

- Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска здоровья населения при воздействии химических веществ загрязняющих окружающую среду. М.; 2004.
- Рахманин Ю.А., Онищенко Г.Г., ред. *Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду*. М.: НИИ ЭЧ и ГОС; 2002.
- Кобзарь А.И. *Прикладная математическая статистика*. М.: Физматлит; 2006.
- Авалиани С.Л., Новиков С.М. Шашина Т.А., Кислицин В.А., Скворцова Н.С. Развитие методологии оценки риска с учетом гармонизации с международными требованиями. В кн.: Опыт использования методологии оценки риска здоровью населения для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ангарск: РИО АТА; 2012: 12–6.
- Moskve v 2013 godu]. Moscow: LARK LTD; 2014. (in Russian)
- Monitoring ambient air quality for health impact assessment. WHO regional publications. European series, No. 85. Available at: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/107332/1/E67902.pdf>
- R 2.1.10.1920–04. Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals Moscow; 2004 (in Russian).
- Rakhmanin Yu.A., Onishchenko G.G., eds. *Fundamentals of Public Health Risk Assessment from Exposure to Chemical Pollutions [Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu]*. Moscow: NII ECh i GOS; 2002. (in Russian)
- Kobzar' A.I. *Applied Mathematical Statistic [Prikladnaya matematicheskaya statistika]*. Moscow: Fizmatlit; 2006. (in Russian)
- Avaliani S.L., Novikov S.M. Shashina T.A., Kislitsin V.A., Skvortsova N.S. Developing a Methodology for Risk Assessment, Taking into Account International Requirements. In: *Experience in Using the Methodology for Assessing the Risks to the Population to Ensure Sanitary and Epidemiological Safety. Materials of the Russian National Applied Science Conference with International Participation [Opyt ispol'zovaniya metodologii otsenki riska zdorov'yu naseleniya dlya obespecheniya sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Angarsk: RIO ATA; 2012. (in Russian)

Поступила 03.03.2016

Принята к печати 13.05.16

References

- Onishchenko G.G. On the sanitary and hygienic state of the environment. *Gigiena i sanitariya*. 2013; 92(2): 4–10. (in Russian)
- Rakhmanin Yu.A., Mikhaylova R.I. Health, Safety and Environment: Preventive Healthcare Priorities. *Gigiena i sanitariya*. 2014; 93(5): 5–9. (in Russian)
- Kul'bachevskiy A.O., eds. *Report on the State of the Environment in Moscow in 2013 [Doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy v gorode*

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 614.876:546.296

Охрименко С.Е.¹, Коренков И.П.², Микляев П.С.³, Прохоров Н.И.⁴, Вербова Л.Ф.¹, Орлов Ю.В.², Петрова Т.Б.⁴, Лашёнова Т.Н.^{2,6}, Аكوпова Н.А.¹, Киселёв С.М.²

РАНЖИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ МОСКВЫ ПО ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РАДОНОВОЙ ОПАСНОСТИ

¹ ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного образования Минздрава России, 125993, Москва;

² ФГБУ ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва;

³ ФГБУН Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук, 101000, Москва;

⁴ ФГБОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России, 119991, Москва;

⁵ ФГБОУ ВО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, кафедра радиохимии, 119991, Москва;

⁶ ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов Минобрнауки России, 125993, Москва

Цель работы: выявление и гигиеническая оценка основных источников природного облучения населения Москвы. Ранжирование территории города по потенциальной радоноопасности. Разработка критериев радоноопасности территории.

Материалы и методы. Приведены материалы радиационного контроля территории города (γ -спектрометрия, определение активности природных радионуклидов, в том числе в пробах почвы и литологических слоёв, плотности потока радона из грунта), обследования жилых и общественных зданий различного назначения по содержанию эквивалентной равновесной объёмной активности радона (ЭРОА радона).

Результаты. Приведен анализ материалов по результатам радиационного контроля (активности ^{226}Ra в различных типах грунтов, уровням плотности потока радона из грунта, содержанию радона во вновь строящихся и эксплуатируемых зданиях, помещениях различного назначения) по административным округам Москвы. Выполнено сопоставление пространственного распределения полей плотности потока радона (ППР) и значений ЭРОА радона в подвальных и жилых помещениях зданий, превышающих 200 Бк/м³. Проведён анализ критериев радоноопасности территорий.

Выводы. Обоснованы критерии ранжирования потенциальной радоноопасности территории по следующим показателям: содержанию ^{226}Ra в грунтах, ППР на поверхности грунта, ЭРОА радона в помещениях, годовой дозе облучения. Проведенные многолетние исследования позволили ранжировать территорию Москвы на различные зоны радоноопасности и выделить наиболее опасные районы (ЮВАО, ЮАО, ЗАО). Получена карта взаимосвязи пространственного распределения аномальных ППР с поверхности грунта и повышенных значений ЭРОА в помещениях. Ранжирование территорий по радоноопасности позволяет существенно оптимизировать систему радиационного контроля и мероприятий по радиационной защите населения.

