

## Оценка геогенного радонового потенциала с использованием активации адвективного потока воздуха из грунта

И.В. Ярмошенко, Г.П. Малиновский, И.А. Юрков, В.С. Изгагин

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

*Прогнозирование радоноопасности и обоснование мер по снижению объемной активности радона в зданиях требует изучения закономерностей переноса радона из грунта. В статье описан подход к оценке геогенного радонового потенциала площадки на основе исследования зависимости потока радона из грунта от градиента давления. На примере экспериментального полигона выполнена апробация метода измерения плотности потока радона при искусственной активации контролируемого адвективного потока воздуха из грунта в накопительную камеру. Измерительная установка состояла из накопительной камеры большого объема (200 л), системы помп, расходомеров и дифференциального манометра. По результатам измерений в 12 точках полигона получены ряды значений, включающие адвективную плотность потока радона в зависимости от разности давлений между измерительной камерой и атмосферой (в диапазоне 4–20 Па), объемную активность радона в почвенном воздухе, сопротивление потоку воздуха в системе грунт-измерительная камера. Показано, что на исследованном полигоне потенциальная адвективная плотность потока радона значительно превосходит диффузионную плотность потока радона, соответствующие диапазоны значений составляют 23–870 мБк/(м<sup>2</sup>·с) и 5,5–7,0 мБк/(м<sup>2</sup>·с). Сопротивление потоку воздуха в системе грунт-измерительная камера изменяется в зависимости от метеоусловий в диапазоне значений 93–2400 кПа/(м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>). В среднем при сухих условиях сопротивление потоку воздуха в 4,8 раза ниже, чем при дожде. Величина объемной активности радона в почвенном воздухе варьируется в диапазоне от 0,6 до 3,2 кБк/м<sup>3</sup> при среднем арифметическом 1,4 кБк/м<sup>3</sup>. Зависимость адвективной плотности потока радона, нормированной на разность давления 1 Па, от сопротивления потоку воздуха подчиняется закону Дарси. Эта зависимость с учетом объемной активности радона в почвенном воздухе характеризует геогенный радоновый потенциал на площадке. Проанализированы преимущества и недостатки метода оценки геогенного радонового потенциала на основе искусственной активации градиента давления в измерительной системе.*

**Ключевые слова:** радон, геогенный радоновый потенциал, плотность потока, адвекция, метод измерения.

### Введение

Исследование закономерностей поступления и накопления радона в помещениях зданий обусловлено необходимостью решения следующих задач: определение признаков радоноопасности территорий, определение признаков радоноопасности зданий; формирование научных основ разработки методов снижения объемной активности (ОА) радона в зданиях.

Основные факторы, влияющие на уровень ОА радона в здании, могут быть отнесены к геогенным, антропогенным и климатическим. Геогенные факторы определяют образование и перенос радона в геологической среде, примыкающей к зданию. К антропогенным факторам относятся конструкция здания, режим содержания помещения. Климатические факторы определяют градиент давления в системе грунт–здание–атмосфера.

Для количественной оценки геогенной составляющей поступления радона в здание из грунта используется концепция геогенного радонового потенциала (ГРП), которая описывает геологическое пространство под зданием как источник радона [1-3]. В общем смысле величина ГРП про-

порциональна некоторой мощности генерации радона (радоновыделению) и обратно пропорциональна сопротивлению переносу радона в геологической среде. В качестве физической строгой меры ГРП может рассматриваться адвективная плотность потока радона, нормированная на градиент давления в почвенном воздухе и атмосфере [2].

Образование радона и его выход в поровое пространство грунта связаны, соответственно, с содержанием <sup>226</sup>Ra в породах и грунтах и коэффициентом эманирования. Транспорт радона в пористых средах и его эксхалация с поверхности грунта происходит за счет диффузионного и адвективного механизмов. Диффузия определяется градиентом концентрации радона на границе пористой среды и атмосферы и зависит от пористости среды, адвекция – градиентом давления, проницаемостью среды и вязкостью воздушного флюида. Дополнительными факторами, которые локально повышают ГРП, являются разломы и современная тектоническая активность. Одним из ключевых элементов концепции ГРП является его независимость от конструкции здания и режима содержания помещений. Качественная оценка ГРП может быть проведена с использованием предикторов, включающих комплекс геологических,

**Ярмошенко Илья Владимирович**

Институт промышленной экологии

Адрес для переписки: 620108, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: ivy@escko.uran.ru

геохимических, литологических параметров [2, 4, 5]. Для многих территорий России, в частности Среднего Урала, на основе таких данных выполнено картирование зон повышенной радоноопасности [6, 7].

Во многих странах получил распространение метод количественной оценки ГРП, предложенный чешскими специалистами Мартином и Матеем Нежналами [1]. По методике Нежналов ГРП определяется как функция ОА радона в почве и проницаемости почв [1, 8]. По результатам сопоставления данных измерений величины ГРП и обследований накопления радона в малоэтажных зданиях обоснованы значения ГРП, соответствующие низкому, среднему и высокому радоновому потенциалу (рису). Сложность использования измерений почвенного радона и проницаемости грунта для оценки радонового потенциала связана с большой вариабельностью этих величин в пространстве и во времени, которая была продемонстрирована в ряде исследований [9-11].

Кроме метода Нежналов для количественной оценки ГРП в разных работах предлагались такие величины как концентрация урана или удельная активность (УА)  $^{226}\text{Ra}$  в грунте (с учетом коэффициента эманирования), ОА радона в некотором образцовом здании, а также средняя ОА радона или вероятность превышения некоторого уровня ОА радона в группе однотипных стандартных зданий [12, 13]. В России, Китае и других странах получил распространение метод оценки радонового потенциала территории по плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта [14-16]. Эта величина может быть измерена с использованием угольного адсорбера, помещенного в специальную камеру, установленную открытым основанием на грунт, или накопительной камеры [17-20]. Статистическая связь ОА радона в зданиях с ГРП была продемонстрирована различными авторами с применением результатов радоновых обследований в зданиях [21-23].

Общий недостаток методов оценки ГРП на основе измерения ОА радона в почвенном воздухе и ППР состоит в том, что эти величины определяются в условиях отсутствия здания ("no building" concept) [24]. До возведения здания поток радона с поверхности грунта формируется за счет диффузии и некоторой адвективной составляющей, которая возникает за счет возможного перепада давлений на границе грунта и атмосферы. Наличие или отсутствие адвективной составляющей фактически не поддается контролю этими методами. Возведение здания сопровождается возникновением существенного стабильного разрежения в области соприкосновения грунта и здания, что приводит к возникновению постоянного адвективного потока воздуха из грунта в здание.

