

# Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов

УДК 628.1(07)

DOI: 10.14529/build200308

## ОЧИСТКА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ ОТ РАДОНА

**О.А. Самодолова, А.П. Самодолов, Е.В. Николаенко**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

Подземные воды Уральского региона на большой территории имеют повышенные концентрации радионуклидов, в том числе радона-222. Это связано с существованием так называемой «гранитной оси» Урала. Согласно существующим публикациям, превышение данного изотопа в питьевой воде и воздухе помещений приводит к многочисленным функциональным нарушениям в организме человека. В работе приведены данные по химическому и радиологическому составу подземных вод конкретной территории и освещены апробированные на практике методы водоподготовки, направленные на снижение концентрации радона-222. Для снижения содержания радиоактивных изотопов были рассмотрены такие методы, как сорбция; мембранная фильтрация; аэрация. Проведено сравнение указанных методов удаления радона-222 из воды, представлены блок-схемы очистки. Показано, что каждый из методов имеет как преимущества, так и недостатки. Однако оптимальным методом удаления небольших концентраций радона из воды, по мнению авторов, является безнапорная аэрация, по причине низкой стоимости оборудования, относительно других методов (что немаловажно для индивидуального строительства, когда всю финансовую нагрузку по установке и эксплуатации оборудования несет собственник), высокой степени очистки воды и минимального влияния на экологическую составляющую окружающей среды. В статье затронуты вопросы защиты воздушного пространства помещения от накопления в нем радиоактивных изотопов, поскольку это также негативно влияет на здоровье человека.

*Ключевые слова: подземные источники водоснабжения, питьевая вода, радон, водоподготовка, аэрация.*

Челябинск является динамично развивающимся городом России. В городе активно застраиваются новые жилые микрорайоны. В последние годы город активно прирастает за счет строительства коттеджных поселков, однако не всегда имеется возможность подключить их к централизованной системе водоснабжения города. В связи с этим возникает проблема водоснабжения, которая решается за счет использования индивидуальных водозаборных скважин.

Безопасна ли вода в этих скважинах, какие вредные и опасные примеси может содержать и как с ними бороться, мы хотели бы разобраться на примере воды, проба которой была взята из скважины глубиной 45 метров в поселке Терема Кременкульского сельского поселения. По содержанию, окисляемости, рН, мутности, цветности и др. важным для питьевой воды показателям всё в пределах нормы, регламентируемой нормативным документом [1]. Проблему качества воды выявило радиохимическое исследование, результаты которого приведены в табл. 1.

Согласно полученным результатам, в воде наблюдается превышение радона-222, который является наиболее стабильным изотопом из числа радонных, обладающим активной альфа-радиоактивностью с периодом полураспада 3,8 суток. Так как для хозяйственно-питьевого водоснабжения

население поселка использует подземные источники и других вариантов не предусмотрено на сегодняшний день, необходимо понять, что такое радон, опасен ли он и какие мероприятия наиболее действенны для его удаления из воды.

**Таблица 1**  
Качественные показатели воды водозаборной скважины

Измеряемый параметр	Объемная активность (при P = 0,95), Бк/дм <sup>3</sup>	Норматив, Бк/кг [1]
pH = 7,14		
Общая минерализация 162,5 мг/л		
Суммарная $\alpha$	0,23 ± 0,10	0,2
Суммарная $\beta$	0,10 ± 0,04	1,0
<sup>222</sup> Rn (радон-222)	183 ± 20	60
<sup>3</sup> H (тритий)	<10	7600

В 1995 г. в РФ был принят Федеральный закон «О радиационной безопасности населения», и на сегодняшний день действуют специальные нормы радиационной безопасности. Предельные величины концентрации радона в воздухе помещений можно найти в таких нормативных документах, как НРБ-99 или СП 2.6.1.758-99, ОСПОРБ-99, СП 2.6.1.1292-2003, а также в методических указа-

ниях МУ 2.6.1.715-98. Российские нормы [2–8] устанавливают верхнюю границу концентрации радона в воде, при которой требуется вмешательство, она составляет 60 Бк/л. В США по рекомендациям Агентства по охране окружающей среды (USEPA) предельная концентрация радона в воде не должна превышать 11,1 Бк/л, в странах Евросоюза допустимая граница варьируется: в Финляндии предельно допустимые концентрации установлены на уровне 300 Бк/л, в Швеции – 300 Бк/л, в Ирландии – 200 Бк/л [9].

