

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА РЕГИСТРАЦИИ РАДОНА И ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЕГО АКТИВНОСТИ В ПОЧВЕ, ВОДЕ И ВОЗДУХЕ (на примере г. Казани и Приказанья)

Р.Н. Апкин, А.В. Демидов, А.А. Забелин

Казанский государственный энергетический университет
ул. Красносельская, 51, Казань, Татарстан, 420066

В статье рассматриваются проблемы регистрации радона в городских условиях. Анализируются основные пути поступления радона в помещения, зависимость его концентрации от природных условий исследуемой местности. Показаны конкретные результаты проведенных замеров активности радона в водных источниках г. Казани, подвалах жилых домов и почве города и пригорода.

Ключевые слова: радон, концентрация, эсгалиция, почва, геолого-геоморфологические характеристики, методика замеров.

С 1987 г. Международный центр по исследованию раковых заболеваний (CIRC, Лион, Франция) классифицирует продукты распада радона как канцерогены, вызывающие рак легких у людей (Группа 1 классификации IARC канцерогенов). В 1994 г. под руководством Национального института раковых заболеваний (США) был проведен объединенный анализ данных по обследованию 11 трудовых коллективов подземных рудников. Анализ проводился на основе данных исследований более чем 65 тыс. рабочих и 2620 случаев заболевания раком легких. Радон и дочерние продукты его распада (ДПР), проникая в легкие и оседая в легочной ткани, распадаясь, вызывают микроожоги, поскольку вся энергия альфа-частиц поглощается практически в точке распада. Проведенный анализ выявил прямую связь между заболеваемостью раком легких и продолжительностью воздействия на горняков радона в высокой концентрации. После того, как была обнаружена прямая зависимость между заболеваемостью раком легких и концентрацией радона в жилых и офисных помещениях, были введены международные нормы, по которым при проектировании новых зданий жилого и социально-бытового назначения среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона в воздухе не должна превышать 100 Бк/м^3 ; в построенных зданиях ЭРОА не должна превышать 200 Бк/м^3 , при больших ее значениях должны проводиться защитные мероприятия [3].

Радон — радиоактивный химический элемент главной подгруппы 8-й группы, 6-го периода периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева с атомным номером 86, образующийся в ходе естественного радиоактивного распада урана и имеющий собственный период полураспада 3,8 дней. В нормальных условиях представляет собой бесцветный инертный газ без вкуса и запаха. Поскольку уран присутствует в составе земной коры со времени формирования нашей планеты и его наиболее часто встречаемые изотопы имеют весьма длительный период полураспада (4,5 млрд лет), уран, радий и, следовательно, радон продолжают присутствовать в атмосфере Земли в неизменном количестве еще длительное время [6].

Выделение (эксхалляция) радона из почвы осуществляется двумя механизмами: за счет отдачи и за счет диффузии. Во-первых, радон как радиогенный газ непрерывно генерируется в горных породах в процессе радиоактивного распада, т.е. всегда присутствует в любом горном массиве, и уменьшение его концентрации как за счет распада, так и за счет миграции из массива в воздух постоянно компенсируется новой генерацией этого газа. Поэтому среднее содержание радона в массиве всегда постоянно и определяется концентрацией урана (радия) в этом массиве. Во-вторых, миграция радона в горном массиве и его выделение с поверхности почвы определяются макроскопическим коэффициентом диффузии, который зависит от многих факторов. Наиболее важными из них являются пористость, проницаемость и трещиноватость. При наличии трещиноватости (проницаемости) верхней части массива и восходящих газовых потоков конвекционный перенос радона с газовыми струями может осуществляться с глубин до 200 м. Радон надежно регистрируется при наличии приблизительно 30—50 распадов в секунду в одном кубическом метре, т.е. активность радона составляет 30—50 Бк/м³. Это значит, что в одном кубическом метре содержится $(0,2—0,3) \times 10^7$ атомов радона, или его концентрация в газовой смеси составляет около 10—16% [5].

Содержание эманаций (²²²Rn и ²²⁰Th) и продуктов их распада в воздухе определяется в основном эксхалляцией их с земной поверхности (почв, грунтов, растительного покрова) и турбулентной диффузией их в атмосфере. В некоторой степени на содержание долгоживущих продуктов распада радона (²¹⁰Pb и ²¹⁰Po) влияет вулканическая деятельность. Содержание ²²²Rn в приземном слое воздуха иногда хорошо коррелирует с содержанием ²²⁶Ra в приповерхностном слое почвы. Однако районы с высоким содержанием ²²²Rn в воздухе все же чаще связаны с особенностями геологической структуры и геохимическими характеристиками подстилающих пород.

Типичные скорости эманирования радона с земной поверхности изменяются от 2×10^{-4} Бк/м²с для скальных пород, до $(8—21) \times 10^{-3}$ Бк/м²с для горных почв, $(4—50) \times 10^{-3}$ Бк/м²с для подзолистых почв, $(5—38) \times 10^{-3}$ Бк/м²с для пустынных почв и до $(21—53) \times 10^{-3}$ Бк/м²с для черноземов. В зонах с аномальными геолого-геохимическими условиями скорость эксхалляции радона достигает до $5,25 \times 10^2$ Бк/м²с. Средневзвешенная по площади скорость эксхалляции радона $1,6 \times 10^{-2}$ Бк/м²с [2].

Радон больше всего накапливается в закрытых помещениях, в подвалах и на первых этажах, а в проветриваемых помещениях концентрация его резко падает, поэтому естественный интерес представляет его поведение в подземных помещениях жилых домов и офисных зданий, так как не исключается возможность распространения радона на верхние этажи зданий. Основными путями поступления изотопов радона и ДПР в подвальные и первые этажи помещений зданий и сооружений являются следующие:

— из недр Земли по тектоническим нарушениям, которые, являясь своеобразными коллекторами, способствуют подъему и накоплению радона (своеобразное «дыхание Земли») близ поверхности и далее он просачивается через фундамент зданий;

— строительные и отделочные материалы (цемент, щебень, кирпич, гранит, мрамор и др.). При этом эксгаляция радона определяется как содержанием радия в материалах, так и величиной коэффициента эманации (доля радона, которая поступает в атмосферу от общего количества радона, образующегося в материале);

— вода, особенно при подаче ее из артезианских колодцев либо рек, протекающих по техногенно-загрязненной или естественно-загрязненной радиацией территории. В подземных водах концентрация радона может превышать аналогичный параметр в водах озер и рек в миллионы раз. При использовании больших количеств воды (душ, прачечная и т.п.) с разбрызгиванием и испарением интенсивность попадания изотопов радона и ДПР в воздух производственных помещений резко возрастает;

— природный газ. При его использовании в больших количествах в котельных, столовых, кухнях и т.п. и недостаточной вентиляции помещений концентрация изотопов радона и ДПР также может превысить ПДК.

В грунтовых водах радона, как правило, заметно больше, чем в открытых водоемах. Так, в подземных водах его концентрация изменяется от $3,7 \times 10^{-1}$ до $3,7 \times 10^5$ Бк/л, в то время как в водах озер и рек она редко превышает $3,7 \times 10^{-2}$ Бк/л.

Существуют различные точки зрения относительно того, какие регионы следует отнести к потенциально опасным по концентрации радона в почве, воде и атмосфере. Так, О. Агаев в своем исследовании при районировании территории России по степени радоноопасности использовал следующие критерии:

— к площадям опасным по радону отнесены регионы, в которых установлены рудопроявления и месторождения урана, но непосредственно аномальных концентраций радона в почвенном воздухе, в подземных водах и т.д. не обнаружено;

— площадям потенциально опасным по радону отнесены те регионы, в которых урансодержащие горные породы развиты незначительно и не выходят на дневную поверхность;

— к неопасным по радону отнесены площади, на которых неизвестны месторождения урана, а рудопроявления перекрыты наносами.

Хотя Казань не относится к районам, опасным по радону, мы считаем, что из-за своих геолого-геоморфологических характеристик территория Казани также представляет интерес для исследования концентрации радона в почве, воде и воздушной среде. Левобережье Волги, как и все Среднее Поволжье, расположено в вос-

точной части Русской платформы. В осадочном чехле платформы, начиная с карбона, прослеживается зона Вятских дислокаций, состоящая из нескольких коротких валов и куполовидных поднятий — бранхиантиклиналий и синклинальных прогибов. На территории г. Казани и его окрестностей выявлено три бранхиантиклинали [4]: Киндерская, Казанская и Верхнеуслонская с несимметричными склонами, часто осложненными прогибами между ними. В южной части района также прослеживается структуры типа бранхиаклиналий и бранхисинклиналий, в частности три бранхисинклинали на Столбищенско-Мешинском отрезке, котловинообразное опускание с центром у с. Никольское, широкая приподнятая полоса по линии Теньки—Красновидово—Рождествено—Сингели — низовья р. Кама и широкое тектоническое опускание в устье р. Кама.

