

**ДОСТУПНО О СЛОЖНОМ**

Гаджиев В.И., Пильчик И.В., Лемякина Д.В.

# **РАДИАЦИЯ И ЧТО МЫ ЗНАЕМ О НЕЙ...**



**ФЗСХ**

## ЧТО ТАКОЕ РАДИАЦИЯ?

В представлении многих единственным источником опасной радиации является ядерная отрасль, радиоактивные изотопы, образующиеся в процессе работы атомных электростанций, радиохимических производств, испытаний ядерного оружия. При этом человек легко готов записать себя в категорию пострадавшего, даже получив совершенно

незначительную радиоактивную дозу. А вообще, бывают ли незначительные, неопасные для здоровья дозы радиации? И если бывают, то какую дозу можно считать незначительной? Постараемся ответить на эти и некоторые другие вопросы и провести более или менее четкую границу между реальной и вымышленной опасностью радиации.

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Облучению от естественных источников радиации подвергаются все жители Земли, при этом, одни из них получают большие дозы, чем другие. В зависимости, в частности, от места проживания. Так уровень радиации в некоторых местах земного шара, там, где особенно залегают радиоактивные породы, оказывается значительно выше среднего, в других местах — соответственно, ниже. Доза облучения зависит также от образа жизни людей. Применение некоторых строительных материалов, использование газа для приготовления пищи, открытых угольных жаровень, герметичность помещений и даже полеты на самолетах — все это увеличивает уровень облучения за счет естественных источников радиации.

Земные источники радиации в сумме ответственны за большую часть облучения, которому подвергается человек за счет ес-

тественной радиации. Остальную часть радиации вносят космические лучи.

Космические лучи, в основном, приходят к нам из глубин Вселенной, но некоторая их часть рождается на Солнце во время солнечных вспышек. Космические лучи могут достигать поверхности Земли или взаимодействовать с ее атмосферой, порождая вторичное излучение и приводя к образованию различных радионуклидов.

Нет такого места на Земле, куда бы не падал этот невидимый космический поток. Но одни участки земной поверхности более подвержены его действию, чем другие. Например, Северный и Южный полюсы получают больше радиации, чем экваториальные области, из-за наличия у Земли магнитного поля, отклоняющего заряженные частицы (из которых, в основном, и состоят космические лучи).

Существенно также то, что уровень облучения растет с высотой над поверхнос-

## Радиация в повседневной жизни

«Среднее» фоновое облучение жителя Земли **2400** мкЗв/год

В том числе:

Излучение земных пород **450** мкЗв/год

Излучение из космоса **290** мкЗв/год

Продукты питания **290** мкЗв/год

Радон, присутствующий в воздухе **1200** мкЗв/год

и другое



Радоновые ванны за сеанс	<b>14</b> мкЗв
Рентгенография грудной клетки за процедуру	<b>50</b> мкЗв
Рентгенографическое исследование желудочно-кишечного тракта за процедуру	<b>600</b> мкЗв
Компьютерная томография грудной клетки за процедуру	<b>6900</b> мкЗв
Стандартная доза облучения населения, живущего вблизи АЭС в год	<b>50</b> мкЗв
Перелет в самолете из Минска в Нью-Йорк и обратно за время перелета	<b>200</b> мкЗв
Естественный природный фон в Республике Алтай (Российская Федерация) в год	<b>10000</b> мкЗв
Бразилия, пляжи курорта Гуарарапири в год	<b>9700</b> мкЗв
Предельная доза облучения, разрешенная для лиц, участвующих в ликвидации последствий аварии в год	<b>250000</b> мкЗв

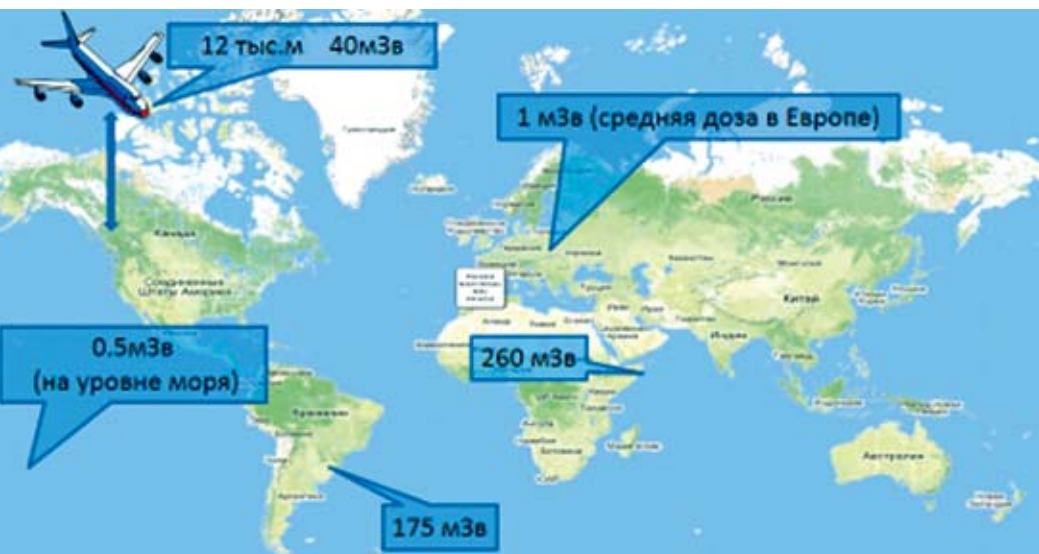
тью земли, поскольку при этом над нами остается все меньше воздуха, играющего роль защитного экрана. Это важно знать людям, часто летающим на самолетах.

Основные радионуклиды, встречающиеся в горных породах Земли, — это калий-40, рубидий-87 и члены двух радиоактивных семейств, берущих начало от урана-238 и тория-232, включившихся в состав Земли с самого ее рождения.

Как уже отмечалось, уровни земной радиации неодинаковы для разных мест земного шара и зависят от концентрации радионуклидов в том или ином участке земной коры. В местах проживания основ-

ной массы населения они примерно одного порядка. Но есть, однако, такие места, где уровни земной радиации намного выше. Так неподалеку от города Посус-ди-Калдас в Бразилии, расположенного в 200 км к северу от Сан-Паулу, есть небольшая возвышенность. Здесь уровень радиации в 800 раз превосходит средний. В Иране, в районе города Рамсер, где бьют ключи, богатые радием, зарегистрированы уровни радиации, превышающие средние в 1300 раз. Известны и другие места на земном шаре с высоким уровнем радиации, например, в Индии, Франции, Нигерии, на Мадагаскаре.

В среднем примерно 70% эффективной



эквивалентной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, поступает от радиоактивных веществ, попавших в организм с пищей, водой и воздухом.

