

УДК 551.521.9

**Глазачев Иван Вадимович**

магистрант,  
Уральский государственный  
горный университет,  
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30  
e-mail: [giv-20@mail.ru](mailto:giv-20@mail.ru)

**ОЦЕНКА МЕХАНИЗМОВ  
ПОСТУПЛЕНИЯ РАДОНА В ЗДАНИЯ***Аннотация:*

Радон – радиоактивный газ без цвета, вкуса и запаха. Попадая в организм человека, производит облучение и, как следствие, вызывает лейкемию и рак. Теоретические многолетние исследования позволяют говорить о путях поступления радона в здания, местах его скопления и миграции. Наличие грунтов с высоким содержанием радия под зданием, месторождения природного газа, воды, прошедшей через радийсодержащие породы, загрязненные строительные материалы, деятельность человека – все это усугубляет радоновую проблему. Рассмотрение основных механизмов поступления радона в здание позволяет прогнозировать поведение и распространение данного газа в толще воздуха здания, грунтах основания фундамента, предотвращать проникновение радона. Выделение основных механизмов поступления (диффузионный и конвективный) позволяют в дальнейшем проводить более точные исследования, связанные с радоном, выделять локальные радоновые аномалии.

*Ключевые слова:* радон, радиация, здание, поступление, облучение, строительные материалы, грунты, конвекция, диффузия.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.01.113

**Glazachev Ivan V.**

graduate student,  
Ural State Mining University,  
620144 Ekaterinburg,  
30 Kuibysheva Str.;  
e-mail: [giv-20@mail.ru](mailto:giv-20@mail.ru)

**ASSESSMENT OF MECHANISMS  
OF RADON INTAKE IN BUILDINGS***Abstract:*

Radon is a colorless, tasteless and odorless radioactive gas. Getting inside of the organism it can be dangerous to human health, since radiation may result in leukemia and cancer. Theoretical long-term studies allow us to say about the ways of radon income ways into buildings, places of gas accumulation and its migration routes. Consideration of the main mechanisms of radon ways of receipt inside buildings makes it possible to predict the gas behavior and distribution of radon in the building column air and in the foundation, and thus to prevent the penetration of radon. The revealing of the main receipt mechanisms (the diffusive one and the convective one) will enable conducting in the future more accurate studies, related to radon and its local anomalies.

*Key words:* radon, radiation, building, intake, irradiation, building materials, soils, convection, diffusion.

*Введение*

Радон – радиоактивный газ, не имеющий цвета и запаха. Радон в тех или иных количествах неизбежно присутствует в воздухе любого здания независимо от конструктивного типа, причем его объемная активность в атмосферном воздухе составляет около  $10 \text{ Бк/м}^3$  [1]. Плотность радона в 7,5 раз выше плотности воздуха. По данным Научного комитета по действию атомной радиации ООН, радон и его дочерние продукты распада обуславливают до 90 % дозовой нагрузки на население от естественных источников облучения. Радон вызывает рак легкого и лейкемию.

Подстилающий горный массив, на котором построено здание, является основным источником радона, объемная активность которого в грунтовой среде составляет десятки  $\text{кБк/м}^3$ . При повышенном содержании радия в грунте под зданием, при наличии глубже расположенных радийсодержащих образований, тектонических нарушений, разломов и т.п. объемная активность радона в грунтовой среде и, как следствие, в здании может серьезно возрасти.

*Изложение рассматриваемых вопросов*

В нашей стране проблеме радоноопасности в настоящее время не уделяют должного внимания, тогда как во многих развитых странах она рассматривается на вы-

соком уровне. Вопросами контроля и мониторинга радона в России занимаются сравнительно недавно, а конкретными мероприятиями, обеспечивающими снижение дозовых нагрузок от радона и его дочерних продуктов распада (ДПР), не интересуются вообще.

Радон неизбежно присутствует в воздухе любого здания. Объемная активность радона вне здания составляет около  $10 \text{ Бк/м}^3$ , а в зданиях она обычно выше, чем в атмосферном воздухе. Такое изменение обуславливается рядом причин:

- наличием источника радона в здании или около него;
- наличием путей проникновения радона в здание;
- наличием движущих сил, под действием которых радон поступает в здание;
- наличием путей миграции радона между источником радона и зданием.

Также поступление радона в здание будет обусловлено процессами воздухообмена с внешней средой.