Для оценки скорости адвективного поступления ранее был предложен метод, основанный на использовании накопительной камеры, в которой создается разрежение [25, 26]. Разница давления активирует контролируемый адвективный перенос в системе грунт-накопительная камера. Регистрация кривой накопления в камере позволяет оценить адвективную ППР и зависимость этой величины от разницы давления. **Цель настоящей работы** – выполнить детальную апробацию метода измерения ППР при активации адвективного потока воздуха из грунта в измерительную накопительную камеру, проанализировать преимущества и недостатки метода для оценки ГРП на основе этого подхода.

## Материалы и методы

### Место проведения измерений

Для проведения измерений ППР был использован экспериментальный полигон на территории Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН (ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург). Координаты точки измерения № 1 на полигоне  $56^{\circ}46'44.8''\text{N}$   $60^{\circ}33'21.7''\text{E}$ . Экспериментальный полигон расположен на площади развития Ширококореченского габбрового массива, являющегося частью Балтымского массива. По данным описания геологического разреза по скважине ИГФ-300 «Пономаревская» (данные ИГФ УрО РАН), которая была пробурена на расстоянии в 50 метров от полигона, от 0 до 3 метров в глубину разрез представлен светло-бурой глиной с дресвой кварца до 30%. Светло-бурая глина относится к четвертичным аллювиальным отложениям. От 3 метров и глубже наблюдается габбро средне и крупнозернистое.

Ранее в 2012 и 2013 гг. на специальных площадках вблизи и в подвале основного здания ИГФ УрО РАН проводились измерения ППР с поверхности грунта с использованием угольных адсорберов, а также измерения УА природных радионуклидов в почве [4]. Площадки располагались на лесной опушке на расстоянии 1,7 км от полигона (ЭП-1), вдоль улицы (профиль из 10 точек, вытянутый по краю леса, ЭП-2), в подвале здания с грунтовым полом. Результаты измерения ППР с поверхности грунта, УА  $^{226}\text{Ra}$  и других параметров, ранее полученных другими исследователями, на этих экспериментальных площадках приведены в таблице 1.

Таблица 1

### Результаты измерений параметров, характеризующих природную радиоактивность грунта, выполненных в работе [4]

[Table 1

#### [Results of measurements of parameters characterizing the natural radioactivity of soil, according to the study [4]]

Параметр [Parameter]	Площадка [Site]		
	ЭП-1 [ES 1]*	ЭП-2 [ES 2]*	Подвал [Basement]
ППР, мБк/(м <sup>2</sup> ·с) (среднее за год) [Annual average radon flux density, mBq/(m <sup>2</sup> s)]	77±15	13±3	21±2
УА $^{226}\text{Ra}$ в грунте, Бк/кг [ $^{226}\text{Ra}$ concentration in soil, Bq/kg]	35±5	–	5,8±0,9
Плотность грунта, кг/м <sup>3</sup> [Soil density, kg/m <sup>3</sup> ]	1570–1900	1400–1600	1480–1580
Коэффициент эманирования радона [Radon emanation coefficient]	0,14–0,35	–	0,03–0,1

\* ЭП-1 – экспериментальная площадка № 1; ЭП-2 – экспериментальная площадка № 2 [ES-1 – experimental site №1, ES-2 – experimental site №2].

Площадки ЭП-2 и экспериментальный полигон имеют схожую геологическую структуру (габбро-диабазы) в отличие от ЭП-1, сложенную продуктами выветривания гранитов. С учетом этого, результаты измерений ППР и УА  $^{226}\text{Ra}$  на экспериментальном полигоне в данном исследовании на ЭП-2 и в подвале могут быть сопоставлены.

Метод измерения

Установка для измерения ППР с возможностью активации контролируемой разности давления в системе грунт-накопительная камера включала следующее оборудование и средства измерения: накопительная камера объемом  $V=0,2 \text{ м}^3$ , площадью  $S=0,28 \text{ м}^2$ ; помпы для создания необходимой депрессии в накопительной емкости; ротаметр для определения скорости откачки воздуха из накопительной камеры; дифференциальный манометр; аппаратура для измерения ОА радона (радон-монитор AlphaGUARD PQ2000PRO). Схема установки представлена на рис. 1. Были собраны две экспериментальные установки, использованные одновременно.

При проведении измерений накопительная камера устанавливалась на грунте открытым основанием, как показано на рисунке 1. Перед началом каждого цикла измерения камера продувалась атмосферным воздухом для удаления радона, оставшегося после предыдущих измерений. После прекращения доступа атмосферного воздуха проводилась регистрация кривой накопления ОА радона в камере с использованием радон-монитора в десятиминутном режиме. С помощью помпы производилась откачка воздуха из камеры и за счет этого создавалась разность давлений  $\Delta P$  в системе грунт-камера, которая контролировалась с использованием дифференциального манометра. Градиент давления активировал адвективный поток воздуха из грунта в камеру. Измерения ППР в диффузионном режиме проводились при отключенной помпе.

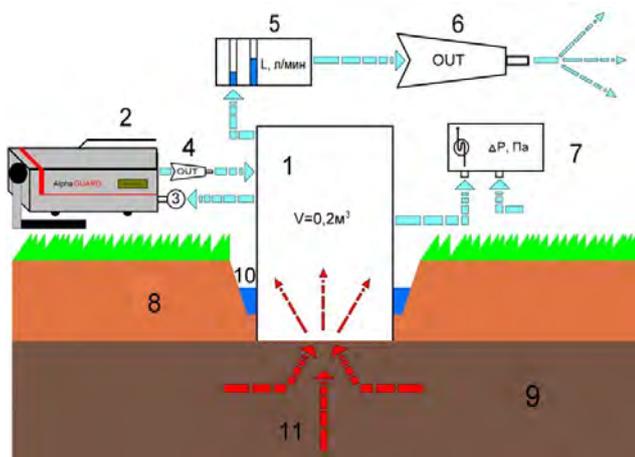


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 – накопительная камера, 2 – радон-монитор, 3 – фильтр дочерних продуктов распада радона, 4 – помпа для прокачки воздуха через радон-монитор, 5 – ротаметр, 6 – помпа для создания разности давлений, 7 – дифференциальный манометр, 8 – слой дерна, 9 – суглинок, 10 – увлажненная прослойка, 11 – пути переноса радона  
**[Fig. 1. Scheme of the experimental setup. 1 – accumulation chamber, 2 – radon-monitor, 3 – filter for the radon progenyproducts, 4 – pump for air pumping through radon-monitor, 5 – rotameter, 6 – pump for pressure difference creation, 7 – differential manometer, 8 – turf layer, 9 – loam, 10 – moistened layer, 11 – radon pathways]**

Для расчета ППР из грунта анализировалась кривая накопления радона в накопительной камере, которая описывалась уравнением [26]:

$$(dC(t, \Delta P))/dt = Q(t, \Delta P) + D - L/V C(t), \quad (1)$$

где:  $C(t)$  – ОА радона в камере в момент  $t$  после начала измерения ( $\text{Бк}/\text{м}^3$ );

$\Delta P$  – разность давлений между камерой и наружной атмосферой (Па);

$Q(t)$  – скорость адвективного поступления радона в камеру ( $\text{Бк}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ );

$D$  – скорость диффузионного поступления радона в камеру ( $\text{Бк}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ );

$L$  – скорость откачки воздуха из камеры ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$V$  – объем камеры ( $\text{м}^3$ ).