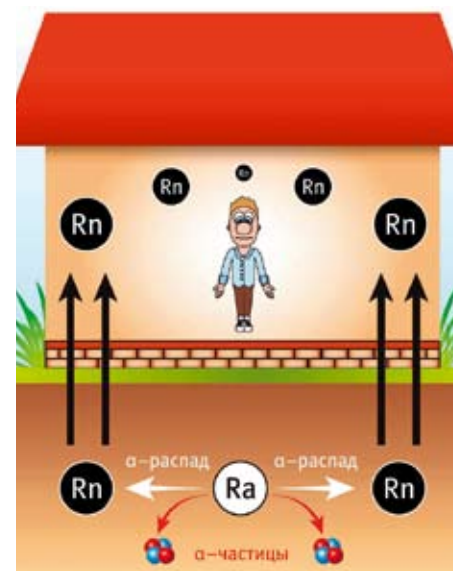
Совсем небольшие дозы приходится на радиоактивные изотопы типа углерода-14 и трития, которые образуются под воздействием космической радиации. Все остальное поступает от источников земного происхождения. Достаточно большую долю радиации человек получает от калия-40, который усваивается организмом вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для жизнедеятельности организма. Но большую дозу внутреннего облучения человек получает от нуклидов радиоактивного ряда урана-238 и в меньшей степени от радионуклидов ряда тория-232. Некоторые из них, например, нуклиды свинца-210 и полония-210, поступают в организм с пищей. Они концентрируются в рыбе и моллюсках, поэтому люди, потребляющие много рыбы и других даров моря, могут получить относительно высокие дозы облучения.

Относительно недавно ученые поняли,

что самым значимым естественным радиоактивным изотопом, вносящим наибольший вклад в облучение человека, является радон ( $^{222}\text{Rn}$ ) — радиоактивный благородный газ, образующийся в результате распада радия ( $^{226}\text{Ra}$ ). Радон вместе со своими дочерними продуктами радиоактивного распада ответственен примерно за 75% годовой эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой человеком от земных источников радиации. Большую часть этой дозы человек получает от радионуклидов, попадающих в его организм вместе с вдыхаемым воздухом, особенно в непроветриваемых помещениях.

Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрация в наружном воздухе существенно отличается для разных точек земного шара. В зонах с умеренным климатом концентрация радона в закрытых помещениях в среднем примерно в 8 раз выше, чем в наружном воздухе.

Радон концентрируется в воздухе внутри помещений лишь тогда, когда они в достаточной мере изолированы от внешней среды. Поступая внутрь помещения тем



или иным путем (просачиваясь через фундамент и пол из грунта или, реже, высвобождаясь из материалов, использованных в конструкции дома), радон накапливается в нем. В результате в помещении могут возникать довольно высокие уровни радиации, особенно, если дом стоит на грунте с относительно повышенным содержанием радионуклидов, или если при его постройке использовали материалы с повышенной радиоактивностью.

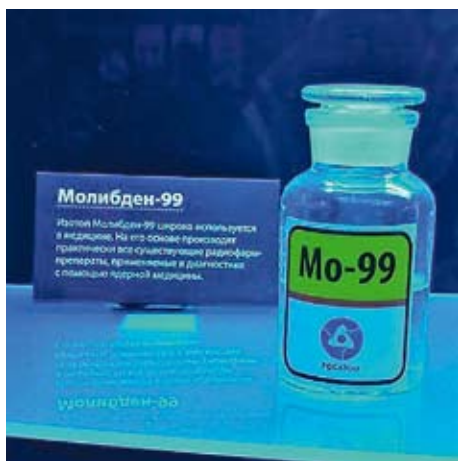


## ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

За последние несколько десятилетий человек создал несколько сотен искусственных радионуклидов и научился использовать энергию атома в самых разных целях: в медицине и для создания атомного оружия, для производства энергии и обнаружения пожаров, для поиска полезных ископаемых. Все это приводит к увеличению дозы облучения как отдельных людей, так и населения Земли в целом.

Индивидуальные дозы, получаемые разными людьми от искусственных источников радиации, сильно различаются. В большинстве случаев эти дозы весьма невелики, но иногда облучение за счет техногенных источников оказывается во много тысяч раз интенсивнее, чем за счет естественных.

Как правило, для техногенных источников радиации упомянутая вариабельность выражена гораздо сильнее, чем для естественных. Кроме того, порождаемое ими излучение обычно легче контролировать, хотя облучение, связанное с радиоактивными осадками от ядерных взрывов, почти так же сложно контролировать, как и облучение, обусловленное космическими лучами или земными источниками.



В настоящее время основной вклад в дозу, получаемую человеком от техногенных источников радиации, вносят медицинские процедуры и методы лечения, связанные с применением радиоактивности. Во многих странах этот источник ответственен практически за всю дозу, получаемую от техногенных источников радиации.

Радиация используется в медицине как в диагностических целях, так и для лечения. Одним из самых распространенных медицинских приборов является рентгеновский аппарат. Получают все более широкое распространение и новые сложные диагностические методы, опирающиеся на использование радиоизотопов. Как ни парадоксально, но одним из способов борьбы с раком является лучевая терапия.

В принципе, облучение в медицине направлено на исцеление больного. Однако нередко дозы оказываются неоправданно высокими: их можно было бы существенно уменьшить без снижения эффективности, причем польза от такого уменьшения была бы весьма существенна, поскольку дозы, получаемые от облучения в медицинских целях, составляют значительную часть суммарной дозы облучения от техногенных источников.

Источником облучения, вокруг которого ведутся наиболее интенсивные споры, являются атомные электростанции, хотя в настоящее время они вносят весьма незначительный вклад в суммарное облучение населения. При нормальной работе ядерных установок выбросы радиоактивных материалов в окружающую среду очень невелики.

Атомные электростанции являются лишь частью ядерного топливного цикла, который начинается с добычи и обогащения урановой руды. Следующий этап – производство ядерного топлива. Отработавшее в АЭС ядерное топливо иногда подвергают вторичной обработке, чтобы

извлечь из него уран и плутоний. Закачивается цикл, как правило, захоронением радиоактивных отходов.

На каждой стадии ядерного топливного цикла в окружающую среду попадают радиоактивные вещества.



## ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ



Человеку свойственно бояться того, о чём он не имеет представления. Мы боимся радиации и того, что с ней связано, потому что мало знаем о ней. Однако, именно радиация является незаменимым средством для обнаружения и успешного лечения смертельно опасных заболеваний; ядерная энергия, вырабатываемая на АЭС – это свет и тепло, это работающие в наших домах телевизоры, компьютеры и бытовая техника.

С тех пор, как было открыто явление радиоактивности, прошло уже более века (а

случилось это в 1896 году). Еще несколько десятилетий понадобилось ученым, чтобы во всех тонкостях постичь суть этого явления и научиться использовать его в практических целях.

