

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕННОГО РИСКА ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

© 2020 г. В. А. Карпин, \*А. Б. Гудков, О. И. Шувалова, \*О. Н. Попова

БУ ВО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры», г. Сургут;

\*ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Архангельск

*Цель исследования* – выявить особенности влияния локальных разломов земной коры (ЛРЗК) на развитие онкологической заболеваемости населения в экологических условиях северной урбанизированной территории на примере г. Сургута. *Методы.* Изучена геологическая неоднородность подлежащих грунтов городской территории с определением ЛРЗК, формирующих геопатогенные зоны. Затем проведена сравнительная оценка уровней эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона над ЛРЗК и над сплошным массивом. В последующем изучалась сравнительная онкологическая заболеваемость и смертность населения, проживающего над ЛРЗК и над сплошным массивом. В разработку вошли пациенты, страдающие пятью распространенными злокачественными заболеваниями: рак легкого, рак желудка, рак толстого кишечника, рак молочной железы, рак матки и придатков. *Результаты.* Комплексное геолого-географическое исследование выявило на территории города 18 ЛРЗК. Сравнительный анализ эманации радона показал, что его ЭРОА в зданиях, расположенных над ЛРЗК, более чем в 1,5 раза выше, чем над сплошным массивом. Установлено статистически значимое преобладание заболеваемости и смертности среди пациентов с отмеченными злокачественными новообразованиями, проживающих над ЛРЗК. В наибольшей степени это касалось больных, страдающих раком легких и злокачественными заболеваниями женской половой сферы. *Выводы.* При выборе перспективных участков для строительства жилых зданий и сооружений должны проводиться предварительные экологические исследования территории, направленные на оценку их радоноопасности.

**Ключевые слова:** локальные разломы земной коры, эманация радона, онкологическая заболеваемость.

## GEOLOGICAL HETEROGENEITY OF THE EARTH CRUST AS A RISK FACTOR FOR CANCER

V. A. Karpin, \*A. B. Gudkov, O. I. Shuvalova, \*O. N. Popova

Surgut State University, Surgut, Russia; \*Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

*The aim:* to study associations between earth crust local faults (ECLF) and cancer morbidity in the Northern city of Surgut. *Methods.* Firstly, we studied geological heterogeneity of the underlying soils of the city and identified ECLF sites. Then, the data on cancer incidence and mortality across the areas were assessed. Finally, cancer incidence and cancer mortality of the population living above the ECLF and above the solid mass were compared. Lung-, stomach- colon, breast-uterine and ovarian cancers were studied. *Results.* Altogether, 18 ECLF were identified on the territory of the city. Radon emanation above the ECLF was more than 1.5 times as high as over a solid array. An increased levels of cancer mortality was detected in areas over ECLF. The most pronounced associations were observed for lung cancer, uterine and ovarian cancers. *Conclusions.* Our results warrant detailed studies of the environment with special emphasis on radon in urban planning.

**Key words:** earth crust local faults, radon emanation, cancer incidence, mortality

### Библиографическая ссылка:

Карпин В. А., Гудков А. Б., Шувалова О. И., Попова О. Н. Геологическая неоднородность земной коры как фактор повышенного риска онкологической заболеваемости населения // Экология человека. 2020. № 8. С. 15–19.

### For citing:

Karpin V. A., Gudkov A. B., Shuvalova O. I., Popova O. N. Geological Heterogeneity of the Earth Crust as a Risk Factor for Cancer. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 8, pp. 15-19.

Основным источником постоянного облучения населения на земной поверхности во все времена являлся естественный радиоактивный фон (ЕРФ). Многолетние наблюдения показали, что главной составляющей среди всех природных источников ионизирующего излучения (ПИИИ) является радон и его дочерние продукты распада [1, 7]. Присутствуя внутри практически всех зданий, они вносят основной вклад в радиационное облучение населения [4, 9, 12].

В настоящее время повсеместно возрастает научный интерес к возможному неблагоприятному биотропному воздействию малых и сверхмалых доз природных геофизических факторов, особенно к проблеме канцерогенных эффектов естественного радиационного облучения.