При анализе кривых накопления ОА радона использовалось условие  $Q(t=0)=0$  и модель вида [26]:

$$Q(t) = Q^{\max}(1 - e^{-\lambda t}), \quad (2)$$

где  $Q^{\max}$  – максимальная скорость поступления,  $\lambda$  – постоянная времени ( $\text{с}^{-1}$ ).

С учетом условия (2) решение дифференциального уравнения (1) имеет вид:

$$C(t) = e^{-\frac{L}{V}t} \cdot \left( e^{t(\frac{L}{V}-\lambda)} \left( \frac{-Q^{\max}\lambda e^{\lambda t} + D(\frac{L}{V}-\lambda)e^{\lambda t} + Q^{\max}\frac{L}{V}(e^{\lambda t}-1)}{\frac{L}{V}(\frac{L}{V}-\lambda)} \right) + \left( C(0) - \frac{-Q^{\max}\lambda + D(L/V-\lambda)}{\frac{L}{V}(\frac{L}{V}-\lambda)} \right) \right) \quad (3)$$

Для каждого временного ряда в программном пакете Statistica проводился подбор параметров  $Q^{\max}$  и  $\lambda$  в уравнении (3), оценивались их стандартные отклонения. Параметр  $D$  оценивался по результатам измерений в диффузионном режиме.

Для определения диффузионной ППР ( $\text{Бк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ) и адвективной ППР, нормированной на созданную разность давлений ( $\text{Бк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$ ), использовались выражения (4) и (5) соответственно.

$$\text{ППР}_D = \frac{D \cdot V}{S} \quad (4)$$

$$\text{ППР}_{\Delta P} = \frac{Q^{\max} \cdot V}{S \cdot \Delta P} \quad (5)$$

Значение ОА радона в воздухе, поступающем в камеру из грунта,  $C_{Rn}$  рассчитывалось по формуле:

$$C_{Rn} = \frac{Q^{\max} \cdot V \cdot \Delta P}{L} \quad (6)$$

Отношение разности давления  $\Delta P$  к скорости прокачки воздуха  $L$  рассматривалось как сопротивление системы поступлению почвенного воздуха в накопительную камеру ( $R, \text{Па}/(\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1})$ ):

$$R = \frac{\Delta P}{L} \quad (7)$$

Таким образом, результатом каждого эксперимента являются величины ППР<sub>D</sub>, ППР<sub>ΔP</sub>, C<sub>Rn</sub> и R.

Для анализа полученных данных использовались некоторые теоретические соотношения. В соответствии с законом Дарси поток воздуха в камеру за счет градиента давления может быть определен как:

$$L = \frac{K}{\eta} \cdot \nabla P \quad (8)$$

где: K – проницаемость грунта (м<sup>2</sup>), η – динамическая вязкость воздуха (Па·с); ∇P – градиент давления (Па/м). Соответственно, поток радона в камеру равен:

$$J_{Rn} = \frac{K}{\eta} \cdot \nabla P \cdot C_{Rn} = L \cdot C_{Rn} \quad (9)$$

Тогда:

$$\frac{J_{Rn}}{\Delta P} = \frac{C_{Rn}}{R} \quad (10)$$

или

$$\text{ППР}_{\Delta P} = \frac{J_{Rn}}{S \cdot \Delta P} = \frac{C_{Rn}}{R \cdot S} \quad (11)$$

С учетом схемы эксперимента проницаемость грунта можно определить, используя формулу:

$$K = \frac{\eta \cdot L}{\nabla P \cdot S} = \frac{\eta \cdot L \cdot r}{\Delta P \cdot S} = \frac{\eta \cdot r}{R \cdot S} \quad (12)$$

где r – параметр, характеризующий расстояние, на котором реализуется разность давления (м). Для данной схемы эксперимента расстояние r можно принять равным радиусу основания камеры 0,3 м.

Для измерения УА природных радионуклидов отбирались образцы грунта на полигоне. Измерения УА природных радионуклидов проводились на гамма-, бета-спектрометре МКС-АТ1315. Для измерения ОА радона в подвале здания ИГФ УрО РАН был установлен радон-монитор AlphaGUARD RQ2000PRO. Измерения проводились в течение суток с измерительным циклом, равным 1 ч.

### Результаты

Эксперименты с использованием накопительной камеры проводились в августе 2018 г. Средняя температура в период экспериментов составляла +17,6С. Измерения проводились как в сухую погоду, так и при дожде. В случае дождя для защиты оборудования использовался зонт. Измерения ППР проведены в 12 точках, расположение которых на полигоне схематично представлено на рис. 2. Всего получено 18 кривых накопления радона, в т. ч.: четыре кривые накопления – в диффузионном режиме и 14 – в режиме накопления с активированным адвективным потоком. Диффузионная ППР варьировалась от 5,5 до 7,0 мБк/(м<sup>2</sup>·с), при этом адвективная ППР – от 23 до 870 мБк/(м<sup>2</sup>·с) при диапазоне разности давлений от 4 до 20 Па.