Все живые организмы постоянно испытывают на себе действие природного ионизирующего излучения. Есть даже теория, что возникновение жизни на Земле было связано с воздействием мощных радиационных полей. Наше существование кажется уже немыслимым без использования зна-

ний об энергии атома: почти все передовые страны мира интенсивно развивают ядерную энергетику, совместными усилиями строят первый термоядерный энергетический реактор; а масштабы применения радиации и радиоактивных изотопов в космической

технике, медицине, биологии, пищевой промышленности, сельском хозяйстве, геологии увеличиваются с каждым годом.

**Важные изобретения, в которых используются ионизирующее излучение и радиоактивность.**



## РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

При помощи рентгеновских лучей можно «просветить» человеческое тело, в результате чего можно получить изображение костей, а в современных приборах и внутренних органов. Существуют компьютерные томографы, которые позволяют получать объёмное изображение внутренних органов.

Выявление дефектов в изделиях (рельсах, сварочных швах и т. д.) с помощью рентгеновского излучения называется рентгеновской дефектоскопией.

В материаловедении, кристаллографии,

химии и биохимии рентгеновские лучи используются для выяснения структуры веществ на атомном уровне при помощи дифракционного рассеяния рентгеновского излучения на кристаллах (рентгеноструктурный анализ). Известным примером является определение структуры ДНК.

При помощи рентгеновских лучей может быть определён химический состав вещества. В электронно-лучевом микроскопе (либо же в электронном микроскопе) анализируемое вещество облучается электронами, при этом атомы ионизируются и излучают характеристическое рентгеновское излучение. Вместо электронов может использоваться рентгеновское излучение. Этот аналитический метод называется рентгенофлуоресцентным анализом.

В аэропортах активно применяются рентгенотелевизионные интроскопы, позволяющие просматривать содержимое ручной клади и багажа в целях визуального обнаружения на экране монитора предметов, представляющих опасность.

Рентгенотерапия — раздел лучевой терапии, охватывающий теорию и практику лечебного применения рентгеновских лучей, генерируемых при напряжении на рентгеновской трубке 20—60 кВ и кожно-фокусном расстоянии 3—7 см (короткодистанционная рентгенотерапия) или при напряжении 180—400 кВ и кожно-фокусном расстоянии 30—150 см. Рентгенотерапию проводят преимущественно при поверхностно расположенных опухолях и при некоторых других заболеваниях, в том числе заболеваниях кожи (ультрамягкие рентгеновские лучи Букки).



Радиоизотопные источники энергии применяются там, где необходимо обеспечить автономность работы оборудования, значительную надёжность, малый вес и габариты. В настоящее время основные области применения — это космос (спутники, межпланетные станции и др), глубоководные аппараты, удаленные территории (крайний север, открытое море, Антарктика). Вообще говоря, изучение «глубокого космоса» без радиоизотопных генераторов невозможно, так как при значительном удалении от Солнца уровень солнечной энергии, который можно использовать посредством фотоэлементов, исчезающе мал. Например, на орбите Сатурна освещенность Солнцем в зените соответствует земным сумеркам. Кроме того, при значительном удалении от Земли для передачи радиосигналов с космического зонда требуется очень большая мощность. Таким образом, единственным возможным источником энергии для космических аппаратов в таких условиях,

помимо атомного реактора, выступает именно радиоизотопный генератор.

**Существующие области применения:**

- ★ Ядерные реакторы на космических аппаратах: Викинг-1 и 2, Пионер, Вояджер-1, Вояджер-2, Луноходы, Кассини, Полет к Плутону;
- ★ Медицина: электропитание электрокардиостимуляторов и др.
- ★ Энергопитание маяков и бакенов.
- Перспективные области применения:
- ★ Роботы-андроиды: электротеплопитание, как основной источник энергии.
- ★ Боевые лазеры космического базирования: накачка лазеров и электротеплопитание.
- ★ Боевые машины: мощные двигатели с большим ресурсом (беспилотные разведывательные аппараты — самолеты и минилодки, энергопитание боевых вертолетов и самолетов, а также танков и автономных пусковых установок).
- ★ Глубоководные гидроакустические станции: длительное энергопитание невозвращаемых аппаратов.



## ПОЛУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ИЗОТОПОВ И ЭЛЕМЕНТОВ (1934)

Разнообразные изотопы химических элементов находят широкое применение в научных исследованиях, в различных областях промышленности и сельского хозяйства, в ядерной энергетике, современной биологии и медицине, в исследованиях окружающей среды и других областях. В научных исследованиях (например, в химическом анализе) требуются, как правило, небольшие количества редких изотопов различных элементов, исчисляемые граммами и даже миллиграммами в год. Вместе с тем, для ряда изотопов, широко используемых в ядерной энергетике, медицине и других отраслях, потребность в их производстве может составлять многие килограммы и даже тонны. Так, в связи с использованием тяжелой воды D2O в ядерных реакторах ее общемировое производство к началу 1990-х прошлого века составляло около 5000 т в год. Входящий в состав тяжелой воды изотоп водорода дейтерий, концентрация которого в природной смеси водорода составляет всего 0,015%, наряду с тритием станет в будущем, по мнению ученых, основным компонентом топлива энергетических термоядерных реакторов, работающих на основе реакций ядерного синтеза. В этом случае потребность в производстве изотопов водорода окажется огромной.

В научных исследованиях стабильные и радиоактивные изотопы широко применяются в качестве изотопных индикаторов (меток) при изучении самых различных процессов, происходящих в природе.

В сельском хозяйстве изотопы («меченые» атомы) применяются, например, для изучения процессов фотосинтеза, усвояемости удобрений и для определения эффективности использования растениями азота, фосфора, калия, микроэлементов и др. веществ.

Изотопные технологии находят широкое применение в медицине. Так в США, согласно статистическим данным, проводится более 36 тыс. медицинских процедур в день и около 100 млн. лабораторных тестов с использованием изотопов. Наиболее распространены процедуры, связанные с компьютерной томографией. Изотоп углерода C13, обогащенный до 99% (природное содержание около 1%), активно используется в так называемом «диагностическом контроле дыхания». Суть теста очень проста. Обогащенный изотоп вводится в пищу пациента и после участия в процессе обмена веществ в различных органах тела выделяется в виде выдыхаемого пациентом углекислого газа CO2, который собирается и анализируется с помощью спектрометра. Различия в скоростях процессов, связанных с выделением различных количеств углекислого газа, помеченных изотопом C13, позволяют судить о состоянии различных органов пациента. В США число пациентов, которые будут проходить этот тест, оценивается в 5 млн. человек в год. Сейчас для производства высокообогащенного изотопа C13 в промышленных масштабах используются лазерные методы разделения.



