

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 5 / 2023, Vol. 15, Iss. 5 <https://esj.today/issue-5-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/41SAVN523.pdf>

2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Калайдо, А. В. Оценка мощности источников поступления радона в воздух зданий различной конструкции в течение их жизненного цикла / А. В. Калайдо, В. И. Римшин, Л. А. Сулейманова, А. А. Никитин // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/41SAVN523.pdf>

For citation:

Kalaido A.V., Rimshin V.I., Suleymanova L.A., Nikitin A.A. Assessment of the power of radon sources in the air of buildings of various designs during their life cycle. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(5): 41SAVN523. Available at: <https://esj.today/PDF/41SAVN523.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 699.8

Калайдо Александр Витальевич

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики российской академии архитектуры и строительных наук», Москва, Россия
ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет», Луганск, Россия
Преподаватель кафедры «Технологий производства и профессионального образования»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: kalaydo18@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3420-8905>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1070375

Римшин Владимир Иванович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия
Профессор кафедры «Жилищно-коммунального комплекса»
ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики российской академии архитектуры и строительных наук», Москва, Россия
Заведующей лабораторией «Мониторинг жилищно-коммунального хозяйства и радиационной безопасности в строительстве»
Доктор технических наук, профессор, Член-корреспондент РААСН
E-mail: v.rimshin@niisf.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9084-4105>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=420903

Сулейманова Людмила Александровна

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Заведующий кафедрой «Строительства и городского хозяйства»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1180-558X>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=445219
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55876997500>

Никитин Александр Алексеевич

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», Новосибирск, Россия
E-mail: dishonor170@gmail.com
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=395462

Оценка мощности источников поступления радона в воздух зданий различной конструкции в течение их жизненного цикла

Аннотация. Статья посвящена исследованию динамики накопления радона в воздухе помещений нижнего этажа частных домовладений и многоэтажных зданий, построенных по современным технологиям. Показано, что радоновую обстановку в здании формируют два процесса — поступление радона из грунтового основания и его эманирование из материалов ограждающих конструкций, а доминирующий процесс определяется совокупностью физико-механических характеристик грунта и особенностями конструкции подземной оболочки здания.

Изучение закономерностей формирования радоновой обстановки в зданиях различных конструкций производилось экспериментально-расчетным методом. В качестве объектов исследования были выбраны строения эксплуатируемого более 40 лет одноэтажного частного домовладения без монолитной плиты основания с деревянными полами поверх грунта, стенами из огнеупорного кирпича и деревянным потолочным перекрытием, а также проектируемого в рамках программы реновации многоэтажного жилого дома с монолитной плитой основания на песчаном с прослойкой суглинка грунте и ограждающими конструкциями из железобетона класса В35. Исследование закономерностей формирования радоновой обстановки в эксплуатируемом одноэтажном здании выполнялось путем снятия и анализа кривой накопления активности. Оценка вклада грунтового радона и эманирования из строительных материалов для возводимых по современным технологиям многоэтажных зданий производилась на основании проектной документации в рамках программы реновации.

В результате была исследована зависимость уровней радона в помещениях нижнего этажа от кратности воздухообмена, определены радонозащитные характеристики конструкции пола для зданий различных типов, определены причины поступления радона в частных домовладениях без монолитной плиты и в многоэтажных зданиях, возводимых по современным технологиям.

Ключевые слова: радон; грунт; ограждающие конструкции; плотность потока; эманирование; равновесная объемная активность; жизненный цикл

Введение

Для современного человека, проводящего около 80 % времени в зданиях и сооружениях, благородный газ радон является основным источником радиоактивного облучения. Радон и его дочерние продукты распада (ДПР) формируют более половины годовой индивидуальной дозы облучения населения во всех без исключения субъектах Российской Федерации, а в некоторых регионах вклад бытовой радоновой экспозиции превышает 90 % [1]. Внутреннее облучение радоном и его короткоживущими ДПР является второй по частоте причиной возникновения рака легкого, уступающей только курению.