Ключевые слова: природные радионуклиды радона; плотность потока радона; грунты; удельная активность; районирование; ранжирование; доза облучения.

Для цитирования: Охрименко С.Е., Коренков И.П., Микляев П.С., Прохоров Н.И., Вербова Л.Ф., Орлов Ю.В., Петрова Т.Б., Лашёнова Т.Н., Аكوпова Н.А., Киселёв С.М. Ранжирование территории г. Москвы по потенциальной радоновой опасности. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(3): 211–216. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-211-216>

Для корреспонденции: Охрименко Сергей Евгеньевич, доц. каф. радиационной гигиены ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного последипломного образования Минздрава России, 125993, Москва. E-mail: ooniii@mail.ru

Okhrimenko S.E.¹, Korenkov I.P.², Miklyaev P.S.³, Prokhorov N.I., Verbova L.F.¹, Orlov Yu.V.², Petrova T.B.⁴, Lashchyonova T.N.², Akopova N.A.¹, Kiselev S.M.²

RANKING OF THE TERRITORY OF THE CITY OF MOSCOW FOR POTENTIAL RADON DANGER

¹Russian Medical Academy of Continual Professional Education, Moscow, 125993, Russian Federation;

²A. I. Burnazyan Federal Medical and Biophysical Center, Moscow, 123098, Russian Federation;

³E.M. Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Moscow, 111622, Moscow;

⁴I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, 119991, Russian Federation;

⁵Moscow State University, Moscow;

⁶RUDN university, 125993, Moscow

Purpose. The identification and hygienic assessment of main sources of natural exposure of the population of the city of Moscow. Ranking areas of the territory of the city according to the potential radon hazard. The elaboration of criteria for the radon hazard of the territory.

Material and Methods. There are provided data of the radiation control of the territory of the city (g-spectrometry, the determination of the activity of natural radioactive substances, including samples of the soil and in lithological layers, the density of radon flux (DRF) from the soil), surveys of residential and public buildings for different purposes according to the content of the equivalent equilibrium volumetric activity of radon (EEVAR).

Results. There is presented the analysis of materials concerning the evaluation of results of radiation control (the of ²²⁶Ra activity in different types of soils, the levels of the DRF from the soil, the concentration of radon in newly constructed and operated buildings, various premises) in administrative districts of Moscow. There was executed the comparison of the spatial distribution of DRF and EEVAR values in basements and premises of buildings exceeding 200 Bq/m³. There was performed the analysis of criteria of radon-dangerous of areas.

Conclusion. There were substantiated criteria and zones of the aggravated radon danger within the city according to following indices: ²²⁶Ra content in soils, DRF on soil surfaces, EEVAR in premises, annual dose of the radiation. Performed long-term studies allowed to rank the territory of Moscow into various zones of the radon danger and allocate most dangerous areas (South-Eastern Administrative District, South Administrative District, South-Western Administrative District). There was obtained a map of the interrelationship of the spatial distribution of anomalous DRFs from the soil surface and elevated EEVA values in premises. Ranging of areas for the radon danger permits to significantly optimize the system of radiation control and measures for radiation protection of the population.

Key words: natural radionuclides of radon; density of radon flux; natural radionuclides; soils; specific activity; land; zoning; ranking; dose.

For citation: Okhrimenko S.E., Korenkov I.P., Miklyaev P.S., Prokhorov N.I., Verbova L.F., Orlov Yu.V., Petrova T.B., Lashchyonova T.N., Akopova N.A., Kiselev S.M. Ranking of the territory of the city of Moscow for potential radon danger. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(3): 211-216. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-211-216>

For correspondence: Sergey E. Okhrimenko, MD, PhD, Associate Professor of the Department of Radiation Hygiene of the Russian Medical Academy of Continual Professional Education, Moscow, 125993, Russian Federation. E-mail: ooniii@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 5 October 2016

