

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-4-41-50>

УДК 504.32:54

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИЗОТОПОВ РАДОНА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КУРЧАТОВА

Ю.Е. Артамонов, Е.В. Мустафина, Ю.В. Бакланова

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

E-mail для контактов: artamonov@nnc.kz

В статье представлены результаты исследования содержания изотопов радона в воздушной среде эксплуатируемых зданий г. Курчатова, оценены зависимости концентрации изотопов радона в помещениях жилых и административных зданий от сезона года, а также от типа помещений и их назначения. Изучение сезонных изменений концентрации радона в воздушной среде осуществлялось путем проведения измерений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) и объемной активности (ОА) радона. Впервые для г. Курчатова определена объемная активность изотопов радона в помещениях жилых зданий и зданий производственного назначения. Результаты показали, что значения ЭРОА и ОА радона в воздухе обследованных помещений административных и жилых зданий увеличиваются от зимы к лету, образуя следующий убывающий ряд: *лето > осень > весна > зима*, что, возможно, связано с промерзанием грунта и наличием снежного покрова в зимний период. Также получено подтверждение снижения концентрации радона в воздухе помещений с увеличением этажа здания.

Ключевые слова: радон, изотопы радона, объемная активность (ОА), эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА), сезонные изменения концентрации радона, жилые и производственные здания.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из факторов, оказывающих непосредственное влияние на безопасную область обитания человека, является радиационное воздействие естественных источников излучения, в частности, радона и его дочерних продуктов распада (ДПР).

Радон входит в состав трех радиоактивных семейств естественных радионуклидов, родоначальниками которых являются ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th . Данные радионуклиды входят в состав земной коры. Ядра радона постоянно образуются в окружающей среде при радиоактивном распаде материнских ядер радионуклидов-родоначальников. Плотность потока радона с поверхности грунта определяет концентрацию изотопов радона и его ДПР в приземной атмосфере. Так же, как и гелий, почти весь радон сосредоточен в толще почвенного покрова и вод. По приблизительным подсчетам верхний слой земной коры глубиной до 1,6 км содержит около 115 т радона, а в атмосфере – около 4 кг [1]. Вследствие своей химической инертности, радон достаточно легко покидает кристаллическую решетку минерала, в состав которого входили материнские ядра, и попадает в грунтовые воды, природные газы и воздух. За время изучения поведения радона учеными было отмечено, что его уровни в приземной атмосфере и зданиях зависят от источников поступления, а также погодных и климатических условий. Так, изменения в состоянии атмосферы вызывают изменения в состоянии почвы и микроклимата помещений [1].

Радон является наиболее значимым природным источником облучения. Согласно текущей оценке научного комитета Организации объединенных наций по действию атомной радиации, радон вместе со своими ДПР ответствен примерно за 3/4 годовой инди-

видуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации, и примерно за половину этой дозы от всех естественных источников радиации [2]. Большую часть этой дозы человек получает от радионуклидов, попадающих в его организм вместе с вдыхаемым воздухом, особенно в непроветриваемых помещениях, куда поступает из почвы через микротрещины в строительных сооружениях. Опасность радона для человека заключается в том, что, попадая в организм человека при дыхании, он может вызвать пагубные для здоровья последствия, прежде всего – рак легких. По данным Службы Общественного Здоровья США (US Public Health Service) радон – вторая по серьезности причина возникновения у людей рака легких после курения [3]. Основная доля в структуре облучения населения приходится на внутреннее облучение за счет ингаляции изотопов радона (^{222}Rn – радон и ^{220}Rn – торон) и их короткоживущих ДПР, содержащихся в воздухе жилых и общественных зданий, производственных помещений, в также в приземном слое атмосферы на территории населенных пунктов.

В связи с этим целью исследования стало определение статуса радоноопасности территории г. Курчатова и изучение эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) и объемная активность (ОА) радона в жилых и административных зданиях города, поскольку одним из факторов, оказывающих непосредственное влияние на здоровье населения, является радиационное воздействие естественных источников излучения, в частности, радона и его ДПР.

Источники поступления радона и торона в помещения зданий

Радон концентрируется в воздухе помещений зданий различного назначения лишь тогда, когда они в достаточной мере изолированы от внешней среды. Поступая в помещение через фундамент и пол из грунта или из строительных материалов, использованных в конструкции дома, радон накапливается в воздухе помещения. В случае герметизации помещения с целью его утепления в холодное время года содержание радона в воздухе помещения неминуемо возрастет, поскольку при этом еще более затрудняется выход радона из помещения. В конечном итоге в помещении могут возникать довольно высокие уровни радиации, особенно если дом стоит на грунте с относительно повышенным содержанием радионуклидов или если при его постройке использовали материалы с повышенной радиоактивностью [4].

Строительные материалы при достаточно большом содержании в них урана и тория также могут являться источником поступления радона в помещение. Из таких популярных строительных материалов как дерево, кирпич, бетон выделяется относительно небольшое количество радона. Намного более радиоактивными являются пемза и гранит, используемые при строительстве в странах СНГ и Европы. Строительные материалы, получаемые при переработке руд, являющиеся отходами производств или добычи радиоактивных материалов обладают наибольшей удельной радиоактивностью. К таким строительным материалам относятся глиноземы, кальций-силикатный шлак, фосфогипс. К другим промышленным отходам с высокой радиоактивностью, используемым в строительстве, относят кирпич из красной глины – отход производства алюминия, доменный шлак – отход черной металлургии, и зольную пыль, образующуюся при сжигании угля. История также знает случаи применения для строительных целей даже отходов урановых рудников. Радиационный контроль строительных материалов хоть и имеет важное значение, однако грунт остается главным источником радона в закрытых помещениях. В некоторых странах старые отвалы горнодобывающих предприятий, содержащих радиоактивные материалы, являлись местом жилой застройки. Но даже в менее исключительных случаях просачивающийся сквозь пол радон представляет собой главный источник радиоактивного облучения населения в закрытых помещениях.

