

## Оценка уровней содержания радона в многоэтажных зданиях на примере восьми крупных городов России

М.В. Жуковский, И.В. Ярмошенко, А.Д. Онищенко, Г.П. Малиновский, А.В. Васильев, Е.И. Назаров

Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург, Россия

*В настоящей работе проанализированы результаты измерений ОА радона в многоэтажных многоквартирных зданиях в 8 крупных городах России. В каждом городе на основе квазислучайного подхода были сформированы две выборки в зависимости от года постройки здания — до и после 2000 г. Измерения выполнены с использованием радиометров радона на основе твердотельного трекового детектора CR-39. В квартирах многоэтажных зданий устанавливались по 2 радиометра и рассчитывалась средняя по квартире ОА радона. Период экспонирования радиометров составил 3 месяца. Для оценки среднегодовой ОА применялись сезонные коэффициенты, рассчитанные для преимущественного поступления радона из строительных материалов. Всего измерения ОА радона проведены в 1032 квартирах. Предполагалось, что объединенная выборка для городов Екатеринбург, Краснодар, Нижний Новгород, Новосибирск, Тюмень и Челябинск является представительной для многоэтажных зданий нестоличных городов России. Были получены следующие средние арифметические среднегодовые значения ОА радона в выборках зданий, возведенных до и после 2000 г. соответственно: Москва — 17 и 21 Бк/м<sup>3</sup>; Санкт-Петербург — 15 и 25 Бк/м<sup>3</sup>, группа нестоличных городов — 25 и 31 Бк/м<sup>3</sup>. С учетом весового вклада каждой группы зданий в общий городской жилищный фонд рассчитаны параметры, характеризующие ОА радона в многоэтажных многоквартирных городских зданиях России: среднее арифметическое 25 Бк/м<sup>3</sup>; среднее геометрическое 21 Бк/м<sup>3</sup>; геометрическое стандартное отклонение 1,81. В целом, облучение радоном в многоэтажных городских зданиях России является невысоким, как по средней величине, так и диапазону значений. Отмечается тенденция роста облучения населения радоном в новых зданиях, которая связана с внедрением строительных технологий, повышающих энергоэффективность зданий.*

**Ключевые слова:** радон, обследование, радиационная безопасность, города, многоэтажные здания.

### Введение

Необходимым этапом оптимизации радиационной безопасности при обращении с источниками ионизирующего излучения является объективная и достоверная оценка ситуации облучения [1, 2]. Воздействие радона и его дочерних продуктов (ДПР) на население определяется по результатам измерения их объемной активности (ОА) или эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) в воздухе помещений с применением соответствующих средств и методов измерений. Контроль облучения населения радоном может проводиться как на уровне отдельных зданий, так и на уровне территории (населенных пунктов, регионов или страны в целом). Обследование зданий проводится с целью определения соответствия этих зданий установленным гигиеническим нормативам по среднегодовым уровням ЭРОА изотопов радона и оценки доз облучения. Радиационное обследование зданий, как правило, проводится в рамках санитарно-эпидемиологического надзора организациями

Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), а также другими лабораториями радиационного контроля по заявкам жильцов и участников рынка недвижимости [2]. Радоновое обследование территории проводится научно-исследовательскими организациями с целью получения объективных данных об уровнях облучения населения и оценки масштаба проблемы облучения населения радоном [3]. В рамках радонового обследования территории устанавливается частотное распределение ОА радона в жилищах, определяются его форма и параметры. При радоновом обследовании территории массовые измерения ОА радона в жилых зданиях проводятся в рамках целостной скоординированной программы. Основной методологический принцип радонового обследования — это проведение измерений по единой методике в представительной выборке жилищ.

С учетом невозможности охватить все здания на обследуемой территории, обследование проводят в выбор-

Ярмошенко Илья Владимирович

Институт промышленной экологии

Адрес для переписки: 620990, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: ivy@ecko.uran.ru

ке помещений зданий. Считается, что надежным способом формирования представительной выборки является случайный (рандомизированный) отбор. В реальности в полной мере реализовать этот способ оказывается невозможно. В научной литературе рассматривается несколько альтернативных подходов к созданию выборок жилищ, таких как квазислучайный, привлечение добровольцев, обследование жилищ организованных групп граждан и др. [2, 4, 5]. В случае формирования выборки на основе не полностью рандомизированного подхода ее представительность оценивается по соответствию жилому фонду в целом с учетом известных признаков радоноопасности зданий. Объем выборки определяется, исходя из необходимой точности оценки параметров частотного распределения ОА радона и имеющихся организационно-технических возможностей. Как показано в ряде работ, для удовлетворительной оценки среднего арифметического в однородной группе зданий достаточно провести измерения в выборке из нескольких десятков помещений [2]. Для оценки частотного распределения в неоднородной группе зданий размер выборки обследования должен быть увеличен до нескольких тысяч [4]. Базы данных обследованных зданий объемом в десятки тысяч записей используются для составления карт радоноопасности территорий [6].

При проведении радонового обследования территории предпочтение отдается интегрирующим методам измерения ОА радона [4, 7]. Для оценки среднегодового значения ОА радона можно экспонировать интегрирующие радиометры радона в атмосфере помещений в течение 12 месяцев. Однако на практике такое продолжительное экспонирование при массовых измерениях осуществить сложно. В большинстве проведенных в мире радоновых обследований исследователи ограничивались 3-месячными измерениями. Для перехода от измеренного сезонного значения ОА радона к среднегодовому необходимо применять методы сезонной нормализации [7, 8].

В России ежегодно проводится большое количество измерений ОА радона в жилых зданиях [9, 10]. С 2001 г. результаты измерений, проводимых аккредитованными лабораториями, аккумулируются в Федеральном банке данных и публикуются в обобщенном виде [10, 11]. Комплексный анализ результатов измерений ОА радона за период с 2001 по 2017 г., содержащихся в Федеральном банке данных, проведен в работе Д.В. Кононенко [10]. Автор критически проанализировал собранные результаты, оценил их надежность и предложил методы корректировки искаженных распределений ОА радона в отдельных регионах. Для субъектов Российской Федерации оценены среднее геометрическое, геометрическое стандартное отклонение и среднее арифметическое значение ОА радона. Представленные в Федеральном банке данных результаты позволяют проанализировать актуальность проблемы облучения радоном населения России, определить наиболее радоноопасные регионы и оценить численность населения, проживающего при высоких уровнях ОА радона.

Необходимо отметить, что подразделения Роспотребнадзора в большей степени нацелены на выявление превышений санитарно-гигиенических нормативов и поиск радоноопасных территорий. Поэтому выборки зданий, вошедшие в Федеральный банк, необходимо рас-

сматривать как потенциально смещенные. В частности, в этой базе могут быть непропорционально представлены наименее радоноопасные типы зданий и помещений, такие как квартиры в городских зданиях, расположенные выше первого этажа. Кроме того, применение различных методов измерения в различных регионах, в том числе с высокими пределами обнаружения, снижают надежность данных, включенных в Федеральный банк.

Российская Федерация относится к странам с высоким уровнем урбанизации. Городские жители составляют 74,7% населения [12]. Жилищный фонд городов России преимущественно составляют многоэтажные многоквартирные здания. Традиционно считается, что накопление радона в квартирах таких зданий происходит за счет поступления из строительных конструкций и при надлежащем контроле содержания природных радионуклидов в строительных материалах и изделиях ЭРОА радона в жилищах остается низкой и не превышает норматив. С учетом этого, обследование эксплуатируемых городских зданий часто отходит на второй план при планировании радиационно-гигиенических мероприятий на территории.