Accepted: 16 January 2017

Введение

Проблема облучения населения природными радионуклидами на протяжении последних 30 лет привлекает все большее внимание ученых всего мира. По данным Научного комитета по действию атомной радиации ООН, среднегодовая дозовая нагрузка на население от природных источников составляет 2,4 мЗв, из них на долю радона приходится более 60% [1]. В среднем, вклад в дозовую нагрузку населения РФ природных источников превышает 70% [2]. В России наибольшему облучению подвергается население республик Алтай – в среднем 7,8 мЗв/год, Бурятия – 4,5 мЗв/год, Забайкальского края – 5,2 мЗв/год, Ставропольского края – 5,7 мЗв/год, Москвы – около 3–3,5 мЗв/год. Разработка мероприятий по снижению облучения населения от природных источников тесно связана с уточнением основных факторов, влияющих на формирование дозовых нагрузок населения, что является целью научных исследований как в России, так и за рубежом. В работе В.А. Максимовского и соавт. [3] представлены подходы к районированию территории России по степени радоноопасности на основе распространенности пород – продуцентов радона. П.С. Микляевым рассматриваются показатели плотности потока радона (ППР) и содержания ²²⁶Ra в грунтах в качестве критериев ранжирования территории по радоноопасности [4]. В Чешской Республике в качестве характеристики радоноопасности используется индекс, учитывающий со-

держание радона в почвенном воздухе и проницаемость почвы [5]. В США при ранжировании учитывают пять факторов: геологические строения, результаты аэро-гамма съемки, проницаемость и влажность почв, объемную активность (ОА) в зданиях и тип здания. По каждому из факторов радоноопасности оценивается по трехбалльной системе [6]. В Великобритании критерием радоноопасности территории является процент домов (более 1%), в которых ОА радона в помещениях превышает показатель в 200 Бк/м³ [7]. В Европейском Союзе разрабатывается карта геогенного радонового потенциала, которая является частью Европейского атласа естественной радиоактивности [8]. Несмотря на разнообразие подходов, в настоящее время не выработано единых критериев к оценке радоноопасности территорий.

Материал и методы

При выполнении работы применялись дозиметрические, спектрометрические, радиометрические методы исследования. Содержание ²²⁶Ra в грунтах определяли с помощью гамма-спектрометра Silena (Италия) с полупроводниковым германиевым детектором. Чувствительность метода от 1 Бк/проба до 10³ Бк/проба. ППР с поверхности земли оценивалась комплексом «Камера» с угольным детектором (чувствительность от 2 мБк/м²с до 10 000 мБк/м²с). ЭРОА радона в воздухе жилых помещений определяли с помощью радиометра радона

Таблица 1

Среднее содержание ^{226}Ra (в Бк/кг) в грунтах Москвы

Тип грунта		Удельная активность ^{226}Ra			
		среднее	σ	min	max
Глины	Q (четвертичные отложения)	20,3	4,7	11,6	42,6
Суглинки		15,6	3,2	10,0	26,5
Пески		7,0	2,3	3,0	14,4
Пески пылевые и глинистые		11,7	5,2	5,5	24,3
Глины юрские	J ₃	26,0	8,2	14,6	110,0
Известняки	C ₂₋₃	22,5	9,9	9,1	37,0
Глины мергелистые		12,7	5,4	5,2	21,0

РРА-01М и Альфа-Gard (диапазон измерений от 5 до 20 000 Бк/м³).

Результаты и обсуждение

Для изучения основных источников формирования повышенных концентраций ЭРОА радона в воздухе жилых и общественных зданий нами проводились исследования по содержанию ^{226}Ra в грунтах, ППР с поверхности земли. Оценка содержания ^{226}Ra осуществлялась в следующих типах грунтов: глина, суглинки, пески, пески пылевые и глинистые, а также глины юрские, известняки, глины мергелистые. Полученные результаты содержания ^{226}Ra в грунтах приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, высокое содержание ^{226}Ra наблюдается в глинах четвертичных и юрских отложений (до 110 Бк/кг). Очень высокие уровни ^{226}Ra (до 400 Бк/кг) отмечались в фосфоритах (в виде отдельных включений в юрских глинах), а наиболее низкие – в песках.

Оценку ППР проводили по всей территории города, которая была разделена на районы, сложенные с поверхности преимущественно песчаными и глинистыми грунтами (табл. 2).

Нами установлены статистически значимые различия между участками, сложенными с поверхности песчаными и глинистыми грунтами. Эхсхалация радона из глинистых грунтов значительно выше, чем из песчаных (см. табл. 2), что также подтверждается данными сезонных колебаний ППР на этих участках (рис. 1) [9–10].

При исследовании радоноопасности участков под строительство новых жилых и общественных зданий установлено, что ППР, превышающая допустимые значения (80 мБк/м²с), наблюдается в основном на глинистых участках, где активность ^{226}Ra превышает 25–30 Бк/кг. По данным П. С. Микляева и соавт. [9], в 1% случаев ППР превышает 150 мБк/м²с (49 участков в Москве). Для

Таблица 2

Значения ППР для районов, сложенных с поверхности песчаными и глинистыми грунтами

Тип грунта (концентрация ^{226}Ra , Бк/кг)	Число участков	ППР ср. (мБк/м ²)	δ^*	λ^*	ϵ^*	ППР мин.	ППР макс.
Песчаный (10-15)	556	20,5	11,8	18,0	1,7	5,0	72,0
Глинистый (15-30)	649	38,6	34,4	29,3	2,1	4,0	264,0

Примечание. * δ – среднее арифметическое отклонение, λ – среднее геометрическое, ϵ – стандартный множитель.