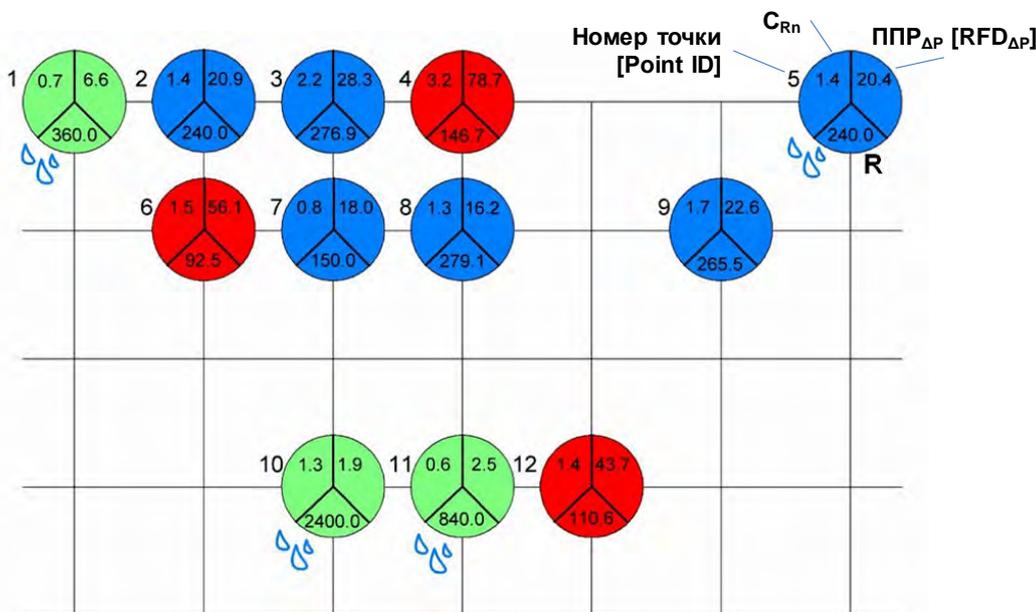


Рис. 2. Результаты расчетов ППР<sub>ΔP</sub>(мБк/(м<sup>2</sup>·с·Па)), C<sub>Rn</sub> (кБк/м<sup>3</sup>) и R (кПа/(м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>)) в точках измерений. Зеленый цвет точек – ППР<sub>ΔP</sub> < 10, синий – 10 ≤ ППР<sub>ΔP</sub> ≤ 40 мБк/(м<sup>2</sup>·с·Па), красный – ППР<sub>ΔP</sub> > 40 мБк/(м<sup>2</sup>·с·Па). Расстояние между осями сетки – 3 м

[Fig. 2. Results of calculations of radon flux density normalized to pressure difference RFD<sub>ΔP</sub> (mBq/(m<sup>2</sup>·с·Pa)), C<sub>Rn</sub> (kBq/m<sup>3</sup>) and R (kPa/(m<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>)) at the measurement points. The green colour of the points is RFD<sub>ΔP</sub> < 10, blue is 10 ≤ RFD<sub>ΔP</sub> ≤ 40 mBq/(m<sup>2</sup>·с·Pa), and red is RFD<sub>ΔP</sub> > 40 mBq/(m<sup>2</sup>·с·Pa). The distance between the grid axes is 3 m]

Для каждой точки на рисунке 2 представлены полученные значения ППР<sub>др</sub>, R и C<sub>РН</sub>. В точках № 5 и 11 было проведено несколько измерений, поэтому для них были использованы усредненные значения. Четыре измерения, проведенные при дождливых условиях, обозначены на рисунке 2 знаком «капли». Сводные данные по результатам измерений на полигоне, а также отдельно результаты, полученные при сухих и дождливых условиях, представлены в табл.

це 2. Как видно из рисунка 2 и таблицы 2, ППР радона, нормированная на разницу давлений, значительно выше, а сопротивление в системе грунт–камера значительно ниже при сухих условиях, чем при дожде. В среднем при сухих условиях ППР повышается в 4,6 раза, сопротивление понижается в 4,8 раза. Величина ОА радона в почвенном воздухе, поступающем в камеру, при этом меняется незначительно.

Таблица 2

Результаты измерения ППР на полигоне (СА – среднее арифметическое, СО – стандартное отклонение)

Table 2

Results of radon flux density (RFD) measurement at the test site (AM – arithmetic mean, SD – standard deviation)

Параметр [Parameter]	СА [AM]	СО [SD]	Коэффициент вариации [Coefficient of variation]	Диапазон [Range]
ППР <sub>д</sub> , мБк/(м <sup>2</sup> ·с) [Diffusion RFD, mBq/(m <sup>2</sup> s)]	6,2	1,2	0,19	5,0–7,7
ППР <sub>др</sub> , мБк/(м <sup>2</sup> ·с·Па) [RFD <sub>др</sub> , mBq/(m <sup>2</sup> s Pa)]	26,0	22	0,85	1,9–79
то же, при осадках [same, with precipitation]	7,9	7,5	0,95	1,9–20
то же, без осадков [same, without precipitation]	36	21	0,58	17–79
R, кПа/(м <sup>3</sup> ·с <sup>-1</sup> ) [Resistance, kPa/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )]	450	617	1,4	93–2400
то же, при осадках [same, with precipitation]	960	862	0,90	240–2400
то же, без осадков [same, without precipitation]	195	73	0,38	93–279
C <sub>РН</sub> , кБк/м <sup>3</sup> [Radon concentration in soil air, kBq/m <sup>3</sup> ]	1,4	0,7	0,50	0,6–3,2
то же, при осадках [same, with precipitation]	1,0	0,4	0,36	0,6–1,4
то же, без осадков [same, without precipitation]	1,7	0,7	0,42	0,7–3,2

На рисунке 3 представлены примеры динамики накопления ОА радона в диффузионном режиме и при активированной адвекции для нескольких разностей давления. Как видно на рисунке 3, накопление радона в камере существенно возрастает при наличии разницы давления в системе грунт–камера. Полученные экспериментальные точки хорошо аппроксимируются с использованием уравнения (3). Анализ кривых накопления в течение четырех часов позволяет определить скорость поступления радона в камеру с неопределенностью в пределах 10%.

Зависимость потока радона в камеру, нормированная на разницу давлений, от сопротивления потоку воздуха в системе грунт–камера представлена на рисунке 4. Зависимость, представленная на рисунке 4, аппроксимируется степенной функцией (10), R<sup>2</sup>=0,60. В соответствии с уравнением (10), при использовании нормированной скорости поступления радона в камеру коэффициент 1440 Бк/м<sup>3</sup> имеет физический смысл ОА радона в почвенном воздухе, поступающем в камеру.