В последние годы актуальность исследований уровня накопления радона в многоэтажных зданиях возросла с учетом широкого внедрения в практику строительства технологий, повышающих энергоэффективность строящихся зданий. Было показано, что в отдельных зданиях ЭРОА радона достигает значений, приближающихся к нормативу, а в ряде случаев превышающих норматив [13]. С учетом этого, в Институте промышленной экологии УрО РАН было запланировано и проведено исследование по анализу зависимости ОА радона от класса энергоэффективности зданий в 8 крупных городах России: Екатеринбург, Краснодар, Москва, Нижний Новгород, Новосибирск, Санкт-Петербург, Тюмень, Челябинск. В рамках исследования в каждом из городов формировались выборки из зданий, возведенных в период до и после официального введения требований к энергосбережению в зданиях. Уже предварительные результаты радонового обследования этих выборок в 4 городах показали, что в новых зданиях повышенных классов энергоэффективности средние уровни ОА радона существенно выше, чем в домах типовых проектов 1950–1990-х гг. [14, 15]. Проведенные в 8 крупных городах обследования позволяют не только выявить влияние технологий энергосбережения на облучение населения радоном, но и проанализировать облучение радоном городского населения России, проживающего в многоэтажных многоквартирных зданиях. Такой анализ дает возможность получить данные о средней ОА радона и распределении ОА радона в жилищах для крупнейшей группы населения и восполнить пробелы в понимании современной ситуации облучения радоном населения России.

## Материалы и методы

### Формирование выборок

Особенностью настоящего исследования являлось то, что в каждом городе формировались две неперекрывающиеся выборки в зависимости от года постройки здания – до и после 2000 г. Минимальный объем каждой выборки задавался в 50 объектов.

Участники исследования – жильцы квартир, в которых были проведены измерения, привлекались следующими способами:

- целевое информирование аудитории интернет-сообществ жильцов зданий, относящихся к одному из требуемых типов;
- распространение информации среди аудитории различных тематических групп в социальных сетях;
- поиск потенциальных участников по цепочке личных контактов организаторов исследования;
- привлечение организованных групп населения, таких как сотрудники научных и образовательных учреждений.

Для информирования участников исследования об организационных деталях, ходе исследования и его результатах была создана специальная группа в социальной сети «ВКонтакте» и интернет-сайт. В каждом городе приближение к рандомизированному принципу отбора объектов исследования обеспечивалось за счет сочетания разнообразных способов формирования выборок. Для оценки представительности выборок было проанализировано соответствие строительных, конструктивных и других характеристик выборок квартир жилищ ожидаемым для соответствующих городов и периодов постройки.

Более развернуто методология формирования выборок описана в предыдущей работе [15], в которой представлены результаты измерений в Екатеринбурге, Челябинске, Краснодаре и Санкт-Петербурге. Необходимо отметить, что в настоящую статью дополнительно включены результаты обследований в городах Москва, Нижний Новгород, Новосибирск и Тюмень, полученные позже.

#### *Методы измерения*

Измерения ОА радона выполнялись с использованием радиометров радона RSKS компании Radosys (Венгрия). Радиометры радона RSKS являются интегрирующим средством измерения на основе твердотельного трекового детектора CR-39, помещенного в диффузионную камеру. Треки альфа-частиц, образовавшиеся в материале детектора в процессе экспонирования радиометра, протравливаются в растворе щелочи и затем подсчитываются в автоматическом режиме на оптическом микроскопе в лабораторных условиях.

Для обеспечения точности и воспроизводимости результатов измерений радиометры радона RSKS были откалиброваны как производителем, так и в рамках внутреннего лабораторного контроля Института промышленной экологии УрО РАН с использованием специально созданного калибровочного стенда [16]. Калибровочные коэффициенты производителя и Института совпали. Нижний предел измерения для радиометров радона RSKS при 3-месячной экспозиции составляет 5 Бк/м<sup>3</sup>.

Необходимо отметить, что радиометры радона на основе трекового детектора CR-39 обладают рядом преимуществ по сравнению с устройствами на основе LR-115, которые более распространены в России. В первую очередь, преимуществом является постоянство метрологических характеристик в пределах партии и меньшее значение неопределенности единичного измерения [17]. Отличают радиометры RSKS также относительно невысокая цена и возможность приобретения крупных

партий. Недостатками являются необходимость использовать более дорогие оптические системы считывания и невозможность многократного использования диффузионных камер.

Радиометры радона передавались участникам исследования лично организаторами или через специально проинструктированных распространителей. В период действия ограничений, вызванных COVID-19, радиометры радона доставлялись курьерской службой. Участники исследования получали комплект, состоящий из двух радиометров радона, анкеты и инструкции по установке и экспонированию. Подробная инструкция была также размещена на сайте обследования. Участники исследования заполняли анкету, в которой указывали строительные, конструктивные и другие характеристики здания и своей квартиры, а также такие параметры, как состав семьи, режим проветривания и статус по курению. С участниками исследования поддерживалась связь по телефону и через электронные средства коммуникации.

Участники исследования самостоятельно размещали радиометры радона в своих квартирах на 3 месяца. В многоквартирных квартирах радиометры устанавливались в разных жилых комнатах, в однокомнатных квартирах – рядом. Использование 2 радиометров радона на один объект позволяет рассчитать усредненное значение ОА радона по квартире, а в случае потери или порчи одного из радиометров гарантированно получить результат. Экспонирование радиометров радона в течение 3 месяцев минимизирует влияние краткосрочных вариаций ОА радона.

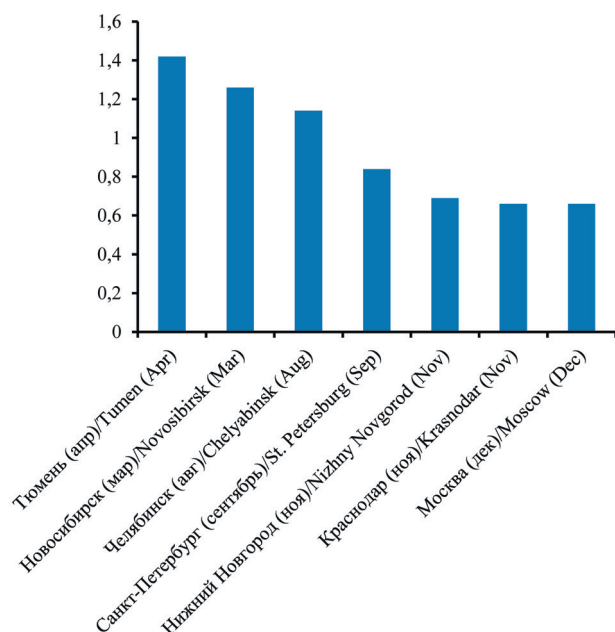
По окончании экспонирования участники исследования передавали радиометры радона организаторам лично или через курьерскую службу. Трековые детекторы обрабатывались в лаборатории в Институте промышленной экологии УрО РАН.