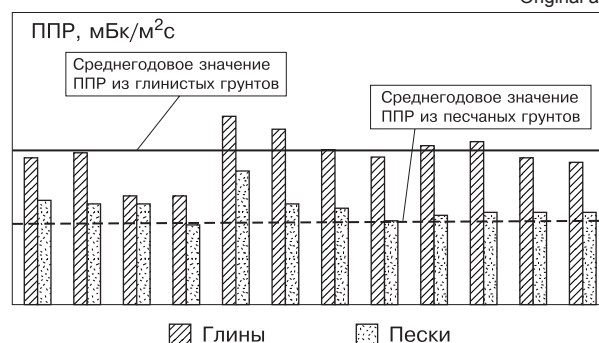


Рис. 1. Изменение среднемесячных значений ППР в течение года (с января по декабрь) для участков, сложенных преимущественно глинами и песками.

этих участков характерны крайне высокие (аномальные) значения ППР от 1000–5000 до 10 000 мБк/м²с (отдельные точки), что заставляет считать данные аномалии ППР важнейшим фактором радоноопасности на территории Москвы.

Наибольшая концентрация аномальных значений отмечается в западных, северных и южных районах Москвы, что согласуется с удельной активностью радия в грунтах и долей выявленных участков с превышением допустимых значений ППР (табл. 3).

На протяжении 12 лет нами проводились исследования содержания ЭРОА радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий. Обследовано около 6000 зданий в 10 административных округах и 114 муниципальных районах [10–13]. Общая характеристика содержания радона в воздухе эксплуатируемых зданий представлена в табл. 4.

Распределение доли зданий с превышением установленных контрольных уровней по ЭРОА радона в Москве (70 Бк/м³) по округам представлено на рис. 2.

Таблица 3

Значения средней удельной активности ^{226}Ra в грунтах, ППР и доля выявленных участков

Округ	Максимальные значения		Доля выявленных участков с превышениями допустимых значений ППР, %
	средняя удельная активность радия в грунтах, Бк/кг	плотность потока радона, мБк/м ² с	
ЦАО	22	301	3,8
ЗАО	34	295	20,8
СЗАО	23	68	0
САО	19	245	9,4
СВАО	24	430	5,7
ВАО	20	358	5,7
ЮВАО	22	182	7,5
ЮАО	39	291	28,3
ЮЗАО	30	252	11,3

Таблица 4

Результаты мониторинга измеренных значений ЭРОА радона в эксплуатируемых зданиях за 2002–2014 гг.

Параметр	Среднее, Бк/м ³	Максимальное, Бк/м ³	% превышений порога 100 Бк/м ³	% превышений порога 200 Бк/м ³
Подвалы	45,4	1265	11,1	3,4
1-е этажи	12,7	261	0,6	0,1

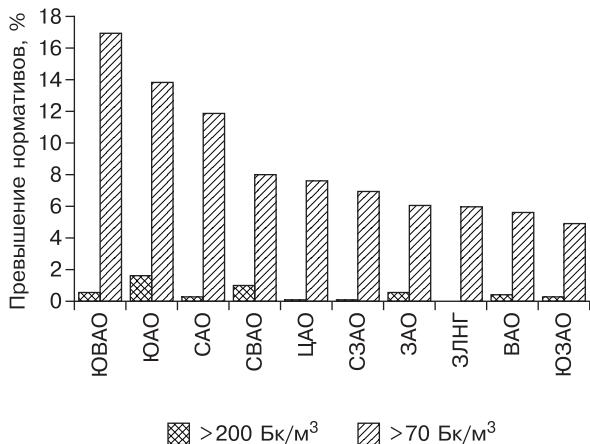


Рис. 2. Превышение нормативов и контрольных уровней содержания ЭРОА радона в помещениях жилых и общественных зданий Москвы.

Нами впервые выполнено сопоставление пространственного распределения полей ППР и значений ЭРОА радона в эксплуатируемых зданиях (рис. 3) [9, 14].

Проведенные исследования показали, что повышенные значения ЭРОА в помещениях (более 200 Бк/м³) достаточно часто совпадают с зонами сгущения аномалий ППР и имеют характерное распределение по районам (АО) г. Москвы (см. рис. 3). Показано, что наиболее радоноопасными являются территории Юго-Восточного, Южного и Северного АО Москвы.