Медико-экологический контроль за биогенными эффектами ПИИИ радона показал, что он является важнейшим фактором риска развития рака легкого [5, 16, 18], причем не была убедительно продемон-

стрирована связь радонового облучения с другими онкологическими заболеваниями [3].

На уровень концентрации радона в жилых помещениях оказывают влияние две основные составляющие — радиологическая характеристика подстилающих пород и грунтов (геогенный потенциал) и конструктивные особенности зданий и сооружений (антропогенный потенциал) [13].

Наряду с инженерно-строительными мероприятиями геогенному радоновому потенциалу стало уделяться повышенное внимание вплоть до разработки территориальных карт и атласов естественной радиоактивности [14, 15, 17].

Исследования в этом направлении выявили территориальную неоднородность земной коры, оказывающую существенное биопатогенное воздействие на общественное здоровье [2, 8]. Выявленные геопатогенные зоны были обозначены как локальные разломы земной коры (ЛРЗК).

Цель настоящего исследования — изучение особенностей онкологической заболеваемости населения на различных участках геологической неоднородности территории проживания в связи с пространственными аномалиями радонового потенциала.

### Методы

Процесс выявления и оценки ЛРЗК состоял из нескольких последовательных этапов [8]. Вначале было выполнено картографирование данных космических и аэрофотоснимков для выявления линейментов — прямолинейных элементов ландшафтов, отражающих ЛРЗК на поверхности Земли. Затем был проведен анализ данных геологических исследований, позволивший произвести сравнительную оценку грунтов над локальными разломами в сравнении со сплошным массивом. На третьем этапе исследований изучали особенности эманации радона над ЛРЗК и сплошным массивом на территории г. Сургута — крупнейшего промышленного центра нефтегазодобывающей отрасли Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. С этой целью определялась эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона в помещениях зданий над ЛРЗК и над сплошным массивом городской территории радиометрами «РЭКС» и «РАМОН» по методике [10].

Параллельно методом пятилетнего мониторинга изучалась сравнительная онкологическая заболеваемость и смертность населения, проживающего над разломами и над сплошным массивом, по пяти распространенным нозологическим формам: рак легкого, рак желудка, рак толстого кишечника, рак молочной железы, рак матки и придатков. Принимая во внимание тот факт, что зоны локальных разломов отличаются сравнительно малыми размерами, а современные жилые строения часто имеют достаточно большую протяженность, место проживания больного учитывали вплоть до номера подъезда, совершая подворные обходы. Расчеты про-

водились с учетом площади изучаемой территории и плотности населения (на 1 000 населения и на 1 км<sup>2</sup> территории).

Статистическую значимость различия изучаемых параметров определяли с применением двух критериев — Стьюдента и Манна — Уитни для нивелирования погрешности при отсутствии нормального распределения изучаемых параметров. При этом учитывали не среднюю ошибку средней величины «m», а стандартное отклонение «δ», которое определяет разброс статистических данных относительно средней величины.

### Результаты

В результате проведенного комплексного геолого-географического исследования на территории г. Сургута выявлено 18 ЛРЗК, проявляющихся на поверхности линейментами, занимающими около 40 % городской территории (рисунок). Наземное маршрутное исследование позволило подтвердить, что выявленные линейменты соответствовали активным ЛРЗК на территории города.