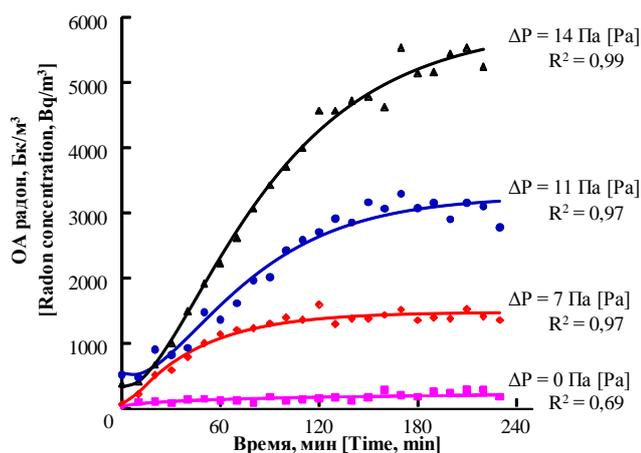


Рис. 3. Вид кривых накопления ОА радона в накопительной камере при различных значениях разности давлений в камере и атмосфере

[Fig. 3. Examples of radon accumulation curves in the accumulation chamber at different values of the pressure difference between chamber and atmosphere]

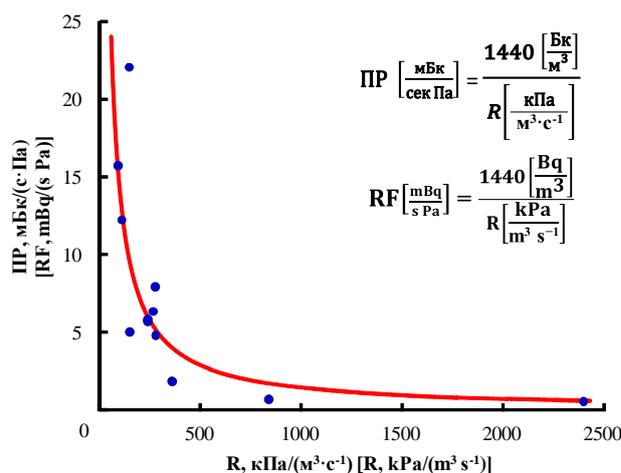


Рис. 4. Зависимость адвентивного потока радона в камеру, нормированного на разницу давлений, от сопротивления в системе грунт–накопительная камера

[Fig. 4. Dependence of the advective radon flux into the chamber, normalized to the pressure difference, on the resistance in the soil-accumulation chamber]

Для измерения УА природных радионуклидов на полигоне были отобраны 5 образцов грунта. Образцы грунта представляли собой светло-бурую глину, характерную для геологических условий участка. Получены следующие результаты измерений УА (среднее арифметическое и диапазон):  $^{226}\text{Ra}$  – 6,7 (4,9–8,2) Бк/кг;  $^{232}\text{Th}$  – 12 (9,4–16) Бк/кг;  $^{40}\text{K}$  – 194 (163–262) Бк/кг. Измерения содержания радона в воздухе подвального помещения, расположенного вблизи полигона, были проведены в течение суток в декабре 2023 г. По данным радон-монитора ОА радона в среднем составляла 159 Бк/м<sup>3</sup> и достигала 211 Бк/м<sup>3</sup>.

### Обсуждение

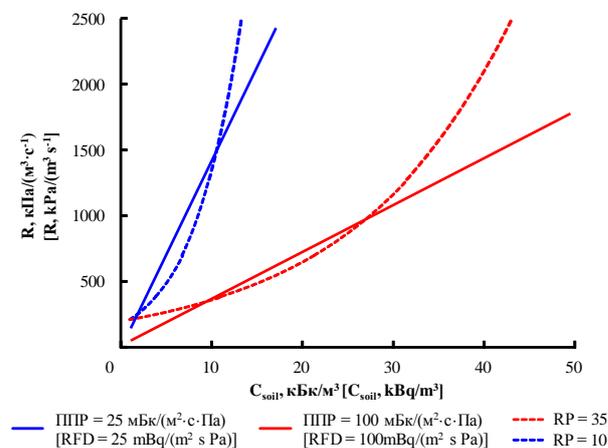
В ходе проведенных экспериментов получено, что при активации адвективного переноса радона из грунта ОА радона в накопительной камере увеличивается. В сухих условиях при разнице давления в системе грунт–камера 1 Па поток радона с поверхности грунта в накопительную камеру возрастает в среднем в 5,8 раза по сравнению с ППР, которая формируется за счет диффузии. Наблюдается неоднородность характеристик переноса радона из грунта в атмосферу в различных точках полигона. Наибольшие коэффициенты вариации отмечаются для ППР и сопротивления в системе грунт–камера. Одним из факторов, обуславливающих вариабельность ППР и сопротивления, является влажность грунта. Максимальные значения ППР при активации адвективного потока зарегистрированы в сухую погоду. Величина ОА радона в почвенном воздухе, поступающем в накопительную камеру, в меньшей степени зависит от погодных условий. Проницаемость грунта в среднем составляет примерно  $10^{-10}$  м<sup>2</sup> и находится в диапазоне  $10^{-11}$ – $10^{-9}$  м<sup>2</sup>. Необходимо отметить, что оценка проницаемости грунта по результатам оценки сопротивления в системе грунт–накопительная камера является достаточно приближительной и может быть округлена до порядка величины.

В соответствии с законом Дарси при одинаковой проницаемости грунта поток радона в накопительную камеру пропорционален приложенной разности давления. Зависимость ППР от сопротивления в системе грунт–камера хорошо аппроксимируется степенной зависимостью при постоянной ОА радона в воздухе, поступающем из грунта (1,4 кБк/м<sup>3</sup>). Наблюдаемое значение ОА радона в почвенном воздухе соответствует расчетным значениям, которые получены для грунта плотностью 1500 кг/м<sup>3</sup>, УА  $^{226}\text{Ra}$  в 6,7 Бк/кг, коэффициента эманирования примерно 0,03–0,05 и пористости грунта примерно 0,2–0,4. Такие параметры соответствуют полученным нами и другими исследователями данным.

Зависимость общей ППР за счет диффузионного и адвективного механизма от сопротивления при допущении постоянной ОА радона в почвенном воздухе характеризует ГРП на площадке. Преимуществом оценки ГРП как суммы диффузионной и адвективной ППР является возможность провести оценку уровня накопления радона в здании, построенном на данном участке. Расчеты показывают, что в модельном жилом помещении в доме с подвалом ( $\Delta P = 2$  Па, отношение площади подвала к объему 0,33 м<sup>-1</sup>, КВО в подвале 0,3 ч<sup>-1</sup>, КВО в жилом помещении 0,5 ч<sup>-1</sup>, доля воздухообмена, приходящегося на подвальное помещение, 10%) ОА радона не будет превышать 200 Бк/м<sup>3</sup> при ППР 100 мБк/(м<sup>2</sup>·с·Па). При ППР 25 мБк/(м<sup>2</sup>·с·Па) ЭРОА радона в помещении не будет превышать среднее значение ЭРОА радона в жилых зданиях России, которое составляет примерно 24 Бк/м<sup>3</sup> [27].

