



УДК 911.3:61; 614.876  
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-2-306-315

## Геоинформационная оценка вероятного влияния естественной эманации радона на заболеваемость раком легкого

<sup>1</sup>Клепиков О.В., <sup>1</sup>Епринцев С.А., <sup>2</sup>Лунёва Е.А., <sup>1</sup>Шекоян С.В.

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет,  
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1

<sup>2</sup>Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко,  
Россия, 394036, г. Воронеж, ул. Студенческая, 10

E-mail: klepa1967@rambler.ru; esa81@mail.ru; e.a.luneva97@mail.ru

**Аннотация.** Целью исследования являлась геоинформационная оценка вероятного влияния естественной эманации радона на уровень заболеваемости населения Воронежской области раком легкого. Объектами исследования являлись концентрация радона в воздушной среде и заболеваемость населения раком легкого. Сопоставление данных о заболеваемости и значениях эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона в воздухе помещений жилых домов, в том числе с использованием алгоритма корреляционного анализа, показало отсутствие статистически значимой связи. Такой результат может быть связан с доминированием других причин в этиологии рака легкого и относительно низкими значениями показателей эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона в воздухе помещений жилых домов, которые соответствовали нормам радиационной безопасности.

**Ключевые слова:** радон, заболеваемость, рак легкого, геоинформационные системы, Воронежская область

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-17-00172-П, <https://rscf.ru/project/20-17-00172/>

**Для цитирования:** Клепиков О.В., Епринцев С.А., Лунёва Е.А., Шекоян С.В. 2023. Геоинформационная оценка вероятного влияния естественной эманации радона на заболеваемость раком легкого. Региональные геосистемы, 47(2): 306–315. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-2-306-315

---

## Geoinformation Assessment Probable Effect of Natural Radon Emanation on the Incidence of Lung Cancer

<sup>1</sup>Oleg V. Klepikov, <sup>1</sup>Sergey A. Yepprintsev, <sup>2</sup>Elena A. Luneva, <sup>1</sup>Syuzanna V. Shekoyan

<sup>1</sup>Voronezh State University,

1 Universitetskaya Pl, Voronezh 394018, Russia,

<sup>2</sup>Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko

10 Studencheskya St, Voronezh 394036, Russia

E-mail: klepa1967@rambler.ru; esa81@mail.ru; e.a.luneva97@mail.ru

**Abstract.** Natural radiation makes the greatest contribution to the total radiation dose of the population. From natural sources of irradiation, the share of radon coming from the bowels of the Earth accounts for from 40 to 90%, depending on the totality of geological and geophysical signs of the risk of its natural emanation – specific types of ground rocks, climate, seismic activity of the territory, discontinuous disturbances forming radon outlets on the Earth's surface. The spatio-temporal analysis of the radon effect on the cancer incidence of the population of the cities of the Voronezh Region requires the processing of large geodata arrays, which makes it necessary to use geoinformation technologies to obtain representative results. The aim of the study was a geoinformation assessment of the likely influence of natural radon

emanation on the incidence of lung cancer in the Voronezh region population. The objects of the study were the concentration of radon in the air and the incidence of lung cancer in the population. Comparison of the data on morbidity and the values of the equivalent equilibrium volume activity of radon isotopes in the air of residential buildings, including using the correlation analysis algorithm, showed the absence of a statistically significant relationship. This result may be associated with the dominance of other causes in the etiology of lung cancer and relatively low values of the equivalent equilibrium volume activity of radon isotopes in the air of residential buildings that comply with radiation safety standards.

**Keywords:** radon, incidence, lung cancer, geoinformation systems, Voronezh oblast

**Acknowledgements:** The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 20-17-00172-P, <https://rscf.ru/project/20-17-00172/>

**For citation:** Klepikov O.V., Yeprintsev S.A., Luneva E.A., Shekoyan S.V. 2023. Geoinformation Assessment Probable Effect of Natural Radon Emanation on the Incidence of Lung Cancer. *Regional Geosystems*, 47(2): 306–315. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-2-306-315

## Введение

В настоящее время природное излучение вносит наибольший вклад в суммарную дозу облучения населения. Из природных источников облучения на долю радона, поступающего из недр Земли, приходится от 40 до 90 % в зависимости от совокупности геологических и геофизических признаков риска его естественной эманации – конкретных типов грунтовых пород, климата, сейсмической активности территории, разрывных нарушений, формирующих выходы радона на земную поверхность [Al-Khateeb et al., 2017; Стёпкин и др., 2018; Тайиров и др., 2019; Абрамов, 2020; Карпин, 2020; Карпин и др., 2020; Автушко и др., 2021].