Приведенная на рис. 1 схема показывает возможные источники радона, а также основные пути его поступления в здания вследствие существующих механизмов.

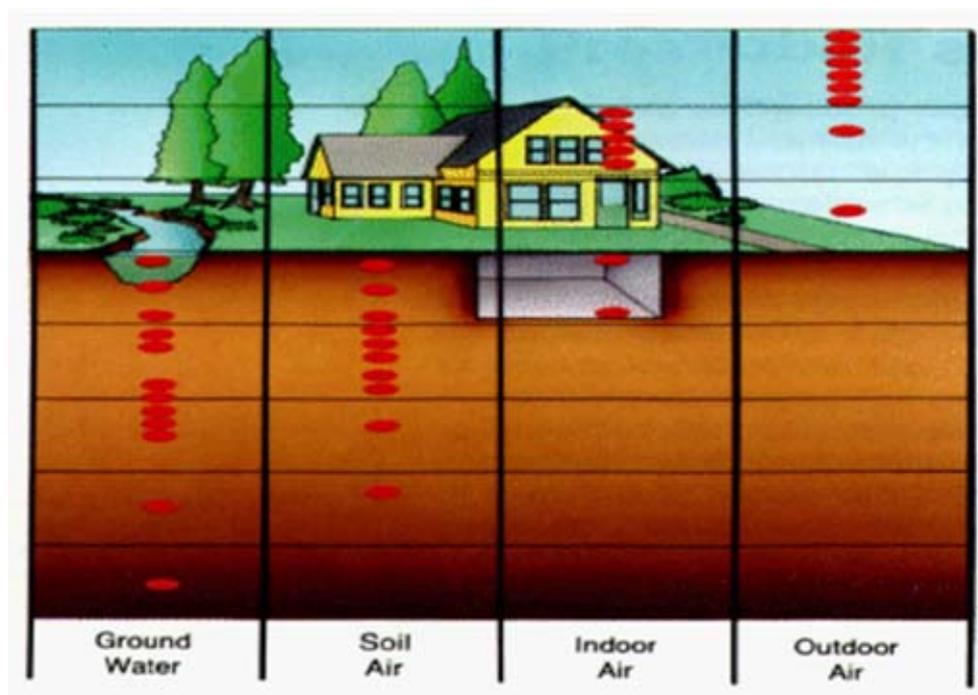


Рис. 1. Основные источники радона [3]

Основным источником радона является массив горных пород, на котором расположено здание. Объемная активность радона в грунтовом воздухе обычно достигает десятков и сотен  $\text{кБк/м}^3$ , причем активность радона на поверхности может расти, если под зданием расположены радийсодержащие рудные образования. Параметры потенциальной радоноопасности устанавливают при проведении инженерных изысканий [4].

Другим источником радона являются строительные материалы, из которых построено здание. Данный источник обычно является менее существенным и доминирует лишь в исключительных случаях. В качестве примера можно назвать случай использования в Швеции пенобетона, изготовленного на основе кварцевых сланцев с высоким содержанием радия [1].

Источником радона также является вода из артезианских скважин. При контакте воды с атмосферой происходит выделение растворенного радона в воздух помещения. Особенно это наблюдается при разбрызгивании воды. По данным Агентства по охране окружающей среды США, удельной активности радона в воде в  $10 \text{ Бк/кг}$  соответствует увеличение объемной активности радона в воздухе на  $1 \text{ Бк/м}^3$ . При этом следует отме-

туть, что, согласно действующим в России Нормам радиационной безопасности НРБ-99, допустимая удельная активность радона в источниках питьевого водоснабжения не должна превышать 60 Бк/кг. Выделение радона из воды происходит тем интенсивнее, чем больше площадь контакта воды с атмосферой и чем выше температура воды, т.е. при использовании душа, существенно меньшее – при стирке, уборке помещений и приготовлении пищи [1].

Из массива горных пород под зданием и строительных материалов радон мигрирует по порам и трещинам. Происходящие при этом процессы могут быть описаны несколькими механизмами:

1) диффузионным, т.е. наличием градиента концентраций радона в среде (скорость переноса радона при этом в основном определяется значением эффективного коэффициента диффузии радона в данной среде);

2) конвективным, т.е. вызванным наличием разности давлений между внутренним объемом здания и внешней атмосферой, различными частями здания и т.д.;

3) смешанным (конвективно-диффузионным), с доминирующим вкладом одного и существенным вкладом другого механизма [10, 11].