Данные о радоновом потенциале площадки, выраженные через зависимость ППР от сопротивления грунта могут

быть сопоставлены с подходом, разработанным М. и М. Нежналами и соавт. [1] На рис. 5 представлены зависимости между ОА радона в почвенном воздухе и сопротивлением грунта, соответствующие некоторым референтным уровням радонового потенциала по Нежналу (штрихованные линии) и по значению ППР с учетом адвективной составляющей (сплошные линии). Как показывает рис. 5, наблюдается близкое соответствие двух подходов.



**Рис. 5.** Зависимость между ОА радона в почвенном воздухе и сопротивлением грунта при фиксированных значениях радонового потенциала по Neznal et al. [1] (штрихованные линии) и по ППР с учетом адвекции (сплошные линии)

**[Fig. 5.]** Dependence between radon concentration in soil air and soil resistance at fixed values of radon potential according to Neznal et al. [1] (dashed lines) and RFD with advective component (solid lines)]

Необходимо отметить, что, как и при измерении ОА радона в почвенном воздухе (метод Нежналов), так и при измерении с помощью накопительной камеры с откачкой, важным для достижения воспроизводимости результата измерения является качество технической реализации измерительной схемы. В обоих методах наличие дополнительных негерметичностей, щелей и т.п. повышает проницаемость системы, вследствие чего получается смещенная оценка сопротивления или проницаемости грунта.

В целом, предложенный метод исследования радоноопасности площадки с использованием накопительной камеры и активации адвективного переноса позволяет получить более развернутую оценку ГРП, включающую данные о диффузионной и адвективной ППР, проницаемости грунта и ОА радона в почвенном воздухе.

### Заключение

Метод оценки ГРП, основанный на активации контролируемого адвективного потока в системе грунт–накопительная камера, обладает следующими преимуществами: возможность оценки потенциальной адвективной ППР, нормированной на разность давлений; одновременная оценка адвективной ППР, диффузионной ППР, ОА радона в почвенном воздухе и проницаемости грунта; возможность проведения исследований не только в сухую погоду; возможность прогноза ОА радона в здании, построенном на обследуемом участке. В пределах исследованного экспериментального полигона наблюдается устойчивая

зависимость между тремя параметрами: потоком радона, ОА радона в почвенном воздухе и сопротивлением грунта. На исследованном полигоне потенциальный адвективный поток радона из грунта значительно превосходит диффузионный поток. Метод оценки ГРП с использованием накопительной камеры и активации адвективного потока может использоваться для детального изучения площадок под строительство зданий.

#### Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Ярмошенко И.В. – разработка концепции и планирование научной работы, анализ и интерпретация данных, составление черновика рукописи, окончательное утверждение публикуемой версии рукописи.

Малиновский Г.П. – проведение экспериментов, анализ и интерпретация данных, составление черновика рукописи, окончательное утверждение публикуемой версии рукописи.

Юрков И.А. – проведение экспериментов, анализ и интерпретация данных, составление черновика рукописи, окончательное утверждение публикуемой версии рукописи.

Изгагин В.С. – проведение экспериментов, анализ и интерпретация данных, составление черновика рукописи, окончательное утверждение публикуемой версии рукописи.

#### Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Сведения об источнике финансирования

Исследование выполнено по государственному заданию ИПЭ УрО РАН (номер темы в ЕГИСУ НИОКТР в 124022800173-2).

#### Литература

1. Neznal M., Neznal M., Matolín M. et al. The new method for assessing the radon risk of building sites. Czech Geological Survey Special Papers 16. Prague: Czech Geological Survey, 2004. 48 p. URL: <http://www.radonvos.cz/pdf/metodika.pdf> (Дата обращения: 10.06.2024).
2. Bossew P., Cinelli G., Ciotoli G. et al. Development of a Geogenic Radon Hazard Index—Concept, History, Experiences // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17, 4134. DOI: 10.3390/ijerph17114134.
3. Miklyayev P.S., Petrova T.B., Shchitov D.V. et al. Radon transport in permeable geological environments // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 852, 158382. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158382.
4. Маренный А.М., Цапапов А.А., Микляев П.С., Петрова Т.Б. Закономерности формирования радонового поля в геологической среде. М.: Издательство "Перо", 2016. 364 с.
5. Petermann E., Meyer H., Nussbaum M., Bossew P. Mapping the geogenic radon potential for Germany by machine learning // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 754, 142291. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142291.
6. Жуковский М.В., Ярмошенко И.В. Радон: измерение, дозы, оценка риска. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 231 с.
7. 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.
8. Matolin M., Neznal M. Experience from radon in soil gas comparison measurements held in Czech Republic and in other countries, 1992–2022 // Journal of the European Radon Association. 2024. DOI: 10.35815/radon.v5.9545. DOI: 10.35815/radon.v5.9545.
9. Neznal M., Neznal M., Šmarda J. Assessment of radon potential of soils—a five year experience // Environment International. 1996. Vol. 22. P. 819–828. DOI: 10.1016/S0160-4120(96)00189-4.
10. Kemski J., Klingel R., Siehl A., Valdivia-Manchego M. From radon hazard to risk prediction-based on geological maps, soil gas and indoor measurements in Germany // Environmental Geology. 2008. Vol. 56. P. 1269–1279. DOI: 10.1007/s00254-008-1226-z.
11. Font L., Baixeras C., Moreno V., Bach J. Soil radon levels across the Amer fault // Radiation Measurements. 2008. Vol. 43. P. S319–S323. DOI: 10.1016/j.radmeas.2008.04.072.
12. Bossew P. Mapping the Geogenic Radon Potential and Estimation of Radon Prone Areas in Germany. Radiation Emergency Medicine. 2015. Vol. 4. P. 13–20.
13. Cinelli G., Tollefsen T., Bossew P. et al. Digital version of the European Atlas of natural radiation. Journal of Environmental Radioactivity. 2019. Vol. 196. P. 240–252. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2018.02.008.
14. Павлов И.В. Математическая модель процесса эксгаляции радона с поверхности земли и критерии оценки потенциальной радоноопасности территории застройки // АНРИ. 1997. № 5 (11). С. 15–26.
15. Lei B., Zhao L., Girault F. et al. Overview and large-scale representative estimate of radon-222 flux data in China // Environmental Advances. 2023. Vol. 11. 100312. DOI: 10.1016/j.envadv.2022.100312.
16. Gavriliev S., Petrova T., Miklyayev P., Karfidova E. Predicting radon flux density from soil surface using machine learning and GIS data // Science of The Total Environment. 2023. Vol. 903. 166348. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166348.
17. МАГАТЭ. Measurement and calculation of radon releases from NORM residues. Technical reports series, no. 474. STI/DOC/010/474. International Atomic Energy Agency, 2013.
18. Жуковский М.В., Донцов Г.И., Шориков А.О., Рогатко А.А. Модификация метода накопительной камеры для измерения плотности потока радона с поверхности почвы // АНРИ. 1999. № 3 (18). С. 9–20.
19. Tsapalov A., Kovler K., Miklyayev P. Open charcoal chamber method for mass measurements of radon exhalation rate from soil surface // Journal of Environmental Radioactivity. 2016. Vol. 160. P. 28–35. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.04.016.
20. Ryzhakova N.K., Stavitskaya K.O., Plastun S.A. The problems of assessing radon hazard of development sites in the Russian Federation and the Czech Republic // Radiation Measurements. 2022. Vol. 150. 106681. DOI: 10.1016/j.radmeas.2021.106681.
21. Demoury C., Ielsch G., Hemon D. et al. A statistical evaluation of the influence of housing characteristics and geogenic radon potential on indoor radon concentrations in France // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 126. P. 216–225. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.08.006.
22. Petermann E., Bossew P., Hoffmann B. Radon hazard vs. radon risk – On the effectiveness of radon priority areas // Journal of Environmental Radioactivity. 2022. Vol. P. 244–245. 106833. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2022.106833.
23. Zhukovsky M., Yarmoshenko I., Kiselev S. Combination of geological data and radon survey results for radon mapping // Journal of Environmental Radioactivity. 2012. Vol. 112. P. 1–3. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.02.013.
24. Yarmoshenko I., Malinovsky G., Vasilyev A. Comments to special issue geogenic radiation and its potential use for developing the geogenic radon map // Journal of Environmental Radioactivity. 2017. Vol. 172. P. 143–144. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.03.023.
25. Yarmoshenko I., Malinovsky G., Vasilyev A., Zhukovsky M. Method for measuring radon flux density from soil activated by a pressure gradient // Radiation Measurements. 2018. Vol. 119. P. 150–154. DOI: 10.1016/j.radmeas.2018.10.011.
26. Ярмошенко И.В., Малиновский Г.П., Васильев А.В., Жуковский М.В. Метод измерения плотности потока радона из грунта, активированного градиентом давления // АНРИ. 2018. № 2(93). С. 48–55.
27. Yarmoshenko I., Malinovsky G., Vasilyev A., Zhukovsky M. Reconstruction of national distribution of indoor radon concentration in Russia using results of regional indoor radon measurement programs // Journal of Environmental Radioactivity. 2015. Vol. 150. P. 99–103. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2015.08.007.

Поступила: 23.04.2024

**Ярмошенко Илья Владимирович** – кандидат физико-математических наук, директор Института промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук. **Адрес для переписки:** 620108, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: ivy@ecko.uran.ru

ORCID: 0000-0002-6591-1513

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

ORCID: 0000-0002-9543-3874

**Юрков Игорь Анатольевич** – младший научный сотрудник Института промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

**Изгагин Вячеслав Сергеевич** – младший научный сотрудник Института промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

ORCID: 0000-0003-1033-2917

**Для цитирования:** Ярмошенко И.В., Малиновский Г.П., Юрков И.А., Изгагин В.С. Оценка геогенного радонового потенциала с использованием активации адвективного потока воздуха из грунта // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 4. С. 79–87. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-4-79-87.

---

## **Assessment of geogenic radon potential with activation of advective soil air flow**

**Ilya V. Yarmoshenko, Georgy P. Malinovsky, Igor A. Yurkov, Vyacheslav S. Izgagin**

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

*Prediction of radon potential and justification of measures for reducing radon concentration in buildings necessitate the study of soil radon transport. The article presents an approach to estimating the geogenic radon potential of a site based on the study of the dependence of the radon flux from the soil on the pressure gradient. The efficacy of the method of radon flux density measurement with artificial activation of controlled advective air flow from the soil into the accumulation chamber was evaluated at an experimental site. The measuring installation consisted of a large-volume accumulation chamber (200 l), a system of pumps, flow meters, and a differential manometer. The results of measurements at 12 points on the experimental site yielded a number of values, including advective radon flux density as a function of pressure difference between the accumulation chamber and the atmosphere (in the range 4–20 Pa), radon concentration in soil air, and resistance to air flow in the soil-chamber system. The results demonstrate that at the investigated site, the potential advective radon flux density significantly exceeds the diffusive radon flux density: the corresponding radon flux density ranges are 23–870 mBq/(m<sup>2</sup> s) and 5.5–7.0 mBq/(m<sup>2</sup> s), respectively. The air flow resistance in the system of the soil measurement chamber varies depending on the meteorological conditions, with a range from 93 to 2400 kPa/(m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>). On average, under dry conditions, the resistance to airflow is 4.8 times lower than in rain. The radon concentration in the soil varies from 0.6 to 3.2 kBq/m<sup>3</sup>, with an arithmetic mean of 1.4 kBq/m<sup>3</sup>. The dependence of the advective radon flux density, normalized to a pressure difference of 1 Pa, on the air flow resistance follows the Darcy's law. This dependence, taking into account the soil radon concentration, characterizes the geogenic radon potential at the site. The advantages and disadvantages of the method of geogenic radon potential estimation based on the artificial activation of the pressure gradient in the measurement system are discussed.*

**Key words:** radon, geogenic radon potential, flux density, advection, measurement method.

### **Authors' personal contribution**

Yarmoshenko I.V. – conceptualization and planning, data analysis and interpretation, drafting of the manuscript, final approval of the published version of the manuscript.

Malinovsky G.P. – experiments, data analysis and interpretation, drafting of the manuscript, final approval of the published version of the manuscript.

Yurkov I.A. – experiments, data analysis and interpretation, drafting of the manuscript, final approval of the published version of the manuscript.

Izgagin V.S. – experiments, data analysis and interpretation, drafting of the manuscript, final approval of the published version of the manuscript.

### **Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interest.

### **Sources of funding**

The research was carried out under the state assignment of Institute of Industrial Ecology UB RAS (state registration number 124022800173-2).