При этом радон является вторым по значимости фактором риска развития рака легкого после курения [Ababii, 2021; Жуковский и др., 2021], особенно если население проживает вблизи разработки месторождений полезных ископаемых [Котов и др., 2020; Петоян и др., 2022] или его воздействие на организм связано с производственной деятельностью человека – работой в шахтах при добыче полезных ископаемых, строительством туннелей [Лешуков и др., 2020; Стась и др., 2020].

Кроме того, существует проблема накопления радона в замкнутом пространстве, в том числе жилых помещениях, это зависит не только от факторов геолого-географической среды, но и применяемых в строительстве материалов и конструктивных особенностей зданий [Finne et al., 2019; Жук и др., 2021; Жуковский и др., 2022]. Поступление радона в помещение из грунта под зданием может происходить диффузным и конвективным путем, но 90 % его объема сосредотачивается в помещениях нижнего этажа за счет поступления из грунта в основании здания [Калайдо и др. 2021; Подымов, Подымова, 2022; Глазичев, 2023].

Пространственно-временной анализ влияния радона на заболеваемость раком населения городов Воронежской области требует обработки большого объема геоданных, что делает необходимым использование геоинформационных технологий для получения репрезентативных результатов [Епринцев, Шекоян, 2019]

За рубежом и в России проводятся многочисленные исследования радоновой проблемы, результаты которых говорят о необходимости постоянного контроля этого канцерогенного фактора, создана и развивается система нормирования и мониторинга радона в воздухе рабочей зоны и жилых помещений, проводятся обязательные радиологические исследования территории перед застройкой.

Исследования по оценке влияния радона на население, а также данные Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКДАР) показывают, что ежегодно в мире не менее 10 % регистрируемых заболеваний раком легких вызваны радоновой радиацией [Афанасьева, Бурлакова, 2020].



Изучение проблемы радона включено в радиоэкологические программы США [Meуer, 2019; Калайдо и др., 2022], Западной Европы и России [Ярошевич и др., 2013; Ту-манов, Говор, 2021].

Методические подходы к региональной геоэкологической оценке радоновых рисков для населения включают изучение онкологической заболеваемости населения и имеющихся данных о воздействии радона, в том числе с использованием ГИС-технологий [Межова и др., 2022]. При этом фактические данные о воздействии радона сопоставляются с основными нормируемыми характеристиками для оценки радонового фактора – эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона и средней эффективной годовой дозой облучения человека за счет ингаляции изотопов радона, присутствующего в воздухе [Романович и др., 2019].

Целью исследования являлась оценка вероятного влияния естественной эманации радона на уровень заболеваемости населения Воронежской области раком легкого.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись концентрация радона в воздушной среде и заболеваемость населения раком легкого.

Исследование выполнено на базе радиологической лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области». Для измерения ЭРОА изотопов радона использовалась установка спектрометрическая МКС-01А «МУЛЬТИРАД», измерения и обработка результатов проводились в соответствии с «Методикой измерений средней за время экспозиции объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений НТЦ «НИТОН», 1993».

В качестве инструмента геоинформационного анализа выступила авторская ГИС «Экологическая безопасность городов Центральной России» [Епринцев и др., 2020]. Созданные ГИС-карты обеспечивают точную пространственную привязку, обобщение и систематизацию полученных данных, отбор, анализ репрезентативности и адаптацию всей поступающей информации с её последующим хранением (единое адресное пространство); наглядность и достоверность информации для принятия решений по адекватной управленческой формуле; анализ динамических характеристик исследуемых процессов и явлений [Епринцев и др., 2020].

Оценка содержания радона и радиоактивных продуктов его распада в жилых зданиях проведена за период 2017–2023 годы: всего 20715 исследований, в том числе 2017 г. – 3820, 2018 г. – 3429, 2019 г. – 3247 г., 2020 г. – 3071, 2021 г. – 3046; 2022 г. – 3245, 2023 г. (январь – апрель) – 857 исследований. Измерения показателей радона проведены в 178 деревянных домах, 520 каменных одноэтажных и 1638 каменных многоэтажных. Большинство домов обследовалось в городском округе город Воронеж – каменных одноэтажных – 198, каменных многоэтажных – 925.

Для оценки влияния радона на население использованы показатели эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона в жилых зданиях ( $\text{Бк}/\text{м}^3$ ) и средние эффективные годовые дозы облучения населения за счет ингаляции изотопов радона, присутствующего в воздухе жилых помещений ( $\text{мЗв}/\text{год}$ ).