Проводниками радона под землей являются региональные разломы, заложенные в допалеозойское время, и разломы, активизированные в мезо-кайнозойское время, с помощью которых радон появляется на поверхности земли и частично концентрируется в рыхлых слоях пород земли. Эти разломы, имеющиеся на территории Казани и Приказанья, показаны на рис. 1.

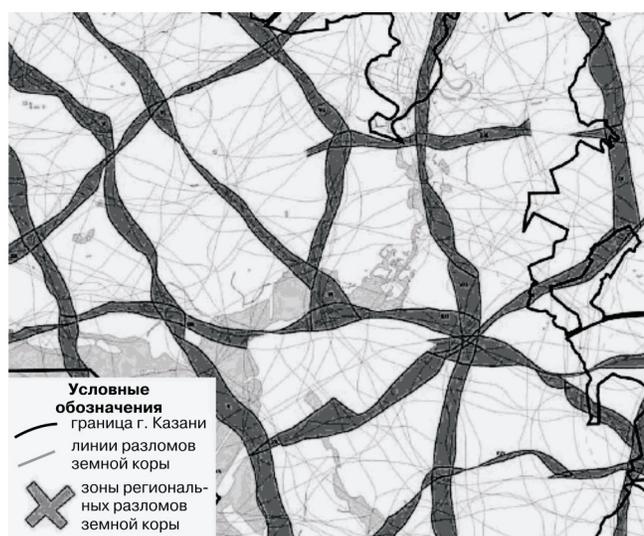


Рис. 1. Разломы земной коры на территории г. Казани

На сегодняшний день существует множество различных физико-химических и физических методов регистрации активности радона. Наиболее распространенным физическим методом является регистрация с помощью электростатического осаждения дочерних продуктов распада (ДПР) радона на поверхности полупроводникового детектора (ППД) альфа-частиц того или иного типа с последующей их амплитудной селекцией по уровню энергии. Важно помнить, что учитываются только альфа-распады ДПР радона, а не самого газа, поскольку считается, что именно они представляют радиобиологическую опасность [6].

В нашей работе использовались радон-мониторы немецкой фирмы SARAD, основанные на описанном принципе. Для измерений непосредственно на почве применялись радон-монитор RTM-1688 и его модификация для длительных ав-

тономных измерений с выносным зондом GeoStation. Возможность долгой автономной работы последнего в сочетании с одновременной регистрацией температуры, атмосферного давления и влажности позволяет непрерывно отслеживать динамику концентрации радона на длительном отрезке времени, а также ее зависимость от метеопараметров. Технические характеристики приборов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические данные используемых приборов

Прибор	Принцип действия	Чувст-ть, част/мин. при 1000 Бк/м ³	Время реакции, мин.
DoseMan	Пассивный. Эл/ст осаждение ДПР ²²² Rn на ППД	0,37	15
RTM-1688	Активный. Эл/ст осаждение ДПР ²²² Rn и ²²⁰ Rn	7	15
RTM-1688 «GeoStation»	Пассивный выносной зонд. Эл/ст осаждение ДПР ²²² Rn и ²²⁰ Rn	1,8	15
RadonScout PLUS	Пассивный. Эл/ст осаждение ДПР ²²² Rn на ППД	1,8	120

Описанная методика регистрации радона в воздухе может также быть использована для воды и почвы, но в этом случае имеются некоторые нюансы. Так, помимо собственно измерения концентрации в ней радона, которая зависит от множества факторов, таких как глубина измерения, метеорологические факторы, интенсивность излучения радиоактивных пород и т.д., имеет смысл проводить измерение плотности потока газа, выходящего из почвы, измеряемой в беккерелях на метр квадратный в секунду (Бк/м²·с). При этом обычно пользуются активным методом отбора проб воздуха, поскольку в случае пассивного отбора понадобится слишком много времени. Исследуемый участок почвы накрывают сосудом произвольной формы, плотно прилегающим по периметру участка, чтобы исключить утечки газа. Далее измеряется приращение концентрации радона в полученном замкнутом объеме за данный промежуток времени, после чего из полученных данных узнать плотность потока радона не составляет труда.

Регистрация радона в воде, пожалуй, наиболее специфична, поскольку непосредственные замеры концентрации в силу особенностей среды, как правило, затруднительны. В этом случае прибегают к иным методам. Отобранную пробу воды помещают в герметичную емкость и затем производят ее аэрацию в замкнутом объеме, в который включается радон-монитор. Атмосферный воздух, находящийся в контуре, вытесняет растворенный в воде газ, и через некоторое время в системе устанавливается равновесное состояние между концентрацией радона в воздухе и воде. После этого нетрудно вычислить исходную концентрацию радона в пробе воды, измерив концентрацию радона в системе и зная объемы воды и воздуха.

Характерной особенностью структуры почвенного покрова г. Казани является фрагментарность размещения почв, обусловленная пространственным чередованием ареалов почв и фундаментов зданий, коммуникаций и асфальтобетонных покрытий. За последние десятилетия Казань переживала интенсивную застройку.

Благодаря крупным коммерческим инвестиционным проектам в городе ежегодно строятся сотни тысяч квадратных метров жилья, строительство будет только набирать обороты. В связи с этим массово засыпаются песком заболоченные участки города. Это первые террасы рек, прежде всего р. Казанки. На этих территориях обнаружены наименьшие концентрации радона, средние значения концентраций радона в почвенном воздухе составили 1500 Бк/м^3 . Данные территории лежат на низких отметках рельефа (55—60 м) и сложены аллювиальными отложениями и песчаными почвами с близким залеганием грунтовых вод. Кроме естественного заболачивания, после заполнения в 1957 г. ложа Куйбышевского водохранилища большая часть первой надпойменной террасы в черте города оказалась в зоне подтопления. Это, безусловно, отразилось на поступлении радона в верхние горизонты грунта, т.е. концентрация радона в почве этих территорий уменьшилась.

Наибольшие концентрации радона в почве были обнаружены на высоких участках с отметками 100—120 м над меженным уровнем Волги. Это территории междуречных пространств с почвами, образовавшимися на породах пермского возраста. Значения концентрации составили 3700, 3800 и 4600 Бк/м^3 . В целом, по данным 30 замеров среднее значение концентрации радона в почвенном воздухе на территории города Казани составило 2600 Бк/м^3 .

Проведя оценочные замеры активности радона в почве, мы обратились к непосредственным замерам внутри зданий и жилых помещений. Одним из первых нами был обследован подвал старого жилого дома 1950 г. постройки по улице Б. Красная. Подвал дома представляет собой интерес еще и потому, что когда-то использовался в качестве бомбоубежища и пол здесь забетонирован, однако с течением времени бетонное покрытие рассохлось, в нем появились трещины, что должно способствовать проникновению радона в подвальные помещения (рис. 2).

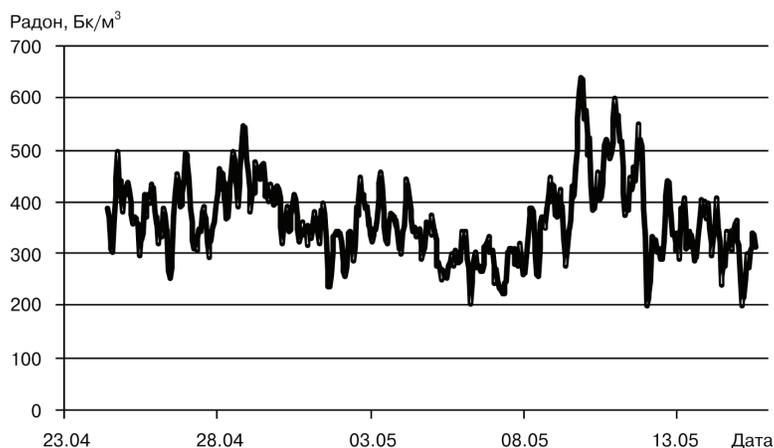


Рис. 2. Активность радона в подвальном помещении дома 59 по ул. Б. Красная

Результаты замеров подтвердили наше предположение: средняя активность радона за время наблюдения составила 400 Бк/м^3 с единичными пиками в 640 Бк/м^3 , наблюдаемыми в течение трех дней. Помимо радона, в воздухе подвального помещения было зафиксировано присутствие радиоактивного изотопа ^{220}Rn — торона,

который представляет более высокую радиологическую опасность. Причину наличия его в воздухе можно предположить именно наличием трещин в бетонном покрытии, поскольку в ходе нашей работы в помещениях с бетонными полами торон нами больше нигде не фиксировался.