Требования ограничения доз облучения радоном в зданиях с длительным пребыванием людей закреплены на законодательном уровне.^{1,2} С целью их исполнения Нормами радиационной

¹ Федеральный закон № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 г.

² Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 23.12.2009 г.

безопасности³ установлены контрольные уровни содержания радона в воздухе помещений, превышение которых считается приемлемым облучением на современном этапе развития строительной индустрии. В частности, эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) короткоживущих продуктов распада радона не должна превышать 100 Бк/м³ в зданиях, построенных по современным технологиям, и 200 Бк/м³ в эксплуатируемых длительный срок зданиях.

Благоприятная радоновая обстановка в жилых и общественных зданиях обеспечивается технологиями строительства: рациональным проектированием подземной оболочки и обеспечением достаточной кратности воздухообмена. А поскольку радонозащитные мероприятия наиболее эффективны, когда реализуются в непосредственной близости от основного источника поступления радона, то представляет интерес оценка вкладов каждого из таких источников в формирование радиационного фона помещений.

Таким образом, целью настоящего исследования является теоретико-экспериментальное исследование закономерностей формирования уровней радона в зданиях различных типов (частное жилье, многоквартирные здания) и обоснование стратегии обеспечения благоприятной радоновой обстановки в них.

Считается, что радон способен поступать в воздух помещений из грунта под зданием, с наружным воздухом, водой и бытовым газом, а также за счет эманирования из материалов ограждающих конструкций. Однако мощности данных источников существенно отличаются и нет необходимости принимать все их во внимание при изучении закономерностей формирования радоновой обстановки в здании. Значительные концентрации радона в воде возможны только в случае артезианских источников, а в условиях централизованного водоснабжения наличие радона исключено. Аналогичная ситуация и с природным газом, который до поступления к потребителю выдерживается в хранилищах время, достаточное для полного распада содержащегося в нем радона. Содержание радона в атмосфере всегда меньше, чем в воздухе помещений, поэтому наружный воздух следует считать не источником поступления, а скорее источником стока радона.

Таким образом, можно говорить только о двух существенных источниках поступления радона в воздух помещений — из грунтового основания и материалов ограждающих конструкций. Традиционно считается, что основная масса радона проникает в помещение из грунта под зданием через конструкцию пола посредством диффузии и/или конвекции [2; 3]. Так, согласно [2; 4], плотность потока радона (ППР) из грунта в воздух помещений может варьироваться от единиц до сотен мБк/(м²·с), тогда как потоки радона из материалов ограждающих конструкций невелики и обычно их плотность не превышает 5 мБк/(м²·с), а в среднем составляет 2,5 мБк/(м²·с).

Однако в последнее время при обследовании высотных зданий, построенных по современным технологиям, на верхних этажах неоднократно отмечались повышенные уровни радона, которые не могут объясняться поступлением почвенного воздуха. Поэтому можно предположить, что при определенных условиях поступление радона из строительных конструкций также может являться значимым фактором формирования радоновой обстановки в здании [5]. Вопросы радоновой безопасности в целом изучались и освещались российскими учеными в литературных источниках [6–13], а также в зарубежных источниках [14–20]. Отметим, что радон как инертный газ, может в значительной степени влиять на жизненный цикл конструкций зданий. В этой связи представляет интерес оценка вкладов потока радона из