Заболеваемость населения раком легкого (женщины и мужчины) анализировалась по данным статистической формы № 7 «Сведения о злокачественных новообразованиях» за 2017–2022 г. (число зарегистрированных случаев на 100 тысяч населения) в разрезе 32 административных районов Воронежской области и городскому округу город Воронеж. Гендерный подход оценки заболеваемости связан с имеющимися статистическими различиями уровней заболеваемости раком легкого среди мужчин и женщин. По Воронежской области средний многолетний уровень (СМУ) заболеваемости мужчин –  $77,89 \pm 3,62$  случаев на

100 тыс., женщин –  $15,95 \pm 0,55$  случаев на 100 тыс. (различия показателей статистически достоверны при  $p < 0,05$ ). Для ранжирования показателей заболеваемости населения построены трехуровневые оценочные шкалы (высокий, средний, низкий уровни), исходя из расчета СМУ и его среднего квадратического отклонения.

Для количественной оценки корреляции, т. е. связи между двумя анализируемыми показателями (уровнем заболеваемости и средними эффективными годовыми дозами облучения населения за счет ингаляции изотопов радона), использован коэффициент парной корреляции ( $r$ ). Для вывода о наличии или отсутствии статистически значимой корреляционной связи между исследуемыми показателями использован критерий Стьюдента при вероятности статистической ошибки менее 5 % ( $p < 0,05$ ).

### Результаты и их обсуждение

По результатам оценки ЭРОА изотопов радона в жилых зданиях в целом по Воронежской области установлено, что в деревянных домах среднее значение ЭРОА составило  $23,0 \pm 1,2$  Бк/м<sup>3</sup>, в одноэтажных каменных –  $22,9 \pm 0,7$  Бк/м<sup>3</sup>, в многоэтажных каменных –  $24,2 \pm 0,7$  Бк/м<sup>3</sup>. Максимальные значения ЭРОА изотопов радона за период исследований на территории Воронежской области были отмечены в деревянном доме Эртильского района в 2017 году –  $69,3$  Бк/м<sup>3</sup>, в каменном одноэтажном доме Нижнедевицкого района в 2017 году –  $48,1$  Бк/м<sup>3</sup>, в каменном многоэтажном доме Таловского района в 2017 году –  $70,0$  Бк/м<sup>3</sup>.

Средние эффективные годовые дозы облучения населения за счет присутствия радона в жилых помещениях по результатам исследований в разрезе административных единиц Воронежской области варьируют в 2017 году – от 0,82 до 4,46 мЗв, в 2018 году – от 0,81 до 3,25 мЗв, в 2019 году – от 0,83 до 3,06 мЗв, в 2020 году – от 0,86 до 2,63 мЗв, в 2021 году – от 0,77 до 2,34 мЗв, 2022 году – от 0,89 до 2,59 мЗв, 2023 году – от 0,77 до 2,21 (за январь – апрель).