## РАДИОФАРМПРЕПАРАТЫ

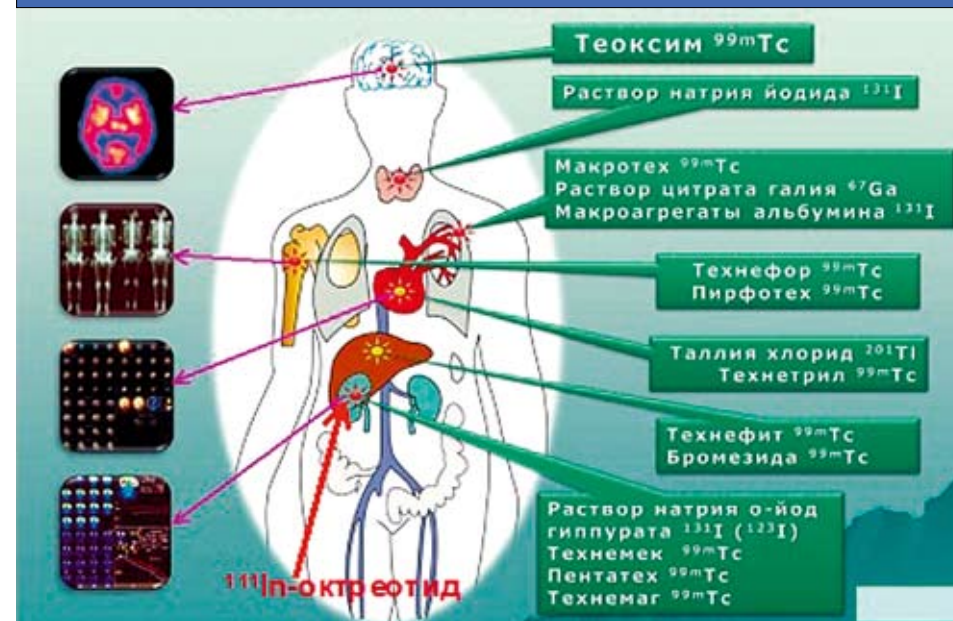
Радиоактивные изотопы или их соединения с различными неорганическими или органическими веществами, предназначенные для медико-биологических исследований, радиоизотопной диагностики и лечения различных заболеваний, главным образом для лучевой терапии злокачественных опухолей.

Для диагностических целей применяются радиоизотопы, которые при введении в организм участвуют в исследуемых видах обмена веществ или изучаемой деятельности органов и систем, и при этом могут быть зарегистрированы методами радиометрии. Такие радиоактивные препараты, как правило, имеют короткий эффективный период полураспада, что

обуславливает незначительную лучевую нагрузку на организм обследуемого.

Критерием выбора радиоактивных препаратов, предназначенных для лучевой терапии злокачественных новообразований, является возможность создания необходимой лечебной дозы ионизирующего излучения в области новообразования при минимальном воздействии на окружающие здоровые ткани. Такой эффект достигается путём применения радиофармпрепаратов в различных агрегатных состояниях и формах доставки в организм (растворы, суспензии, гранулы, иглы, проволока, аппликационные повязки и др.) и использованием наиболее подходящих по виду и энергии излучения изотопов.

### Внедрённые в практику отечественного здравоохранения радиофармацевтические препараты



## 4 ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

По характеру использования ядерные реакторы делятся на:

**Энергетические реакторы**, предназначенные для получения электрической и тепловой энергии, используемой в энергетике, а также для опреснения морской воды (реакторы для опреснения также относят к промышленным). Основное применение такие реакторы получили на атомных электростанциях. Тепловая мощность современных энергетических реакторов достигает 5 ГВт. В отдельную группу выделяют:

**Транспортные реакторы**, предназначенные для снабжения энергией двигателей транспортных средств. Наиболее широкие группы применения — морские транспортные реакторы, применяющиеся на подводных лодках и различных надводных судах, а также реакторы, применяющиеся в космической технике.

**Экспериментальные реакторы**, предназначенные для изучения различных физических величин, значение которых необходимо для проектирования и эксплуатации ядерных реакторов; мощность таких реакторов не превышает нескольких кВт.

**Исследовательские реакторы**, в которых потоки нейтронов и гамма-квантов, создаваемые в активной зоне, используются для исследований в области ядерной физики, физики твёрдого тела, радиационной химии, биологии, для испытания материалов, предназначенных для работы в интенсивных нейтронных потоках (в т. ч. деталей ядерных реакторов), для производства изотопов. Мощность исследовательских реакторов не превосходит 100 МВт. Выделяющаяся энергия, как правило, не используется.

**Промышленные** (оружейные, изотопные) **реакторы**, используемые для наработ-



ки изотопов, применяющихся в различных областях. Наиболее широко используются для производства ядерных оружейных материалов, например  $^{239}\text{Pu}$ . Также к промышленным относят реакторы, используемые для опреснения морской воды.

Часто реакторы применяются для решения двух и более различных задач, в таком случае они называются многоцеле-

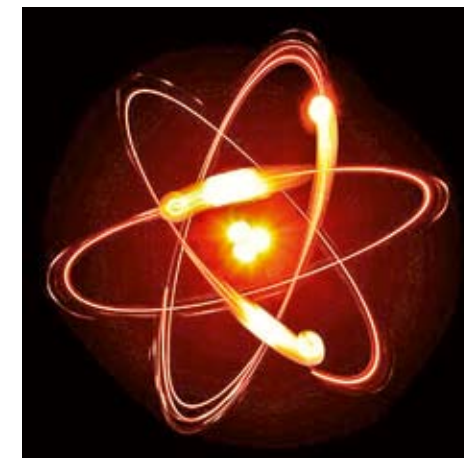
## 5 АТОМНАЯ БОМБА

Атомное оружие - совокупность ядерных боеприпасов, средств их доставки к цели и средств управления. Относится к оружию массового поражения наряду с биологическим и химическим оружием. Ядерный боеприпас – оружие взрывного действия, основанное на использовании ядерной энергии, высвобождающейся в результате лавинообразно протекающих цепной ядерной реакции деления тяжёлых ядер и/или термоядерной реакции синтеза лёгких ядер

В основу ядерного оружия положены неуправляемые цепная реакция деления тяжёлых ядер и реакции термоядерного синтеза.

Для осуществления цепной реакции деления используются либо уран-235, либо плутоний-239, либо, в отдельных случаях, уран-233. Уран в природе встречается в виде двух основных изотопов – уран-235 (0,72 % природного урана) и уран-238 – всё остальное (99,2745 %). Обычно встречается также примесь из урана-234 (0,0055 %), образованная распадом урана-238. Однако в качестве делящегося вещества можно использовать только уран-235. В уране-238 самостоятельное развитие цепной ядерной реак-

ции невозможно (поэтому он и распространен в природе). Для обеспечения «работоспособности» ядерной бомбы содержание урана-235 должно быть не ниже 80 %. Поэтому при производстве ядерного топлива для повышения доли урана-235 и применяют сложный и крайне затратный процесс обогащения урана. В США степень обогащения оружейного урана (доля изотопа 235) превышает 93 % и иногда доводится до 97,5 %.