#### *Сезонная нормализация*

С учетом методики проведения обследования ОА радона в выборках зданий требовалось провести сезонную нормализацию для оценки среднегодовой ОА радона. В настоящей работе были использованы методы сезонной нормализации, предложенные для помещений многоквартирных зданий, в которых источником радона являются строительные материалы [18]. Для разработки подхода к сезонной нормализации результатов измерения ОА радона в этом типе зданий были использованы более 20 долгосрочных часовых серий ОА радона, полученных с помощью радон-мониторов AlphaGUARD. В работе [18] было показано, что среднесрочная ОА радона связана с температурой атмосферного воздуха в период экспонирования. На рисунке 1 показаны сезонные коэффициенты, которые применялись для расчета среднегодовой ОА радона в соответствующих городах с учетом месяца, в который начиналось 3-месячное экспонирование радиометров радона. В г. Екатеринбурге измерения проводились в разные сезоны, и расчет среднегодовых ОА радона выполнялся индивидуально для каждого здания в рамках проведенных ранее работ.

#### *Порядок расчета средневзвешенной величины ОА радона*

Для расчета средней ОА радона, характерной для квартир в зданиях городского типа РФ, использовались резуль-



**Рис. 1.** Сезонные коэффициенты для оценки среднегодового ОА радона по результатам 3-месячных измерений (месяц начала измерения)

[Fig. 1. Seasonal correction factors for assessing the average annual radon concentration based on three-month measurements results (month of the measurement beginning)]

таты обследования 16 выборок в 8 крупных городах России. При анализе предполагалось, что выборки в столичных городах Москва и Санкт-Петербург характеризуют соответствующий жилой фонд этих городов. Выборки в остальных 6 нестоличных городах (Екатеринбург, Краснодар, Нижний Новгород, Новосибирск, Тюмень и Челябинск) объединялись в группы с учетом года постройки здания. Принималось, что такие объединенные группы представительны для квартир в многоэтажных многоквартирных зданиях нестоличных городов России в целом.

Для оценки весового вклада каждой выборки в генеральную совокупность городских зданий использовались статистические данные о площади городского жилищного фонда в Москве, Санкт-Петербурге и России в целом в 2000 и 2019 гг. (табл. 1, по данным Государственной информационной системы жилищно-коммунального хозяйства dom.gosuslugi.ru и информационной системы Федеральной службы государственной статистики <https://rosstat.gov.ru/>).

Для обобщенных оценок проводилось моделирование методом Монте-Карло. Был сгенерирован массив из 1 000 000 значений ОА радона, состоящий из 6 подгрупп: 1) г. Москва, дома, возведенные до 2000 г.; 2) г. Москва, дома, возведенные после 2000 г.; 3) г. Санкт-Петербург, дома, возведенные до 2000 г.; 4) г. Санкт-Петербург, дома, возведенные после 2000 г.; 5) нестоличные города России, дома, возведенные до 2000 г.; 6) нестоличные города России, дома, возведенные после 2000 г. Значения ОА радона генерировались, исходя из логнормального распределения и значений среднего геометрического и геометрического стандартного отклонения среднегодовой ОА радона в соответствующих выборках.

**Таблица 1**  
**Городской жилищный фонд Москвы, Санкт-Петербурга и нестоличных городов России**

[Table 1]

**Urban housing stock of Moscow, St. Petersburg and non-capital cities of Russia]**

| Город<br>[City]                            | Городской жилищный фонд, млн м <sup>2</sup><br>[Urban housing, million sq. m] |         | Доля жилищного фонда, возведенного после 2000 г.<br>[Share of housing stock built after 2000] |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            | 2000 г.                                                                       | 2019 г. |                                                                                               |
| Москва<br>[Moscow]                         | 157,4                                                                         | 245,8   | 36%                                                                                           |
| Санкт-Петербург<br>[St. Petersburg]        | 87,7                                                                          | 140,0   | 37%                                                                                           |
| Нестоличные города<br>[Non-capital cities] | 1775,0                                                                        | 2493,7  | 29%                                                                                           |

Каждая группа включалась в общий массив с учетом веса, который рассчитывался следующим образом:

$$W_{y,s} = w_y \cdot w_s, \quad (1)$$

где  $w_y$  – доля жилищного фонда (по площади) определенного периода постройки в рассматриваемом городе или группе городов,  $w_s$  – доля жилищного фонда определенного города или группы городов в городском жилом фонде России. Доли  $w_y$  и  $w_s$  рассчитывались с учетом статистических данных, приведенных в таблице 1.

В полученном массиве значений ОА радона рассчитывались среднее геометрическое, среднее арифметическое и геометрическое стандартное отклонение ОА радона.

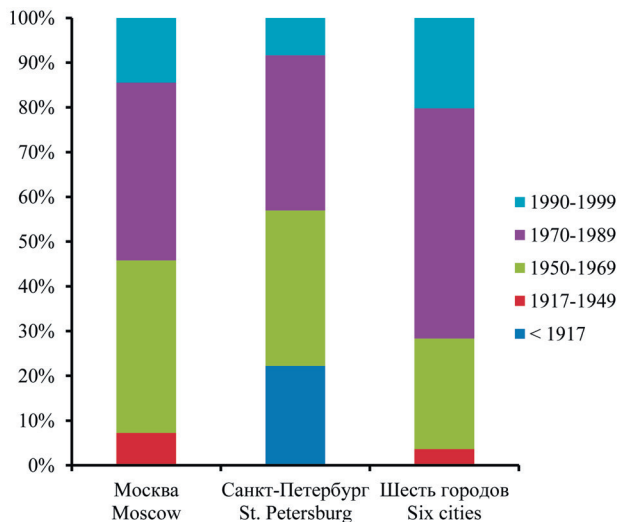
## Результаты

Всего измерения ОА радона были проведены в 1032 квартирах многоэтажных зданий 8 крупных городов России, в том числе в 545 квартирах в зданиях, возведенных после 2000 г. Измерения были проведены последовательно в каждом из городов, в период с августа 2019 г. по апрель 2021 г., за исключением г. Екатеринбурга, для которого выборки были сформированы по результатам исследований, выполненных ранее, в рамках других научно-исследовательских работ.

На рисунках 2–6 приведены основные характеристики выборок зданий для Москвы, Санкт-Петербурга и 6 нестоличных городов. Как видно из рисунка 2, в выборке домов, построенных до 2000 г., основная часть относится к периоду застройки 1950–1989 гг. В Санкт-Петербурге измерения были проведены в 16 многоэтажных кирпичных домах, построенных до 1917 г. В Москве в выборку вошли 15 многоэтажных кирпичных домов, возведенных по индивидуальным проектам в 1930–1949 гг.

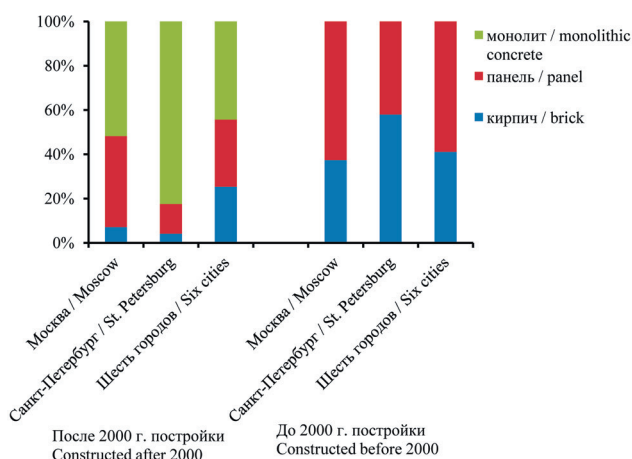
Распределение зданий по типу с учетом основного строительного материала представлено на рисунке 3. Подгруппа зданий, возведенных до 2000 г., преимущественно состоит из кирпичных и панельных домов типовых серий. Как видно на рисунке 3, после 2000 г. значительное количество зданий построено с применением