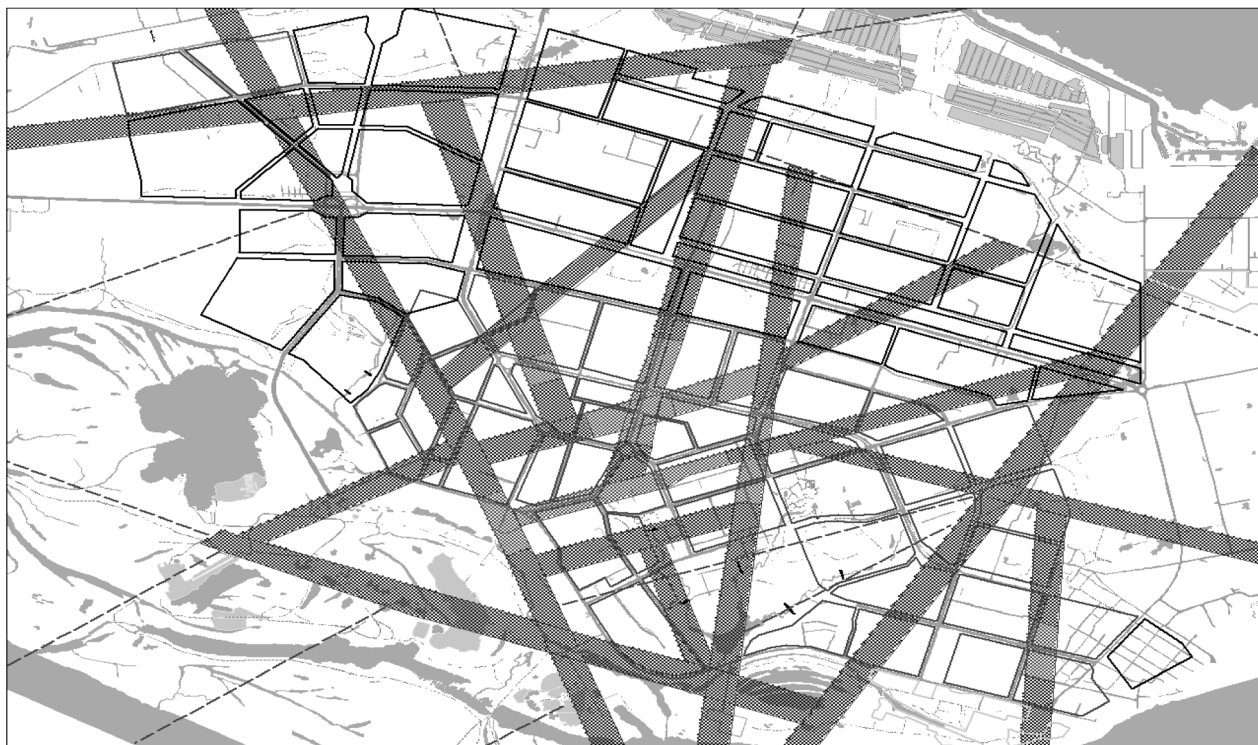
Территориальный сравнительный анализ эманации радона показал, что его ЭРОА в зданиях, расположенных над ЛРЗК, оказалась более чем в 1,5 раза выше, чем расположенных над сплошным массивом:  $(44,98 \pm 5,76)$  Бк/м<sup>3</sup> против  $(29,21 \pm 2,93)$  соответственно;  $P < 0,001$ ).

Для решения поставленной цели изучена средне-годовая сравнительная адресная частота постоянного проживания на территории города 795 больных с отмеченными онкологическими заболеваниями (табл. 1).

Анализ полученных данных показал статистически значимое (в 1,6 раза;  $P < 0,001$ ) преобладание общей частоты онкологической заболеваемости в целом среди пациентов, проживающих над локальными разломами, чем среди проживающих на остальной территории города. Что касается конкретных нозологических форм, то явное преобладание выпало на долю рака легкого (в 2,5 раза) и рака молочной железы (в 1,8 раза). Среди изучаемых злокачественных новообразований пищеварительной системы существенных различий не обнаружено.

С целью более углубленного анализа проблемы параллельно с онкологической заболеваемостью изучена сравнительная среднегодовая адресная частота 996 случаев смерти больных от изучаемых злокачественных заболеваний за тот же период времени в зависимости от места их постоянного проживания — над ЛРЗК или над сплошным массивом (табл. 2).

Статистический анализ показал, что общая частота смертности от изучаемых заболеваний среди пациентов, постоянно проживающих над ЛРЗК, оказалась статистически значимо выше ( $P < 0,001$ ), чем среди проживающих на остальной территории города. Среди нозологических форм преобладали рак легкого и рак желудка.