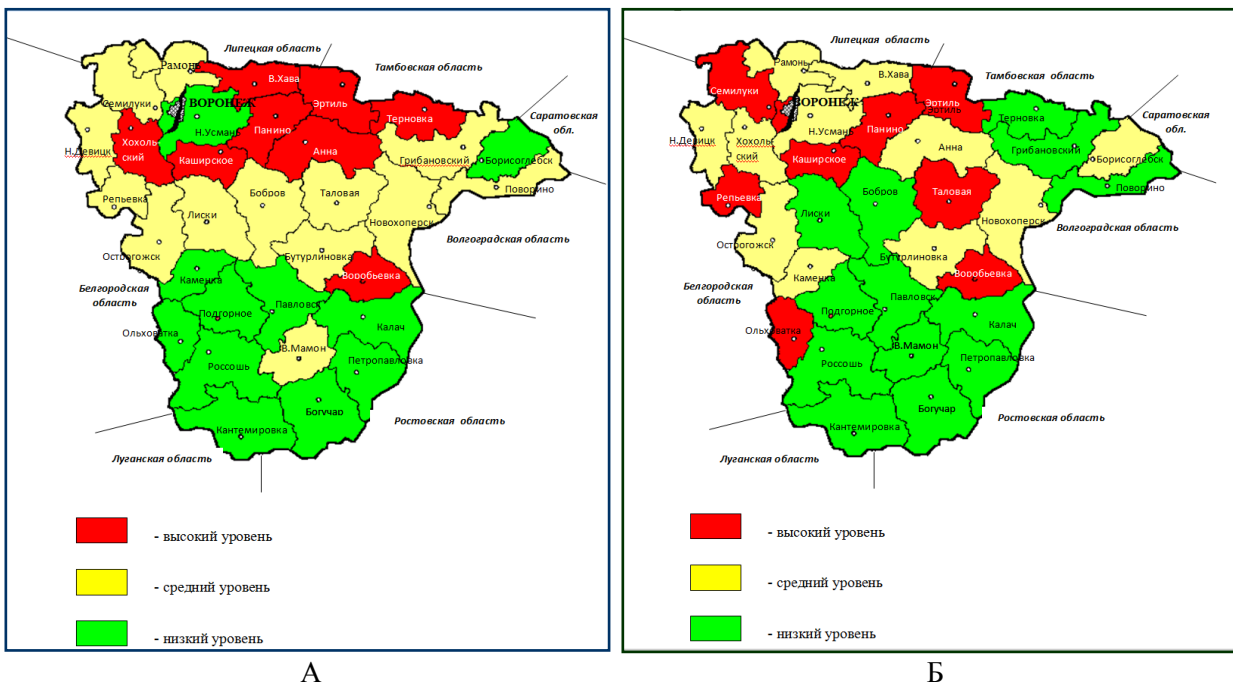


Рис. 1. Ранжирование административных территорий по уровню заболеваемости населения раком трахеи, бронхов, легкого (СМУ числа случаев на 100 тыс. населения за 2017–2022 гг.).

А – мужское население; Б – женское население

Fig. 1. Ranking of administrative territories by the level of morbidity of the population with cancer of the trachea, bronchi, lung (The average long-term level of the number of cases per 100 thousand population for 2017–2022). A – Male population; B – Female population



По результатам ранжирования территорий Воронежской области установлено, что высокий уровень заболеваемости мужчин раком трахеи, бронхов, легкого СМУ ( $M \pm m$ ) отмечается в 8 районах (Аннинском, Верхнехавском, Воробьевском, Каширском, Панинском, Терновском, Хохольском и Эртильском): СМУ ( $M \pm m$ ) заболеваемости на данных территориях варьирует от  $113,40 \pm 26,22$  до  $152,09 \pm 19,58$  случаев заболеваний на 100 тыс. мужского населения (рис. 1).

Аналогичное ранжирование показателей СМУ заболеваемости женщин раком трахеи, бронхов, легкого позволило отнести к неблагоприятным 9 административных единиц из 33 (Воробьевский район, г. Воронеж, Каширского, Ольховатский, Панинский, Репьевский, Семилукский, Таловский, Эртильский районы): СМУ ( $M \pm m$ ) заболеваемости на данных территориях варьирует от  $18,38 \pm 8,95$  до  $26,26 \pm 6,91$  случаев заболеваний на 100 тыс. женского населения.

По результатам корреляционного анализа в территориальном разрезе статистически значимой связи уровней заболеваемости раком легкого с показателями годовых эффективных доз за счет ингаляции изотопов радона не выявлено (табл. 1).

Таблица 1  
Table 1

Коэффициенты парной корреляции между показателем годовой эффективной дозы радона и заболеваемостью раком легких (проанализирован массив данных за 2017–2022 гг. по административным территориям)  
Coefficients of paired correlation between the indicator of the annual effective dose of radon and the incidence of lung cancer (an array of data for 2017–2022 by administrative territories was analyzed)

Вид корреляционного анализа	Коэффициенты парной корреляции*	
	с заболеваемостью женщин	с заболеваемостью мужчин
Без смещения данных	0,14	0,06
смещение на 1 год (запаздывание случаев заболеваний)	0,07	0,04
смещение на 2 года (запаздывание случаев заболеваний)	0,00...	0,02

\* Коэффициенты парной корреляции статистически незначимы при вероятности статистической ошибки менее 5 %.

Это подтверждается результатами ранжирования средних многолетних показателей по территориям – средних эффективных годовых доз облучения населения за счет присутствия радона в жилых помещениях и среднего многолетнего уровня заболеваемости населения раком легкого (табл. 2).

Так, совпадения средних эффективных годовых доз облучения населения за счет присутствия радона в жилых помещениях и среднего многолетнего уровня заболеваемости населения раком легкого для территорий риска с высоким уровнем онкологической заболеваемости отмечены только для Эртильского района по заболеваемости мужчин ( $152,09 \pm 19,58$  случаев на 100 тыс.) при дозе радона  $3,06 \pm 0,45$  мЗв/год.

Для территорий с низким риском совпадение отмечено для Терновского муниципального района по заболеваемости женщин ( $10,05 \pm 6,37$  случаев на 100 тыс.) при дозе радона  $1,09 \pm 0,08$  мЗв/год и для Борисоглебского муниципального района по заболеваемости мужчин ( $59,14 \pm 7,02$  на 100 тыс.) при дозе радона  $0,95 \pm 0,04$  мЗв/год.