Принципиальное различие между механизмами поступления радона в здание приводит к необходимости создания различных подходов для описания данных процессов, а также к применению ряда мер по снижению влияния радона.

Пути проникновения радона в здание могут стать практически любые разуплотнения в оболочке здания, расположенные ниже уровня земли: трещины в перекрытиях, открытые участки массива горных пород в подвальном помещении или подпольном пространстве, вводы труб и коммуникаций, стыки между плитами и блоками и т.д. Поэтому можно утверждать, что при проектировании против радоновой защиты нужно учитывать все факторы и подходить к выбору метода исходя из требований и условий каждого здания в отдельности [2].

При рассмотрении диффузионного механизма поступления радона в помещение и его эманаций из строительных материалов [5] использовалась более простая модель описания механизма поступления, но в [1] указывается на то, что прямое применение соотношений, предложенных в [5] затруднено в случае оценки комплексного поступления радона в здание. Для описания диффузионного механизма поступления радона рассмотрим модель, предлагаемую в [1].

По данным [1] предположим равномерное распределение  $^{226}\text{Ra}$  или  $^{224}\text{Ra}$  в материале строительной конструкции (стене, плите перекрытия), а также однородность ее структуры. Для описания процессов диффузионного поступления радона из горных пород в здание необходимо адекватно представлять модель, отражающую распределение концентрации радона в грунтовой атмосфере около фундамента здания и под ним. Для оценки распределения концентрации радона в массиве горных пород под зданием вся область фундамента разделяется на две области (рис. 2) [6].



Рис. 2. Диффузионное поступление радона [6]

*Область 1* включает в себя массив горных пород, непосредственно примыкающий к боковой стене фундамента здания. К *Области 2* относится плита фундамента и расположенный под ней грунт. Для каждой из этих областей предполагается, что

- массив горных пород однороден;
- перенос радона через горный массив осуществляется только в вертикальном направлении;
- перенос радона обусловлен только диффузией;
- концентрация радона в грунтовом воздухе не зависит от времени.

Так как твердый бетон практически непроницаем для газов, проникновение газа происходит через трещины, промежутки и другие разуплотнения. Наибольшие промежутки наблюдаются возле мест контакта с инженерными коммуникациями, сервисных отверстий и по периметру монолитной плиты. Важность снижения количества и размеров трещин приводит к уменьшению поступления радона [7].

Основными причинами, оказывающими влияние на конвективный механизм поступления радона в здания, являются следующие:

- погодные эффекты [8];
- особенности конструкции здания;
- деятельность лиц, проживающих в здании.

Низкая температура наружного воздуха является одной из важнейших причин, приводящих к возникновению отрицательной разности давлений между зданием и наружной атмосферой. Поскольку температура воздуха в помещении выше, чем снаружи, возникает подъемная сила, приводящая к движению воздуха в верхнюю часть здания. Чем ниже температура вне здания, тем выше подъемная сила воздуха внутри. Теплый воздух утекает из здания (происходит эксфильтрация) через открытые участки в верхней части оболочки здания – окна, щели, необогреваемое чердачное помещение. Чтобы компенсировать эту потерю воздуха, наружный воздух натекает (происходит инфильтрация) в здание через окна и двери, расположенные в нижней части здания. Отчасти эксфильтрация теплого воздуха из здания компенсируется и натеканием почвенного воздуха через неплотности в фундаменте. Объем почвенного воздуха в общем объеме, поступающем в результате инфильтрации, относительно невелик, но именно с ним и проникает основное количество радона.

Поэтому закрытое здание можно рассмотреть как печную трубу.

Полностью исключить стек-эффект невозможно, но уменьшить его можно. Так, например, уменьшение эксфильтрации теплого воздуха из здания приводит к уменьшению инфильтрации воздуха из массива горных пород, обогащенного радоном.

Другой вариант борьбы со стек-эффектом – это уменьшение количества отверстий здания, расположенных выше нейтрального уровня.

Нейтральный уровень (плоскость) – это уровень, на котором давление снаружи здания и внутри него равны [1].

Максимальное сокращение таких отверстий и их площади также приводит к уменьшению стек-эффекта. В частности, внешняя герметизация здания позволяет практически полностью исключить данный эффект.

Герметизация оболочки здания также способствует уменьшению разности давлений, создаваемых ветровыми потоками.

Уменьшению восходящих потоков воздуха в здании может также способствовать уменьшение воздушных потоков между этажами. Установка дверей на лестничных пролетах или даже устройств для автоматического закрывания дверей может заметно повлиять на радоновую обстановку, например, в двухэтажном коттедже. Для многоэтажных зданий, имеющих сплошные лестничные пролеты и зачастую лифтовые шахты, создание внутренних барьеров, препятствующих конвективному движению воздуха внутри здания, затруднительно.

Деятельность лиц, проживающих непосредственно в здании, также влияет на его радоновую безопасность. Использование различных отопительных и вентиляционных устройств приводит к созданию отрицательной разности давлений. Бытовые кухонные вытяжные системы работают только в вытяжном режиме, что также приводит к дополнительной инфильтрации грунтового воздуха, обогащенного радоном. Все бытовые причины носят временный характер, поэтому учесть их чрезвычайно трудно.

#### Заключение

Присутствие радона в жилых и служебных помещениях представляет серьезную проблему, так как существенный ущерб коллективному здоровью населения достигается крайне малыми концентрациями этого радиоактивного газа. Содержание радона в воздухе помещений ограничивается на законодательном уровне. Рекомендациями международных организаций (МАГАТЭ, ВОЗ, Международная комиссия по радиологической защите) устанавливаются приемлемые дозы облучения радоном, на основании которых каждое государство утверждает собственные национальные контрольные уровни. Обеспечение непревышения законодательно закрепленных уровней радона в воздухе помещений возможно только за счет ограничения его поступления из основного источника. В подавляющем большинстве случаев таким источником выступает грунт под зданием. Уровни радона в помещениях нижнего этажа на 90 % формируются за счет его поступления из грунта в основании здания [9].

На основе упрощенной диффузионной модели исследован процесс переноса радона сквозь конструкции посредством диффузии. По результатам исследований диффузионный механизм является доминирующим. А в зданиях для определения поступления радона в конструкции с малым сопротивлением радона прониканию необходима конвективно-диффузионная модель, при проницаемости слоев  $10^{-10}$  м диффузионной составляющей пренебрегают [12].

#### Список литературы

1. Жуковский М.В., Кружалов А.В., Гурвич В.Б., Ярмошенко И.В., 2000. *Радоновая безопасность зданий*. Екатеринбург: УрО РАН, Институт промышленной экологии, 179 с.
2. Климшин А. В., Глазачев И. В., 2011. *Автоматизированная система снижения уровня радона в помещении*. Патент на полезную модель. URL: [https://rusneb.ru/catalog/000224\\_000128\\_0000111661\\_20111220\\_U1\\_RU/?ysclid=lef639jb6e511553498](https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000111661_20111220_U1_RU/?ysclid=lef639jb6e511553498) (дата обращения 22.02.2023)
3. *Radon research in multi disciplines: A REVIEW*, Session 2, January 18, 2007 URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.208.4232&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения 12.02.2023)
4. *Инженерно-экологические изыскания для строительства*. СП 11-102-97. М., 1997. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001220?ysclid=le6rv2lelf993688229> (дата обращения 11.02.2023)
5. Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., 1997. *Радон: измерение, дозы, оценка риска*. Екатеринбург: УрО РАН, Институт промышленной экологии, 230 с.
6. Riley W.J., Robinson A.L., Gadgil A.J., Nazaro W.W., 1998. *Effects of variable wind speed and direction on radon transport from soil into buildings: model development and exploratory results*, Received 9 June 1998; accepted 14 October
7. Allen L. Robinson and Richard G. Sextro, 1995. *The influence of a subslab layer and open area on soil-gas and radon entry into two experimental basements*, September.
8. Robert K., Paul N., 2009. *A living radon reference manual*, US, September. URL: [https://aarst.org/proceedings/2009/A\\_LIVING\\_RADON\\_REFERENCE\\_MANUAL.pdf](https://aarst.org/proceedings/2009/A_LIVING_RADON_REFERENCE_MANUAL.pdf) (дата обращения 8.02.2023)
9. Калайдо А.В., Римшин В.И., Семенова М.Н., 2021. Оценка вкладов диффузионного и конвективного поступления радона в здания. *Жилищное строительство*, № 7, С. 48 – 54.

10. Калайдо А.В., Римшин В.И., Семенова М.Н., 2021. Обеспечение приемлемых уровней облучения радоном в зданиях пассивными радонозащитными технологиями. *БСТ: Бюллетень строительной техники*, № 6 (1042), С. 20 – 22.

11. Матецкая Л.С., Конев И.Н., 2017. Радиация и здоровье. *Избранные доклады 63-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых учёных, Томск, 20 апреля 2017 года*. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, С. 697 – 700.

12. Бакаева Н.В., Калайдо А.В., 2017. Условия диффузионного поступления радона в здания и сооружения. *Современная наука и инновации*, № 2(18), С. 141 – 145.

### References

1. Zhukovskij M.V., Kruzhalov A.V., Gurvich V.B., Yarmoshenko I.V., 2000. Radonovaya bezopasnost' zdaniy [Radon safety of buildings]. Ekaterinburg: UrO RAN, Institut promyshlennoj jekologii, 179 p.

2. Klimshin A.V., Glazachev I.V., 2011. Avtomatizirovannaya sistema snizheniya urovnya radona v pomeshhenii [Automated radon reduction system in the room]. Patent na poleznu model'. URL: [https://rusneb.ru/catalog/000224\\_000128\\_0000111661\\_20111220\\_U1\\_RU/?ysclid=lef639jb6e511553498](https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000111661_20111220_U1_RU/?ysclid=lef639jb6e511553498) (data obrashheniya 22.02.2023)

3. *Radon research in multi disciplines: A REVIEW*, Session 2, January 18, 2007 URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.208.4232&rep=rep1&type=pdf> (data obrashheniya 12.02.2023)

4. Inzhenerno-jekologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva [Engineering and environmental surveys for construction]. SP 11-102-97. M., 1997. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001220?ysclid=le6rv21elf993688229> (data obrashheniya 11.02.2023)

5. Zhukovskij M.V., Yarmoshenko I.V., 1997. Radon: izmerenie, dozy, ocenka riska [Radon: measurement, dose, risk assessment]. Ekaterinburg: UrO RAN, Institut promyshlennoj jekologii, 230 p.

6. Riley W.J., Robinson A.L., Gadgil A.J., Nazaro W.W., 1998. *Effects of variable wind speed and direction on radon transport from soil into buildings: model development and exploratory results*, Received 9 June 1998; accepted 14 October

7. Allen L. Robinson and Richard G. Sextro, 1995. *The influence of a subslab layer and open area on soil-gas and radon entry into two experimental basement*, September.

8. Robert K., Paul N., 2009. *A living radon reference manual*, US, September. URL: [https://aarst.org/proceedings/2009/A\\_LIVING\\_RADON\\_REFERENCE\\_MANUAL.pdf](https://aarst.org/proceedings/2009/A_LIVING_RADON_REFERENCE_MANUAL.pdf) (data obrashheniya 8.02.2023)

9. Kalajdo A.V., Rimshin V.I., Semenova M.N., 2021. Ocenka vkladov diffuzionnogo i konvektivnogo postupleniya radona v zdaniya [Assessment of the contributions of diffusive and convective radon intake into buildings]. *Zhilishhnoe stroitel'stvo*, № 7, P. 48 – 54.

10. Kalajdo A.V. Rimshin V.I., Semenova M.N., 2021. Obespechenie priemlemyh urovnej oblucheniya radonom v zdaniyah passivnymi radonozashhitnymi tehnologiyami [Ensuring acceptable levels of radon irradiation in buildings with passive radon-protective technologies]. *BST: Blliten' stroitel'noj tehniki*, № 6 (1042), P. 20 – 22.

11. Mатецкая L.S., Konev I.N., 2017. Radiaciya i zdorov'e [Radiation and health]. *Izbrannye doklady 63-j Universitetskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov i molodyh uchjonyh* [Ensuring acceptable levels of radon irradiation in buildings with passive radon-protective technologies], Tomsk, 20 aprelya 2017 goda. Tomsk: Tomskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, P. 697 – 700.

12. Bakaeva N.V., Kalaido A.V., 2017. Usloviia diffuzionnogo postupleniia radona v zdaniia i sooruzheniia [Conditions for the diffusion of radon into buildings and structures]. *Sovremennaia nauka i innovatsii*, № 2(18), P. 141 – 145.