ции невозможно (поэтому он и распространен в природе).

Для обеспечения «работоспособности» ядерной бомбы содержание урана-235 должно быть не ниже 80 %. Поэтому при производстве ядерного топлива для повышения доли урана-235 и применяют сложный и крайне затратный процесс обогащения урана. В США степень обогащения оружейного урана (доля изотопа 235) превышает 93 % и иногда доводится до 97,5 %.



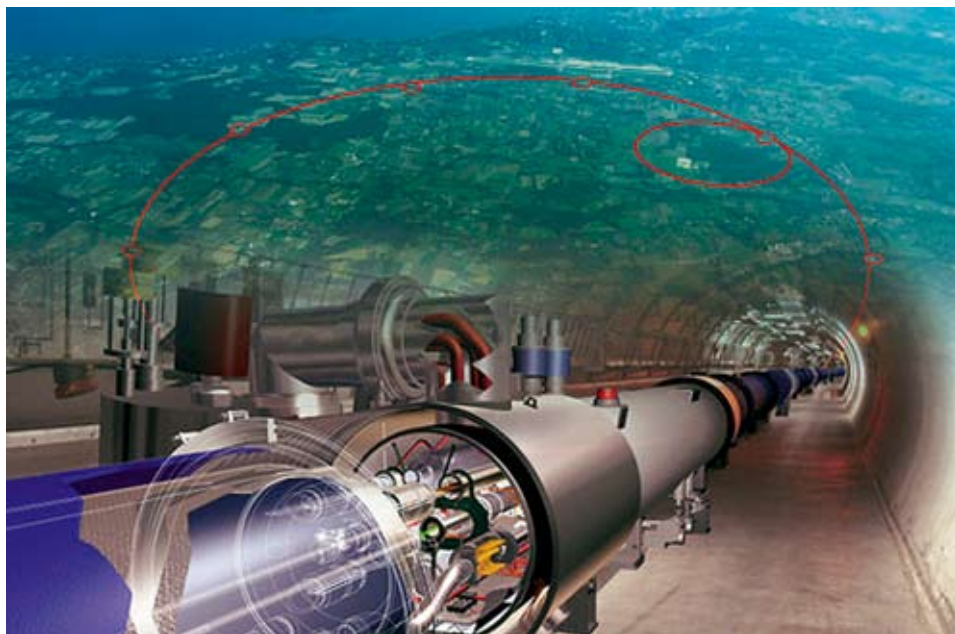
## УСКОРИТЕЛИ ЧАСТИЦ

Ускоритель заряженных частиц — класс устройств для получения заряженных частиц (элементарных частиц, ионов) высоких энергий. Современные ускорители, подчас, являются огромными дорогостоящими комплексами, которые не может позволить себе даже крупное государство. К примеру, Большой адронный коллайдер в ЦЕРН представляет собой кольцо длиной почти 27 километров.

В основе работы ускорителя заложено взаимодействие заряженных частиц с электрическим и магнитным полями. Электрическое поле способно напрямую совершать работу над частицей, то есть уве-

личивать её энергию. Магнитное же поле, создавая силу Лоренца, только отклоняет частицу, не изменяя её энергии, и задаёт орбиту, по которой движутся частицы.

- ★ Научные исследования
- ★ Стерилизация продуктов питания, медицинского инструмента
- ★ Медицина (лечение онкологических заболеваний, радиодиагностика)
- ★ Производство полупроводниковых устройств (инъекция примесей)
- ★ Радиационная дефектоскопия
- ★ Радиационное сшивание полимеров
- ★ Радиационная очистка топочных газов и сточных вод



## РАДИОИЗОТОПНАЯ ДАТИРОВКА (1946)

Радиоизотопное или радиометрическое датирование – метод определения возраста различных объектов, в составе которых есть какой-либо радиоактивный изотоп. Основан на определении того, какая доля этого изотопа успела распасться за время существования образца. По этой величине, зная период полураспада данного изотопа, можно рассчитать возраст образца.

Радиоизотопное датирование широко

применяется в геологии, палеонтологии, археологии и других науках. Это источник практически всех абсолютных датировок различных событий истории Земли. До появления радиометрического датирования были возможны только относительные датировки – привязка к определённым геологическим эрам, периодам, эпохам и т. д., длительность которых была неизвестна.

В различных методах радиоизотопного датирования используются разные изотопы разных элементов. Поскольку они сильно отличаются по химическим свойствам (и, следовательно, по содержанию в различных геологических и биологических материалах и по поведению в геохимических циклах), а также по периоду полураспада, у разных методов отличается область применимости. Каждый метод применим только к определённым материалам и определённому интервалу возрастов. Самые известные методы радиоизотопного датирования – это радиоуглеродный, калий-аргоновый и уран-свинцовый анализ.



## АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ (1954)

На рисунке показана схема работы атомной электростанции с двухконтурным водо-водяным энергетическим реактором. Энергия, выделяемая в активной зоне реактора, передаётся теплоносителю первого контура. Далее теплоноситель поступает в теплообменник (парогенератор), где нагревает до кипения воду второго контура. Полученный при этом пар поступает в турбины, вращающие электрогенераторы. На выходе из турбин пар поступает в конденсатор, где охлаждается большим количеством воды, поступающим из водохранилища.

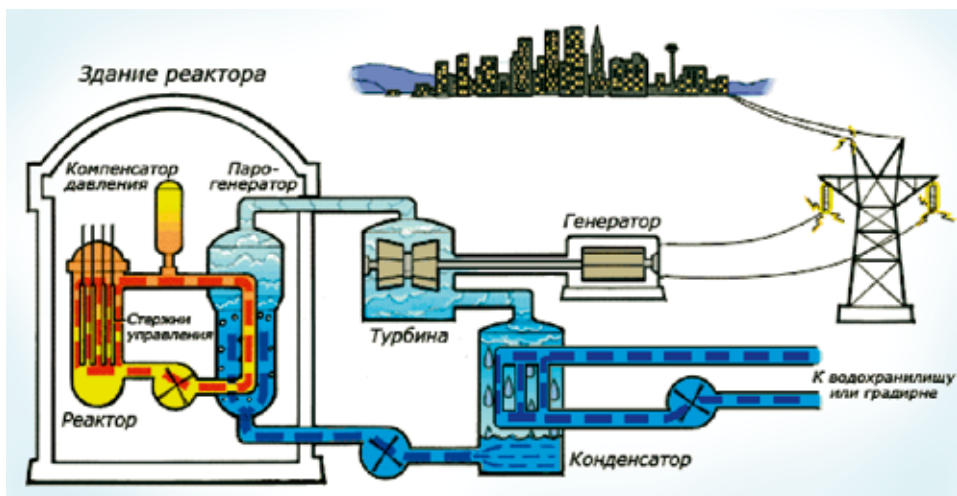
Компенсатор давления представляет

собой довольно сложную и громоздкую конструкцию, которая служит для выравнивания колебаний давления в контуре во время работы реактора, возникающих за счёт теплового расширения теплоносителя. Давление в 1-м контуре может достигать до 160 атмосфер (ВВЭР-1000).