Таблица 2  
Table 2

Сопоставление средних эффективных годовых доз облучения населения за счет присутствия радона в жилых помещениях и среднего многолетнего уровня заболеваемости населения раком легкого  
Comparison of the average effective annual doses of radiation to the population due to the presence of radon in residential premises and the average long-term incidence of lung cancer in the population

Район	Доза, мЗв/год (M±m)	Район	Заболеваемость, СМУ (жен.), число случаев на 100 тыс. (M ± m)	Район	Заболеваемость, СМУ (муж.), число случаев на 100 тыс. (M ± m)
<b>Территории риска (с наибольшими показателями)</b>					
Эртильский*	3,06 ± 0,45	Репьёвский	26,26 ± 6,91	Эртильский*	152,09 ± 19,58
Бутурлиновский	2,72 ± 0,27	Каширский	25,81 ± 6,93	Воробьевский	141,16 ± 11,16
г. Воронеж	2,70 ± 0,05	Воробьевский	24,21 ± 10,14	Верхнехавский	139,93 ± 15,41
Нижедевицкий	2,45 ± 0,30	Панинский	20,92 ± 4,24	Каширский	132,02 ± 23,48
Хохольский	2,43 ± 0,33	Ольховатский	19,98 ± 7,29	Панинский	127,57 ± 12,10
<b>Наиболее благополучные территории (с минимальными показателями)</b>					
Герновский*	1,09 ± 0,08	Петропавловский	10,87 ± 5,84	Каменский	63,23 ± 14,06
Новохоперский	1,04 ± 0,05	Богучарский	10,27 ± 3,62	Павловский	62,00 ± 8,78
Россошанский	0,97 ± 0,03	Герновский*	10,05 ± 6,37	Богучарский	61,57 ± 11,86
Борисоглебский	0,95 ± 0,04	Поворинский	8,15 ± 1,42	Борисоглебский*	59,14 ± 7,02
Грибановский	0,89 ± 0,05	Кантемировский	5,54 ± 1,72	Калачеевский	52,20 ± 8,38

\* отмечены совпадения.

### Заключение

Таким образом, по результатам исследования статистически значимой связи между показателями заболеваемости населения Воронежской области раком легкого и годовой эффективной дозой за счет ингаляции изотопов радона не выявлено. Такой результат может быть связан с тем, что ионизирующее излучение (основной оцениваемый показатель – среднегодовое значение эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона [ЭРОА] в воздухе помещений жилых домов) и его годовая эффективная доза за счет ингаляции изотопов радона находятся на низком уровне и не превышают нормы радиационной безопасности для населения.

Обобщая материалы исследования по оценке влияния радона, как канцерогенного фактора среды обитания, на заболеваемость раком легкого можно говорить, что его роль в формировании уровня изучаемой заболеваемости не является ведущей. Следовательно, причиной рака легкого являются другие наиболее значимые факторы риска.

### Список литературы

- Абрамов В.Е. 2020. Закономерности накопления радона в помещениях зданий и сооружений. Строительные материалы, 6: 65–68. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-781-6-65-68
- Автушко М.И., Матвеев А.В., Исаченко С.А. 2021. Новые данные о поступлении радона в среду обитания человека. Доклады Национальной академии наук Беларуси, 65(3): 355–360. DOI: 10.29235/1561-8323-2021-65-3-355-360
- Афанасьева А.Е., Бурлакова Ю.Р. 2020. Влияние радона на заболевания населения. Бюллетень Северного государственного медицинского университета, 2(45): 11–12.
- Глазачев И.В. 2023. Оценка механизмов поступления радона в здания. Проблемы недропользования, 1(36): 113–118. DOI: 10.25635/2313-1586.2023.01.113