**Рис. 2.** Распределение зданий по году постройки в выборке зданий, возведенных до 2000 г.

[Fig. 2. Distribution of houses by year of construction in the sample of objects built up before 2000]

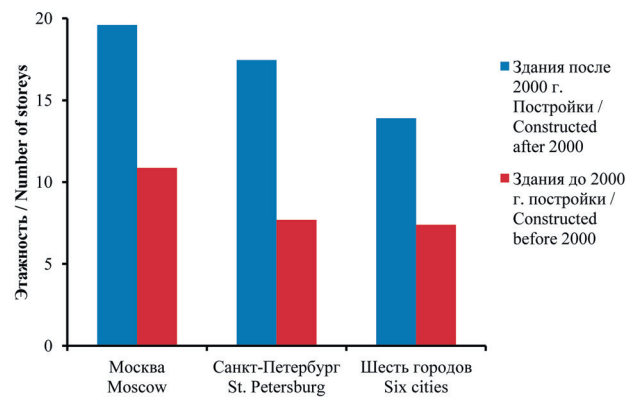


**Рис. 3.** Распределение зданий по типу (основному строительному материалу) в зданиях, возведенных после 2000 г. (слева) и до 2000 г. (справа)

[Fig. 3. Distribution of houses by type (main building material) in objects built up after 2000 (left) and before 2000 (right)]

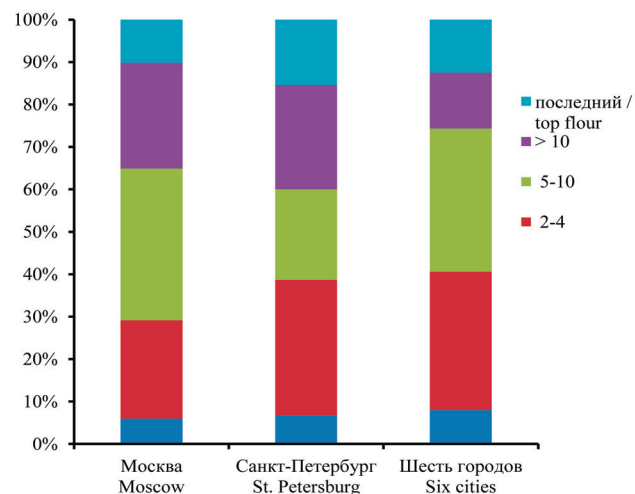
технологии монолитного строительства. Анализ технических паспортов зданий показал, что в отдельных городах, например, в Москве и Челябинске, после 2000 г. продолжают развиваться технологии крупнопанельного домостроения, тогда как в других городах дома новых панельных серий практически не возводились. Как видно на рисунке 4, средняя этажность зданий, возведенных до 2000 г., составляет от 7 в нестоличных городах до 11 в Москве. После 2000 г. средняя этажность зданий возрастает до 14–20; при этом московские здания остаются наиболее многоэтажными. Всего в выборке зданий вошли 44 здания высотой 25 этажей и выше.

Согласно принятой стратегии формирования выборки, квартиры включались в программу обследования независимо от указанного жильцами этажа. С учетом этого, квартиры на первых этажах не составляют значимую часть исследованного жилого фонда (рис. 5), как это



**Рис. 4.** Средняя этажность зданий в зависимости от периода постройки

[Fig. 4. Average number of storeys in buildings depending on the period of construction]



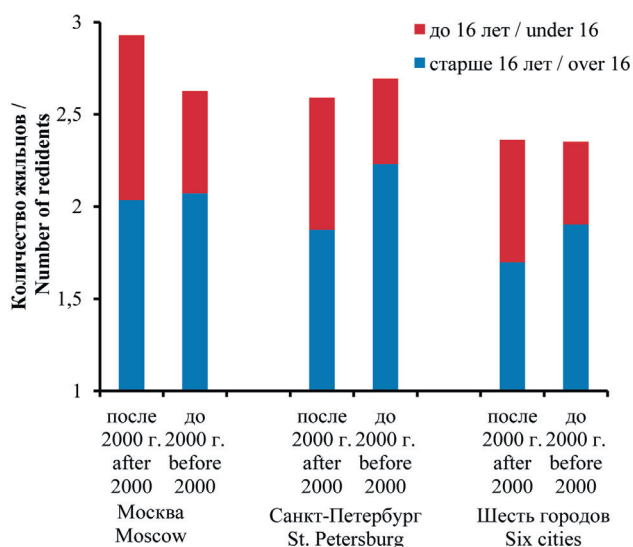
**Рис. 5.** Распределение квартир по этажу

[Fig. 5. Distribution of flats by floor]

требуется при проведении санитарно-гигиенических обследований жилых зданий. Доля квартир, расположенных на последних этажах зданий (13%), выше, чем на первых (7%) за счет нежилых помещений, расположенных на первых этажах.

На рисунке 6 представлен средний состав семьи, проживающей в обследованных квартирах, с учетом взрослых и детей младше 16 лет. В Москве наблюдается наибольшее количество жильцов, проживающих в одной квартире. Во всех городах количество детей в семьях, проживающих в домах, построенных после 2000 г., больше, чем в зданиях, возведенных ранее. По данным анкетирования, в 56% квартир проживают только лица старше 16 лет.

Результаты измерения ОА района в 8 крупных городах Российской Федерации представлены в таблице 2. С учетом того, что распределение ОА района в жилищах в однородных выборках следует логнормальному закону, в таблице 2, кроме среднего арифметического (СА) значения, представлены основные параметры логнормального распределения – среднее геометрическое (СГ) и геометрическое стандартное отклонение



**Рис. 6.** Средний состав семьи в зависимости от года постройки здания, с учетом взрослых и детей до 16 лет

[Fig. 6. Average family structure, depending on the year of house construction, taking into account adults and children under 16 years old]

(ГСО) ОА радона. С учетом оцененных параметров лог-нормального распределения, для каждой группы рассчитана ожидаемая доля зданий, в которых ОА радона превышает 100 Бк/м<sup>3</sup>. В последних строках таблицы 2 приведены параметры для объединенной выборки 6 крупных нестоличных городов России – Екатеринбург, Краснодар, Нижний Новгород, Новосибирск, Тюмень и Челябинск.

Гистограммы распределения ОА радона в жилищах Москвы, Санкт-Петербурга и объединенной группы крупных городов для зданий, возведенных до и после 2000 г., представлены на рисунке 7. Во всех подгруппах распределение ОА радона в городских жилищах хорошо описывается логнормальным законом (критерий  $\chi^2$ ,  $p > 0,05$ ).

Кроме многоквартирных зданий, отдельные участники обследования по своей инициативе размещали радиометры радона в малоэтажных жилых зданиях (коттеджи, односемейные дома и т. п.). Всего незапланированные измерения проведены в 18 малоэтажных зданиях, в которых средняя ОА радона составила 117 Бк/м<sup>3</sup>, ожидаемая доля домов с превышением уровня ОА радона 400 Бк/м<sup>3</sup> – 5,3%. Эти результаты в дальнейший анализ не включались.