Карта локальных разломов земной коры на территории г. Сургута

Таблица 1

**Адресная среднегодовая сравнительная частота онкологической заболеваемости населения г. Сургута  
над локальными разломами земной коры и над сплошным массивом**

Изучаемый параметр	Показатель над ЛРЗК	Показатель над сплошным массивом	Значимость различий (P)
Эквивалентная равновесная объемная активность радона <sup>222</sup> , Бк/м <sup>3</sup>	44,98 ± 5,76	29,21 ± 2,93	< 0,001
Всего больных:	0,274 ± 0,002	0,174 ± 0,001	< 0,001
В том числе:			
Раком легкого	0,028 ± 0,007	0,011 ± 0,003	0,038
Раком желудка	0,015 ± 0,009	0,010 ± 0,003	> 0,5
Раком толстого кишечника	0,022 ± 0,008	0,012 ± 0,003	> 0,2
Раком молочной железы	0,081 ± 0,004	0,045 ± 0,002	< 0,001
Раком матки и придатков	0,083 ± 0,004	0,070 ± 0,001	< 0,001

Таблица 2

**Адресная среднегодовая сравнительная частота смертности населения г. Сургута от онкологической заболеваемости  
над локальными разломами земной коры и над сплошным массивом**

Изучаемый параметр	Показатель над ЛРЗК	Показатель над сплошным массивом	Значимость различий (P)
Эквивалентная равновесная объемная активность радона <sup>222</sup> , Бк/м <sup>3</sup>	44,98 ± 5,76	29,21 ± 2,93	< 0,001
Всего больных:	0,209 ± 0,002	0,149 ± 0,001	< 0,001
В том числе:			
Раком легкого	0,071 ± 0,004	0,048 ± 0,002	0,043
Раком желудка	0,045 ± 0,005	0,029 ± 0,002	> 0,5
Раком толстого кишечника	0,043 ± 0,005	0,036 ± 0,002	> 0,2
Раком молочной железы	0,030 ± 0,007	0,018 ± 0,002	< 0,001
Раком матки и придатков	0,029 ± 0,004	0,019 ± 0,003	< 0,001

### Обсуждение результатов

Целенаправленное изучение особенностей грунтов, подстилающих жилые помещения, с точки зрения их радоноопасности выявило следующие закономерности. Выявлена территориальная неоднородность городской черты с определенной локализацией «геопатогенных зон», обозначенных как ЛРЗК. Сравнительное изучение ЕРФ показало статистически значимое преобладание ЭРОА радона над разломами по сравнению со сплошным массивом.

Многочисленные отечественные и зарубежные исследования показали канцерогенный эффект повышенной эманации радона, определяя его биопатогенный эффект как важнейший фактор риска развития злокачественных новообразований дыхательных путей [3, 6, 11]. Возможность развития злокачественных новообразований других органов и систем ставилась под сомнение. Изучение проблемы радоноопасности в связи со строительством жилых зданий над ЛРЗК практически не проводилось.

Проведенные исследования показали статистически значимую связь повышенной эманации радона в жилых помещениях, расположенных над ЛРЗК, с онкологической заболеваемостью и смертностью населения селитебных зон. Причем оказалось, что кроме бронхолегочной системы онкологическому риску подвергается также женская половая сфера.

Полученные данные диктуют необходимость организации радиологического анализа территории предстоящей застройки с установлением запретных зон для строительства.

### Выводы

1. На территории всех жилых зон необходимо проводить геолого-географические исследования подлежащих грунтов с целью выявления геологической неоднородности земной коры (ЛРЗК).

2. Необходимо рассматривать выявленные разломы как геопатогенные зоны с тщательным изучением возможных аномалий их естественных геофизических факторов.

3. Полученные данные доказывают наличие повышенного в 1,6 раза ( $P < 0,001$ ) канцерогенного риска в жилых помещениях, расположенных над ЛРЗК.

4. При выборе участков застройки должны проводиться радиационно-экологические исследования, направленные на оценку их радоноопасности.

### Авторство

Карпин В. А. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, в накопление и обработку данных, написал первый вариант статьи; Гудков А. Б. внес существенный вклад в интерпретацию данных, окончательно отредактировал рукопись; Шувалова О. И. приняла активное участие в накоплении и анализе материала; Попова О. Н. приняла участие в написании первого варианта статьи.