Подземные воды с повышенным содержанием радиоактивных элементов (урана, радона, радия и др.) широко распространены на территории области и слагают так называемую «гранитную ось» Урала [10]. Эти породы разрушаются со временем, и высвободившиеся радиоактивные элементы поступают в подземные водоносные горизонты [11, 12].

Существуют публикации [9, 13, 14], в которых прослеживается статистическая связь онкологических заболеваний, ишемической болезни сердца, изменения поведенческих реакций и детского церебрального паралича с геопатогенными зонами (разломами), по которым радон перемещается и с помощью которых выходит на поверхность земли. При вдыхании радона продукты его распада избирательно накапливаются в некоторых органах и тканях. Растворяясь в крови и лимфе, радон и продукты его распада быстро разносятся по всему телу и приводят к внутреннему массивному облучению, что может стать причиной онкологических заболеваний. По данным департамента здравоохранения США, радон – второй по частоте (после курения) фактор, вызывающий рак лёгких преимущественно бронхогенного (центрального) типа [13, 14]. В связи с этим важным моментом является не только снижение концентрации радона в воде для хозяйственно-питьевых целей, но и защита воздушного пространства с постоянным пребыванием людей от поступления радиоактивных изотопов.

Проведенный анализ существующих на сегодняшний день методов удаления радионуклидов из воды показал, что наиболее эффективными являются такие методы, как аэрация, ионный обмен, сорбция и обратный осмос.

К числу наиболее часто применяемых методов относятся:

- сорбция – очистка воды от радона с использованием сорбционных материалов, чаще всего активированного угля. Этот способ позволяет удалить из воды 95...99 % инертного газа. Угольный сорбент хорошо улавливает и прочие радионуклиды: радий-226 и уран-235. Для большей эффективности перед угольным фильтром иногда ставят ионообменный фильтр. Данный способ используют для систем водоснабжения небольшой производительности [15–17]. Блок-схема водоподготовки с использованием сорбционной технологии приведена на рис. 1;

- мембранная фильтрация – это разделение веществ в растворах на полупроницаемых мембранах. Разделение осуществляется под действием приложенной извне движущей силы (электрическое поле, разница концентраций или под давлением). Это позволяет осуществить разделение дисперсных систем на составляющие. Способ позволяет выделить из воды радон и прочие радионуклиды, в том числе одновалентные ионы радиоактивных тяжелых металлов – лития, таллия и свинца. Благодаря данному методу их концентрация в воде уменьшается более чем в пять раз [15–17]. Блок-схема с использованием мембранной технологии приведена на рис. 2;

- безнапорная аэрация – отдувка воздухом – очень эффективно уменьшает концентрацию инертного газа в воде. Эффективность технологии аэрации составляет примерно 90 %, что в десятки раз снижает количество нежелательных примесей радона, аэрация уменьшает его концентрацию в воде в 100...120 раз [15–17]. Блок-схема с использованием аэрации представлена на рис. 3.

Сравнительная характеристика рассматриваемых методов удаления из воды радиоактивных элементов приведена в табл. 2. Из табл. 2 видно, что каждый из методов имеет как преимущества, так и недостатки. По нашему мнению, наименее затратный и более безопасный в радиационном отношении – это метод удаления из воды радона безнапорной аэрацией.