---

**Ilya V. Yarmoshenko**

Institute of Industrial Ecology

**Address for correspondence:** S. Kovalevskaya Str., 20, Ekaterinburg, 620108, Russia; E-mail: ivy@ecko.uran.ru

---

References

1. Neznal M, Neznal M, Matolin M, Barnet I, Mikšová J. The new method for assessing the radon risk of building sites. Czech Geological Survey Special Papers 16. Prague: Czech Geological Survey; 2004. 48 p. Available from: <http://www.radonvos.cz/pdf/metodika.pdf> [Accessed 10 June 2024].
2. Bossew P, Cinelli G, Ciotoli G, Crowley QG, De Cort M, Elío Medina J, et al. Development of a Geogenic Radon Hazard Index—Concept, History, Experiences. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17: 4134. DOI: 10.3390/ijerph17114134.
3. Miklyaev PS, Petrova TB, Shchitov DV, Sidiyakin PA, Murzabekov MA, Tsebro D et al. Radon transport in permeable geological environments. *Science of The Total Environment*. 2022;852: 158382. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158382.
4. Marenzi AM, Tsapalov AA, Miklyaev PS, Petrova TB. Regularities of radon field formation in the geological environment. Moscow: Pero Publishing House; 2016. 364 p. (In Russian).
5. Petermann E, Meyer H, Nussbaum M, Bossew P. Mapping the geogenic radon potential for Germany by machine learning. *Science of the Total Environment*. 2021;754: 142291. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142291.
6. Zhukovskiy MV, Yarmoshenko IV. Radon: measurement, doses, risk assessment. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 1997. 231 p. (In Russian)
7. Kiselev SM, Zhukovskiy 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).
8. Matolin M, Neznal M. Experience from radon in soil gas comparison measurements held in Czech Republic and in other countries, 1992–2022. *Journal of the European Radon Association*. 2024; 5. DOI: 10.35815/radon.v5.9545.
9. Neznal M, Neznal M, Šmarda J. Assessment of radon potential of soils —a five year experience. *Environment International*. 1996;22: 819–828. DOI: 10.1016/S0160-4120(96)00189-4.
10. Kemski , Klingel R, Siehl A, Valdivia-Manchego M. From radon hazard to risk prediction-based on geological maps, soil gas and indoor measurements in Germany. *Environmental Geology*. 2008;56: 1269–1279. DOI: 10.1007/s00254-008-1226-z.
11. Font L, Baixeras C, Moreno V, Bach J. Soil radon levels across the Amer fault. *Radiation Measurements*. 2008;43: S319–S323. DOI: 10.1016/j.radmeas.2008.04.072.
12. Bossew P. Mapping the Geogenic Radon Potential and Estimation of Radon Prone Areas in Germany. *Radiation Emergency Medicine*. 2015;4: 13–20.
13. Cinelli G, Tollefsen T, Bossew P, Gruber V, Bogucarskis K, De Felice L, et al. Digital version of the European Atlas of natural radiation. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019;196: 240–252. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2018.02.008.
14. Pavlov IV. Mathematical model of the process of radon exhalation from the ground surface and criteria for assessing the potential radon hazard of the territory of the building. *ANRI = ANRI*. 1997;5(11): 15-26. (In Russian).
15. Lei B, Zhao L, Girault F, Cai Z, Luo C, Thapa S, et al. Overview and large-scale representative estimate of radon-222 flux data in China. *Environmental Advances*. 2023;11: 100312. DOI: 10.1016/j.envadv.2022.100312.
16. Gavriliev S, Petrova T, Miklyaev P, Karfidova E. Predicting radon flux density from soil surface using machine learning and GIS data. *Science of The Total Environment*. 2023;903: 166348. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166348
17. IAEA. Measurement and calculation of radon releases from NORM residues. Technical reports series, no.474. STI/DOC/010/474. International Atomic Energy Agency; 2013.
18. Zhukovskiy MV, Dontsov GI, Shorikov AO, Rogatko AA. Modification of the accumulation chamber method for measuring the radon flux density from the soil surface. *ANRI= ANRI*. 1999;3(18): 9-20. (In Russian).
19. Tsapalov A, Kovler K, Miklyaev P. Open charcoal chamber method for mass measurements of radon exhalation rate from soil surface. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016;160: 28–35. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.04.016
20. Ryzhakova NK, Stavitskaya KO, Plastun SA. The problems of assessing radon hazard of development sites in the Russian Federation and the Czech Republic. *Radiation Measurements*. 2022;150: 106681. DOI: 10.1016/j.radmeas.2021.106681.
21. Demoury C, Ielsch G, Hemon D, Laurent O, Laurier D, Clavel J, et al. A statistical evaluation of the influence of housing characteristics and geogenic radon potential on indoor radon concentrations in France. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013;126: 216–225. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.08.006.
22. Petermann E, Bossew P, Hoffmann B. Radon hazard vs. radon risk – On the effectiveness of radon priority areas. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2022; 244–245: 106833. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2022.106833.
23. Zhukovskiy M, Yarmoshenko I, Kiselev S. Combination of geological data and radon survey results for radon mapping. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2012;112: 1–3. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.02.013.
24. Yarmoshenko I, Malinovsky G, Vasilyev A. Comments to special issue geogenic radiation and its potential use for developing the geogenic radon map. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017;172: 143–144. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.03.023.
25. Yarmoshenko I, Malinovsky G, Vasilyev A, Zhukovskiy M. Method for measuring radon flux density from soil activated by a pressure gradient. *Radiation Measurements*. 2018;119: 150–154. DOI: 10.1016/j.radmeas.2018.10.011.
26. Yarmoshenko IV, Malinovsky GP, Vasilyev AV, Zhukovskiy MV. Method for measuring the radon flux density from the pressure gradient-activated soil. *ANRI=ANRI*. 2018;2(93): 48–55. (In Russian).
27. Yarmoshenko I, Malinovsky G, Vasilyev A, Zhukovskiy M. Reconstruction of national distribution of indoor radon concentration in Russia using results of regional indoor radon measurement programs. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2015; 150: 99-103. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2015.08.007.

Received: April 23, 2024

**For correspondence: Ilia V. Yarmoshenko** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Director of the Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (S. Kovalevskaya str., 20, Ekaterinburg, 620108, Russia; E-mail: [ivy@ecko.uran.ru](mailto:ivy@ecko.uran.ru))

ORCID: 0000-0002-6591-1513

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

ORCID: 0000-0002-9543-3874

**Igor A. Yurkov** – Junior Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

**Vyacheslav S. Izgagin** – Junior Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

ORCID: 0000-0003-1033-2917

**For citation: Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P., Yurkov I.A., Izgagin V.S. Assessment of geogenic radon potential with activation of advective soil air flow. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 4. P. 79–87. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-4-79-87.**