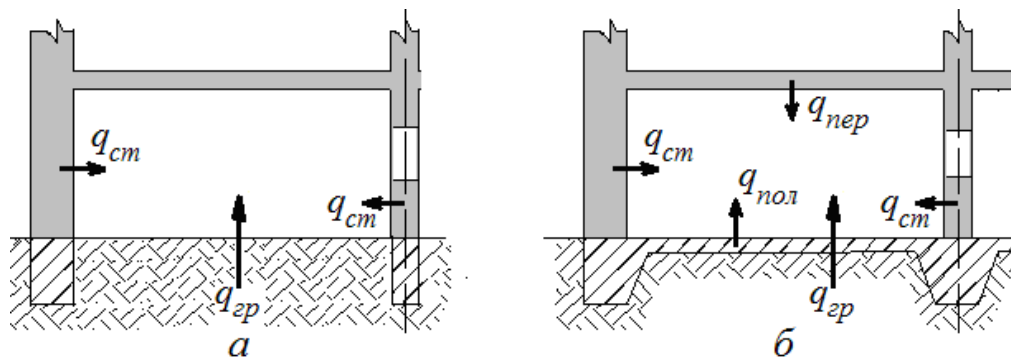
³ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы СанПин 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. № 47. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 г. № 14534.

грунта и материалов ограждающих конструкций в суммарную ЭРОА продуктов распада радона в воздухе зданий различных конструкций.

Методы

Изучение закономерностей формирования радоновой обстановки в зданиях различных конструкций производилось экспериментально-расчетным методом. В качестве объектов исследования были выбраны два строения:

- эксплуатируемое более 40 лет одноэтажное частное домостроение без монолитной плиты основания с деревянными полами поверх грунта (мергелевая глина), стенами из огнеупорного кирпича и деревянным потолочным перекрытием (рис. 1 а);
- проектируемый в рамках программы реновации многоэтажный жилой дом с монолитной плитой основания на песчаном с прослойкой суглинка грунте и ограждающими конструкциями из железобетона класса В35 (рис. 1 б).



$q_{гр}$, $q_{ст}$, $q_{пол}$, $q_{пер}$ — плотности потока радона из грунта, стен, плиты основания и перекрытия соответственно

Рисунок 1. Расчетные схемы объектов исследования: а — частное домостроение без монолитной плиты основания; б — первый этаж 18-этажной секции жилого дома; (разработано автором)

Измерение уровней радона в эксплуатируемом помещении производилось аспирационным методом радиометром дочерних продуктов радона путем прокачки 200 л воздуха через аналитический фильтр, с предварительным анализом естественного фона и последующим анализом активности фильтра. Нижний предел измерений ЭРОА короткоживущих продуктов распада радона составлял 5 Бк/м³, приборная погрешность измерений ±30 %, фиксация значений ЭРОА осуществлялась в циклическом режиме с периодичностью в один час. Суть используемого метода состоит в анализе кривой накопления радона в «закрытом» помещении.

Расчет плотности потока радона из различных источников для зданий обоих типов производился по следующим формулам:

- ПППР из грунта через горизонтальную подземную ограждающую конструкцию [6]:

$$q_{гр} = \frac{C_{Ra}^{gp} \cdot \rho_{gp} \cdot k_{эм}}{R}, \quad (1)$$

где C_{Ra}^{gp} — удельная активность радия в грунте, Бк/кг; $\rho_{gp} = 2\ 600\ \text{кг/м}^3$ — плотность твердой фазы (зерен) грунта; $k_{эм} = 0,2-0,4$ — коэффициент эманирования радона зернами грунта;

- ППР из материала наружных стен:

$$q_{cm} = C_{Ra}^{cm} \cdot \rho_{cm} \cdot k_{эм} \cdot \sqrt{\lambda \cdot D_{cm}} \cdot \tanh\left(\frac{h_{cm}}{2} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_{\delta}}}\right), \quad (2)$$

где C_{Ra}^{cm} — удельная активность радия в материале стен, Бк/кг; ρ_{cm} — плотность материала стен, кг/м³; h_{cm} — толщина стен, м; D_{cm} — коэффициент диффузии радона в материале стены, м²/с;

- ППР из материала перекрытия (железобетон):

$$q_{пер} = C_{Ra}^{\delta} \cdot \rho_{\delta} \cdot k_{эм} \cdot \sqrt{\lambda \cdot D_{\delta}} \cdot \tanh\left(\frac{h_{пер}}{2} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_{\delta}}}\right), \quad (3)$$

где $h_{пер}$ — толщина перекрытия, м; где $C_{Ra}^{\delta} = 15-30$ Бк/кг — удельная активность радия в железобетоне [10]; $\rho_{\delta} = 2\,500$ кг/м³ — плотность монолитного железобетона; $D_{\delta} = 1,1 \cdot 10^{-7}$ м²/с — коэффициент диффузии радона в бетоне, м²/с;

- ППР из материала плиты основания (железобетон):

$$q_{пол} = C_{Ra} \cdot \rho_{\delta} \cdot k_{эм} \cdot \sqrt{\lambda \cdot D_{\delta}} \cdot \tanh\left(\frac{h_{пол}}{2} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_{\delta}}}\right), \quad (4)$$

где $h_{пол}$ — толщина плиты пола, м.

Результаты

А. Одноэтажный эксплуатируемый жилой дом.

Исследование закономерностей формирования радоновой обстановки в эксплуатируемом одноэтажном здании выполнялось путем снятия и анализа кривой накопления активности (рис. 2). Конструкция пола представляла собой ленточный фундамент без монолитной плиты основания с деревянными полами непосредственно на грунте (мергелевая глина) без подвальных помещений. Таким образом, жилая зона отделялась от грунтового основания радонопроницаемым полом, вследствие чего значения ЭРОА в ней достигали 400 Бк/м³ в режиме повседневной эксплуатации.



Рисунок 2. Кривая накопления радона в жилой зоне одноэтажного строения в «закрытом» режиме (разработано автором)

Перед снятием кривой накопления выполнялось интенсивное проветривание жилой зоны до достижения ЭРОА радона в жилище, сравнимого по величине с его активностью в наружном воздухе (5–7 Бк/м³). После этого жилая зона герметизировалась и в дальнейшем измерения ЭРОА выполнялись в автоматическом режиме с интервалом в один час до момента превышения гигиенического норматива в 200 Бк/м³.

Считая плотности потока радона из грунта и материалов ограждающих конструкций постоянными, для данного помещения уравнение динамики накопления активности в воздухе жилой зоны может быть записано в виде [8]:

$$\frac{d \{ЭРОА(t)\}}{dt} = \frac{(q_{cm} \cdot S_{cm} + q_{gp} \cdot S_{пол})}{V} - \lambda \cdot ЭРОА(t), \quad (5)$$

где q_{cm} и q_{gp} — плотность потока радона из стен и грунта соответственно, Бк/(м²·с); S_{cm} и $S_{пол}$ — площадь стен и пола соответственно, м²; V — объем помещения, м³; $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ — постоянная распада радона.

Обозначив через a слагаемое в правой части, описывающее прирост активности радона, получаем дифференциальное уравнение первого порядка с разделяющимися переменными:

$$\frac{d \{ЭРОА(t)\}}{a - \lambda \cdot ЭРОА(t)} = dt \rightarrow -\frac{1}{\lambda} \cdot \int_0^{ЭРОА(\tau)} \frac{d \{a - \lambda \cdot ЭРОА(t)\}}{a - \lambda \cdot ЭРОА(t)} = \int_0^{\tau} dt, \quad (6)$$

где $\tau = 11 \text{ ч} = 3,96 \cdot 10^4 \text{ с}$ — время снятия кривой накопления; $ЭРОА(\tau) = 225 \text{ Бк/м}^3$ — активность радона в помещении при последнем измерении.

Интегрируя последнее выражение, получаем:

$$ЭРОА(\tau) = \frac{a}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda \tau}) = \frac{(q_{cm} \cdot S_{cm} + q_{gp} \cdot S_{пол})}{\lambda \cdot V} \cdot (1 - e^{-\lambda \tau}). \quad (7)$$

Плотность потока радона из материала стен (огнеупорный кирпич), ввиду сложности непосредственных измерений, определялась расчетным путем из (2). Удельная активность радия в материале стен с учетом длительного срока эксплуатации здания и препятствия прохождению радона от покрытия стен (слой штукатурки и обоев) принималась равной 20 Бк/кг. В вычислениях вклада каждого из источников поступления радона по (7) использовались значения, представленные в таблице 1.

Таблица 1

**Расчетные параметры и результаты определения вкладов
ППР из грунта и материалов ограждающих конструкций (частное жилье)**

Характеристики помещения					Результаты вычислений				
$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$h, \text{ м}$	$S_{об}, \text{ м}^2$	$S_{ок}, \text{ м}^2$	$S_{cm}, \text{ м}^2$	$S_{пол}, \text{ м}^2$	$V, \text{ м}^3$	$q_{cm}, \text{ МБк/м}^2 \cdot \text{с}$	$q_{gp}, \text{ МБк/м}^2 \cdot \text{с}$
4,3	2,6	2,7	5,5	2,4	29,4	11,2	30,2	2,69 (23,2 %)	8,90 (76,8 %)

Разработано автором

Полученное значение ППР с поверхности стен $q_{cm} = 2,69 \text{ МБк/(м}^2 \cdot \text{с)}$ хорошо согласуется с выводами [5], что среднее значение ППР с поверхности ограждающих конструкций составляет около $2,5 \text{ МБк/(м}^2 \cdot \text{с)}$.

Как видно из таблицы 1, даже при отсутствии герметичной подземной оболочки здания вклад эманирования радона с поверхности ограждающих конструкций достаточно существенный — в данном случае он обеспечивает практически четверть поступления радона в воздух жилой зоны. Полученное значение ППР из грунта позволяет оценить по (1) величину сопротивления радонопроницанию деревянной конструкции пола $R_1 = 2,81 \cdot 10^6 \text{ с/м}$.

При вычислении R_1 использовалось значение удельной активности радия в грунтовом основании здания $C_{Ra} = 32$ Бк/кг, полученное при гамма-спектрометрическом анализе, выполненном в лаборатории радиационной безопасности в строительстве НИИСФ РААСН.

Б. 18-этажный жилой дом, возводимый по программе реновации.

Оценка вклада грунтового радона и эманирования из строительных материалов для возводимых по современным технологиям многоэтажных зданий производилась на основании проектной документации 3-секционного жилого здания переменной этажности (12-18-19 этажей), разработанной ООО «АМЦ-ПРОЕКТ» в рамках программы реновации.

Рассматривалось поступление радона в помещение 1-го (технического) этажа, отделенного от грунтового основания монолитной фундаментной плитой толщины 1 200 мм (рис. 1 б). В качестве исследуемого помещения была выбрана колясочная (20 106 на плане, рис. 3), как имеющая простую геометрическую форму. Было установлено, что грунты с участка планируемого строительства представлены необводненными песками с прослойкой суглинка с фоновым для территории г. Москвы содержанием радия — 226 (22,5–25,0 Бк/кг). Содержание радия в материалах ограждающих конструкций принималось равным $C_{Ra} = 20$ Бк/кг, коэффициент эманирования радона — $k_{эм} = 0,3$; расчетные величины и результаты вычислений представлены в таблице 2.

Таблица 2

Расчетные параметры и результаты определения вкладов ППР из грунта и материалов ограждающих конструкций (многоэтажный дом)

Параметры помещения					Результаты вычислений			
$h_{ст}, м$	$h_{пл}, м$	$h_{пер}, м$	$S_{пол}, м^2$	$V, м^3$	$q_{гт}, мБк/м^2 \cdot с$	$q_{пер}, мБк/м^2 \cdot с$	$q_{пол}, мБк/м^2 \cdot с$	$q_{ст}, мБк/м^2 \cdot с$
0,25	1,2	0,2	30,6	137,9	3,6 (23,5 %)	3,0 (19,5 %)	8,6 (56,3 %)	0,1 (0,7 %)

Разработано автором

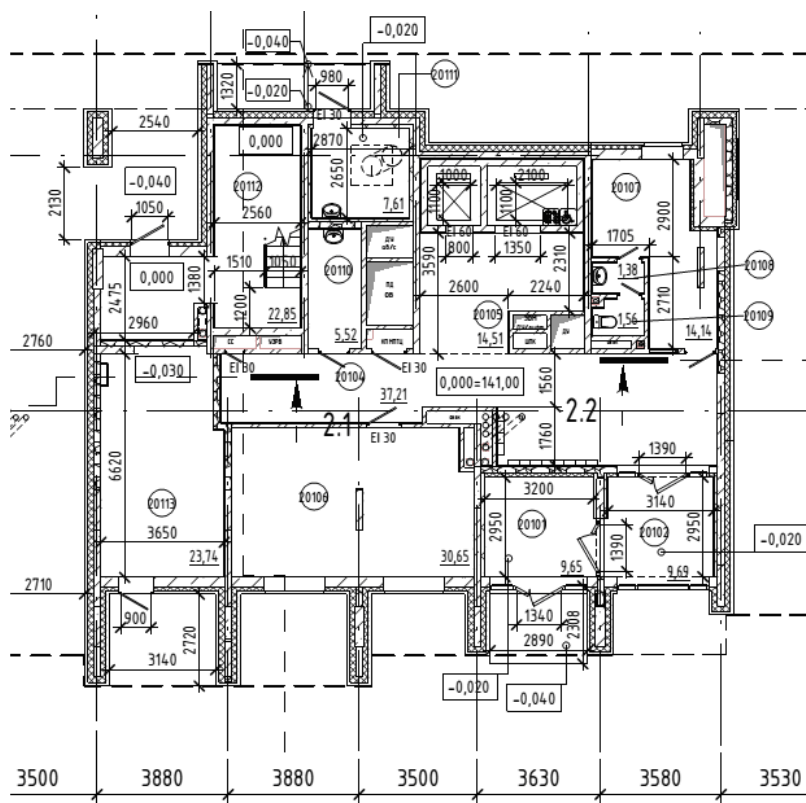


Рисунок 3. План 1-го (технического) этажа 18-этажной секции жилого дома

Как видно из табл. 2, для современных многоэтажных зданий с плитой основания большой толщины вклад поступления радона из грунта пренебрежимо мал и уровни радона в помещениях полностью определяются интенсивностью его выделения из материалов ограждающих конструкций. Величина сопротивления радонопроницанию монолитной железобетонной плиты основания, полученная из (1), составила $R_2 = 1,97 \cdot 10^8$ с/м, что на два порядка выше R_1 .

Полученные значения ППР из различных источников позволяют предсказать ЭРОА радона в данном помещении после возведения здания при помощи уравнения радонового баланса:

$$ЭРОА_{nr} = \left(\frac{q_{ст} \cdot (S_{вн} + S_n) + q_{пер} \cdot S_{пер} + (q_{зр} + q_{пол}) \cdot S_{пол}}{V \cdot (\lambda + n)} \right) \cdot F, \quad (8)$$

где $F = 0,4 \dots 0,5$ — коэффициент сдвига радиоактивного равновесия.

Как видно из (8), величина ЭРОА радона в помещении после его введения в эксплуатацию является функцией кратности воздухообмена n :

$$ЭРОА = f(n), \quad (9)$$

а результаты исследования данной зависимости представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Результаты численного исследования зависимости
ЭРОА радона в помещении 1-го этажа от кратности воздухообмена n**

Кратность воздухообмена n , ч ⁻¹	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
ЭРОА радона в помещении, Бк/м ³	1 074	77	48	29	22	18

Разработано автором

Таким образом, можно заключить, что монолитная фундаментная плита большой толщины является эффективным барьером для поступления почвенного радона. Как следствие, в многоэтажных зданиях, возводимых по современным технологиям, благоприятная радоновая обстановка обеспечивается уже при малых кратностях воздухообмена, не характерных для режима реальной эксплуатации помещений.

Обсуждение

Выполненные в данной работе экспериментально-расчетные исследования закономерностей формирования радоновой обстановки в зданиях различных типов позволяют сделать следующие выводы:

1. Радоновую обстановку в зданиях городских территорий формируют два процесса — поступление радона из грунтового основания и его эманирование из материалов ограждающих конструкций.
2. Доминирующий источник поступления радона в воздух помещений нижнего этажа определяется физико-механическими характеристиками грунта и особенностями конструкции подземной оболочки здания.
3. В частных домостроениях без монолитной плиты основания более 75 % радона поступает в воздух жилой зоны из грунтового основания.

4. В многоэтажных зданиях, возводимых по современным технологиям, основным источником поступления радона является его эманирование ограждающими конструкциями. А в случае большой толщины монолитной железобетонной плиты основания (600 мм и более) вклад от поступления грунтового радона можно не учитывать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романович, И.К., Стамат, И.П., Кормановская, Т.А. и др. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия / ФБУН НИИ радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева; под редакцией академика РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой. — Санкт-Петербург: ФБУН НИИРГ имени П.В. Рамзаева, 2018. — 432 с.
2. Гулябянц, Л.А. Принцип построения новых норм проектирования противорадоновой защиты зданий // Academia. Архитектура и строительство, 2009. — № 5. — С. 461–467.
3. Световидов, А.В. Опыт проведения радонозащитных мероприятий в эксплуатируемых зданиях / А.В. Световидов, В.А. Венков, Г.А. Горский // Радиационная гигиена, 2009. — Т. 2. — № 4. — С. 35–39.
4. Гулябянц, Л.А. Новый подход к решению проблемы защиты зданий от радона // Вестник МГСУ, 2011. — № 3-2. — С. 3–8.
5. Васильев, А.В. Исследование механизмов и источников поступления радона в здания, построенные по современным технологиям / А.В. Васильев, М.В. Жуковский, А.Д. Онищенко, А.А. Вишневский // Применение изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения: сборник докладов IV науч.-практ. семинара. Екатеринбург, 5 декабря 2012 г. — С. 4–13.
6. Гулябянц, Л.А., Калайдо, А.В. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий: монография, под ред. Шубина И.Л. — Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. — 232 с.
7. Сидельникова, О.П. Эффективная удельная активность природных радионуклидов в строительных материалах Волгоградской области // О.П. Сидельникова, Ю.Д. Козлов // Интернет-вестник ВолгГАСУ, 2013. — № 2(27). — С. 1–4.
8. Стамат, И.П. Оценка вклада эманирования радона с поверхности облицовочных изделий в облучение населения / И.П. Стамат, А.В. Световидов, Д.И. Стамат, Г.А. Горский, В. А. Венков // Радиационная гигиена, 2009. — Т. 2. — № 4. — С. 16–22.
9. Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Борщ В.А. Строительные технологии обеспечения радонобезопасности зданий Строительные материалы. 2023. № 6. С. 33–38.
10. Римшин В.И., Семенова М.Н. Проектирование радоновой защиты зданий Вестник Луганского государственного педагогического университета. Серия 5. Гуманитарные науки. Технические науки. 2022. № 1(79). С. 91–98.

11. Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н. Технология проектирования радонобезопасных зданий Вестник Луганского государственного педагогического университета. Серия 5. Гуманитарные науки. Технические науки. 2022. № 4(92). С. 88–93.
12. Калайдо А.В., Римшин В.И., Семенова М.Н. Обеспечение приемлемых уровней облучения радоном в зданиях пассивными радонозащитными технологиями БСТ: Бюллетень строительной техники. 2021. № 6(1042). С. 20–22.
13. Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н. Технология защиты воздушной среды зданий от поступления радиоактивного газа радона Вестник Луганского государственного педагогического университета. Серия 5. Гуманитарные науки. Технические науки. 2021. № 3(68). С. 98–104.
14. Kalaydo A 2020 Passive Technologies for Providing Radiation Safety of Buildings at the Design Stage Civil Engineering Research Journal Vol. 11(2). Pp. 001–004. DOI: 10.19080.
15. Vu Dinh Tho, Korol E.A., Rimshin V.I., Pham Tuan Anh Model of stress-strain state of three-layered reinforced concrete structure by the finite element methods International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. Т. 18. № 2. Pp. 62–73.
16. Rimshin V.Iv., Kurbatov V.L., Erofeev V.T., Ketsko E.S. Degradation damages survey of the silt reservoir structures Building and Reconstruction. 2022. № 2(100). Pp. 65–74.
17. Rimshin V.I., Truntov P.S., Kuzina I.S., Roshchina S.I., Ketsko E.S. Engineering calculations of acidifier retaining walls during water treatment facilities designing Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Т. 182. Pp. 55–73.
18. Rimshin V.I., Telichenko V.I., Truntov P.S., Krishan A.L., Bykov G.S. Assessment of the impact of high temperature on the strength of reinforced concrete structures during operation Key Engineering Materials. 2021. Т. 887 KEM. Pp. 460–465.
19. Rimshin V.I., Kuzina E.S., Shubin I.L. Analysis of the structures in water treatment and sanitation facilities for their strengthening В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019. 2020. Pp. 012–074.
20. Merkulov S., Rimshin V., Akimov E., Kurbatov V., Roschina S. Regulatory support for the use of composite rod reinforcement in concrete structures В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. "International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020" 2020. Pp. 012–022.

Kalaido Alexander Vitalievich

Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia
Lugansk State Pedagogical University, Lugansk, Russia
E-mail: kalaydo18@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3420-8905>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1070375

Rimshin Vladimir Ivanovich

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia
E-mail: v.rimshin@niisf.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9084-4105>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=420903

Suleymanova Lyudmila Alexandrovna

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1180-558X>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=445219
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55876997500>

Nikitin Aleksandr Alekseevich

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russia
E-mail: dishonor170@gmail.com
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=395462

Assessment of the power of radon sources in the air of buildings of various designs during their life cycle

Abstract. The article is devoted to the study of the dynamics of radon accumulation in the air of the premises of the lower floor of private housing and multi-storey buildings built using modern technologies. It is shown that the radon situation in the building is formed by two processes — the arrival of radon from the ground base and its emanation from the materials of enclosing structures, and the dominant process is determined by the combination of physical and mechanical characteristics of the soil and the design features of the underground shell of the building.

The study of the regularities of the formation of the radon environment in buildings of various designs was carried out by the experimental calculation method. The objects of the study were selected structures operated for more than 40 years of a single-storey private house without a monolithic foundation slab with wooden floors on top of the ground, walls of refractory bricks and wooden ceiling, as well as a multi-storey residential building designed as part of the renovation program with a monolithic foundation slab on sandy soil with a layer of loam and enclosing structures made of reinforced concrete of class B35. The study of the regularities of the formation of the radon environment in the operated one-story building was carried out by removing and analyzing the activity accumulation curve. The assessment of the contribution of ground radon and emanation from building materials for multi-storey buildings erected using modern technologies was carried out on the basis of project documentation within the framework of the renovation program. As a result, the dependence of radon levels in the rooms of the lower floor on the multiplicity of air exchange was investigated, the radon-protective characteristics of the floor structure for buildings of various types were determined, the reasons for the receipt of radon in private housing without a monolithic slab and in multi-storey buildings erected using modern technologies were determined.

Keywords: radon; soil; enclosing structures; flux density; emanation; equilibrium volumetric activity; life cycle