Анализ выборок результатов радоновых обследований в подвальных помещениях, сгруппированных по годам постройки зданий, показал, что они делятся на 2 генеральных совокупности, различающиеся периодами их постройки. Одна генеральная совокупность – выборки с 1920 по 1950 г. постройки. Остальные выборки с диапазонами годов постройки после 1950 г. принадлежат к дру-

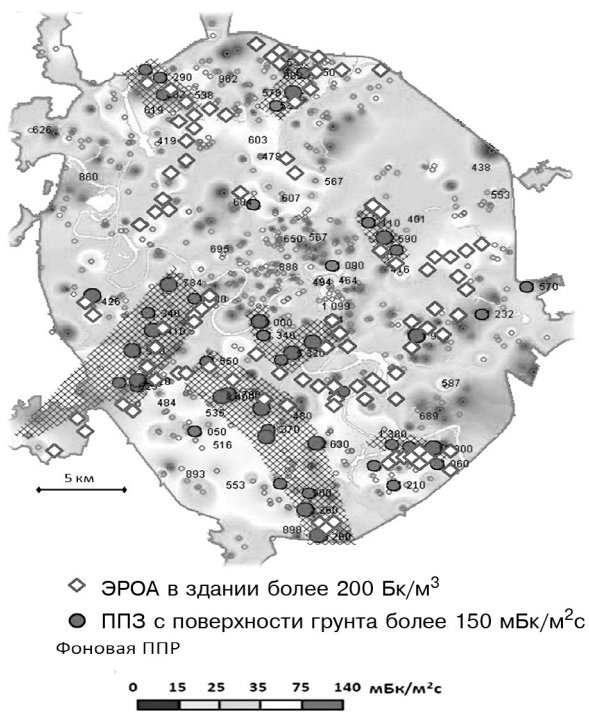


Рис. 3. Сопоставление пространственного распределения аномалий ППР с поверхности грунта и повышенных значений ЭРОА в подвальных помещениях на территории Москвы.

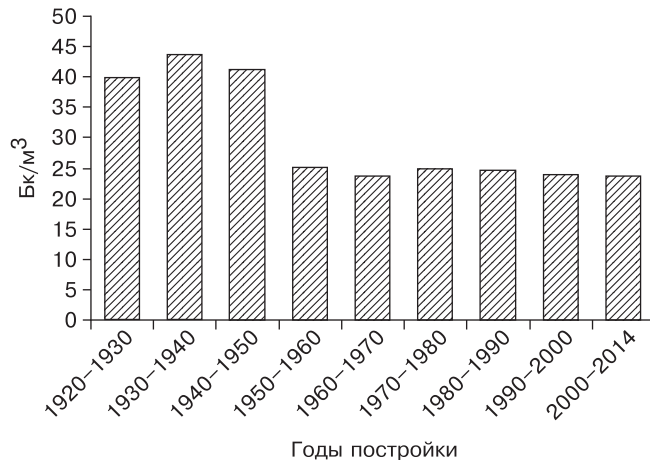


Рис. 4. Распределение средних ожидаемых значений ЭРОА радона в подвалах всех административных округов в зависимости от годов постройки зданий.

гой генеральной совокупности (рис. 4). Средние значения ЭРОА радона первой совокупности в 1,7 раза выше, чем для второй совокупности.

Выявленная в ходе мониторинговых радоновых исследований особенность распределения радиоактивного газа в зданиях разных годов постройки экспериментально подтверждает необходимость выделения зданий «обветшалого фонда» Москвы в особую группу риска (вне зависимости от «природной» или естественной радоноопасности территории), требующую проведения первоочередных радоновых обследований и при необходимости реализации радонозащитных мероприятий.

Опираясь на опыт проведенных исследований, для ранжирования территории Москвы по потенциальной «природной» радоноопасности нами приняты следующие показатели: ППР, содержание ²²⁶Ra в грунтах, ЭРОА радона в зданиях. Так как показатели характеризуются несколькими параметрами (табл. 5), нами предложено ранжирование путем сортировки показателя по возрастающей с привязкой к округу. Минимальное значение ранжированного параметра всегда будет 1, максимальное – равно числу административных округов. В табл. 6 приведены показатели, ранжированные по предлагаемому алгоритму.