- Епринцев С.А., Клепиков О.В., Шекоян С.В. 2020. Дистанционное зондирование Земли как способ оценки качества окружающей среды урбанизированных территорий. Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО, 4(325): 5–12. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-325-4-5-12
- Епринцев С.А., Шекоян С.В. 2019. Геоинформационное картографирование урбанизированных территорий как механизм социально-экологического мониторинга. Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг, 4: 25–28. DOI: 10.23885/2500-123X-2019-2-4-25-28
- Жук И.В., Лукашевич Ж.А., Лисянович Т.В., Василевский Л.Л., Хакимов Д.А., Сосновский А.В. 2021. Исследование уровней содержания радона в воздухе зданий на территории некоторых административных районов Витебской области. Журнал Белорусского государственного университета. Экология, 2: 61–66. DOI: 10.46646/2521-683X/2021-2-61-66
- Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., Онищенко А.Д., Малиновский Г.П. 2021. Прогностическая оценка риска рака легкого при сочетанном действии радона и курения с использованием аддитивно-мультипликативной модели риска. Радиационная гигиена, 14(3): 41–55. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-41-55
- Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., Онищенко А.Д., Малиновский Г.П., Васильев А.В., Назаров Е.И. 2022. Оценка уровней содержания радона в многоэтажных зданиях на примере восьми крупных городов России. Радиационная гигиена, 15(1): 47–58. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-47-58
- Калайдо А.В., Римшин В.И., Семенова М.Н. 2021. Оценка вкладов диффузионного и конвективного поступления радона в здания. Жилищное строительство, 7: 48–54. DOI: 10.31659/0044-4472-2021-7-48-53
- Калайдо А.В., Римшин В.И., Семенова М.Н., Быков Г.С. 2022. Анализ зарубежного опыта обеспечения радоновой безопасности эксплуатируемых зданий (на примере США). Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки, 4(10): 54–58.
- Карпин В.А. 2020. Современные экологические аспекты естественной эманации изотопов радона: обзор литературы. Экология человека, 6: 34–40. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-6-34-40
- Карпин В.А., Гудков А.Б., Шувалова О.И., Попова О.Н. 2020. Геологическая неоднородность земной коры как фактор повышенного риска онкологической заболеваемости населения. Экология человека, 8: 15–19. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-8-15-19
- Котов В.С., Ермаченко А.Б., Садеков Д.Р. 2020. Радон-индуцированный канцерогенный риск для населения города Донецка. Вестник гигиены и эпидемиологии, 24(3): 315–317.
- Лешуков Т.В., Легощин К.В., Ларионов А.В. 2020. Пространственная изменчивость плотности потока радона на территориях подземной добычи угля. Успехи современного естествознания, 4: 93–97. DOI: 10.17513/use.37368
- Межова Л.А., Луговской А.М., Инпушкин В.А. 2022. Методические подходы к региональной геоэкологической оценке радоновых рисков для населения. Геология, география и глобальная энергия, 2(85): 85–91. DOI: 10.54398/20776322\_2022\_2\_85
- Петоян И.М., Шандала Н.К., Титов А.В., Зиновьева Н.В. 2022. Заболеваемость взрослого населения, проживающего в районе "уранового наследия" в условиях воздействия радона. Гигиена и санитария, 101(3): 281–287. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-3-281-287
- Подымов И.С., Подымова Т.М. 2022. Результаты мониторинга вариаций радона внутри помещения панельного здания. Инновационные научные исследования, 6–2(20): 43–50.
- Романович И.К., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В. 2019. К обоснованию изменений в нормировании содержания радона в воздухе помещений. Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО, 6(315): 42–48. DOI: 10.35627/2219-5238/2019-315-6-42-48
- Стась Г.В., Голик В.И., Ковалев Р.А., Апете Г.Л. 2020. Выделения радона в атмосферу строящихся тоннелей. Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 5: 224–232.
- Стёпкин Ю.И., Кузмичев М.К., Клепиков О.В., Студеникина Е.М. 2018. Гигиеническая оценка доз облучения населения Воронежской области за счет естественного и техногенно измененного фона. Радиационная гигиена, 11(2): 74–82. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-74-82
- Тайиров М.М., Мамытбеков У.К., Кошуев А.Ж. 2019. Мониторинг и оценка влияния радонового фактора на здоровье людей, проживающих в проблемных районах Юга Кыргызстана. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 10: 8–14. DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557

- Туманов А.Ю., Говор М.В. 2021. Сравнительный анализ методов и средств измерения радона в воздухе в России и Европейских странах. В кн.: Метрологическое обеспечение инновационных технологий. Материалы III Международного форума в рамках празднования 80-летия Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, 300-летия Российской академии наук, Санкт-Петербург, 04 марта 2021. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения: 349–350.
- Ярошевич О.И., Карабанов А.К., Конопелько М.В. 2013. Исследования по проблемам радона в Беларуси и других странах Европы. Вестник ФФИ, 4: 101–117.
- Ababii A. 2021. Riscul Pentru Sănătate Al Expunerii la Radon Health Risk of Radon Exposure. One Health and Risk Management, 2(4): 35–44. DOI: 10.38045/ohrm.2021.4.03
- Al-Khateeb H.M., Nuseirat M., Aljarrah K., Al-Akhras M.H., Bani-Salameh H. 2017. Seasonal Variation of Indoor Radon Concentration in a Desert Climate. Applied Radiation and Isotopes, 130: 49–53. DOI: 10.1016/j.apradiso.2017.08.017
- Finne I.E., Kolstad T., Larsson M., Olsen B., Prendergast J., Rudjord A.L. 2019. Significant Reduction in Indoor Radon in Newly Built Houses. Journal of Environmental Radioactivity, 196: 259–263. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2018.01.013
- Meyer W. 2019. Impact of constructional energy saving measures on radon levels indoors. Indoor Air, 29(4): 680–685. DOI: 10.1111/ina.12553

