

*ГЕОХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ*

**СООТНОШЕНИЕ ИЗОТОПОВ РАДОНА В ПОЧВАХ И НАЗЕМНЫХ СТРОЕНИЯХ  
В ПРИБАЙКАЛЬЕ**

**Б.П. Черняго, А.И. Непомнящих, Г.И. Калиновский**

*Институт геохимии СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия*

На основе экспериментальных данных по исследованию радоновой обстановки в домах и на территории населенных пунктов сельского типа в Прибайкалье получено численное отношение между содержаниями радона в почве и в помещениях, которое предлагается использовать для прогноза радоновой обстановки в однотипных зданиях региона.

*Радиогеохимия, изотопы радона, радон в почве, радон в домах.*

**SOIL-TO-DWELLING RADON ISOTOPE RATIO IN THE BAIKAL REGION**

**B.P. Chernyago, A.I. Nepomnyashchikh, and G.I. Kalinovskii**

Relations between indoor and soil gas radon were experimentally studied in villages of the Baikal region. On the basis of the obtained data, the soil-to-indoor radon ratio was calculated, which can be used for prediction of radon pollution in buildings of the same kind

*Radiogeochemistry, radon isotopes, soil gas radon, indoor radon*

**ВВЕДЕНИЕ**

Природный газ — радон является неизбежным источником радиационного воздействия на население, поскольку присутствует как в наружном воздухе, так и внутри помещений. Для Прибайкалья проблема радоновой опасности является наиболее актуальной из-за климатических и геологических особенностей территории.

Зонирование отдельных участков и территорий населенных пунктов по степени радоновой опасности необходимо для выделения территорий, где в первую очередь должны выполняться мероприятия по снижению влияния радона и для обеспечения географически скоррелированных медико-эпидемиологических исследований по оценке влияния радона на здоровье населения. Такое качественное разделение по зонам должно обосновываться количественной оценкой с привлечением (и сравнением) различных параметров, определяющих радоновую обстановку.

В рекомендациях МКРЗ [Защита..., 1995] говорится, что наиболее надежным способом оконтуривания радоноопасных зон является измерение концентрации радона в представительной выборке существующих жилищ. Однако существующие объемы финансирования региональных программ не позволяют проводить масштабные исследования радоновой обстановки в населенных пунктах. Поэтому для оценки радоновой обстановки, по крайней мере, на первых этапах, часто приходится пользоваться не столько данными прямых измерений содержания радона в жилье, сколько радиогеохимическими данными, определяющими степень (или потенциал) радоновой опасности той или иной территории.

Основным источником поступления радона в воздух помещений является почва, на которой стоит дом [Nazaroff, Nero, 1988]. Лучшим индикатором радоновой обстановки вследствие простоты и доступности метода считаются данные измерений концентрации радона в почвенном газе. Однако попытки прогнозирования по единичным измерениям радона в почве бывают, как правило, неудачными. Территория отдельного населенного пункта может характеризоваться сильной дифференциацией значений содержания радона в почве. На участках, где коренные породы и почвы содержат высокие концентрации материнских радионуклидов урана и тория (граниты, углеродисто-кремнистые сланцы, фосфориты), наблюдаются высокие значения плотности потока радона. Трещиноватость почвенного покрова, активные тектонические разломы в подстилающих породах также способствуют более высокому выделению радона из почвы [Черняго и др., 1996]. Проницаемость почвы может изменяться на несколько порядков величины

в пределах даже очень маленькой площадки [Reimer, Gundersen, 1989; Varley, Flowers, 1994]. Скорость выделения радона из грунта и его накопление в зданиях, а значит и степень радоновой опасности той или иной территории зависит от многих, и не только радиогеохимических, факторов, что существенно затрудняет моделирование и количественный прогноз радоновой обстановки для конкретной местности или дома. И проблема заключается в получении представительного массива данных по почвенному газу. Вероятно, нужна оценка, выполненная не по единичным измерениям, а по большому массиву данных.

В настоящей работе на основе обобщения результатов многолетних радиозокологических исследований в Прибайкалье изучен подход к оценке радоновой опасности территории, на которой расположен населенный пункт, по содержанию радона в почвенном воздухе.

## МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Использованы результаты исследований радоновой обстановки в населенных пунктах Южного Прибайкалья, выполненных в 1995—2000 годах. В качестве объектов выбраны несколько наиболее типичных для региона населенных пунктов сельского типа, расположенных в основном в южной части Иркутской области и в различных по радиогеохимическим и геологическим признакам зонах радоновой опасности: поселки Белая Зима, Большая Речка, Малое Голоустное, Листвянка, Подкаменная, Большие Коты, Карлук, Оек и Одинск. Виды и объемы измерений в этих поселках были наиболее представительными, и поэтому результаты обобщения по ним должны быть достаточными для достоверной оценки радоновой обстановки в населенных пунктах такого же типа на обследуемой территории.

Одноэтажные деревянные дома, распространенные, как правило, преимущественно в поселках сельского типа, наименее защищены от радона. И, вероятно, радоновая обстановка в таких населенных пунктах наиболее явно должна зависеть от радиогеохимических признаков радонопроявлений.

Предварительное районирование или отнесение территории отдельного поселка к той или иной группе радоновой опасности выполнялось на основе анализа геохимической информации о наличии на данной территории геологических пород и почв с повышенным содержанием естественных радионуклидов, сопряженности этих пород с активными тектоническими разломами, а также небольшого количества предварительных прямых измерений объемных активностей радона-торона в помещениях населенных пунктов, расположенных на территории. Поселки Оек и Одинск располагались на относительно безопасных по радону участках территории, в других выбранных поселках радоновая обстановка ожидалась напряженной, причем наиболее выражено — в Белой Зиме.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплексные исследования радоновой обстановки подразумевали выполнение измерений активности изотопов радона (радона-222 и радона-220) в почвенном воздухе равномерно по площади в пределах каждого обследуемого населенного пункта и измерений объемных активностей радона в жилищах и общественных зданиях. Причем, если исследования на открытой местности проводились в теплое время года, то измерения в домах были выполнены в разные сезоны года и носили не только мгновенный, но интегральный по времени характер. На территории поселка и в его окрестностях выполнялись измерения плотности потока радона на границе почва—атмосфера и отбирались пробы почвы для последующего гамма-спектрометрического анализа на природные радионуклиды.

Измерения объемной активности радона в почвенном воздухе проводились с помощью радиометров альфа-активных газов типа РГА-01. Для определения количества и соотношения изотопов радона (радона-222 и радона-220) применялась известная методика повременного раздельного измерения [Разведочная..., 1986], основанная на существенной разнице периодов полураспада этих изотопов (3.8 сут и 54 с соответственно). Производились два измерения пробы почвенного газа, взятой из шпура глубиной 0.6 м, с интервалом 10 мин. Расчет объемных активностей радона и торона в почвенном газе выполнялся программным способом с учетом интервала между двумя измерениями и времени каждого измерения. Измерения выполнялись либо вблизи домов, где проводились измерения содержания радона в помещениях, либо по равномерной сети на территории поселка с шагом от 50 до 100 м. Серия измерений на территории отдельного поселка выполнялась в течение 2—3 дней при относительно сухой почве (в отсутствие дождя) летом или ранней осенью. Измерения считались удовлетворительными, если в контрольных точках (около 10 % от общего объема) полученные в разных сериях активности радона отличались не более чем на 30 % друг от друга.

Прямые измерения содержания радона в жилых и общественных помещениях населенных пунктов проводились не менее чем в 40 домах, что обычно составляло от 5 до 12 % всех жилых домов в каждом поселке с населением до 5 тыс. жителей. Измерения в помещениях выполнялись в случайной и по возможности равномерной на площади конкретного населенного пункта выборке домов, обеспечивающей представительность обследования. Основной тип застройки в обследованных поселках сельского типа в Прибайкалье практически был одинаковым, а именно — одноэтажные деревянные дома с подпольем или

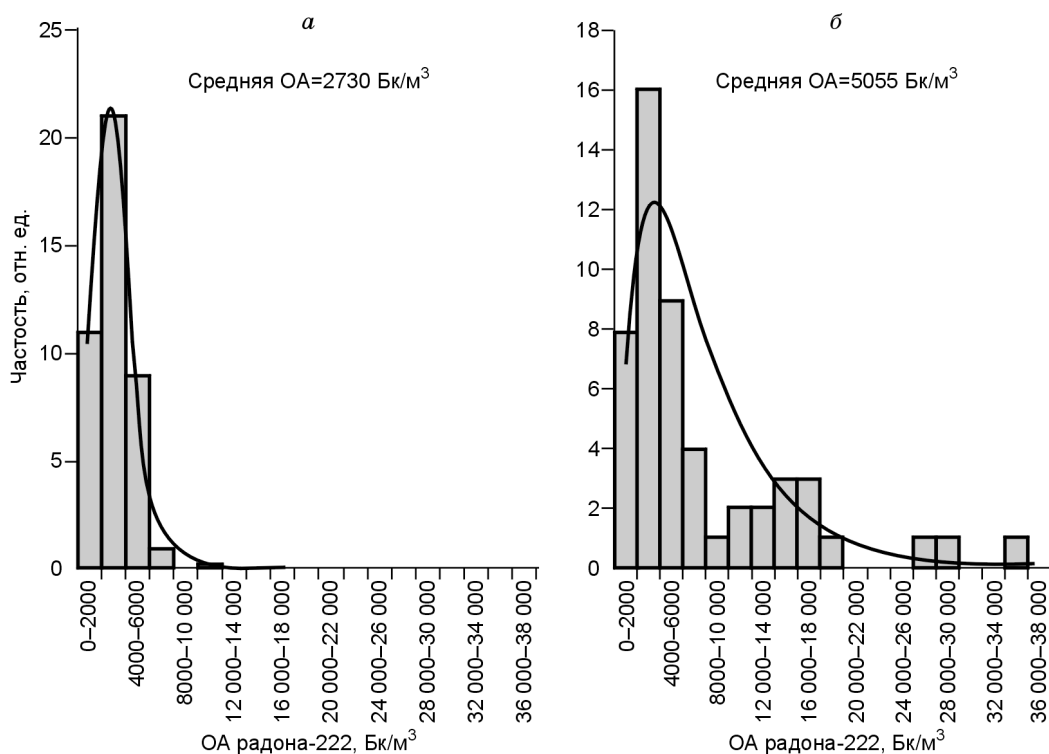
подвалом, используемыми для хранения продуктов, вход (обычно негерметичный) в которые, как правило, находился в жилых помещениях.

Объемная активность (ОА) радона в помещениях определялась экспрессными и интегральными методами. Для определения сезонной ОА радона в домах применялись пассивные трековые детекторы на основе нитроцеллюлозной пленки. Время экспозиции трековых детекторов радона составляло от 50 до 90 сут. Экспрессные измерения радона выполнялись при помощи радиометров радона типа РРА-01, а в отдельных случаях (при больших активностях радона) дополнительно и РГА-01, и использовались в основном для контроля интегральных измерений и оценки вариаций содержания радона в домах. Основная серия измерений была выполнена в зимний период, когда в домах уже установился характерный для отопительного сезона вентиляционный режим. Весенние, летние и осенние измерения в домах обследованных поселков носили только экспрессный характер, и их объем был незначительным, т.е. около 30 % от зимних измерений, что, однако, было использовано для корректировки оценки среднегодовых содержаний радона в домах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

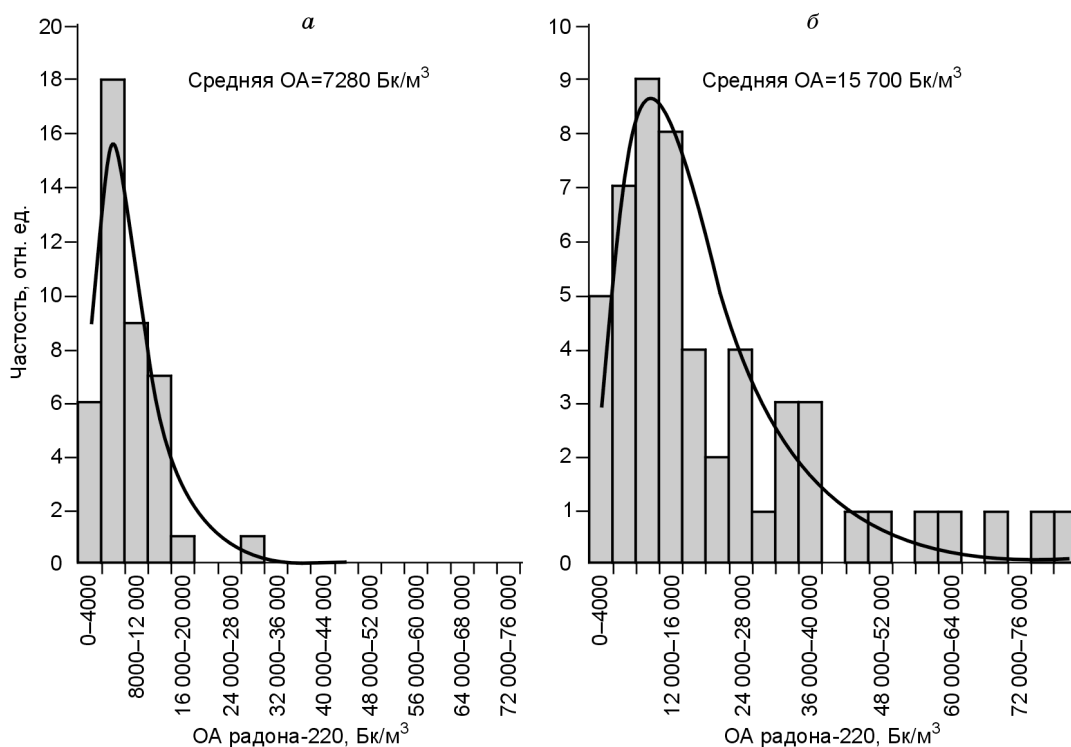
По имеющимся радиогеохимическим данным, поселки были условно разделены на три группы (или категории) по радоновой опасности. Группы формировались с учетом всех данных по признакам радоновой опасности: содержание радия и тория в почве, объемная активность радона в почвенном газе, плотность потока радона из почвы в атмосферу и активность в помещениях с учетом рекомендаций санитарных норм [МУ 2.61.715-98] по зонированию радоноопасности. В частности, разделение на зоны по радоновой опасности можно делать по уровням активности радона в почве ( $\text{кБк}/\text{м}^3$ ): меньше 10 (I категория), от 10 до 50 (II категория) и более 50 (III категория).

**Радон и торон в почвенном газе и на границе почва—атмосфера.** Данные по измерению объемных активностей изотопов радона в почвенном воздухе на территории населенных пунктов Прибайкалья имели достаточно представительный характер в сравнении с другими характеристиками радоновой обстановки. На диаграммах рис. 1 и 2 приведены распределения экспериментальных значений объемной активности изотопов радона в почвах на территории некоторых обследованных населенных пунктов сельского типа. Частотное распределение значений объемной активности изотопов радона в почвах на территории в том числе поселков описывается логнормальным распределением. Поэтому для характеристики территории



**Рис. 1. Типичные гистограмма и функция распределения значений объемной активности радона-222 в почвах:**

*а* — пос. Одинск (безопасная зона); *б* — пос. Подкаменная (потенциально опасная радоновая зона).



**Рис. 2. Типичные гистограмма и функция распределения значений объемной активности радона-220 (торона) в почвах:**

*а* — пос. Одинск (безопасная зона); *б* — пос. Подкамненная (потенциально опасная радоновая зона).

поселка по частотному распределению будем пользоваться среднегеометрическими значениями объемной активности радона в почве.

Видно, что функции распределения для активностей радона-222 и радона-220 (торона) в почвах имеют для одной и той же территории примерно одинаковый вид, но смещенные максимумы. Активности торона в почвах Прибайкалья обычно на полпорядка превышают активности радона [Черняго и др., 1996], что характерно для участков и территорий отдельных населенных пунктов.

Средние значения объемных активностей радона в почве и потока радона из почвы в атмосферу по некоторым обследованным населенным пунктам представлены в табл. 1. Средние значения как активности радона в почвенном воздухе, так и плотности потока радона из почвы рассчитывались только по точкам, где выполнялись эти измерения. Количество таких точек на один населенный пункт было от 3 до 6. В пределах территории одного населенного пункта относительный разброс значений объемной активности и потока радона не превышал 30—40 %, что сопоставимо с погрешностью измерений этих параметров в отдельной точке. Наблюдается определенная прямая пропорциональность этих параметров и зависимость, обусловленная, видимо, геологическими особенностями территории.