Приведенные критерии ранжирования территорий (табл. 6) рассматривают в основном геологические крите-

Таблица 5

Показатели радоноопасности по округам Москвы

Округ	Доля превышений среднегодовых ЭРОА радона вне подвалов, %		Максимальная удельная активность радия, Бк/кг	Доля превышений порога 100 Бк/м³ измеренных ЭРОА радона в подвалах, %	Доля превышений порога 150 мБк/м²с для ППР радона, %
	>200 Бк/м³	>70 Бк/м³			
ЮВАО	0,54	16,98	22	16	7,5
ЮАО	1,56	13,88	39	20,8	28,3
СВАО	0,19	11,89	19	14,4	9,4
ЦАО	0,08	7,59	22	2,9	3,8
СЗАО	0,05	6,93	23	5,4	0
ЗАО	0,53	6,06	34	10,5	20,8
ВАО	0,39	5,59	20	5,6	5,7
ЮЗАО	0,23	4,89	30	6,9	11,3

Таблица 6

Ранжированные показатели радоноопасности по округам

Округ	Доля превышений среднегодовых ЭРОА радона вне подвалов, %		Максимальная удельная активность радия, Бк/кг	Доля превышений порога 100 Бк/м ³ измеренных ЭРОА радона в подвалах, %	Доля превышений порога 150 для ППР радона, %	Суммарный ранжированный показатель
	>200 Бк/м ³	>70 Бк/м ³				
ЮВАО	7	9	3	8	5	32
ЮАО	9	8	9	9	9	44
САО	3	7	1	7	6	24
СВАО	8	6	6	5	3	28
ЦАО	2	5	5	1	2	15
СЗАО	1	4	5	2	1	13
ЗАО	6	3	8	6	8	31
ВАО	5	2	2	3	4	16
ЮЗАО	4	1	7	4	7	23

рии (ППР), содержание ЭРОА радона в подвальных помещениях, не рассматривая дозовые нагрузки на население, которые являются основными радиационно-гигиеническими критериями.

Нами проведен анализ доз облучения населения в мегаполисе за период 2005–2014 гг. Данные группировались по районам (118 районов). Для каждого района анализировались среднегодовые значения ЭРОА радона, которые рассчитывались как по средним, так и по максимальным средним значениям. Коэффициенты для приведения мгновенных значений ЭРОА к среднегодовым для всех лет наблюдения приняты по современным действующим значениям (1 – зима, 1,3 – лето). В расчет взяты данные с ЭРОА радона до 100 Бк/м³.

Анализ результатов измерения в эксплуатируемых зданиях по жилым домам (1-й этаж и выше), ДОУ и школам показал, что дозы облучения при их оценке по средним среднегодовым показателям составят 0,68–2,4 мЗв/год, а при расчете по средним максимальным среднегодовым диапазоном составит 1,15–6,18 мЗв/год, а средняя по городу – 3,42 мЗв/год [11].

На основе проведенных исследований предлагаются следующие суммарные критерии оценки потенциальной опасности с учетом содержания ²²⁶Ra, ППР, ЭРОА радона в жилых зданиях (см. табл. 6) и использование дополнительного критерия дозовых нагрузок на население.

Исходя из вышеизложенного, нами условно выделены 4 категории опасности – безопасная, относительно безопасная, опасная и особо опасная (табл. 7).

Таблица 7

Ранжирование территории Москвы по категориям опасности

Категория	«А» ²²⁶ Ra _{грунт} , Бк/кг	«N» ППР, мБк/м ² с	«А» ЭРОА ²²² Rn, Бк/м ³	«D» Доза, мЗв/год	Сумма баллов*
Безопасная	<30	<50	<30	1,5	<20
Относительно безопасная	30 < A < 50	50 < A < 80	30 < A < 50	1,5 < D < 3,5	20–25
Опасная	50 < A < 100	80 < A < 150	50 < A < 100	3,5 < D < 6	25–30
Особо опасная	>100	>150	>100	>6	>30

Примечание. * – сумма баллов определялась на основе данных таблиц 5–6 и дозовых нагрузок: при 1,5 мЗв/год – 1 балл, от 1,5 до 3,5 мЗв/год – 3 балла, от 3,5 до 5 мЗв/год – 5 баллов и >6 мЗв/год – 7 баллов.

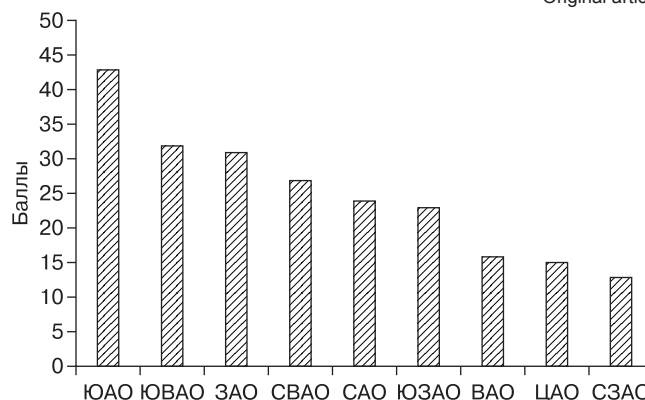


Рис. 5. Ранжирование территории Москвы по радоноопасности.

На рис. 5 представлены материалы ранжирования территории Москвы по суммарным показателям.