### References

- Abramov V.E. 2020. Regularities of Radon Accumulation in Premises of Buildings and Structures. Construction Materials, 6: 65–68 (in Russian). DOI: 10.31659/0585-430X-2020-781-6-65-68
- Autushka M.I., Matveyev A.V., Isachenko S.A. 2021. Recent Data on Radon Entry Into the Human Environment. Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus, 65(3): 355–360 (in Russian). DOI: 10.29235/1561-8323-2021-65-3-355-360
- Afanasyeva A.E., Burlakova Y.R. 2020. Vliyanie radona na zabolevaniya naseleniya [The Influence of Radon on Diseases of the Population]. Byulleten Severnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta, 2(45): 11–12.
- Glazachev I.V. 2023. Assessment of Mechanisms of Radon Intake in Buildings. Problems of Subsoil Use, 1(36): 113–118 (in Russian). DOI: 10.25635/2313-1586.2023.01.113
- Yeprintsev S.A., Klepikov O.V., Shekoyan S.V. 2020. Remote Sensing of the Earth as a Method of Assessing Environmental Quality of Urban Areas. Public Health and Life Environment – PH&LE, 4(325): 5–12 (in Russian). DOI: 10.35627/2219-5238/2020-325-4-5-12
- Yeprintsev S.A., Shekoyan S.V. 2019. Geoinformation Mapping of Urbanized Territories as a Mechanism of Social and Ecological Monitoring. Ecology. Economy. Computer science. Series: Geoinformation technologies and space monitoring, 4: 25–28 (in Russian). DOI: 10.23885/2500-123X-2019-2-4-25-28
- Zhuk I.V., Lukashovich Zh.A., Lisyonovich T.V., Vasilevsky L.L., Hakimov D.A., Sosnovsky A.V. 2021. Study of Radon Content in the Air of Premises on the Territory of Some Administrative Districts in the Vitebsk Region. Journal of the Belarusian State University. Ecology, 2: 61–66 (in Russian). DOI: 10.46646/2521-683X/2021-2-61-66
- Zhukovsky M.V., Yarmoshenko I.V., Onishchenko A.D., Malinovsky G.P. 2021. Prognostic Assessment of Lung Cancer Risk Under Combined Action of Radon and Smoking Using an Additive-Multiplicative Risk Model. Radiation Hygiene, 14(3): 41–55 (in Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-41-55
- Zhukovsky M.V., Yarmoshenko I.V., Onishchenko A.D., Malinovsky G.P., Vasiliev A.V., Nazarov E.I. 2022. Assessment of Radon Levels in Multistory Buildings on Example of Eight Russian Cities. Radiation Hygiene, 15(1): 47–58 (in Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-47-58
- Kalaydo A.V., Rimshin V.I., Semenova M.N. 2021. Assessment of the Contributions of Diffusive and Convective Radon Entry into the Buildings. Housing Construction, 7: 48–54 (in Russian). DOI: 10.31659/0044-4472-2021-7-48-53
- Kalaydo A.V., Rimshin V.I., Semenova M.N., Bykov G.S. 2022. Analysis of Foreign Experience in Ensuring Radon Safety of Operated Buildings (on the Example of the United States of America). Bulletin of Vologda State University. Series: Technical Sciences, 4(10): 54–58 (in Russian).