В ходе отработки методики замера активности радона в воде, в течение лета нами был произведен анализ проб воды, взятых из оз. Нижний Кабан. Данное озеро используется в качестве охладительного водоема для казанской ТЭЦ-3, следовательно, проведенные нами замеры могут послужить дополнением к анализу влияния электростанции на состояние водоема. Замеры показали крайне низкую активность радона во всех отобранных пробах воды, максимальная концентрация при этом составила 0,2 Бк/л. Возможной причиной столь низких концентраций радона в водах оз. Кабан можно считать малое его поступление из почвы, а также аэрацию водоема, происходящую благодаря установленным на озере фонтанам. Работа по исследованию активности радона в придонных слоях, а также в грунте будет продолжена.

Учитывая особенности механизма распространения радона в грунтовых водах, мы также произвели замеры его активности в пробах воды, взятых из подземных скважин в пос. Мирный возле Казани. Всего было исследовано шесть скважин глубиной 40, 50 и 60 м. В двух наиболее глубоких скважинах нами был обнаружен радон, активность которого составила 2,2 Бк/л. Принимая во внимание крайне высокие (30—35 кБк/м³) концентрации радона в почве, полученные в ходе предварительных работ в поселке, можно предположить залегание на небольших глубинах радиоактивных пород. Нами ведется дальнейшая работа по изучению активности радона в пос. Мирный, в том числе и в жилых домах.

Как показывает наше исследование, на территории г. Казани в силу геолого-геоморфологического строения района имеются как места с повышенной активностью радона как в почве, так и в воде. Жильцы зданий, расположенных в подобных зонах, особенно в частном секторе, подвергаются риску облучения от радона, поступающего в помещение извне и накапливающегося в нем, при этом люди зачастую не осведомлены об опасности.

Наша работа в этом направлении, безусловно, будет продолжена с целью систематизации полученных данных, выявления наиболее радоноопасных участков и принятия соответствующих мер по снижению риска накопления газа в жилых помещениях. Авторы выражают надежду, что полученный опыт в дальнейшем может быть применим и к другим городам Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Исследования вариации концентрации радона в воздухе подземных сооружений Ташкентского метрополитена. URL: <http://www.metrotashkent.narod.ru/articles/1999-1.htm>
- [2] Радиоактивность атмосферы: Материалы лекций физического факультета Южного федерального университета. URL: phys.rsu.ru/web/nuclear/radioecologie/fRE7.htm
- [3] СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009».
- [4] Тайсин А.С. Озера Приказанского района, их современные природные и антропогенные изменения. — ТГППУ, Казань, 2006.

- [5] *Уткин В.И.* Радон и проблема тектонических землетрясений. Урал. гос. профессионально-педагогический университет. — Екатеринбург, 2000.
- [6] *Charles Richard Cothorn, James E Smith.* «Environmental radon» (1987). — С. 15—17.
- [7] Toxological profile for radon, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Public Health Service, In collaboration with U.S. Environmental Protection Agency, December 1990.

**CURRENT TRENDS IN RADON DETECTION ISSUES
AND PHYSICAL METHODS OF MEASURING
ITS ACTIVITY IN SOIL, WATER AND AIR
(in Kazan and Its Vicinity)**

**R.N. Apkin, A.V. Demidov,
A.A. Zabelin**

Kazan state power engineering university
Krasnosel'skaya str., 51, Kazan city, Republic of Tatarstan, 420066

The article deals with main problems of radon detection for provision of human life safety in office, living and other kinds of buildings. It analyses the most common ways of penetration of the gas under investigation into the buildings, dependence of its concentration on seasonal and meteorological parameters, kind of soil the building was erected on and geological-morphological characteristics of the site. Concrete results of radon activity measurements in water sources of Kazan, living houses basements and soil in the city and its suburbs are given.

Key words: radon, concentration, exhalation, soil, geological-morphological characteristics, measuring methods.