Карпин Владимир Александрович — SPIN 1860-8435; ORCID 0000-0002-8731-0786

Гудков Андрей Борисович — SPIN 4369-3372; ORCID 0000-0001-5923-0914

Шувалова Ольга Ивановна — SPIN 6476-1995; ORCID 0000-0002-7273-7461

Попова Ольга Николаевна — SPIN 5792-0273; ORCID 0000-0002-0135-4594

### Список литературы

1. Карпин В. А., Кострюкова Н. К., Гудков А. Б. Радиационное воздействие на человека радона и его дочерних продуктов распада // Гигиена и санитария. 2005. № 4. С. 13–17.
2. Карпин В. А., Полухин В. В., Кострюкова Н. К. Актуальные проблемы северной магнитобиологии. М.: Спутник плюс, 2012. 149 с.
3. Киселев С. М., Жуковский М. В. Современные подходы к обеспечению защиты населения от радона. Международный опыт регулирования // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 4. С. 48–52.
4. Киселев С. М., Стамат И. П., Маренный А. М., Ильин Л. А. Обеспечение защиты населения от облучения радона. Проблемы и пути решения // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97, № 2. С. 101–110.
5. Кононенко Д. В. Оценка радиационного риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном // Радиационная гигиена. 2013. Т. 6, № 1. С. 31–37.
6. Кононенко Д. В., Кормановская Т. А. Оценка риска при облучении радоном для населения субъектов Российской Федерации на основе данных радиационно-гигиенического паспорта территории // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 4. С. 15–22.
7. Кострюкова Н. К., Карпин В. А., Гудков А. Б. Смертность населения, проживающего в местах локальных разломов земной коры // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2005. № 4. С. 17–19.
8. Кострюкова Н. К., Кострюков О. М. Локальные разломы земной коры — фактор природного риска. М.: Изд-во АГН, 2002. 239 с.
9. Маренный А. М., Киселев С. М. Национальные радоновые программы: опыт реализации и задачи на перспективу // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 2 (спецвыпуск). С. 97–108.
10. Методика измерения мгновенной эквивалентной равновесной объемной активности радона в помещениях зданий по величине «скрытой энергии» короткоживущих продуктов распада. М., 1995.
11. Охрименко С. Е., Коренков И. П., Микляев П. С., Прохоров Н. И., Вербова Л. Ф., Орлов Ю. В., Петрова Т. Б., Лащенкова Т. Н., Аколова Н. А., Киселев С. М. Ранжирование территории Москвы по потенциальной радоновой опасности // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 3. С. 211–216.
12. Цапалов А. А., Киселев С. М., Маренный А. М., Ковлер К. Л., Кувшинников С. И. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Ч. 1. Проблема оценки содержания радона и современный принцип контроля // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 1. С. 53–63.
13. Ярмошенко И. В., Малиновский Г. П., Онищенко А. Д., Васильев А. В. Проблема облучения радоном в зданиях повышенного класса энергоэффективности // Радиационная медицина. 2019. Т. 12, № 4. С. 56–65.
14. Gruber V., Bossew P., De Cjrt M., Tollefsen T. The European map of the geogenic radon potential // Journal of Radiological Protection. 2013. Vol. 33, N 1. P. 51–60.
15. Szabó K. Z., Jordan G., Szabó C. Dynamics of soil gas radon concentration in a highly permeable soil based on a long-term high temporal resolution observation series

// Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 124. P. 74–83.

16. Tirmarche M., Harrison J. D., Laurier D., Paquet F., Blanchardon E., Marsh J. W. ICRP Publication 115. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon // Annals of the ICRP. 2010. Vol. 40, N 1. P. 1–64.

17. Tollefsen T., Cinelli G., Bossew P., Gruber V., De Cort M. From the European indoor radon map towards an Atlas of natural radiation // Radiation Protection Dosimetry. 2014. Vol. 162, N 1–2. P. 129–134.

18. Tomasek L. Effect of Age at Exposure in 11 Underground Miners Studies // Radiation Protection Dosimetry. 2014. Vol. 160, N 1–3. P. 124–127.

### References

1. Karpin V. A., Kostryukova N. K., Gudkov A. B. Human radiation action of radon and its daughter disintegration products. *Gigiena i sanitariia*. 2005, 4, pp. 13–17. [In Russian]

2. Karpin V. A., Polukhin V. V., Kostryukova N. K. *Aktual'nye problemy severnoi magnitobiologii* [Actual problems of northern magnetobiology]. Moscow, Sputnik plyus Publ., 2012, 149 p.