А толщина и целостность (т. е. количество трещин и микротрещин) межэтажных перекрытий определяет скорость проникновения исходящего из земли радона в помещения [4].

Критерии оценки потенциальной радоноопасности эксплуатируемых зданий жилого и общественного назначения в Республике Казахстан

Основными критериями оценки потенциальной радоноопасности помещений в Республике Казахстан являются следующие величины: среднегодовая ЭРОА_{Rn} дочерних продуктов радона и торона в воздухе помещений (не должна превышать 200 Бк/м³), мощность эффективной дозы гамма-излучения в помещениях (не более 80 мБк/(м²·с)), плотность потока радона с поверхности грунта (не должна превышать мощность дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч), эффективная удельная активность природных радионуклидов в строительных материалах (не должна превышать 370 Бк/кг), указанные в гигиенических нормативах Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 15 декабря 2020 года № ҚР ДСМ-275/2020. Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности». Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 20 декабря 2020 года № 21822 [5].

В данном исследовании проводились измерения ЭРОА и ОА радона в воздухе жилых и административных помещений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**Объекты исследования**

На начальном этапе исследований, с целью выбора объектов исследований проведены измерения ЭРОА радона во всех помещениях административных зданий филиала Институт радиационной безопасности и экологии (ИРБЭ). По полученным результатам выбраны разнотипные, разно-уровневые помещения, с максимальными, средними и минимальными значениями ЭРОА радона в 9 административных зданиях филиала ИРБЭ. В качестве объектов исследования выступают также 12 жилых квартир, расположенных на 1–2 этажах зданий г. Курчатова различных годов и материалов постройки (рисунок 1). В выбранных помещениях велись ежемесячные измерения ОА и ЭРОА изотопов радона.

- Условные обозначения**
- Административные здания филиала ИРБЭ**
- 1–здание № 23
 - 2–здание № 25А
 - 3–здание № 26
 - 4–здание № 27
 - 5–здание № 29
 - 6–здание РММ
 - 7–здание ОРСМОС (ул. Кунанбая 16)
 - 8–здание ОРСМОС (ул. Кунанбая 18)
 - 9–здание ОРСМОС (ул. Пионерская 3)
- Жилые здания г. Курчатова**
- 10–ул. Победы 6
 - 11–ул. Алексеенко 2
 - 12–ул. Абая 30
 - 13–ул. Олимпийская 9
 - 14–ул. Рожановича 3
 - 15–ул. Олимпийская 16
 - 16–ул. Тауелсіздік 49
 - 17–ул. Олимпийская 40
 - 18–ул. Олимпийская 38
 - 19–ул. Олимпийская 28
 - 20–ул. Олимпийская 20



Рисунок 1. Обследованные жилые и административные здания г. Курчатова

Методика измерений

Измерения концентрации радона проводились в соответствии с Методикой проведения радиационно-гигиенического обследования территории и жилых и общественных зданий определяющей общий порядок организации и проведения радиационно-гигиенического обследования территории, а так же жилых и общественных зданий, обеспечивающего реализацию требований Закона Республики Казахстан «О радиационной безопасности населения» и «Норм радиационной безопасности» по ограничению облучения населения, за счет природных источников ионизирующего излучения [6].

Измерения в выбранных для обследования помещениях жилых и административных зданий проводились после их предварительной выдержки (не менее 12–24 часов) при закрытых окнах и дверях в штатном режиме принудительной вентиляции (при ее наличии). Установка средств измерений ОА и ЭРОА радона и отбор проб воздуха производилась в местах с минимальной скоростью воздухообмена для того, чтобы полученные результаты, по возможности, характеризовали максимальные значения ОА или ЭРОА радона и торона в данном помещении. Прибор размещался в месте, исключающем прохождение через него потоков воздуха, обусловленных сквозным проветриванием помещения (в стороне от прямой, соединяющей окно и дверь в помещении). При изме-

рениях приборы располагались: не ниже 50 см от пола, не ближе 25 см от стен и 50 см от нагревательных элементов, кондиционеров, окон и дверей.

Экспрессные измерения ЭРОА радона в воздухе помещений осуществлялись с использованием радиометра радона «Рамон-02». Принцип действия радиометра основан на отборе аэрозолей ДПР радона на аэрозольные фильтры с последующим измерением активности альфа-излучателей RaA, RaC'. Отбор аэрозольных проб производился на спектрометрический фильтр типа АФА-РСР-20 с помощью воздухозаборного устройства. Регистрация альфа-излучения производилась с помощью полупроводникового кремниевого детектора альфа-частиц. Погрешность измерений не превышала $\pm 30\%$ в диапазоне от 1 до $5 \cdot 10^5$ Бк/м³.

Определение ОА радона в воздухе помещений проводилось с помощью радиометра радона «Альфа-рад Плюс». Принцип действия блока измерения ОА радона основан на электростатическом осаждении заряженных ионов ²¹⁸Po (RaA) из отобранной пробы воздуха на поверхность полупроводникового детектора, расположенного в измерительной камере. ОА определяется по количеству зарегистрированных альфа-частиц при распаде RaA, осевших на детектор. Предел допускаемой основной относительной погрешности в пробах воздуха $\pm 20\%$ в диапазоне от 1 до $2 \cdot 10^6$ Бк/м³.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение содержания изотопов радона в воздушной среде эксплуатируемых зданий г. Курчатова

Для проведения исследования содержания радона и его ДПР в жилых и административных зданиях г. Курчатова были произведены замеры концентрации радона в воздушной среде зданий. Измерения ЭРОА и ОА радона в помещениях жилых и административных зданий г. Курчатова проводились ежемесячно с февраля 2021 по январь 2022 года. В ходе исследования выполнено около 1400 измерений ЭРОА и 960 измерений ОА радона.