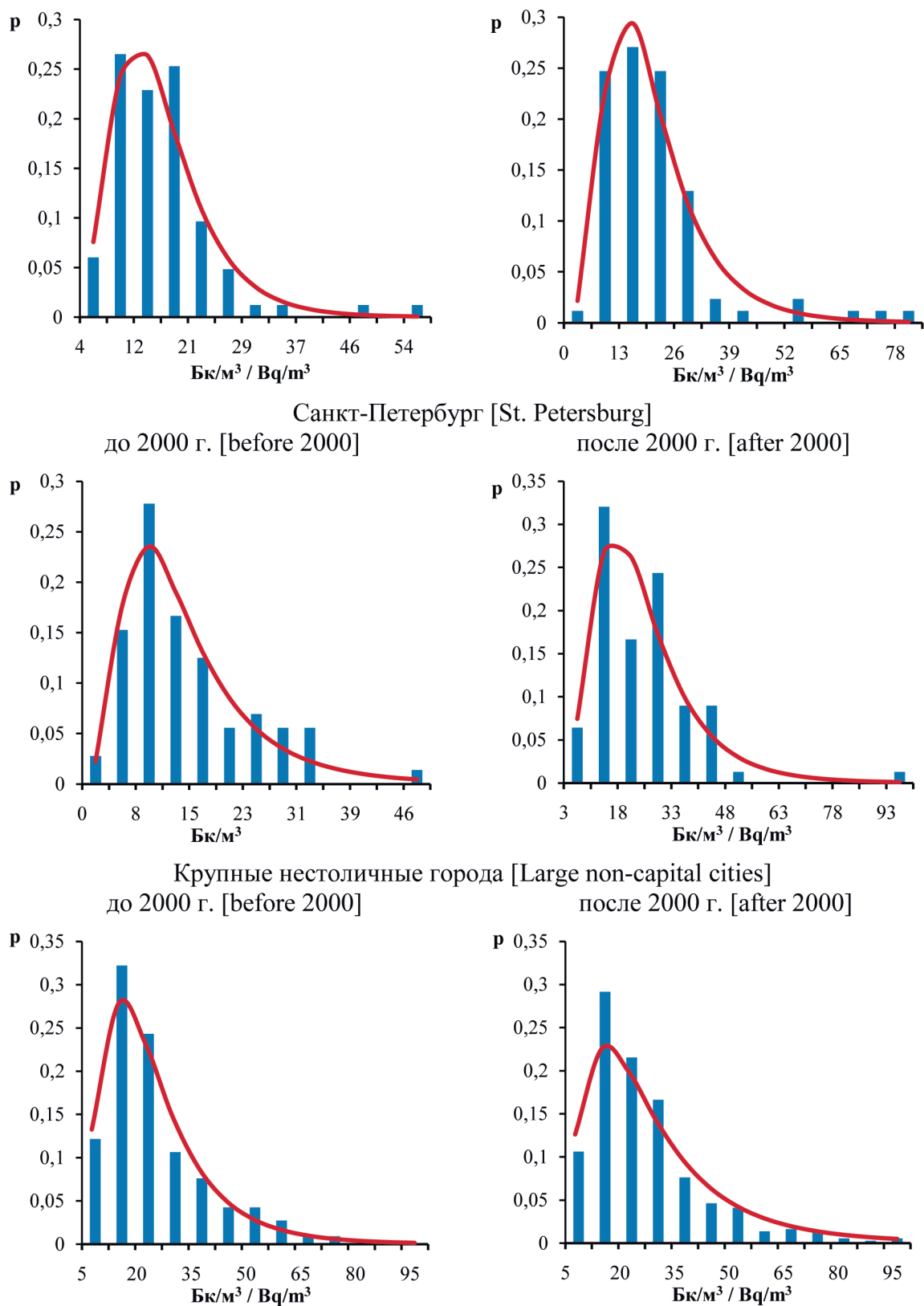
**Результаты радонового обследования многоквартирных зданий в крупных городах России**

Таблица 2

[Table 2]

**Results of radon survey of apartment buildings in large cities of Russia**

| Город<br>[City]                                                                          | Год постройки (до 2000 г./<br>после 2000 г.)<br>[Year of construction (before<br>or after 2000)] | Размер<br>выборки<br>[Sample size] | СА<br>[Arithmetic<br>mean] | СГ<br>[Geometric<br>mean] | ГСО<br>[Geometric stan-<br>dard deviation] | Доля больше<br>100 Бк/м <sup>3</sup><br>[Percentage above<br>100 Bq/m <sup>3</sup> ] |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Москва<br>[Moscow]                                                                       | До [before]                                                                                      | 83                                 | 17                         | 15                        | 1,53                                       | <0,01%                                                                               |
|                                                                                          | После [after]                                                                                    | 85                                 | 21                         | 19                        | 1,68                                       | 0,06%                                                                                |
| Санкт-<br>Петербург<br>[St. Petersburg]                                                  | До [before]                                                                                      | 72                                 | 15                         | 13                        | 1,82                                       | 0,03%                                                                                |
|                                                                                          | После [after]                                                                                    | 78                                 | 25                         | 22                        | 1,68                                       | 0,18%                                                                                |
| Екатеринбург<br>[Ekaterinburg]                                                           | До [before]                                                                                      | 71                                 | 33                         | 28                        | 1,81                                       | 1,5%                                                                                 |
|                                                                                          | После [after]                                                                                    | 54                                 | 77                         | 60                        | 2,10                                       | 24%                                                                                  |
| Краснодар<br>[Krasnodar]                                                                 | До [before]                                                                                      | 33                                 | 22                         | 19                        | 1,78                                       | 0,18%                                                                                |
|                                                                                          | После [after]                                                                                    | 59                                 | 16                         | 15                        | 1,38                                       | <0,01%                                                                               |
| Нижний<br>Новгород<br>[Nizhny<br>Novgorod]                                               | До [before]                                                                                      | 72                                 | 20                         | 19                        | 1,44                                       | <0,01%                                                                               |
|                                                                                          | После [after]                                                                                    | 83                                 | 23                         | 21                        | 1,46                                       | <0,01%                                                                               |
| Новосибирск<br>[Novosibirsk]                                                             | До [before]                                                                                      | 60                                 | 17                         | 15                        | 1,79                                       | 0,05%                                                                                |
|                                                                                          | После [after]                                                                                    | 60                                 | 17                         | 14                        | 1,76                                       | 0,03%                                                                                |
| Тюмень<br>[Tyumen]                                                                       | До [before]                                                                                      | 30                                 | 24                         | 21                        | 1,58                                       | 0,04%                                                                                |
|                                                                                          | После [after]                                                                                    | 51                                 | 29                         | 27                        | 1,47                                       | 0,04%                                                                                |
| Челябинск<br>[Chelyabinsk]                                                               | До [before]                                                                                      | 66                                 | 31                         | 28                        | 1,58                                       | 0,28%                                                                                |
|                                                                                          | После [after]                                                                                    | 75                                 | 32                         | 29                        | 1,50                                       | 0,11%                                                                                |
| Группа<br>крупных<br>нестоличных<br>городов<br>[Group of large<br>non-capital<br>cities] | До before]                                                                                       | 332                                | 25                         | 21                        | 1,75                                       | 0,30%                                                                                |
|                                                                                          | После [after]                                                                                    | 382                                | 31                         | 24                        | 1,93                                       | 1,5%                                                                                 |



**Рис. 7.** Гистограммы распределения ОА радона в различных городах в зависимости от года постройки (столбики – наблюдаемая частота, линии – ожидаемая частота)  
**[Fig. 7.** Histograms of radon concentration distribution in different cities depending on the year of construction (bars – observed frequency, lines – expected frequency)]

Итоговые веса, с которыми отдельные выборки включались в общий модельный массив, представлены в таблице 3.

По результатам моделирования следующие параметры характеризуют уровни ОА радона в многоквартирных городских зданиях России:

- среднее арифметическое – 25 Бк/м<sup>3</sup>;
- среднее геометрическое – 21 Бк/м<sup>3</sup>;
- геометрическое стандартное отклонение – 1,81.