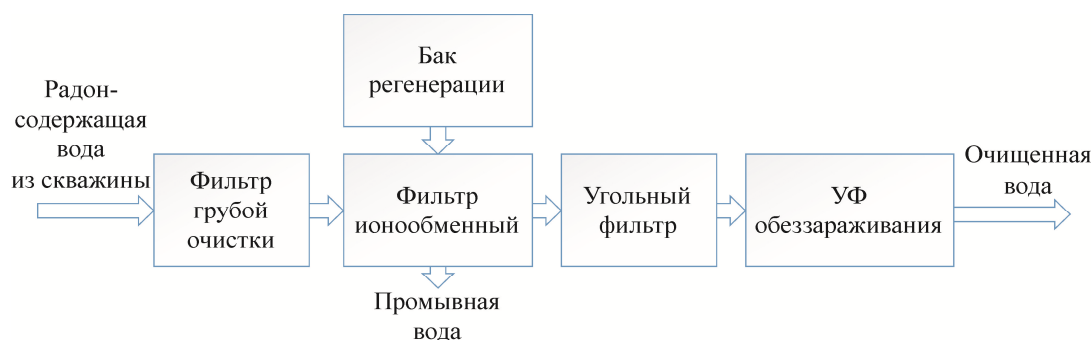


Рис. 1. Блок-схема очистки природной воды от радона сорбцией



Рис. 2. Блок-схема очистки природной воды от радона мембраной фильтрацией

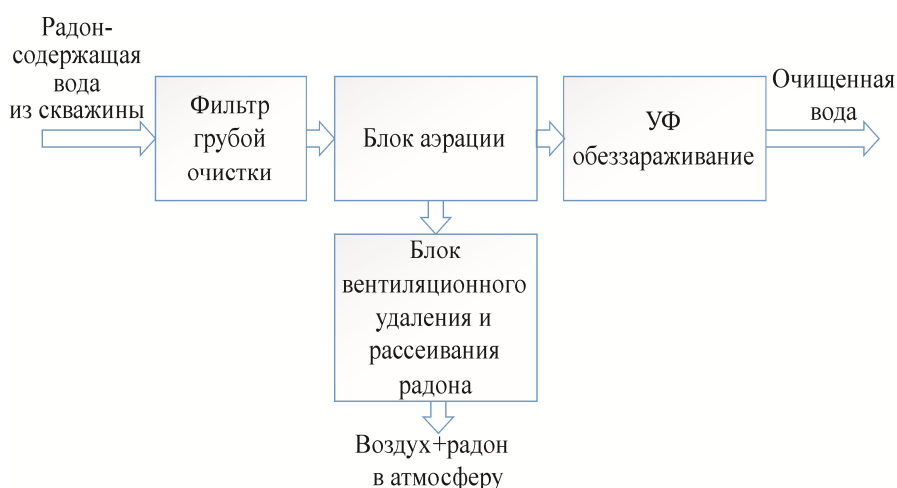


Рис. 3. Блок-схема очистки природной воды от радона безнапорной аэрацией

Таблица 2

Эффективность методов удаления из воды радиоактивных элементов

Метод очистки	% удаления	Преимущества и недостатки
Диффузионная аэрация в насадочной колонне	78...99,9	– проверенная технология; – низкие эксплуатационные расходы; – требуется предварительная очистка; – возможны проблемы загрязнения атмосферы отходящими веществами
Пневматическая аэрация (диффузия барботажем)	71...99,9	– проверенная технология; – низкие эксплуатационные расходы; – компактность оборудования; – требуется предварительная очистка; – возможны проблемы загрязнения атмосферы отходящими веществами
Аэрация разбрызгиванием	35...99,9	– для высокой эффективности необходимо большее количество повторов процедуры очистки; – проблемы эксплуатации в холодных условиях
Безнапорная аэрация в лотках	70...94	– требуется предварительная очистка; – возможны проблемы, связанные с температурой
Упрощенные методы аэрации	10...96	– большая общая площадь, занимаемая оборудованием; – возможны проблемы, связанные с температурой
Гранулированный активированный уголь	70...99	– продолжительный период контакта воды с углем; – проблемы загрязнения активированного угля продуктами распада радона и проблема дальнейшей его утилизации
Обратный осмос	99,9	– требуется предварительная очистка; – проблемы загрязнения мембраны фильтра продуктами распада радона и утилизации отслужившей мембраны

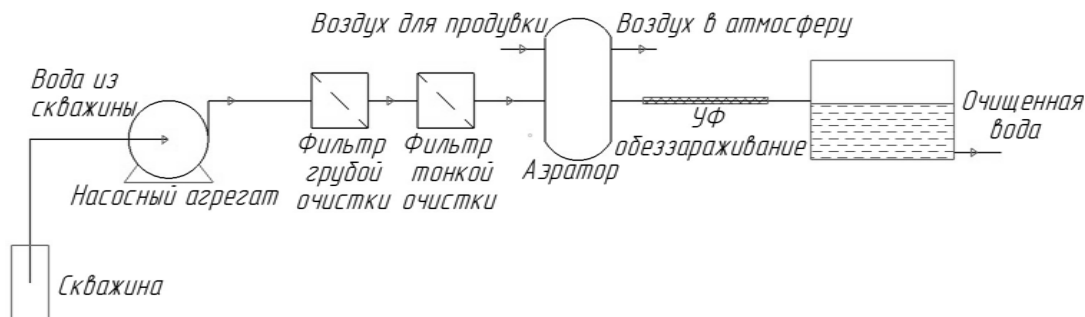


Рис. 4. Принципиальная схема очистки природной воды от радона

Два других метода связаны с образованием и накоплением радиоактивных отходов и необходимостью установки дополнительного экранирующего оборудования для защиты обслуживающего персонала. Сегодня на рынке представлен широкий спектр аэрационных систем очистки воды от радона заводского изготовления. На рис. 4 приведена одна из таких принципиальных схем очистки воды от радона. Установки, работающие по данной схеме, успешно применяются для очистки воды от радона в различных поселках Челябинской области. Данные установки включают в себя фильтры грубой и тонкой очистки, блок безнапорной аэрации, насосную станцию. Все фильтры картриджного типа. Обеззараживание воды предполагается с помощью ультрафиолетового излучения.

Необходимо отметить, что в данную схему кроме оборудования по удалению радона может быть при необходимости добавлено оборудование для умягчения воды и удаления железа, что также является актуальным для региона. Установки компактны, рассчитаны на небольшую производительность, оборудование, входящее в состав установки, может быть установлено в техническом помещении на площади не более 3 м<sup>2</sup>. Базовый комплект, позволяющий эффективно удалить радон (без дополнительного умягчения и удаления железа), доступен по цене и рассчитан на очистку до 500 л/сут, что достаточно для индивидуального дома.

Но при безнапорной аэрации в качестве основного метода удаления радона последний будет выделяться в воздух помещения, где установлено оборудование. В странах Европы и США для решения данной проблемы устанавливают принудительную вентиляцию в местах непосредственного выделения радона [18]. В России существуют изобретения, предлагающие способ удаления радона из воздуха помещений, заключающийся в пропуске воздуха через поглотительные фильтры из активированного угля, сорбирующие радон, отличающийся тем, что очищенный воздух подвергают сжатию, пропуская его через воздушный компрессор, и поддерживают установленное значение величины подпора воздуха в помещении с помощью управляемого редуктора [19]. Метод сам по себе интересен, однако возникает вопрос – как часто надо менять фильтры и где их утилизировать. При невысоких концентрациях радона-222 в воде и

с учетом его периода полураспада можно ограничиться устройством принудительной приточно-вытяжной вентиляции в помещении.

Проведенный литературный анализ показал, что уровень радона, превышающий допустимые пределы, негативно влияет на здоровье человека. Для индивидуального коттеджного строительства наибольшая эффективность при очистке воды от радона и продуктов его распада может быть достигнута при особом комбинировании методов безнапорной аэрации и сорбции в различных вариантах. Защита, в том числе очистка, воды хозяйственно-питьевого назначения от радона-222 является актуальной темой, и исследования в данном направлении необходимо продолжать.

#### Литература

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
2. СП 2.6.1.1292-2003. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.
3. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).
4. СП 2.6.1.758-99. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99).
5. Методические указания МУ 2.6.1.715-98. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий.
6. Методические указания. Внедрение и применение ГОСТ 8.417-81 «ГСИ. Единицы физических величин» в области ионизирующих излучений. РД 50-454-84. – М.: Изд-во стандартов, 1990.
7. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 № 3-ФЗ.
8. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 63-ФЗ, 31 марта 1999 г. // Российская газета. – 1999. – 6 апреля.
9. Мархоцкий, Я.Л. Безопасность жизнедеятельности человека: учебное пособие / Я.Л. Мархоцкий. – Минск: Высшая школа, 2018. – 416 с.
10. Левит, А.И. Южный Урал: география, экология, природопользование: учебное пособие /

А.И. Левит. – 2-е изд. испр. и доп. – Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 2005. – 246 с.

11. Уткин, В.Н. Радонная проблема в экологии / В.Н. Уткин // *Науки о земле*. – Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного профессионально-педагогического университета, 2000.

12. Булатов, Р.В. Подземные воды Урала: учебное пособие / Р.В. Булатов. – Екатеринбург: Банк культурной информации, 2002. – 240 с.

13. Водоснабжение населённых пунктов земных источников, загрязнённых радиоактивным газом радоном-222 / Е.В. Левин, Р.Ф. Сагитов, В.Д. Баширов и др. // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 1. – С. 174–177.