В ходе проведенных исследований установлено, что все помещения жилых и большинство помещений административных зданий не содержат в воздушной среде концентраций, превышающих установленные законодательством гигиенические нормы [5]. Процентное соотношение результатов, полученных за весь период исследования, представлено на рисунках 2 и 3.

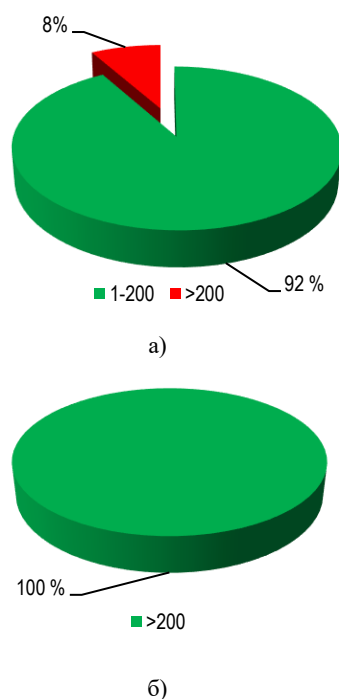


Рисунок 2. ЭРОА (Бк/м³) в помещениях административных (а) и жилых (б) зданий г. Курчатова

Согласно гигиеническим нормативам, среднегодовая ЭРОА ДПР радона и торона в воздухе помещений жилых и административных зданий не должна превышать 200 Бк/м³.

Большинство результатов измерений ЭРОА радона в помещениях административных и жилых зданий лежит в диапазоне от 1 до 100 Бк/м³, превышения гигиенических нормативов ЭРОА радона зафиксированы в 8% случаев. Превышений допустимых значений ЭРОА радона в помещениях жилых зданий за весь период исследований не зафиксировано.

Поскольку допустимые уровни ОА радона в воздухе эксплуатируемых помещений административных и жилых зданий не регламентируются гигиеническими нормативами Республики Казахстан, в качестве верхних границ референтного уровня взяты за основу значения, рекомендуемые Публикацией 115 Международной комиссии по радиологической защите. Данные значения для жилых помещений составляют 300 Бк/м³, для административных помещений – 1000 Бк/м³ [7].

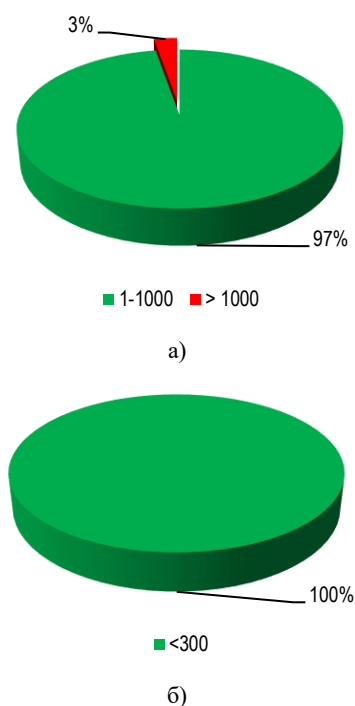


Рисунок 3. ОА (Бк/м³) в помещениях административных (а) и жилых (б) зданий г. Курчатова

Основная масса значений ОА радона распределена в диапазоне от 1 до 150 Бк/м³, превышения верхней границы референтного уровня наблюдаются в 3% случаев, что свидетельствует о безопасности пребывания человека во всех помещениях жилых зданий и в большинстве помещений административных зданий.

Оценка зависимости концентрации изотопов радона в помещениях жилых и административных зданий г. Курчатова от сезона года

Погодные условия могут влиять как на интенсивность эксхалации эманаций изотопов радона из почвы, так и на условия концентрирования дочерних продуктов их распада в приземном слое атмосферы. Именно поэтому в различных районах земного шара средняя величина удельной активности радона в воздухе изменяется в тех или иных пределах. Кроме того, распределение годовых экстремумов может иметь характерные особенности для определенных областей. В этом случае, основное влияние оказывает микроклимат территории. Важными факторами, определяющими концентрацию радиоактивных аэрозо-

лей в приземном слое атмосферы, являются интенсивность вертикального турбулентного обмена и величина эксхалляции радона, зависящая от состояния почвы в данной местности [8–10].

Для изучения данного явления были проведены измерения содержания радона в воздухе помещений жилых и административных зданий города в зимний, весенний и летний сезоны года. Результаты измерения ЭРОА и ОА радона в жилых и административных зданиях г. Курчатова представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. ЭРОА радона в помещениях административных и жилых зданий г. Курчатова в зависимости от сезона года

Сезон	ЭРОА радона в помещениях, Бк/м ³	
	административных зданий	жилых зданий
зима	83 ± 8 9 – 360 (n-204)	14 ± 1 2 – 24 (n-144)
весна	64 ± 8 2 – 373 (n-204)	11 ± 1 2 – 26 (n-144)
лето	119 ± 28 3 – 1203 (n-204)	14 ± 1 2 – 50 (n-144)
осень	53 ± 5 3 – 395 (n-204)	12 ± 6 1 – 28 (n-144)

Примечания:

в числителе – среднее арифметическое, ошибка;
в знаменателе – минимальное и максимальное значение,
n – количество измерений;
в эксплуатируемых зданиях среднегодовая ЭРОА ДПР радона и торона в воздухе жилых помещений не должна превышать 200 Бк/м³

В зимний период ЭРОА радона в помещениях административных зданий меняется в диапазоне от 9 до 360 Бк/м³ при среднем значении 83 Бк/м³, весной – от 2 до 373 Бк/м³ при среднем – 64 Бк/м³, летом – от 3 до 1203 Бк/м³ при средней величине 119 Бк/м³, осенью – от 3 до 395 Бк/м³ при среднем значении 53 Бк/м³.

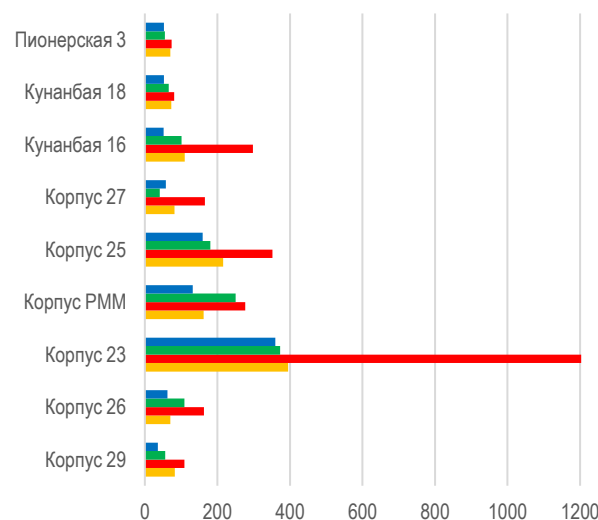
В помещениях жилых зданий ЭРОА радона в зимний период колеблется от 2 до 24 Бк/м³ при среднем значении 14 Бк/м³, весной – от 2 до 26 Бк/м³ при среднем 11 Бк/м³, летом – от 2 до 50 Бк/м³ при средней величине 14 Бк/м³, осенью – от 1 до 28 Бк/м³ при среднем значении 12 Бк/м³.

Максимальные измеренные значения ЭРОА радона в воздухе помещений административных и жилых зданий г. Курчатова представлены на рисунке 4.

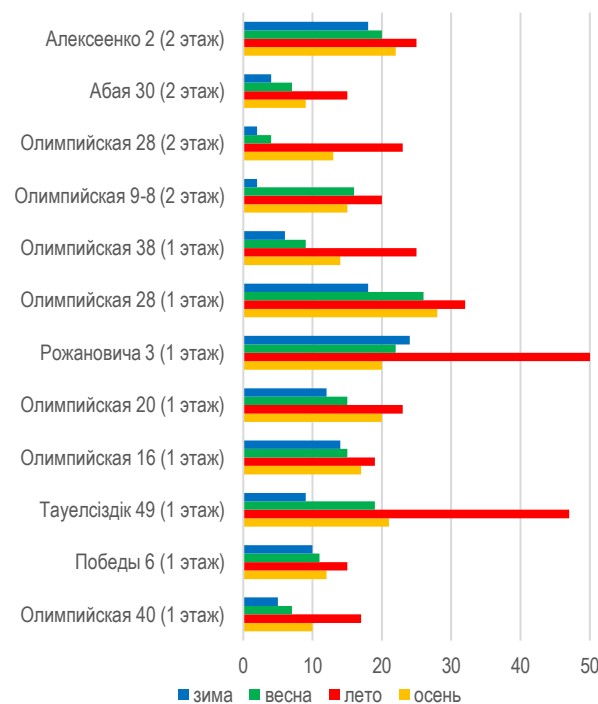
Максимальное мгновенное значение ЭРОА радона среди помещений административных зданий отмечено в подвальном помещении (узел ввода) корпуса ИРБЭ № 23 (1203 Бк/м³). Данное значение в 6 раз превышает предельно допустимое значение, указанное в гигиенических нормативах и равное 200 Бк/м³ [5]. Среди помещений жилых зданий максимальное мгновенное значение ЭРОА радона получено в квартире по адресу ул. Тауелсіздік 49 (50 Бк/м³), данное значение не превышает предельно-допустимый уровень.

Минимальная ЭРОА радона среди помещений административных зданий зафиксирована в помещении здания ИРБЭ № 26 (2 Бк/м³), среди помещений

жилых зданий – в квартирах по адресу ул. Олимпийская 9, 28, 38 (2 Бк/м³).



а)



б)

Рисунок 4. Сезонная изменчивость ЭРОА радона (Бк/м³) в воздухе помещений административных (а) и жилых (б) зданий г. Курчатова

В зимний период ОА радона в помещениях административных зданий меняется в диапазоне от 23 до 1453 Бк/м³ при среднем значении 184 Бк/м³, весной – от 20 до 1468 Бк/м³, средняя ОА – 190 Бк/м³, летом – от 33 до 2373 Бк/м³ при средней величине 255 Бк/м³, осенью – от 21 до 1900 Бк/м³ при среднем значении 189 Бк/м³.

Таблица 2. ОА радона в воздухе помещений административных и жилых зданий г. Курчатова в зависимости от сезона года

Сезон	ОА радона в воздухе помещений, Бк/м ³	
	административных зданий	жилых зданий
зима	184±20 23–1453 (n-204)	68±13 20 – 122 (n-36)
весна	190±20 20–1468 (n-204)	47±8 14 – 122 (n-36)
лето	255±48 33–2373 (n-204)	60±9 24 – 171 (n-36)
осень	189±22 21–1900 (n-204)	66±10 23 – 127 (n-36)

Примечания:

в числителе – среднее арифметическое, ошибка;
в знаменателе – минимальное и максимальное значение,
n – количество измерений;
верхняя граница референтного уровня в жилищах 300 Бк/м³,
в рабочих помещениях 1000 Бк/м³ (публикация 115 МКРЗ) [3]

В помещениях жилых зданий ОА радона в зимний период колеблется от 20 до 122 Бк/м³ при среднем значении 68 Бк/м³, весной – от 14 до 122 Бк/м³, средняя ОА – 47 Бк/м³, летом – от 24 до 171 Бк/м³ при средней величине 60 Бк/м³, осенью – от 23 до 127 Бк/м³ при среднем значении 66 Бк/м³.

Максимальные измеренные значения ОА радона в воздухе помещений административных и жилых зданий г. Курчатова представлены на рисунке 5.

Максимальное мгновенное значение ОА радона среди помещений административных зданий зафиксировано в подвальном помещении (архив) корпуса ИРБЭ № 23 (2373 Бк/м³), среди помещений жилых зданий – в квартире по адресу ул. Олимпийская 20 (171 Бк/м³). Минимальная ОА радона среди помещений административных зданий зафиксирована в помещении корпуса ИРБЭ № 29 (20 Бк/м³), среди помещений жилых зданий – в квартире по адресу ул. Олимпийская 38 (14 Бк/м³).

Проведенные исследования показали, что ЭРОА и ОА радона в воздухе помещений увеличивается от зимы к лету. На повышение эксхалляции радона в летний период оказывают влияние колебания температуры почвы в течение суток и вытеснение радона из почвы почвенной влагой во время выпадения осадков. Существует также множество исследований, доказывающих зависимость скорости выхода радона на поверхность от температурно-барических условий среды и сильную положительную связь между плотностью потока радона и повышением температуры воздуха в атмосфере, и обратную связь в отношении давления [11–15].

В ходе исследований также подтверждена тенденция понижения концентрации радона в воздухе помещений с увеличением этажа здания. Полученные результаты распределения ЭРОА и ОА радона в зависимости от этажности образовали следующий убывающий ряд: подвал > 1 этаж > 2 этаж. ЭРОА и ОА радона в воздухе помещений административных и

жилых зданий г. Курчатова в зависимости от этажности представлены на рисунке 6.

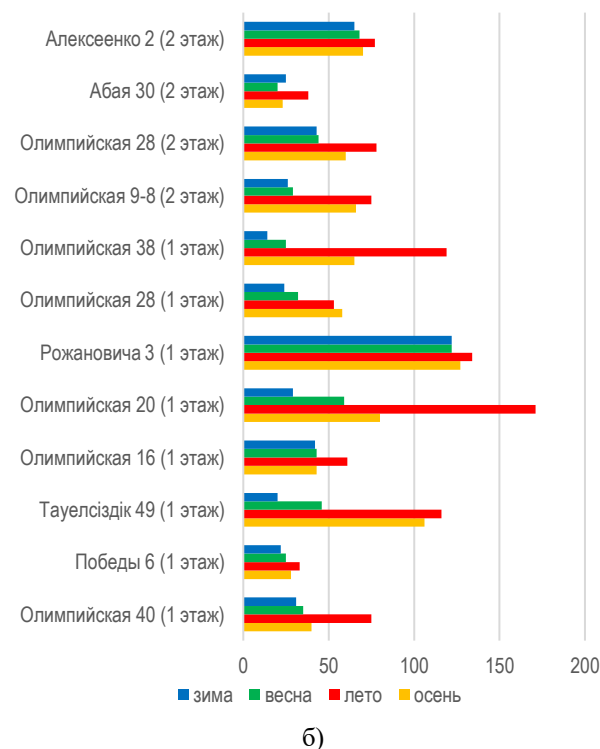
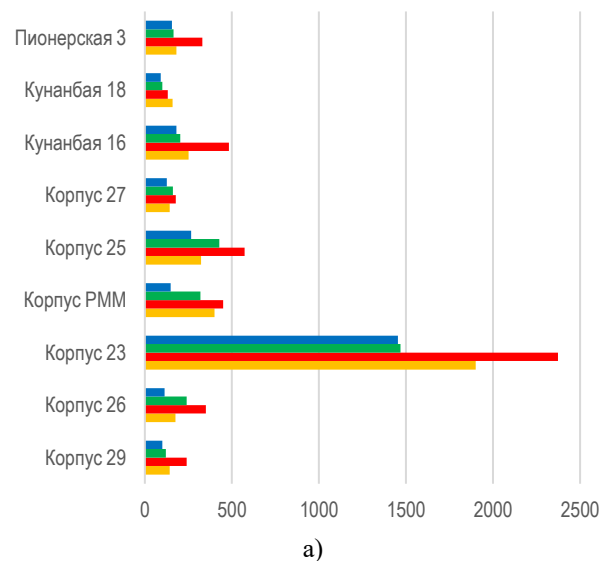
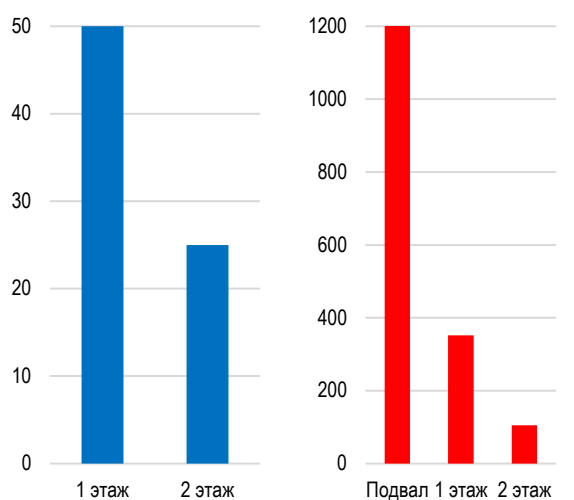
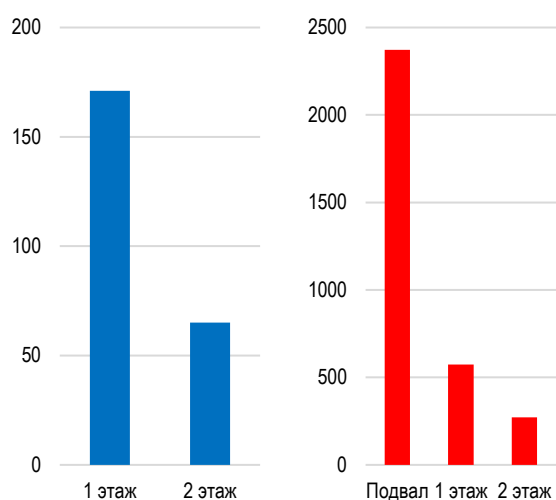


Рисунок 5. Сезонная изменчивость ОА радона (Бк/м³) в воздухе помещений административных (а) и жилых (б) зданий г. Курчатова

Плотность радона составляет 9,73 кг/м³, что, примерно, в 8 раз больше плотности воздуха. Кроме того, радон в отличие от воздуха меньше подвержен температурным инверсиям. Таким образом, исследования подтвердили, что, будучи тяжелым газом, радон, проникая в здание в основном из почвы, соответственно, накапливается в большей степени в подвальных помещениях и на нижних этажах.



а)



б)

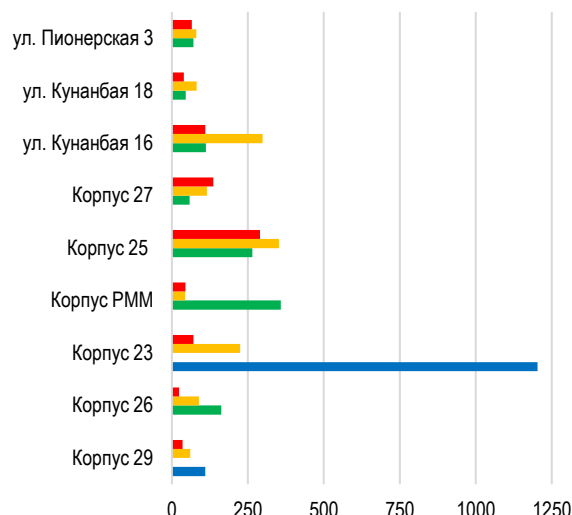
■ – помещения жилых зданий ■ – помещения административных зданий

Рисунок 6. ЭРОА (а) и ОА (б) радона (Бк/м³) в воздухе помещений жилых и административных зданий г. Курчатова в зависимости от этажности

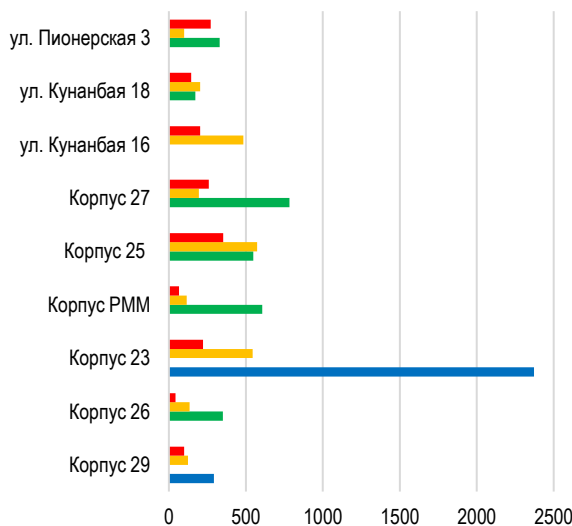
Изучение зависимости концентрации радона в воздушной среде помещений от их типов и назначения

В процессе исследования собраны также данные о влиянии типа и назначения помещения на активность радона в нем. Распределение ЭРОА и ОА радона в зависимости от типа и назначения помещения представлено на рисунке 7.

Превышения допустимых уровней ЭРОА и ОА радона зафиксированы в технических административных помещениях подвала и первого этажа зданий ИРБЭ, предназначенных для обеспечения функционирования систем вентилирования, тепло- и электрообеспечения, а также помещений складирования, за исключением некоторых редко используемых и не-продветриваемых кабинетов.



а)



б)

■ 2 этаж (кабинеты, лаборатории)
 ■ 1 этаж (кабинеты, лаборатории)
 ■ 1 этаж (узлы ввода, склады, электрощитовые)
 ■ подвальные помещения (узлы ввода, склады, архивы, электрощитовые)

Рисунок 7. Распределение ЭРОА (а) и ОА (б) радона (Бк/м³) в зависимости от типов административных помещений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что:

– 92 % результатов измерений ЭРОА радона в помещениях административных и жилых зданий относится к диапазону 1-100 Бк/м³, превышения предельно допустимого значения ЭРОА радона, установленного гигиеническими нормативами, зафиксированы в 8 % случаев. 97 % результатов измерений ОА радона в помещениях административных зданий распределены в диапазоне 1-150 Бк/м³, превышения верхней границы референтного уровня, установленного в 115 публикации МКРЗ, наблюдаются в 3% случаев. Полученные результаты свидетельствуют о безопасности помещений жилых зданий и большин-

ства помещений административных зданий для постоянного или временного пребывания человека.

– В зимний период среднее значение ЭРОА радона в помещениях административных зданий составляет 83 Бк/м³, весной – 64 Бк/м³, осенью – 53 Бк/м³, летом – 119 Бк/м³. Данные распределения ЭРОА и ОА радона в зависимости от сезона года образовали следующий убывающий ряд: *лето* > *осень* > *весна* > *зима*. Предполагается, что это связано с промерзанием грунта и наличием снежного покрова в зимний период, а также с влиянием температурно-барических условий среды на скорость выхода радона на поверхность.

– В зависимости от этажности зданий ЭРОА и ОА радона распределены в следующем порядке: *подвальные помещения* > *1 этаж* > *2 этаж*. Превышения допустимых уровней ЭРОА и ОА радона зафиксированы в технических административных помещениях подвала и первого этажа, предназначенных для обеспечения функционирования систем вентилирования, тепло- и электро-обеспечения, а также помещений складирования, за исключением некоторых редкоиспользуемых и непрветриваемых кабинетов.

Значения ЭРОА и ОА радона, измеренные в помещениях жилых зданий, расположенных на территории г. Курчатова, не превышают предельно допустимых значений, указанных в гигиенических нормативах, что позволяет оценить постоянное или временное пребывание человека в обследованных помещениях безопасным для здоровья.

Для большинства обследованных помещений административных зданий характерно также непревышение предельно допустимых значений, указанных в гигиенических нормативах. Тем не менее, для подвальных помещений административных зданий и помещений первого этажа, расположенных в административных зданиях без наличия подвала, характерны превышения предельно допустимых значений, указанных в гигиенических нормативах.

Для помещений с повышенной концентрацией радона рекомендуется провести ряд противорадоновых мероприятий, таких как герметизация щелей и отверстий в полах помещений, улучшение качества приточно-вытяжной вентиляции. Данные мероприятия позволяют снизить содержание радона в воздухе обследованных помещений.

Кроме того, эмиссия радона из стен уменьшается в 10 раз при облицовке стен пластиковыми материалами типа полиамида, поливинилхлорида, полиэтилена или после покрытия стен слоем краски на эпоксидной основе или тремя слоями масляной краски. Даже при оклейке стен обоями скорость эмиссии радона уменьшается примерно на 30% [4].

Данные исследования финансировались Министерством энергетики Республики Казахстан в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – BR09158470).

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлева, В.С. Методы определения объемной активности изотопов радона и продуктов распада в воздухе: учебное пособие / В. С. Яковлева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 119 с.
2. Тихонов, М.Н. Газ – убийца. Радон: источники, дозы и нерешенные вопросы / М.Н. Тихонов // Атомная стратегия XXI. – 2006. – № 23 (июль). – С. 14–18. – Библиогр.: 24 назв.
3. Бекман, И.Н. Радон: враг, врач и помощник [Электронный ресурс] / И.Н. Бекман // Курс лекций, 2010. – 186 с. – Режим доступа: https://www.studmed.ru/bekman-in-radon-vrag-vrach-i-pomoschnik-kurs-lekcij_2909dd1c5aa.html.
4. Левин, М.Н. Радон: учебное пособие / М.Н. Левин, О.П. Негрбов, В.Р. Гитлин [и др.]; Воронежский государственный университет. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2008. – 21 с.
5. Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 15 декабря 2020 года № КР ДСМ-275/2020. Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности». Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 20 декабря 2020 года № 21822.
6. Методические указания Республики Казахстан «Проведение радиационно-гигиенического обследования территории и жилых и общественных зданий. Методика измерения концентрации радона» от 8 сентября 2011 года.
7. Tirmarche, M. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon / M. Tirmarche, J.D. Harrison, D.; Editor C.H. Clement // The International Commission on Radiological Protection. – 2010. – Publication 115, Vol. 40 (1). – 64 p.
8. Гулябниц, Н.А. Сезонная вариация потока радона из грунта и оценка радоноопасности площади застройки / Н.А. Гулябниц, Б.Ю. Заболотский // АНРИ. – 2004. – № 4. – С. 46–50.
9. Зуевич, Ф. И. Взаимная корреляция солнечной активности и потока радона с поверхности грунтов / Ф.И. Зуевич, В.В. Довгуша, И.В. Шкрабо [и др.] // Экологические системы и приборы. – 2008. – № 10. – С. 55–58.
10. Tchorz-Trzeciakiewicz, D.E. Factors affecting atmospheric radon concentration, human health/ D.E. Tchorz-Trzeciakiewicz, M. Kłos // Science of The Total Environment. – 2017. – Vol. 584–585. – P. 911–920.
11. Schery, S.D. Measurements of the effect of cyclic atmospheric pressure variation on the flux of ²²²Rn from the soil/ S.D. Schery, D.H. Gaedert // Geophysical Research Letters. – 1982. – Vol. 9, Is. 8. – P. 835–838.
12. Kamra, L. Seasonal emanation of radon at Ghuttu, north-west Himalaya: Differentiation of atmospheric temperature and pressure influences/ L. Kamra // Applied Radiation and Isotopes. – 2015. Vol. 105. – P. 170–175.
13. Smetanová, I. The effect of meteorological parameters on radon concentration in borehole air and water/ I. Smetanová, K. Holý, M. Müllerová [et al.] // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2010. – Vol. 283. – P. 101–109.
14. Tchorz-Trzeciakiewicz, D. E. Variations of radon concentration in the atmosphere. Gamma dose rate/ D.E. Tchorz-

- Trzeciakiewicz, A.T. Solecki // Atmospheric Environment. – 2018. – Vol. 174. – P. 54–65. – References: p. 64–65.
15. Климшин, А. В. Закономерности переноса радона в приповерхностном слое грунтов и в подземных горных выработках: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 25.00.10: защищена 10.05.2012 / Климшин Алексей Валерьевич. – Екатеринбург, 2012. – 19 с. – Библиогр.: с. 18–19. – 005046092.
- REFERENCES**
1. Yakovleva V.S. Methods for determining the volumetric activity of radon isotopes and decay products in the air: a training manual / V. S. Yakovleva; Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: Publishing house of TPU, 2010. – 119 p.
 2. Tikhonov, M.N. Gas is a killer. Radon: sources, doses and unresolved issues / M.N. Tikhonov // Atomic Strategy XXI. – 2006. – No. 23 (July). – P. 14–18. – Bibliography: 24 titles.
 3. Beckman I.N. Radon: enemy, doctor and helper [Electronic resource] / I.N. Beckman // Lecture Course, 2010. – 186 p. – Access mode: https://www.studmed.ru/bekman-in-radon-vrag-i-pomoschnik-kurs-lekciy_2909dd1c5aa.html.
 4. Levin M.N. Radon: textbook / M.N. Levin, O.P. Negrobov, V.R. Gitlin [et al]; Voronezh State University. – Voronezh State University: Publishing and Polygraphic Center of the Voronezh State University, 2008. – 21 p.
 5. Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated December 15, 2020, No. ҚР ДСМ-275/2020. On Approval of Sanitary Rules “Sanitary and Epidemiological Requirements to Ensuring Radiation Safety”. Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on December 20, 2020 No. 21822.
 6. Methodological Guidelines of the Republic of Kazakhstan “Conducting Radiation Hygienic Survey of Territories and Residential and Public Buildings. Methodology for Measuring Radon Concentration” dated September 8, 2011.
 7. Tirmarche, M. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon / M. Tirmarche, J.D. Harrison, D.; Editor C.H. Clement // The International Commission on Radiological Protection. – 2010. – Publication 115, Vol. 40 (1). – 64 p.
 8. Gulabyants, N.A. Seasonal variation of radon flux from soil and assessment of radon hazard of building area / N.A. Gulabyants, B.Y. Zabolotsky // ANRI. – 2004. – No. 4. – P. 46–50.
 9. Zuyevich, F.I. Mutual correlation of solar activity and radon flux from the surface of soils / F.I. Zuyevich, V.V. Dovgusha, I.V. Shkrabo [et al.] // Ecological systems and devices. – 2008. – No. 10. – P. 55–58.
 10. Tchorz-Trzeciakiewicz, D.E.. Factors affecting atmospheric radon concentration, human health / D.E. Tchorz-Trzeciakiewicz, M. Kłos // Science of The Total Environment. – 2017. – Vol. 584–585. – P. 911–920.
 11. Schery, S.D. Measurements of the effect of cyclic atmospheric pressure variation on the flux of ^{222}Rn from the soil / S.D. Schery, D.H. Gaeddert, // Geophysical Research Letters. – 1982. – Vol. 9, Is. 8. – P. 835–838.
 12. Kamra, L. Seasonal emanation of radon at Ghuttu, north-west Himalaya: Differentiation of atmospheric temperature and pressure influences / L. Kamra // Applied Radiation and Isotopes. – 2015. – Vol. 105. – P. 170–175.
 13. Smetanová, I. The effect of meteorological parameters on radon concentration in borehole air and water / I. Smetanová, K. Holý, M. Müllerová [et al.] // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2010. – Vol. 283. – P. 101–109.
 14. Tchorz-Trzeciakiewicz, D. E. Variations of radon concentration in the atmosphere. Gamma dose rate / D.E. Tchorz-Trzeciakiewicz, A.T. Solecki // Atmospheric Environment. – 2018. – Vol. 174. – P. 54–65. – References: P. 64–65.
 15. Klimshin A. V. Laws of radon transfer in the near-surface layer of soils and in underground mine workings: Ph. Cand. of Sci. of Technology: 25.00.10: secured 10.05.2012 / Klimshin Aleksei Valerievich. – Yekaterinburg, 2012. – 19 p. – Bibliography: pp. 18–19. – 005046092.

КУРЧАТОВ ҚАЛАСЫНЫҢ АУМАҒЫНДА РАДОН ИЗОТОПТАРЫНЫҢ ШОҒЫРЛАНУЫНЫҢ МАУСЫМДЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІН АНЫҚТАУ

Ю.Е. Артамонов, Е.В. Мустафина, Ю.В. Бакланова

«Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» ҚР ҰЯО РМК филиалы, Курчатова, Қазақстан

Мақалада Курчатова қ. пайдаланылатын ғимараттарының ауа ортасындағы радон изотоптарының құрамын зерттеу нәтижелері келтірілген, тұрғын және әкімшілік ғимараттардың үй-жайларындағы радон изотоптарының концентрациясының жыл мезгіліне, сондай-ақ үй-жайлардың түріне және олардың мақсатына тәуелділігі бағаланады. Ауа ортасындағы радон концентрациясының маусымдық өзгерістерін зерттеу радонның эквивалентті тепе-теңдік көлемдік белсенділігін (ЭТКБ) және көлемдік белсенділігін (КБ) өлшеу арқылы жүзеге асырылды. Алғаш рет Курчатова қ. тұрғын үйлер мен өндірістік ғимараттардың үй-жайларында радон изотоптарының көлемдік белсенділігі анықталды. Нәтижелер әкімшілік және тұрғын үй ғимараттарының үй-жайларының зерттелген ауасындағы ЭТКБ мен радон КБ мәндері қыстан жазға қарай артып, келесідей: $жаз > күз > көктем > қыс$ төмендеу қатарын құрайтынын көрсетті, бұл топырақтың қатып қалуына және қыс мезгілінде қар жамылғысының болуына байланысты болуы мүмкін. Сондай ақ ғимарат қабатының ұлғаюымен үй-жайлардың ауасындағы радон концентрациясының төмендеуі расталды.

Түйін сөздер: радон, радон изотоптары, көлемдік белсенділік (КБ), эквивалентті тепе-теңдік көлемдік белсенділік (ЭТКБ), радон концентрациясының маусымдық өзгеруі, тұрғын және өндірістік ғимараттар.

**DETERMINATION OF SEASONAL CHANGES IN CONCENTRATIONS
OF RADON ISOTOPES WITHIN KURCHATOV TOWN**

Yu.E. Artamonov, Ye.V. Mustafina, Yu.V. Baklanova

RSE NNC RK Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology”, Kurchatov, Kazakhstan

The article presents findings on the content of radon isotopes in the air of buildings maintained in Kurchatov t., the dependence of concentrations of radon isotopes in residential and administrative buildings on a season assessed as well as on the type of premises and their purpose. Seasonal variations in radon concentrations in the air were studied by measuring the equivalent equilibrium volumetric activity (EEVA) and the volumetric activity (VA) of radon. For the first time, volumetric activities of radon isotopes in premises of residential and industrial buildings have been determined. Data showed that EEVA and VA values of radon in the air of residential and administrative premises surveyed increase from winter toward summer in the following descending series: *summer > autumn > spring > winter*, which, is perhaps related to soil freezing and the presence of the snow cover at the winter time. Radon concentration was also proved to decrease in the indoor air with a storey.

Keywords: *radon, radon isotopes, volumetric activity (VA), equivalent equilibrium volumetric activity (EEVA), seasonal variations in radon concentrations, residential and industrial buildings.*