### Обсуждение

В рамках настоящей работы проведены выборочные радоновые обследования жилых зданий городского типа в 8 крупных городах России. При проведении обследований использованы интегрирующие методы измерения на основе детектирования альфа-треков материалом CR-39, имеющие ряд преимуществ, повышающих точность измерения ОА радона. Для оценки среднегодовой ОА радона применен метод температурной нормализации, разработанный для условий преимущественного поступления радона из строительных материалов, которые соответствуют многоэтажным городским зданиям. В целом, использование интегрирующих методов измерения и сезонной нормализации позволяет получить достаточно надежную оценку выборочной средней среднегодовой ОА радона. Выборки жилищ в городских зданиях сформированы с учетом года постройки. Такой подход был обусловлен задачей оценить влияние технологий строительства зданий повышенного класса энергоэффективности на уровни облучения населения. В пределах двух групп – зданий постройки до и после 2000 г., выборки создавались с применением единого квазирандомизированного подхода. Сформированные выборки охватывали различные районы городов, типы зданий, этажи, размеры квартир, составы семей и различные типы поведения жильцов (курение, предпочтения по проветриванию помещений). Анализ по этим факторам не выявил значимых отклонений структуры выборок от ожидаемой. Объем каждой из выборок в больших нестоличных городах превышает 300 квартир, что позволяет достаточно точно установить параметры логнормального распределения ОА радона. В Москве и Санкт-Петербурге в каждую выборку вошли не менее 80 и 70 зданий соответственно. Такие объемы выборок также позволяют определить среднее геометрическое и стандартное отклонение ОА радона с хорошей точностью.

Таким образом, выборки жилищ городских зданий, сформированные для настоящего исследования, являются представительными для современного жилого фонда многоэтажных зданий городского типа России.

Разделение обследованных зданий по году постройки отражается в распределении числа зданий по типам строительных материалов несущих конструкций. Если до 2000 г. здания в российских городах, в основном, строились из кирпича и железобетонных панелей, то после 2000 г. появляются здания из монолитного бетона, и их доля увеличивается со временем. Анализ распределения обследованных зданий по типам строительных материалов показал, что после 2000 г. доля монолитных зданий составила 51%. В то же время в отдельных городах продолжают развиваться технологии панельного домостроения, например, в Москве и Челябинске. Из более чем 1000 обследованных квартир 7% расположены на первом этаже, 70% – на четвертом этаже и выше. Такое распределение отражает подход к формированию выборки, который должен был обеспечить представительность для всех квартир. В целом, средняя ОА радона на первых этажах в 1,2 раза выше по сравнению со средним значением по всем этажам. Пропорциональный учет квартир, расположенных на различных этажах многоэтажных зданий, отличает настоящее исследование от работ, выполняемых лабораториями радиационного контроля для выявления ситуаций облучения радоном выше нормируемого уровня. Последний подход обусловлен решением санитарно-гигиенических задач.

На рисунке 8 приведено сопоставление средних ОА радона в крупных городах (с учетом доли зданий, возведенных до и после 2000 г.), по данным нашего исследования, и средних ОА радона по данным Федерального банка данных доз облучения граждан Российской Федерации за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона в соответствующем регионе, приведенным Д. В. Кононенко [10]. В 7 городах из 8 средняя ОА радона в городских зданиях, по нашим данным, находится в пределах 0,4–0,7 от средней ОА радона в регионе по данным Федерального банка. Можно предполагать, что различие средних ОА радона по результатам 2 исследований обусловлено составом обследованных выборок. Данные Федерального банка включают дома различного типа, в том числе одноэтажные деревянные и каменные, а также непропорционально высокое количество квартир на

Таблица 3

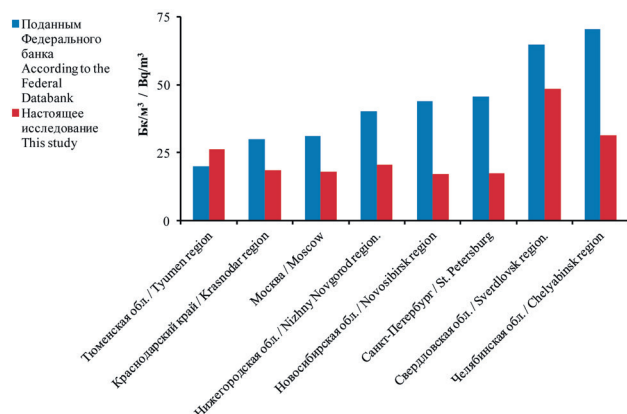
**Веса выборок квартир для оценки обобщенных средних параметров ОА радона в городских многоквартирных многоэтажных зданиях**

[Table 3]

**Weights of samples of apartments for assessing the generalized average parameters of radon concentration in urban multi-apartment high-rise buildings]**

| Город<br>[City]                          | Год постройки<br>[Year of construction] | $w_y$ | $w_s$ | $W$   |
|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------|-------|-------|
| Москва<br>[Moscow]                       | До 2000 г. [before 2000]                | 0,64  | 0,085 | 0,055 |
|                                          | После 2000 г. [after 2000]              | 0,36  | 0,085 | 0,031 |
| Санкт-Петербург<br>[St. Petersburg]      | До 2000 г. [before 2000]                | 0,63  | 0,049 | 0,031 |
|                                          | После 2000 г. [after 2000]              | 0,37  | 0,049 | 0,018 |
| Нестоличные города<br>Non-capital cities | До 2000 г. [before 2000]                | 0,71  | 0,866 | 0,616 |
|                                          | После 2000 г. [after 2000]              | 0,29  | 0,866 | 0,250 |





**Рис. 8.** Сравнение средних ОА радона в зданиях по данным Федерального банка данных по регионам [10] и по результатам настоящего исследования в центральных городах соответствующих регионов

[Fig. 8. Comparison of average radon concentration in buildings according to the Federal Databank by region [10] and according to the results of this study in the central cities of the corresponding regions]

первых этажах в многоэтажных зданиях. Более низкая ОА радона, полученная по нашим данным в представительной выборке многоэтажных зданий, включающей квартиры на всех этажах, является закономерной. В Тюменской области, в отличие от других городов, данные из двух источников практически совпадают, что, возможно, связано с тем, что Федеральный банк включает только 810 значений по Тюменской области за 17 лет. Таким образом, сравнение данных об ОА радона в квартирах многоэтажных зданий с данными Федерального банка показало удовлетворительную сходимость.

В настоящей работе проведен расчет средней ОА радона, характеризующей уровень облучения жителей городских территорий, проживающих в квартирах многоэтажных многоквартирных зданий. Для анализа результатов столичные города Москва и Санкт-Петербург рассмотрены в отдельности, остальные города объединены в одну группу. Выделение столичных городов обусловлено особенностями состава и структуры жилого фонда, а также социальными факторами. В целом, облучение радоном в многоэтажных городских зданиях России, как по средней величине (среднее арифметическое  $25 \text{ Бк/м}^3$ ), так и диапазону значений (прогнозируемая доля зданий с ОА радона выше  $100 \text{ Бк/м}^3 - 0,4\%$ ), является невысоким. Превышение норматива по ЭРОА радона могут ожидать в отдельных зданиях, построенных с использованием строительных материалов с высоким содержанием Ra-226 и низкой кратностью воздухообмена. В частности, такие здания, относящиеся к повышенному классу энергоэффективности, были выявлены в г. Екатеринбурге [13]. В других городах также наблюдается тенденция увеличения ОА радона в новых зданиях [14, 15].