14. Радон: учебное пособие / М.Н. Левин, О.П. Негрбов, В.Р. Гитлин и др. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008.

15. WHO Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective. – Geneva: World Health Organization, 2009.

16. Беркман, И.Н. Радон: враг, врач и помощник / И.Н. Беркман // *Курс лекций*. – <http://profbeckman.narod.ru>

17. Журба, М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. Т. 2. Очистка и кондиционирование природных вод: учеб. пособие / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова – изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. – 552 с.

18. Technologies and costs for the removal of radon from drinking water / F. Bekdash et al. // *Science Applications International Corporation. McLean, VA: Science Applications International Corporation Publish, 1999. – 158 p.*

19. Пат. 2601737 Российская Федерация, МПК51 G21F 1/00, F24F 7/007. Способ удаления радона из воздуха помещения / А.И. Андреев, М.Б. Цицарева; заявитель и патентообладатель Дальневост. гос. университет путей сообщения. – 2015126581/07; заявл. 02.07.2015; опублик. 10.11.2016. – <https://yandex.ru/patents>

**Самодолова Олеся Александровна**, студент магистратуры (гр. АС-127), Архитектурно-строительный институт, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [samodolova@mail.ru](mailto:samodolova@mail.ru)

**Самодолов Александр Павлович**, студент магистратуры (гр. АС-127), Архитектурно-строительный институт, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [samodolov@mail.ru](mailto:samodolov@mail.ru)

**Николаенко Елена Валентиновна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [mail.nikolaenko@inbox.ru](mailto:mail.nikolaenko@inbox.ru)

*Поступила в редакцию 27 мая 2020 г.*

DOI: 10.14529/build200308

## PURIFICATION OF NATURAL WATER FROM RADON

**O.A. Samodolova**, [samodolova@mail.ru](mailto:samodolova@mail.ru)

**A.P. Samodolov**, [samodolov@mail.ru](mailto:samodolov@mail.ru)

**E.V. Nikolaenko**, [mail.nikolaenko@inbox.ru](mailto:mail.nikolaenko@inbox.ru)

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

Underground waters of the Ural region, across a large area, have elevated concentration of radionuclides, including that of radon-222. This is explained by the presence of the so-called “granite axis” of the Urals. According to available publications, the excess of this isotope in potable water and in indoor air leads to numerous functional disorders in human body. This paper presents data on the chemical and radiological composition of underground water in a specific area and highlights the field-tested methods of water treatment aimed at reducing the concentration of radon-222. To reduce the content of radioactive isotopes, such methods as sorption, membrane filtration, and aeration have been considered. A comparison of these methods of removing radon-222 from water is performed, and flowcharts of purification are presented. It is shown that each of the methods has both advantages and disadvantages. However, the optimal method for removing small concentrations of radon from water, according to the authors, is the non-pressure aeration. It allows for the low cost of equipment as compared to other methods, and that is important for individual construction, when an owner bears all the financial burden of installing and operating the equipment. This method is also characterized by a high degree of water purification and minimal impact on the environment. The article deals with the issues of protecting the indoor air against the accumulation of radioactive isotopes in it, since this also negatively affects human health.

*Keywords: underground sources of water supply, potable water, radon, water treatment, aeration.*

### References

1. SanPiN 2.1.4.1074-01 [Drinking water. Hygienic Requirements for Water Quality of Centralized Drinking Water Supply Systems. Quality Control.]. Moscow, 2001. 90 p. (in Russ.)
2. SP 2.6.1.1292-2003 [Hygienic Requirements for Limiting Public Exposure to Natural Sources of Ionizing Radiation]. Moscow, 2003. (in Russ.)
3. SP 2.6.1.2612-10 [Basic Sanitary Rules for Ensuring Radiation Safety (OSPORB 99/2010)]. Moscow, 2010. 77 p. (in Russ.)
4. SP 2.6.1.758-99 [2.6.1. Ionizing Radiation, Radiation Safety. Radiation Safety Standards (Nrb-99)]. Moscow, 1999. 93 p. (in Russ.)
5. Metodicheskiye ukazaniya MU 2.6.1.715-98. "Ioniziruyushcheye izlucheniye, radiatsionnaya bezopasnost'. Provedeniye radioiono-gigiyenicheskikh obsledovaniy zhilykh i obshchestvennykh zdaniy" [Realisation of Radiation Control in Dwellings and Public Buildings]. St. Petersburg, Lyubavin Publ., 1998. 29 p.
6. RD 50-454-84. [RD 50-454-84 Methodical Instructions. Implementation and Application of GOST 8.417-81 "GSI. Units of Physical Quantities" in the Field of Ionizing Radiation (with Amendment no. 1)]. Moscow, Standartinform Publ., 1984. 37 p. (in Russ.)
7. Federal'nyy zakon "O radiatsionnoy bezopasnosti naseleniya" ot 09.01.1996 N 3-FZ [On Radiation Safety of the Population]. Moscow, 1996. 25 p.
8. Federal'nyy zakon "O sanitarno-epidemiologicheskom blagopoluchii naseleniya" № 63-FZ, 31 marta 1999 g. Rossiyskaya gazeta. 1999. 6 aprelya [Federal Law "On the Sanitary and Epidemiological Welfare of the Population" dated 03.30.1999 N 52-FZ]. Moscow, 1999, 78 p.
9. Markhotskiy Ya.L. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti cheloveka: uchebnoye posobiye [Human Life Safety. Textbook]. Minsk, Vysshaya shkola Publ., 2018. 416 p.
10. Levit A.I. Yuzhnyy Ural: geografiya, ekologiya, prirodopol'zovaniye: uchebnoye posobiye [Southern Urals: Geography, Ecology, Nature Management. Textbook]. Chelyabinsk, 2005. 246 p.
11. Utkin V.N. Radonovaya problema v ekologii. [Radon's Problem in Ecology]. Nauki o zemle. [Geosciences]. Ekaterinburg, 2000, pp. 73–80. (in Russ.)
12. Bulatov R.V. Podzemnyye vody Urala: Uchebnoye posobiye [Ural Underground Waters. Textbook]. Ekaterinburg, Bank kul'turnoy informatsii Publ., 2002. 240 p.
13. Levin E.V., Sagitov R.F., Bashirov V.D., Demidochkin V.V., Vasilevskaya S.V., Voloshin E.V. [Water Supply of Settlements of Terrestrial Sources Contaminated with Radioactive Gas Radon-222.]. Orenburg, Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Publ., 2017, no. 1(63), pp. 174–177. (in Russ.)
14. Levin M.N., Negrobov O.P., Gitlin V.R., Selivanova O.V., Ivanova O.A. Radon: uchebnoye posobiye [Radon. Textbook]. Voronezh, Izdatel'sko-poligraficheskiy tsentr Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta Publ., 2008. 52 p.
15. [WHO Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective]. Geneva, World Health Organization Publ., 2009. 94 p.
16. Berkman I.N. Radon: vrag, vrach i pomoshchnik. Kurs lektsiy [Radon: Enemy, Doctor and Assistant. Course of Lectures]. Moscow, MSU Publ. 2000, 205 p.
17. Zhurba M.G., Sokolov L.I., Govorova Zh.M. Vodosnabzheniye. Proyektirovaniye sistem i sooruzheniy. Ochistka i konditsionirovaniye prirodnykh vod [Water supply. Design of Systems and Structures. Purification and Conditioning of Natural Waters]. Moscow, ASV Publ., 2010, vol. 2. 552 p.
18. Bekdash F. [Technologies and Costs for the Removal of Radon from Drinking Water. Science Applications International Corporation]. McLean, VA: Science Applications International Corporation Publish, 1999. 158 p.
19. Andreev A.I., Tsitsareva M.B. Sposob udaleniya radona iz vozduha pomeshheniya [Method for removing radon from the air of the field]. Pat. RF 2601737. IPC51 G21F 1/00, F24F 7/007. 2015126581/07; Appl. 02.07.2015; publ. 10.11.2016. <https://yandex.ru/patents>

Received 27 May 2020

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Самодолова, О.А. Очистка природной воды от радона / О.А. Самодолова, А.П. Самодолов, Е.В. Николаенко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 64–69. DOI: 10.14529/build200308

### FOR CITATION

Samodolova O.A., Samodolov A.P., Nikolaenko E.V. Purification of Natural Water from Radon. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2020, vol. 20, no. 3, pp. 64–69. (in Russ.). DOI: 10.14529/build200308