Предлагаемая классификация позволяет существенно сократить объем исследований на большей части территории города, относящейся к радонобезопасной или относительно опасной категории, и при этом сосредоточить основные усилия по изучению факторов радоноопасности для опасных и очень опасных зон.

Полученные материалы дают возможность дифференциации объема радиационного контроля в зависимости от категории радоноопасности территории.

Выводы

1. Обоснованы критерии ранжирования потенциальной радоноопасности территории по следующим показателям: содержанию ²²⁶Ra в грунтах, ППР на поверхности, ЭРОА радона в помещениях, годовой дозе облучения.
2. Проведенные многолетние исследования позволили ранжировать территорию Москвы на различные зоны радоноопасности и выделить наиболее опасные районы (ЮВАО, ЮАО, ЗАО).
3. Выделены здания повышенного риска облучения радоном, требующие углубленного обследования и при необходимости реализации защитных мероприятий (ЦАО – здания времени постройки 1920–1950 гг.)
4. Получена карта взаимосвязи пространственного распределения аномальных ППР с поверхности грунта и повышенных значений ЭРОА в помещениях, что дает возможность проводить целенаправленные радонозащитные мероприятия – так называемых пассивной и активной защиты зданий.
5. Ранжирование территорий по радоноопасности позволяет существенно оптимизировать систему радиационного контроля и мероприятий по радиационной защите населения.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 1, 5–8 см. References)

2. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации) за 2005–2014 гг. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2007.
3. Максимовский В.А., Харламов М.Г., Мальцев А.В., Лучин И.А., Смыслов А.А. Районирование территории России по степени радоноопасности. *АНРИ*. 1996; (3): 66–73.
4. Микляев П.С., Томашев А.В., Охрименко С.Е. и др. Содержание радионуклидов естественного происхождения в грунтах г. Москвы. *АНРИ*. 2000; (1): 17–23.
9. Микляев П.С., Петрова Т.Б., Маренный М.А., Маренный А.М., Дорожкин А.Л., Макеев В.М. Карта плотности потока радона на территории Москвы. *АНРИ*. 2012; (3): 15–24.

10. Коренков И.П., Соболев И.А. Польский О.Г. *Радон в коммунальных и промышленных сферах, проблемы нормирования, биологического действия, методики измерения*. М.: ЦИУВ; 1993.
11. Вербова Л.Ф., Роголис В.С., Федина Е.В., Габриелян С.В., Мельников Е.Н., Шакин Д.Ю. и др. Распределение ЭРОА радона в зданиях Москвы и расчет индивидуальных доз облучения населения при его пространственной неоднородности по территории. *Медицина труда и промышленная экология*. 2012; (8): 12–8.
12. Шакин Д.Ю., Лашенова Т.Н. Радиоэкологическая оценка состояния помещений образовательных учреждений по содержанию радона. В кн.: Шibaев С.В., ред. *Труды первой научно-практической конференции с международным участием, посвященной 60-летию атомной энергетики, «Экологическая безопасность АЭС»*. Калининград: Аксиос; 2014: 151–9.
13. Контрольные уровни обеспечения радиоэкологической безопасности населения г. Москвы. Руководящий документ. М.; 2008.
14. Орлов Ю.В., Ивлев М.В., Зубов В.Ю., Вербова Л.Ф., Коренков И.П. Использование ГИС технологий для анализа данных радиационных обследований объектов окружающей среды. *АНРИ*. 2014; (1): 1–7.

References

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *UNSCEAR 2006 Report. Annex E. Sources-to-Effects Assessment for Radon in Homes and Workplaces*. New York: United Nations; 2009.
2. Results of radiation and hygienic certification in subjects of the Russian Federation 2005–2014. Moscow: Federal center of hygiene and epidemiology of Rosпотребнадзор; 2007. (in Russian)
3. Maksimovskiy V.A., Kharlamov M.G., Mal'tsev A.V., Luchin I.A., Smyslov A.A. Division into districts of the territory of Russia on radon potential. *ANRI*. 1996; (3): 66–73. (in Russian)
4. Miklyayev P.S., Tomashev A.V., Okhrimenko S.E. et al. Maintenance of radionuclides natural an origin in soils of Moscow. *ANRI*. 2000; (1): 17–23. (in Russian)