- Karpin V.A. 2020. Modern Environmental Aspects of Radon Isotopes Natural Emanation: a Literature Review. *Human Ecology*, 6: 34–40 (in Russian). DOI: 10.33396/1728-0869-2020-6-34-40
- Karpin V.A., Gudkov A.B., Shuvalova O.I., Popova O.N. 2020. Geological Heterogeneity of the Earth Crust as a Risk Factor for Cancer. *Human Ecology*, 8: 15–19 (in Russian). DOI: 10.33396/1728-0869-2020-8-15-19
- Kotov V.S., Ermachenko A.B., Sadekov D.R. 2020. Radon-Induced Carcinogenic Risk for the Population of the Donetsk City. *Bulletin of Hygiene and Epidemiology*, 24(3): 315–317 (in Russian).
- Leshukov T.V., Legoshchin K.V., Larionov A.V. 2020. Geographic Variation in Radon Flux Density in Territory Underground Mines. *Advances in current natural sciences*, 4: 93–97 (in Russian). DOI: 10.17513/use.37368
- Mezhova L.A., Lugovskoy A.M., Inpushkin V.A. 2022. Methodological Approaches to the Regional Geo-Ecological Assessment of Radon Risks for the Population. *Geology, geography and global energy*, 2(85): 85–91 (in Russian).
- Petoyan I.M., Shandala N.K., Titov A.V., Zinovieva N.V. 2022. The Incidence of the Adult Population Living in the "Uranium Legacy" Area in Conditions of Radon Exposure. *Hygiene and Sanitation*, 101(3): 281–287 (in Russian). DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-3-281-287
- Podymov I.S., Podymova T.M. 2022. Results of Monitoring Radon Variations Inside a Panel Building. *Innovative Scientific Research*, 6–2(20): 43–50 (in Russian).
- Romanovich I.K., Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V. 2019. On Justification of Changes in the Radon Content Rationing in Indoor Air. *Population Health and Habitat – ZnSO*, 6(315): 42–48 (in Russian). DOI: 10.35627/2219-5238/2019-315-6-42-48
- Stas G.V., Golik V.I., Kovalev R.A., Apete G.L. 2020. Emission of Radon in the a Tmosphere of Building Tunnels. *Proceedings of Tula State University. Technical Sciences*, 5: 224–232 (in Russian).
- Stepkin Yu.I., Kuzmichev M.K., Klepikov O.V., Studenikina E.M. 2018. Hygienic Evaluation of Exposure Doses for the Voronezh Region Population Nously Modified Background. *Radiation Hygiene*, 11(2): 74–82 (in Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-74-82
- Taiirov M.M., Mamytbekov U.K., Koshuev A.Zh. 2019. Monitoring and Evaluation of Radon Impact Impact on the Health of People Living in Problem Areas of Southern Kyrgyzstan. *Science, New Technologies and Innovations of Kyrgyzstan*, 10: 8–14 (in Russian). DOI: 10.26104/NNTIK.2019.45.557
- Tumanov A.Yu., Govor M.V. 2021. Comparative Analysis of Radon Measurements in the Air in Russia and European Countries. In: *Metrological Support of Innovative Technologies. Materials from the III International Forum in celebration of the 80th anniversary of the St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 04 March 2021. St. Petersburg, Publ. Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet aerokosmicheskogo priborostroyeniya: 349–350 (in Russian).*
- Yaroshevich O.I., Karabanov A.K., Konopelko M.V. 2013. Research on Radon Problems in Belarus and Other European Countries. *Bulletin of the FFI*, 4: 101–117 (in Russian).
- Ababii A. 2021. Riscul Pentru Sănătate Al Expunerii la Radon Health Risk of Radon Exposure. *One Health and Risk Management*, 2(4): 35–44. DOI: 10.38045/ohrm.2021.4.03
- Al-Khateeb H.M., Nuseirat M., Aljarrah K., Al-Akhras M.H., Bani-Salameh H. 2017. Seasonal Variation of Indoor Radon Concentration in a Desert Climate. *Applied Radiation and Isotopes*, 130: 49–53. DOI: 10.1016/j.apradiso.2017.08.017
- Finne I.E., Kolstad T., Larsson M., Olsen B., Prendergast J., Rudjord A.L. 2019. Significant Reduction in Indoor Radon in Newly Built Houses. *Journal of Environmental Radioactivity*, 196: 259–263. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2018.01.013
- Meyer W. 2019. Impact of constructional energy saving measures on radon levels indoors. *Indoor Air*, 29(4): 680–685. DOI: 10.1111/ina.12553

*Поступила в редакцию 17.05.2023;  
поступила после рецензирования 25.05.2023;  
принята к публикации 07.06.2023*

*Received May 17, 2023;  
Revised May 25, 2023;  
Accepted June 07, 2023*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.  
**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Клепиков Олег Владимирович**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

**Епринцев Сергей Александрович**, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

**Лунёва Елена Анатольевна**, ассистент кафедры фармакологии, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, г. Воронеж, Россия

**Шекоян Сюзанна Вазгеновна**, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Oleg V. Klepikov**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring of Voronezh State University, Voronezh, Russia

**Sergey A. Yepintsev**, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia

**Elena A. Luneva**, Assistant of the Department of Pharmacology of the Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, Russia

**Syuzanna V. Shekoyan**, Candidate of Technical Sciences, Researcher of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia