления, параметров строительных материалов, покрытий и т. п.

4. Существуют проблемы, связанные с уточнением региональных особенностей формирования доз облучения от радона и его ДПР.

Практическая значимость

Проблема радонового проникновения в жилые помещения и радоновой защиты зданий достаточно глубоко и давно исследована многими учеными, такими как Джур. Е. [4], Запрудин В. Ф. [11], Броневицкий С. П. [1], Виленчик М. М. [2], Войтевич Г. В. [3], Машкович В. П. [12] и др. Основы обеспечения радиационного качества жилых домов заложены в трудах Крисюка Е. М. [5], Лося И. П. [6], Сидельниковой О. П. [13] и др.

В Украине на основе современной концепции защиты человека от радиации, рекомендаций Международной комиссии по радиологической защите разработаны нормативно-правовые документы по обеспечению радиационного качества продукции строительного производства.

Решение задачи уменьшения уровня ионизирующих излучений радионуклидов объектов строительства возможно только на стадии проектирования дома, когда можно разработать и обеспечить комплексное решение повышения радиационного качества выпускаемой продукции, которая удовлетворяет принципам концепции радиационной защиты человека и требованиям ISO-9000. Аналогичный вывод можно сделать и в отношении обеспечения защиты экологически безопасных жилых домов от радонового проникновения. Только на стадии выбора места строительства здания, отделочных материалов и материалов строительных конструкций, проектирования, подбора оборудования для эксплуатации здания необходимо проводить обязательный комплексный анализ путей возможного попадания радона внутрь жилых помещений и

эффективную оценку вариантов и способов подавления радонового риска.

Проектирование и строительство современных экологически безопасных жилых зданий востребовано и актуально в условиях сложных экономических и экологических условий в Украине. Строительство таких домов предполагает использование гармоничных, возобновляемых строительных материалов, таких как дерево, саман, глина, растительный покров, камыш, бамбук, солома, земля, камень и т. д. [7]. Но не всегда возобновляемый местный материал является радонобезопасным (например, глина).

Практическая значимость выполненного анализа проблемы поступления радона в жилые помещения экологически безопасного дома и путей снижения радонового риска заключается в выводе о том, что вариабельность активностей радона в воздухе экологически безопасных жилых домов Украины определяют:

- гидрогеологические особенности территорий;
- климатические аспекты регионов (температура, количество выпадающих осадков, давление, преобладающие направления ветров и т. д.);
- инженерно-планировочное решение зданий;
- режим вентилирования помещений.

Выводы

1. Решение проблемы радоновой опасности делится на задачи диагностики и технологии последующей нейтрализации воздействия радона на человека и биологические объекты.

2. Объёмная активность радона в воздухе помещений формируется в основном из почвы.

3. Пути проникновения радона в помещение: щели в монолитных полах, монтажные соединения, трещины в стенах, фундаментах, промежутки вокруг коммуникационных труб, полости стен, штукатурка (гипс), природный газ (кухня), сланцевая глина (алюмин), фосфатный шлак, вода (ванная), система накопления солнечной энергии.

4. При строительстве экологически безопасных домов необходимо выполнять следующие требования: выполнение радонозащитных мероприятий; ответственность за проведение таких мероприятий, а также за оценку доз от природных источников и осуществление мероприятий по их снижению.

5. С целью предотвращения возможного радонового накопления в жилом помещении необходимо применять ряд профилактических мер.

6. Решение задачи уменьшения уровня ионизирующих излучений радионуклидов объектов жилого строительства возможно только на стадии проектирования дома, когда можно разработать и обеспечить комплексное решение повышения радиационного качества выпускаемой продукции,

которая удовлетворяет принципам концепции радиационной защиты человека и требованиям ISO-9000.

7. Гидрогеологические особенности территории, климатические аспекты, режим вентилирования, инженерно-планировочные решения зданий определяют вариабельность активностей радона в воздухе экологически безопасных жилых домов Украины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Броневицкий, С. П. Методика организационно-технологического проектирования уменьшения дозы радиационного излучения на объектах строительства / С. П. Броневицкий. – Строительство Украины. – № 2. – Киев, 1996. – 45–46 с.

Bronevitskiy S. P. [Method of organizational and technological design to reduce the dose of radiation on construction sites] Construction of Ukraine. № 2. Kyiv. 1996. Pp. 45–46.
<http://irbis.vnm.edu.ua>

2. Виленчик, М. М. Радиобиологические эффекты и окружающая среда / М. М. Виленчик. – Москва : Энергоатомиздат, 1993. – 160 с.

Vilenchik M. M. [Radiobiological effect and environment] Moscow, Energoatomizdat Publ., 1993. 160 p.
<http://irbis.vnm.edu.ua>

3. Войтевич, Г. В. Радиоактивность в истории Земли / Г. В. Войтевич. – Москва : Недра, 1970. – 148 с.