3. Kiselev S. M., Zhukovsky M. V. Modern approaches to protecting the population from radon. International regulatory experience. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene]. 2014, 7, 4, pp. 48–52. [In Russian]

4. Kiselev S. M., Stamat I. P., Marenny A. M., Ilyin L. A. Ensuring the protection of the population from exposure to radon. Problems and solutions. *Gigiena i sanitariia*. 2018, 97 (2), pp. 101–110. [In Russian]

5. Kononenko D. V. Assessment of radiation risk for the population of St. Petersburg when exposed to radon. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene]. 2013, 6 (1), pp. 31–37. [In Russian]

6. Kononenko D. V., Kormanovskaya T. A. Risk assessment for exposure to radon for the population of the constituent entities of the Russian Federation based on data from the radiation-hygienic passport of the territory. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene]. 2015, 8 (4), pp. 15–22. [In Russian]

7. Kostryukova N. K., Karpin V. A., Gudkov A. B. Mortality of the population living in places of local faults of the Earth's crust. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny* [Problems of social hygiene, health and history of medicine]. 2005, 4, pp. 17–19. [In Russian]

8. Kostryukova N. K., Kostryukov O. M. *Lokal'nye razlomny zemnoi kory - faktor prirodnogo riska* [Local faults in the earth's crust are a natural risk factor]. Moscow, 2002, 239 p.

9. Marenny A. M., Kiselev S. M. National radon programs: implementation experience and tasks for the future. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene]. 2019, 12 (2), pp. 97–108. [In Russian]

10. *The methodology for measuring the instantaneous equivalent equilibrium volumetric activity of radon in the premises of buildings by the value of "latent energy" of short-lived decay products*. Moscow, 1995. [In Russian]

11. Okhrimenko S. E., Korenkov I. P., Miklyaev P. S., Prokhorov N. I., Verbova L. F., Orlov Yu. V., Petrova T. B., Laschenova T. N., Akopova N. A., Kiselev S. M. Ranking of the territory of Moscow by potential radon hazard. *Gigiena i sanitariia*. 2017, 96 (3), pp. 211–216. [In Russian]

12. Tsapalov A. A., Kiselev S. M., Marenny A. M., Kovler K. L., Kuvshinnikov S. I. Uncertainty of the results of radon monitoring in rooms. Part 1. The problem of assessing the content of radon and the modern control principle. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene]. 2018, 11 (1), pp. 53–63. [In Russian]

13. Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P., Onishchenko A. D., Vasiliev A. V. The problem of exposure to radon in buildings of high energy efficiency class. *Radiatsionnaya meditsina* [Radiation medicine]. 2019, 12 (4), pp. 56–65. [In Russian]

14. Gruber V., Bossew P., De Cjrt M., Tollefsen T. The European map of the geogenic radon potential. *Journal of Radiological Protection*. 2013, 33 (1), pp. 51–60.

15. Szabó K. Z., Jordan G., Szabó C. Dynamics of soil gas radon concentration in a highly permeable soil based on a long-term high temporal resolution observation series. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013, 124, pp. 74–83.

16. Tirmarche M., Harrison J. D., Laurier D., Paquet F., Blanchardon E., Marsh J. W. ICRP Publication 115. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. *Annals of the ICRP*. 2010, 40 (1), pp. 1–64.

17. Tollefsen T., Cinelli G., Bossew P., Gruber V., De Cort M. From the European indoor radon map towards an Atlas of natural radiation. *Radiation Protection Dosimetry*. 2014, 162 (1–2), pp. 129–134.

18. Tomasek L. Effect of Age at Exposure in 11 Underground Miners Studies. *Radiation Protection Dosimetry*. 2014, 160 (1–3), pp. 124–127.

### Контактная информация:

Карпин Владимир Александрович — доктор медицинских наук, доктор философских наук, профессор, кафедры внутренних болезней БУ ВО «Сургутский государственный университет ХМАО — Югры»

Адрес: 628412, Тюменская область, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1.

E-mail: kafter57@mail.ru