Для оценки ЭРОА радона следует принять некоторые допущения о величине коэффициента равновесия. Для крупных российских городов, расположенных в зоне континентального климата, можно предполагать, что коэффициент равновесия близок к 0,5. В этом случае среднее значение среднегодовой ЭРОА радона в многоэтажных

городских зданиях составит  $12,5 \text{ Бк/м}^3$ . Средняя эффективная доза облучения городского населения России, проживающего в многоэтажных зданиях, с учетом коэффициента дозового перехода, рекомендованного МКРЗ [19], составляет  $1,1 \text{ мЗв}$  в год.

В работе [20] проведен анализ данных о результатах измерения ОА радона в жилых зданиях России по данным Федерального банка данных с учетом количества зданий различного типа. Было получено, что средняя ОА радона по этим данным составляет  $48 \text{ Бк/м}^3$ . Принимая во внимание результаты настоящего исследования и долю городского населения ( $74,7\%$ ), можно предварительно оценить среднюю ОА радона в малоэтажных домах примерно  $115 \text{ Бк/м}^3$ . Эта оценка совпадает с результатами дополнительных измерений ОА радона в небольшом количестве малоэтажных жилых зданий, попавших в наше исследование.

Значительную часть зданий, возведенных после 2000 г., составляют дома повышенных классов энергоэффективности. В этих зданиях применены специальные инженерно-конструкторские решения, снижающие воздухопроницаемость оболочки здания и теплопотери. В таких зданиях за счет пониженной кратности воздухообмена в пассивном режиме эксплуатации происходит относительное увеличение ОА радона. Как показано в публикации [14], в зданиях с повышенной энергоэффективностью ОА радона в 1,2–2,4 раза выше, чем в зданиях типовых многоквартирных конструкций XX в. Энергоэффективные здания вносят свой вклад в увеличение ОА радона в группе домов, возведенных после 2000 г., практически во всех городах (см. табл. 1). Тенденция роста облучения населения России радоном в новых зданиях требует внимания с точки зрения соблюдения санитарно-гигиенических нормативов и принципа оптимизации радиационной безопасности.

## Выводы

1. По данным выборочного радонового обследования представительной выборки квартир в многоэтажных многоквартирных зданиях средняя ОА радона в этом типе жилищ в России составляет  $25 \text{ Бк/м}^3$ .
2. Облучение радоном и ДПР городского населения, проживающего в квартирах многоэтажных зданий, является, в целом, невысоким. Норматив по ЭРОА радона в этих зданиях может превышать при условии низкой кратности воздухообмена и высокой удельной активности Ra-226 в строительных материалах.
3. Тенденция роста облучения населения в новых зданиях вследствие внедрения строительных технологий, повышающих энергоэффективность зданий, требует внимания при реализации мероприятий по обеспечению радиационной безопасности населения России.
4. Полученные результаты могут быть использованы для планирования стратегии защиты населения России от облучения радоном в жилищах.

Авторы выражают благодарность жителям городов России, принявшим активное участие в проведении измерений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-19-00191).

## Литература

1. Лекомте Ж.-Ф., Соломон С., Такала Дж., и др. Радиологическая защита от облучения радоном. Под ред. М.В. Жуковского, И.В. Ярмошенко, С.М. Киселева / Перевод публикации 126 МКРЗ. Москва: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2015. 92 с.
2. Киселев С.М., Жуковский М.В., Стамат И.П., Ярмошенко И.В. Радон: От фундаментальных исследований к практике регулирования. М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2016. 432 с.
3. SSG-32. Specific Safety Guide. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. Vienna: IAEA, 2015. 112 p.
4. National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings. Review of Methodology and Measurement Techniques. IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 33 (IAEA/AQ/33). Vienna: International Atomic Energy Agency; 2013. 35 p.
5. Ярмошенко И.В., Онищенко А.Д., Малиновский Г.П., и др. Сравнительный анализ способов формирования выборки жилищ для проведения радонового исследования территории // АНРИ. 2017. Т. 4, № 91. С. 36-44.
6. Cinelli G., De Cort M., Tollefsen T. et al. European Atlas of Natural Radiation. Publications Office of the European Union, Luxembourg; 2019. JRC116795.
7. Miles J.C.H., Howarth C.B., Hunter N. Seasonal variation of radon concentrations in UK homes // Journal of Radiological Protection. 2012;32: 275-287.
8. Daraktchieva Z. New Correction Factors Based on Seasonal Variability of Outdoor Temperature for Estimating Annual Radon Concentrations in UK // Radiation Protection Dosimetry. 2016;175: 65-74.
9. Романович И.К., Стамат И.П., Кормановская Т.А., и др. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия. Под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. 432 с.
10. Кононенко Д.В. Анализ распределений значений объемной активности радона в воздухе помещений в субъектах Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2019. Том 12, № 1. С. 85-103.
11. Барковский А.Н., Ахматдинов Р.Р., Ахматдинов Р.Р., и др. Итоги функционирования Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2019 г. // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 4. С. 110-119.
12. Оценка численности постоянного населения на 1 января 2020 года и в среднем за 2019 год. Росстат. URL: (<https://www.gks.ru/storage/mediabank/Popul2020.xls>) (Дата обращения: 13.03.2020).
13. Васильев А.В., Ярмошенко И.В., Жуковский М.В. Радоновая безопасность современных многоэтажных зданий различных классов энергетической эффективности // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 1. С. 80-84.
14. Yarmoshenko I.V., Onishchenko A.D., Malinovsky G.P., et al. Radon concentration in conventional and new energy efficient multi-storey apartment houses: results of survey in four Russian cities // Scientific Reports. 2020. Т. 10. С. 18136.
15. Ярмошенко И.В., Онищенко А.Д., Малиновский Г.П., и др. Сравнительный анализ накопления радона в зданиях различного класса энергоэффективности на примере пяти российских городов // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 47-56.
16. Мостафа М.Ю., Жуковский М.В., Васянович М.Е. Прототип первичного эталона объемной активности радона // АНРИ. 2017. Т. 3, № 90. С. 2-15.
17. Онищенко А.Д., Жуковский М.В. Роль искажающих факторов в радоновом эпидемиологическом исследовании // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 1. С. 65-75.
18. Yarmoshenko I., Malinovsky G., Vasilyev A., Onishchenko A. Seasonal variation of radon concentrations in Russian residential high-rise buildings // Atmosphere. 2021. No 12. P. 930.
19. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137 // Ann. ICRP. 2017. Vol. 46, No 3/4.
20. Ярмошенко И.В., Малиновский Г.П., Васильев А.В., Жуковский М.В. Восстановление формы и параметров распределения объемной активности радона в жилищах России на основе данных 4-ДОЗ // АНРИ. 2015. Т. 3, № 82. С. 41-46.

Поступила: 03.08.2021 г.