5. Neznal M., Matolin M., Just G., Turek K. Short-term Temporal Variations of Soil Gas Radon Concentration and Comparison of Measurement Techniques. *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2004; 108(1): 55–63.
6. US Environmental Protection Agency. Map of Radon Zones. Report 402-R-93-071. Available at: www.epa.gov/radon/zonemap.html
7. Miles J.C., Appleton J.D. Mapping variation in radon potential both between and within geological units. *J. Radiol. Prot.* 2005; 25(3): 257–76.
8. Gruber V., Bossew P., De Cort M., Tollefsen T. The European map of the geogenic radon potential. *J. Radiol. Prot.* 2013; 33(1): 51–60.
9. Miklyayev P.S., Petrova T.B., Marennyy M.A., Marennyy A.M., Dorozhko A.L., Makeev V.M. The card of fluence of a radon in the territory of Moscow. *ANRI*. 2012; (3): 15–24. (in Russian)
10. Korenkov I.P., Soboлев I.A. Pol'skiy O.G. *Radon in the Municipal and Production Spheres, Problems Rationing, Biological Effect, Measuring Techniques [Radon v kommunal'nykh i promyshlennykh sferakh, problemy normirovaniya, biologicheskoe deystvie, metodiki izmereniya]*. Moscow: TsIUUV; 1993. (in Russian)
11. Verbova L.F., Rogalis V.S., Fedina E.V., Gabrielyan S.V., Mel'nikov E.N., Shakin D.Yu. et al. Distribution of EROA of a radon in buildings of Moscow and calculation of individual exposure doses of the population at it space inhomogeneity across the territory. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2012; (8): 12–8. (in Russian)
12. Shakin D.Yu., Lashchenova T.N. Radio ecological assessment of a condition of rooms educational institutions on the content of radon. In: Shibaev S.V., ed. *Proceedings of the First Scientific-practical Conference with International Participation, Dedicated to the 60th Anniversary of Nuclear Power, «Environmental Safety of Atomic Power Station» [Trudy pervoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 60-letiyu atomnoy energetiki, «Ekologicheskaya bezopasnost' AES»]*. Kaliningrad: Aksios; 2014: 151–9. (in Russian)
13. Master levels of providing radio ecological safety of the population of Moscow. Regulating document. Moscow; 2008. (in Russian)
14. Orlov Yu.V., Ivlev M.V., Zubov V.Yu., Verbova L.F., Korenkov I.P. Using GIS technology for data analysis radiation surveys of the environment. *ANRI*. 2014; (1): 1–7. (in Russian)

Поступила 05.10.16
Принята к печати 16.01.17

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 613.31:628.16.087

Аракчеев Е.Н.¹, Брунман В.Е.², Брунман М.В.², Коняшин А.В.², Дьяченко В.А.², Петкова А.П.², Некрасов Р.Э.²

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ И ОЧИСТКИ ВОДЫ И СТОКОВ ФЕРРАТОМ НАТРИЯ

¹Группа компаний «Спецмаш», 606000, г. Дзержинск;

²ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург

Рассмотрены области применения феррата натрия для обеззараживания питьевой воды, окисления и коагуляции сточных, ливневых и природных вод. Обоснованы варианты реализации технологии обеззараживания и очистки различных вод ферратом натрия. Рассмотрены и обоснованы принципы построения и функционирования технологической схемы получения и дозирования феррата натрия и конструктивное решение комплексного аппарата для ее реализации. Показана экологическая и экономическая эффективность разработанной технологии по сравнению с аналогами. Приведены результаты апробации электролизного феррата натрия для обеззараживания питьевой воды, окисления и коагуляции сточных, в том числе токсичных, ливневых и поверхностных вод.

Ключевые слова: феррат натрия; обеззараживание воды; очистка стоков; технология; параметры; экспериментальное обоснование эффективности.

Для цитирования: Аракчеев Е.Н., Брунман В.Е., Брунман М.В., Коняшин А.В., Дьяченко В.А., Петкова А.П., Некрасов Р.Э. Экспериментальное обоснование целесообразности обеззараживания и очистки воды и стоков ферратом натрия. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(3): 216–222. DOI: <http://dx.doi.org/10.18822/0016-9900-2017-96-3-216-222>

Arakcheev E.N.¹, Brunman V.E.², Brunman M.V.², Volkov A.N.², Dyachenko V.A.², Kochetkov A.V.³, Petkova A.P.²

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE PRACTICABILITY OF DISINFECTION AND PURIFICATION OF WATER AND WASTEWATERS WITH POTASSIUM FERRATE

¹Dzerzhinsk Limited Liability Company "Group of Companies "Spetsmash", Dzerzhinsk, 606000, Russian Federation;

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, 195251, Russian Federation

There are considered issues of the use of potassium ferrate for disinfection of drinking water, oxidation and coagulation of wastewaters, rainwater and environmental waters. Variety of realizations of technology for different water disinfection and purification using potassium ferrate is proved. Principles of composition and operation of technological flowchart of potassium ferrate producing and dosing and structural solution of complex unit for flowchart's realization are

Для корреспонденции: Аракчеев Евгений Николаевич, Группа компаний «Спецмаш», 606000, г. Дзержинск. E-mail: arakcheew@yandex.ru