Помимо воды, в различных реакторах в качестве теплоносителя могут применяться также расплавы металлов: натрий, свинец, эвтектический сплав свинца с висмутом и др.

Использование жидкометаллических теплоносителей позволяет упростить конструкцию оболочки активной зоны реактора





(в отличие от водяного контура, давление в жидкометаллическом контуре не превышает атмосферное), избавиться от компенсатора давления.

Общее количество контуров может меняться для различных реакторов, схема на рисунке приведена для реакторов типа ВВЭР (Водо-Водяной Энергетический Реактор). Реакторы типа РБМК (Реактор Большой Мощности Канального типа) использует один водяной контур, реакторы на быстрых нейтронах — два натриевых и один водяной контуры,

перспективные проекты реакторных установок СВБР-100 и БРЕСТ предполагают двухконтурную схему, с тяжелым теплоносителем в первом контуре и водой во втором.

В случае невозможности использования большого количества воды для конденсации пара, вместо использования водохранилища вода может охлаждаться в специальных охлаждающих башнях (градирнях), которые благодаря своим размерам обычно являются самой заметной частью атомной электростанции.

## 8 ТОКАМАК

Токамак (тороидальная камера с магнитными катушками) – тороидальная установка для магнитного удержания плазмы с целью достижения условий, необходимых для протекания управляемого термоядерного синтеза. Плазма в токамаке удерживается не стенками камеры, которые не способны выдержать необходимую для термоядерных реакций температуру, а специально создаваемым комбинированным магнит-

ным полем – тороидальным внешним и полоидальным полем тока, протекающего по плазменному шнуру. По сравнению с другими установками, использующими магнитное поле для удержания плазмы, использование электрического тока является главной особенностью токамака. Ток в плазме обеспечивает разогрев плазмы и удержание равновесия плазменного шнура в вакуумной камере. Этим Токамак, в

частности, отличается от стелларатора, являющегося одной из альтернативных схем удержания, в котором и тороидальное, и полоидальное поля создаются с помощью внешних магнитных катушек.

Токамак-реактор на данный момент разрабатывается в рамках международного научного проекта ITER.

Токамак представляет собой тороидальную вакуумную камеру, на которую намотаны катушки для создания тороидального магнитного поля. Из вакуумной камеры сначала откачивают воздух, а затем заполняют её смесью дейтерия и трития. Затем с помощью индуктора в камере создают вихревое электрическое поле. Индуктор представляет собой первичную обмотку большого трансформатора, в котором камера токамака является вторичной обмоткой. Электрическое поле вызывает протекание тока и зажигание в камере плазмы.

Протекающий через плазму ток выполняет две задачи:

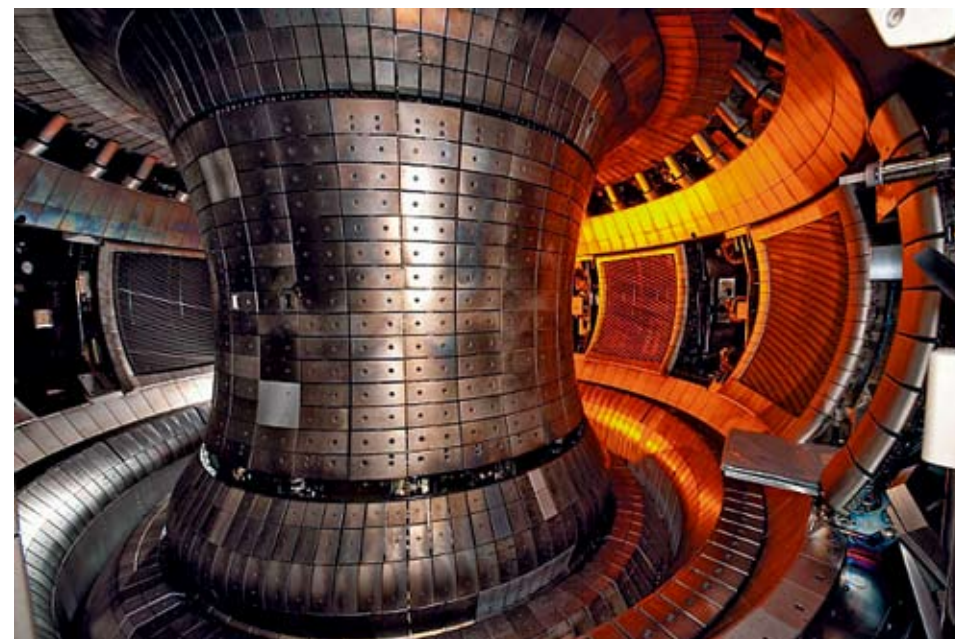
- ★ нагревает плазму так же, как нагревал бы любой другой проводник (омический нагрев);

- ★ создает вокруг себя магнитное поле.

Это магнитное поле называется полоидальным (то есть направленное вдоль линий, проходящих через полюсы сферической системы координат).

Магнитное поле сжимает протекающий через плазму ток. В результате образуется конфигурация, в которой винтовые магнитные силовые линии «обвивают» плазменный шнур. При этом шаг при вращении в тороидальном направлении не совпадает с шагом в полоидальном направлении. Магнитные линии оказываются незамкнутыми, они бесконечно много раз закручиваются вокруг тора, образуя так называемые «магнитные поверхности» тороидальной формы.