**Жуковский Михаил Владимирович** – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург, Россия

**Ярмошенко Илья Владимирович** – кандидат физико-математических наук, директор Института промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук. **Адрес для переписки:** 620990, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: [ivy@esko.uran.ru](mailto:ivy@esko.uran.ru)

**Онищенко Александра Дмитриевна** – кандидат биологических наук, ученый секретарь Института промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург, Россия

**Малиновский Георгий Петрович** – кандидат биологических наук, заместитель директора Института промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург, Россия

**Васильев Алексей Владимирович** – кандидат технических наук, заведующий радиационной лабораторией Института промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург, Россия

**Назаров Евгений Игоревич** – младший научный сотрудник Института промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург, Россия

**Для цитирования:** Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., Онищенко А.Д., Малиновский Г.П., Васильев А.В., Назаров Е.И. Оценка уровней содержания радона в многоэтажных зданиях на примере восьми крупных городов России // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 1. С. 47-58. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-47-58

## Assessment of radon levels in multistorey buildings on example of eight Russian cities

Mikhail V. Zhukovsky, Ilya V. Yarmoshenko, Aleksandra D. Onishchenko, Georgy P. Malinovsky, Aleksey V. Vasilyev, Evgeniy I. Nazarov

Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

*In this work, the results of radon concentration measurements in samples of multi-storey apartment buildings in eight large cities of Russia are analyzed. Two samples, depending on the year of construction of the building — before and after 2000, were formed in each city on the basis of a quasi-random approach. Radon concentration measurements were performed using radon radiometers equipped with the CR-39 solid-state nuclear track detector. In the flats of multi-storey buildings, two radiometers were installed and flat's average radon concentration was calculated. The exposure period for the radon radiometers was three months. To estimate the average annual radon concentration, seasonal coefficients calculated for the primary radon entry from building materials were used. In total, radon concentration measurements were carried out in 1032 flats. It was assumed that the combined sample for the cities of Ekaterinburg, Krasnodar, Nizhny Novgorod, Novosibirsk, Tyumen, and Chelyabinsk is representative for the multi-storey buildings in non-capital cities of Russia. The following arithmetic mean annual radon concentrations were obtained in samples of houses built up before and after 2000, respectively: Moscow — 17 and 21 Bq/m<sup>3</sup>; St. Petersburg — 15 and 25 Bq/m<sup>3</sup>, the group of non-capital cities — 25 and 31 Bq/m<sup>3</sup>. Taking into account the contribution of each group of buildings to the general urban housing stock, the parameters characterizing the radon concentration in multi-storey multi-apartment urban buildings in Russia were calculated as follows: arithmetic mean 25 Bq/m<sup>3</sup>; geometric mean 21 Bq/m<sup>3</sup>; the geometric standard deviation is 1.81. In general, exposure to indoor radon in multi-storey urban buildings in Russia is low both in terms of average value and range of concentrations. There is a tendency towards an increase in indoor radon exposure of the population in new buildings, which is associated with the introduction of construction technologies that increase the energy efficiency of buildings.*

**Key words:** radon, survey, radiological protection, cities, multi-storey buildings.

### References

1. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. *Ann. ICRP*. 2014;43(3).
2. Kiselev SM, Zhukovsky MV, Stamat IP, Yarmoshenko IV. Radon. From fundamental research to the regulatory practice. Publishing of the GNC FMBC after A.I. Burnazyan: Moscow; 2016. 450 p. (In Russian).
3. SSG-32. Specific Safety Guide. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. Vienna: IAEA; 2015. 112 p.
4. National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings. Review of Methodology and Measurement Techniques. IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 33 (IAEA/AQ/33). Vienna: International Atomic Energy Agency; 2013. 35 p.
5. Yarmoshenko I, Malinovsky G, Vasilyev A, Zhukovsky M. Comparison of approaches to obtain a sample of dwellings for radon survey. *ANRI = ANRI*. 2017;3(91): 36-44. (In Russian)
6. Cinelli G, De Cort M, Tollefsen T, et al. European Atlas of Natural Radiation. Publications Office of the European Union, Luxembourg; 2019: JRC116795.
7. Miles JCH, Howarth CB, Hunter N. Seasonal Variation of Radon Concentrations in UK Homes. *Journal of Radiological Protection*. 2012;32: 275-287.
8. Daraktchieva Z. New Correction Factors Based on Seasonal Variability of Outdoor Temperature for Estimating Annual Radon Concentrations in UK. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;175: 65-74.
9. Romanovich IK, Stamat IP, Kormanovskaya TA, Kononenko DV. Natural sources of ionizing radiation: radiation doses, radiation risks, preventive measures. Saint-Petersburg: FBUN NIIRG im. P.V. Ramzaeva; 2018. 432 p. (In Russian).
10. Kononenko DV. Analysis of distributions of indoor radon concentrations in the regions of the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(1): 85-103 (In Russian).
11. Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Akhmatdinov RR, Biblin AM, Bratilova AA, Zhuravleva VE, et al. The outcomes of functioning of the Unified System of Individual Dose Control of the Russian Federation citizens based on the 2019 data. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(4): 110-119 (In Russian).
12. Estimated resident population as of January 1, 2020 and on average for 2019. Rosstat. Available on: <https://www.gks.ru/stor-age/mediabank/Popul2020.xls> [Accessed: March 13, 2020].
13. Vasilyev AV, Yarmoshenko IV, Zhukovsky MV. Radon safety of modern multi-storey buildings with different energy efficiency classes. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(1): 80-84 (In Russian).
14. Yarmoshenko IV, Onishchenko AD, Malinovsky GP, Vasilyev AV, Nazarov EI, Zhukovsky MV. Radon Concentration in Conventional and New Energy Efficient Multi-Storey Apartment Houses: Results of Survey in Four Russian Cities. *Scientific Reports*. 2020;10: 18136.
15. Yarmoshenko IV, Onishchenko AD, Malinovsky GP, Vasilyev AV, Nazarov EI, Zhukovsky MV. Comparative analysis of radon concentrations in buildings of different energy efficiency classes on example of five Russian cities. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(2): 47-56 (In Russian).
16. Mostafa YA, Zhukovsky M, Vasyanovich M. Prototype of the Primary Standard of Radon Concentration. *ANRI = ANRI*. 2017;3(90): 2-15 (In Russian).
17. Onishchenko AD, Zhukovsky MV. The role of confounding factors in a radon epidemiological study. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 65-75 (In Russian).

Ilya V. Yarmoshenko

Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

**Address for correspondence:** Sofia Kovalevskaya str., 20, Ekaterinburg, 620990, Russia; E-mail: ivy@ecko.uran.ru

18. Yarmoshenko I, Malinovsky G, Vasilyev A, Onishchenko A. Seasonal Variation of Radon Concentrations in Russian Residential High-Rise Buildings. *Atmosphere*. 2021;12: 930.
19. ICRP, 2017. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. *Ann. ICRP*. 2017; 46(3/4).
20. Yarmoshenko I, Malinovsky G, Vasilyev A, Zhukovsky M. Reconstruction of indoor radon distribution pattern and its parameters in Russia using data of 4-DOZ reports. *ANRI = ANRI*. 2015;3(82): 41-46 (In Russian).

Received: August 08, 2021

**Mikhail V. Zhukovsky** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

**For correspondence: Ilya V. Yarmoshenko** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Director, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Sofia Kovalevskaya str., 20, Ekaterinburg, 620990, Russia; E-mail: ivy@ecko.uran.ru)

**Aleksandra D. Onishchenko** – Candidate of Biological Sciences, Scientific Secretary, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

**Georgy P. Malinovsky** – Candidate of Biological Sciences, Deputy Director, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

**Aleksey V. Vasilyev** – Candidate of Technical Sciences, Head of the Radiation Laboratory, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

**Evgeniy I. Nazarov** – Junior Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

**For citation: Zhukovsky M.V., Yarmoshenko I.V., Onishchenko A.D., Malinovsky G.P., Vasilyev A.V., Nazarov E.I. Assessment of radon levels in multistory buildings on example of eight Russian cities. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 1. pp. 47-58. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-47-58**