Voyteovich G. V. [Radioactivity in the history of the Earth] Moscow, Nedra Publ., 1970. 148 p.
<http://irbis.vnm.edu.ua>

4. Джур, Ю. А. Крикун // Матер. междунар. симп. – Днепропетровск, 2001. – С. 14.

Jur E., Krikun Yu. [New radiation-shielding materials] Mater. Intern. Symp. Dnepropetrovsk. 2001. P. 14.

http://vant.kipt.kharkov.ua/article/vant_2005_3/article_2005_3_188.pdf

5. Крисюк, Э. М. Радиационный фон помещений / Э. М. Крисюк. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 118 с.

Krisyuk, E. M. [Radiation background premises] Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989. 118 p.
<http://paralife.narod.ru>

6. Лось, И. П. Уровни облучения населения Украины за счет природных источников радиоактивности / И. П. Лось, А. В. Зеленский, М. Г. Бузыньный // Информ. бюллетень. – Авария на ЧАЭС. – Киев, 1992. – Т. 1, вып. 2. – 382–386 с.

Los' I. P., Zelensky A. V., Buzynny M. G. [Exposure levels of the Ukrainian population due to natural sources of radioactivity] Inform. newsletter. The accident at Chernobyl. Kyiv, 1992. Vol. 1, no. 2. Pp. 382–386.

http://vomfi.univ.kiev.ua/assets/files/documents/natural_radioactivity.pdf

7. Савицкий, М. В. Аграрні соціоєкокомплекси в Україні / М. В. Савицький, С. М. Ніколаєнко, Ю. Б. Бендерський, М. М. Бабенко, О. І. Бондаренко. – Дніпропетровськ : ДВНЗ «ПДАБА», 2014. – 102 с.

M. V. Savitsky, S. M. Nikolaenko, Yu. B. Bendersky, M. M. Babenko, A. I. Bondarenko [Agriculture sotsioekokompleksy in Ukraine] Dnepropetrovsk, State University "PSABA" Publ., 2014. 102 p.

8. Sathish L. A. Concentration of radon, thoron and their progeny levels in different types of floorings, walls, rooms and

building materials / L. A. Sathish, K. Nagaraja, H. C. Ramanna, V. Nagesh, S. Sundarshan // Iran. Journal Radiation. Res., Vol. 7, No 1, summer 2014. Pp. 1–9.

http://www.ijrr.com/files/site1/user_files_fad21f/admin-A-10-1-311-cfd9940.pdf

9. Uematsu K. Method for measuring radon and thoron in air / K. Uematsu, M. Sato, M. Ota, K. Toda // Niigata University, IPC8, AG01T120FI, 250362, 2009, Patent application number: 20090200473

<http://www.faqs.org/patents/app/20090200473#ixzz3TntxpoTv>

10. Uranium Radiation Safety Toolkit. Environmental Instruments Canada Inc, v. 2.0, 2014. <http://www.eic.nu>

11. Запрудін, В. Ф. Радонова безпека житлових будівель / В. Ф. Запрудін, І. А. Соколов, А. С. Беліков, О. В. Пилипенко, М. В. Савицький, О. С. Гупало // Дніпропетровськ, 2008. – 311 с.

Zaprudin V., Sokolov I., Belikov A., Pilipenko O., Savitsky M., Gupalo O. Radonova bezpeka zhitlovih budivel [Radon safety of residential buildings] Dnipropetrovsk, 2008. 311 p.

http://www.science-ommunity.org/files/Book_Radiacija.pdf

12. Машкович, В. П. Основы радиационной безопасности / В. П. Машкович, А. М. Панченко. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 187 с.

Mashkovich V. P., Panchenko A. M. Osnovy radiatsionnoy bezopasnosti [Basics of radiation safety] Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 187 p.

<http://www.twirpx.com/file/180781>

13. Сидельникова, О. П. Влияние активности естественных радионуклидов строительных материалов на радиационный фон помещений / О. П. Сидельникова, Ю. Д. Козлов // Учеб. пособие. – Москва: Энергоатомиздат, 1996. – 161 с.

Sidelnikova O. P., Kozlov Yu. D. Vliyaniye aktivnosti yestestvennyh radionuklidov stroitel'nyh materialov na radiatsionniy fon pomesheniy [Influence the activity of natural radionuclides building materials background radiation premises] Moscow. Energoatomizdat Publ., 1996. 161 p.

<http://vestnik.vgasu.ru>

Статья рекомендована к публикации д-ром. техн. наук, проф. С. З. Полищуком (Украина); д-ром техн. наук, проф. А. С. Беликовым (Украина)

Статья поступила в редколлегию 30.03.2015