Наличие полоидального поля необходимо для стабильного удержания плазмы в такой системе. Так как оно создается за счёт увеличения тока в индукторе, а он не может быть бесконечным, время стабильно-

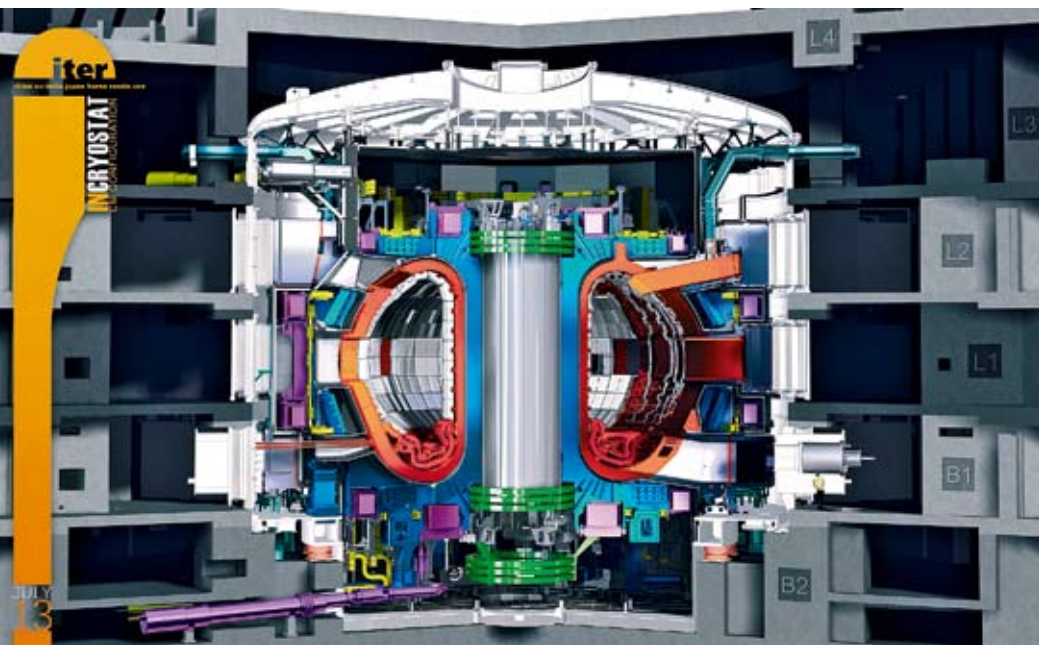


го существования плазмы в классическом токамаке ограничено. Для преодоления этого ограничения разработаны дополнительные способы поддержания тока. Для этого может быть использована инжекция в плазму ускоренных нейтральных атомов дейтерия или трития или микроволновое излучение.

Кроме тороидальных катушек для управления плазменным шнуром необходимы дополнительные катушки полоидального поля. Они представляют собой

кольцевые витки вокруг вертикальной оси камеры токамака.

Одного только нагрева за счет протекающего тока недостаточно для нагрева плазмы до температуры, необходимой для осуществления термоядерной реакции. Для дополнительного нагрева используется микроволновое излучение на так называемых резонансных частотах (например, совпадающих с циклотронной частотой либо электронов, либо ионов) или инжекция быстрых нейтральных атомов.



## РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА ТЕРРИТОРИИ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

*Данный раздел составлен по материалам Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области».*

### 1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Правовые основы обеспечения радиационной безопасности населения в целях охраны здоровья определены Федеральным законом от 09.01.1996 № 3-3 «О радиационной безопасности населения». Радиационная безопасность обеспечивается проведением комплекса мер правового, организационного, инженерно-технического, санитарно-гигиенического, медико-профилактического, воспитательного и образовательного характера.

Новосибирская область граничит с территориями, подвергшимися радиоактивному загрязнению при ядерных испытаниях (Алтайский край) и техногенных аварийных выбросах (Томская область); геологическая позиция территории способствует накоплению и воздействию на людей природных радионуклидов.

В городе имеются предприятия, медицинские учреждения, научно-исследовательские организации, использующие в своей деятельности источники ионизирующего излучения, требующие обеспечения контроля за безопасностью их применения. В 2014 году в городе Новосибирске количество предприятий, учреждений и организаций, использующих источники ионизирующего излучения

составляло 391, количество медицинских рентгеновских кабинетов - 294.

Восемь из десяти районов города Новосибирска расположены в пределах гранитного массива с повышенными концентрациями естественных радиоактивных элементов: урана, тория, калия и сопряжённых с ними радия и радона, которые создают потенциальную опасность облучения населения от природных источников.

Радон - это природный инертный газ, не имеющий ни цвета, ни запаха. Как правило, на поверхности земли радон не накапливается в опасных для человека концентрациях, но поскольку он в 7,5 раз тяжелее воздуха, то способен концентрироваться в закрытых подвалах зданий, помещениях, низинах и т.п. Также радон проникает на поверхность через трещины в породах, через почву, через системы канализации и водопровода, через воду. Продукты распада радона оседают на частицах пыли, которые содержатся в воздухе, попадают в органы дыхания и облучают организм альфа-частицами. Хозяйственная деятельность, влияние на режим грунтовых вод Обского водохранилища, застройка территории без учёта воздействия фактора подтопляемости, могут влиять на радиоэкологичес-

кую обстановку в городе. На территории города разведано более десятка проявлений и месторождений радоновых вод. Для различных хозяйственных нужд пробурено большое количество скважин с содержаниями радона в подземных водах, превышающими допустимые значения. Неправильная их эксплуатация, аварийное состояние скважин могут приводить к загрязнению радоном верхних горизонтов и ухудшению радиоэкологической обстановки.

службы по надзору в сфере защиты прав потребителей по Новосибирской области, в 2014 году содержание цезия-137 в почвах города составило: среднее – 2,84 кБк/кв.м, максимальное – 23,19; радия-226: среднее – 0,89 кБк/кв.м, максимальное – 2,51, что в основном соответствует глобальному фоновому уровню и уровню для Новосибирской области. Распределение цезия-137 и радия-226 в почвах носит неравномерный характер и зависит от

*Среднемесячные концентрации радиоактивных аэрозолей в приземной атмосфере по Новосибирской области в 2014 году*

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Среднемесячная концентрация радиоактивных аэрозолей в приземной атмосфере, 10° Бк/м³	9,2	10,0	8,4	10,7	14,5	27,4	18,3	21,2	16,1	10,0	10,5	10,9

По данным Западно-Сибирского Центра мониторинга загрязнения природной среды, среднемесячные радиоактивные выпадения из атмосферы в 2014 году не превышали установленных контрольных величин по Новосибирской области.

Экстремально высокие уровни радиоактивных выпадений из атмосферы, равные или превышающие 110 Бк/м³ сутки, в 2014 году на территории Новосибирской области не наблюдались.

Значения дозы гамма-излучения (гамма-фон) на местности, по данным станций наблюдения и лабораторного контроля, не превышали критических, характерных для территорий расположения станций.

По данным Управления Федеральной

количества выпавших осадков на земную поверхность, от типов почвенного покрова. За отчетный период исследовано 65 проб питьевой воды из централизованной городской системы водоснабжения на содержание радионуклидов. Проведено 6654 измерений радона-222 в жилых и общественных зданиях города, концентрация составляет 27,6 Бк/куб.м; среди исследуемых общественных зданий, строящихся жилых и общественных зданий, прочих объектов не выявлено мест, где концентрация радона превышала допустимые пределы.

В целом в 2014 году радиационная обстановка на территории города Новосибирска была относительно спокойной.



## ОБСЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА

В 2014 году в рамках ведомственной целевой программы «Улучшение экологической обстановки на территории города Новосибирска» на 2012-2014 годы по результатам конкурса, проведенного департаментом энергетики, жилищного и коммунального хозяйства города, в соответствии с муниципальным контрактом ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Новосибирской области» проводились работы по нескольким направлениям.

Оценка радиационной опасности на территориях лесных участков, примыкающих к селитебной застройке города на земельном участке, занимаемом Барышевским урочищем в Первомайском районе города Новосибирска на основании результатов детальной пешеходной гамма-съемки масштаба 1:500

Гамма-излучение – основной источник внешнего облучения от природных радионуклидов. Облучение людей на Земле происходит за счет трех источников излучения – природных, техногенных и медицинских, причем вклад природных источников ионизирующего излучения (НИИ) в суммарные дозы облучения людей в большинстве случаев является основным.

Выполнение детальной гамма-съемки на площади 34,3 га осуществлялось по профилям или по площади 100 м. Измерение проводилось на расстоянии 10 м между профилями с фиксированным измерением гамма-фона через каждые 5 м. Сеть площадочной гамма-съемки слагается из профилей и точек измерения, закрепляется по ориентирам на местности.

В результате проведенных исследований оформлен один протокол по обследованию территорий лесных участков, примыкающих к селитебной застройке города на земельном участке, занимаемом Барышевским урочищем в Первомайском районе города Новосибирска. Участков с превышением фоновых значений не выявлено.

Детальная пешеходная эманационная съемка масштаба 1:10000 на неисследованных территориях и участках перспективной застройки города Новосибирска

Специалистами ГПП «Березовгеология» проведено районирование юга Западной Сибири по степени радоноопасности. Наиболее радоноопасной является восточная часть Новосибирской области, отвечающая складчатым образованиям Салаира и Томь-Колыванской зоны, где проявлены специализированные на уран комплексы пород и высокорадиоактивные верхнепалеозойские граниты, ряд рудопроявлений урана, разноплановые тектонические нарушения, радоновые воды.

На этой территории площадью около 50000 км выделены зоны с напряженной экологической обстановкой и Ново-Сибирско-Колыванская зона отнесена к площадям с критической экологической обстановкой. Эта зона отличается от других высокой контрастностью установленных в ее пределах прямых и косвенных признаков радоноопасности. В широко распространённых верхнепалеозойских гранитах содержатся естественные радионуклиды: U – до 35-90 г/т, Th – 10-30 г/т. На территории области выявлено небольшое урановое месторождение, несколько рудопроявлений и аномалий урана. Территория города расположена на террасах правого и левого берега реки Оби. 70 % площади подстилающего фундамента образовано гранитами варийского цикла с повышенным содержанием радионуклидов, что и определяет повышенное эманирование (выделение) радона из почвы.

Полученные результаты работ по оценке потенциальной радоноопасности на территории перспективной застройки города Новосибирска - неисследованные территории и участки перспективной застройки города Новосибирска (на территории перспективной застройки восточ-



ной части Дзержинского района города Новосибирска, ограниченного улицами Гусинобродское шоссе-Коминтерна-Полякова и планируемыми улицами) позволяют сделать следующий вывод: в целом исследованная территория перспективной застройки является потенциально радоноопасной территорией (согласно МУ 2.6.1.2398-08, п. 6.8) – среднее измеренное значение плотности потока радона с поверхности почвы - 57 мБк/(м<sup>2</sup>\*с), максимальные измеренные значения плотности потока радона с поверхности почвы с учетом погрешности (R+A) – 158 мБк/(м<sup>2</sup>\*с), количество точек измерений, в которых значение ППР с учетом погрешности измерений (R+A) превышает уровень 80 мБк/(м<sup>2</sup>\*с) – сто сорок шесть (22 %), что согласуется с данными по районированию территории города Новосибирска по степени радоноопасности.

Окончательный вывод о принадлежности земельных участков к той или иной категории потенциальной радоноопасности можно будет сделать при отводе данных участков под строительство на основании более плотной эманационной съемки.

Радиационно-экологический контроль зданий школ и детских садов на содержание радона

По результатам проведенных работ по изучению уровня эквивалентной равновесной объемной активности (далее – ЭРОА) изотопов радона в помещениях детских дошкольных учреждений, среднеобразовательных школ **можно сделать следующие выводы:**

- ★ основным источником поступления радона и его дочерних продуктов распада в подвальные помещения, помещения уровня 1-го этажа является радон, выделяющийся из грунта;
- ★ неравномерность накопления его в помещениях обусловлено организацион-

но-техническим решением противорадной защиты помещений (использование различных строительных конструкций и материалов, систем вентиляции зданий, наличием и отсутствием подвалов и т.д.);

- ★ в помещениях детских садов и школ, используемых для проведения занятий с детьми, максимальная среднегодовая активность радона (Смах) не превысила уровень, установленный для жилых и общественных зданий (200 Бк/м<sup>3</sup>), за исключением объекта в прачечной (272 Бк/м<sup>3</sup>), расположенной в подвале МДОУ №242 по ул.Плахотного, 15а (Ленинский район), что превышает уровень максимальной среднегодовой активности радона (Смах), установленный для жилых и общественных зданий в 1,36 раза;

- ★ в подвальных помещениях (технических) определяются уровни ЭРОА радона, превышающие уровень максимальной среднегодовой активности радона (Смах) установленный для жилых и общественных зданий от 1,07 до 3,095 раз;

- ★ эффективная доза облучения населения при значениях максимальной среднегодовой ЭРОА изотопов радона (Смах) от 19 до 189 Бк/м<sup>3</sup> составляет от 0,8 до 8,0 м<sup>3</sup> /год, а при значениях от 190 до 600 Бк/м<sup>3</sup> эффективная доза облучения составит от 8,07 м<sup>3</sup> /год до 25,7 м<sup>3</sup> /год, что превышает среднегодовой показатель индивидуальной дозы облучения от природных источников (в частности, от радона) при общероссийском показателе 2,12 м<sup>3</sup> /год.

Выполнение работ по радиационному контролю детских садов и школ целесообразно осуществлять в холодный период года, когда воздухообмен в помещениях ниже, чем в тёплый период.

За восьмилетний период проведения работ в городе не было обнаружено аномально высоких участков радиоактивного загрязнения. В целом радиационная обстановка в городе стабильная. ■

Авторы:

**Гаджиев В.И., Пильчик И.В., Лемякина Д.В.**

Публичное акционерное общество «Новосибирский завод химконцентратов» (ПАО «НЗХК»). Юридический адрес : 630110, г. Новосибирск, ул. Богдана Хмельницкого, 94.

Лаборатория ядерной и радиационной безопасности, охраны окружающей среды и промсанитарии (ЛЯРБОУОС и ПС), Приёмная: тел. 8 (383) 274-85-34, факс 8 (383) 274-89-54. E-mail: c36@nccsr.ru