Уравнение регрессии для значения потока радона выглядит следующим образом:

$$J \approx 6.1 \cdot N, \quad (1)$$

где  $J$  — поток радона-222 из почвы в атмосферу, в мБк/м²с;  $N$  — объемная активность радона-222 в почве, в кБк/м³.

Получающаяся линейная зависимость потока радона-222 из почвы от его содержания в почвенном газе позволяет надеяться на такое же поведение объемной активности радона в воздухе помещений.

**Радон-222 в домах поселков Прибайкалья.** Несмотря на сложные механизмы поступления радона (и торона) в помещения жилых и общественных зданий, можно предположить, что в населенных пунктах на ограниченных территориях, характеризующихся однородным геологическим строением и однотипностью строений, объемная активность (ОА) радона в помещениях будет достаточно просто, т.е. с линейной зависимостью, связана с потоком радона из почвы в атмосферу и с его источником, т.е. с объемной активностью радона в почве.

Такая зависимость, вероятно, должна быть отнесена не к единичным измерениям активности радона как в почве, так и в домах, а к средним величинам статистически представительного массива данных, т.е.

характерным, например, для территории отдельного населенного пункта или его части (квартала, района).

На рис. 3 представлены типичные экспериментальные результаты исследования радоновой обстановки в трех группах сельских населенных пунктов Прибайкалья, которые расположены в различных зонах радоновой опасности. К первой группе (относительно безопасная зона, см. рис. 3, а) был отнесен пос. Одинск в Ангарском районе. Среднее геометрическое значение ОА радона-222 в домах этих поселков составило 46 Бк/м<sup>3</sup>. Во вторую группу (потенциально опасная по радону зона, см. рис. 3, б) попал пос. Подкаменная Шелеховского района, среднее значение ОА составило 111 Бк/м<sup>3</sup>. На третьей части рисунка (см. рис. 3, в) показаны данные измерения ОА в домах пос. Белая Зима Тулунского района Иркутской области, территория которого отнесена к радоноопасной зоне (средняя ОА — 301 Бк/м<sup>3</sup>). Сравнение результатов инспекционных измерений, выполненных в других поселках, с прогнозом на основе радиогеохимических данных, в том числе и по содержаниям изотопов радона в почвенном воздухе, дает хорошее подтверждение этой оценки.

Гистограммы распределения значений ОА радона-222 в воздухе помещений описываются функцией логнормального типа. На рисунках видно не только качественное, но и количественное отличие параметров распределения ОА радона в домах поселков разных категорий опасности.

**Соотношения активностей радона-222 в почве и в домах.** Из всех полученных при обследовании населенных пунктов данных была сделана выборка, соответствующая наличию совмещенных измерений объемной активности радона в почве и в жилых или общественных зданиях населенных пунктов сельского типа.

Общее количество пар измерений концентраций радона-222 в почве и в помещениях для обследованных поселков Прибайкалья составило 147.

Среднее геометрическое значение объемной активности почвенного радона составило 11.4 кБк/м<sup>3</sup> при максимальном значении 695 кБк/м<sup>3</sup>.

Среднее геометрическое значение объемной активности в помещениях зданий поселков составило 187 Бк/м<sup>3</sup>. Среднее значение объемной активности радона в домах было больше почти в пять раз, чем среднепопуляционное значение для регионов умеренного климата 40 Бк/м<sup>3</sup> [Алексахин, 1994]. 43.5 % зданий имело концентрации выше 200, в 13.6 % — выше 400 и в 4.1 % — выше 800 Бк/м<sup>3</sup>. Максимальное

Таблица 1. Усредненные (по пунктам наблюдения) значения содержания радона-222 в почвах и его потоков из почвы на территории некоторых поселков Прибайкалья

Поселок	$N$ , кБк/м <sup>3</sup>	$J_{\text{эксп.}}$ , Бк/м <sup>2</sup> с
Листвянка	20.6	0.119
Большая Речка	10.6	0.059
Карлук	7.7	0.035
Подкаменная	5.1	0.028
Одинск	2.7	0.015

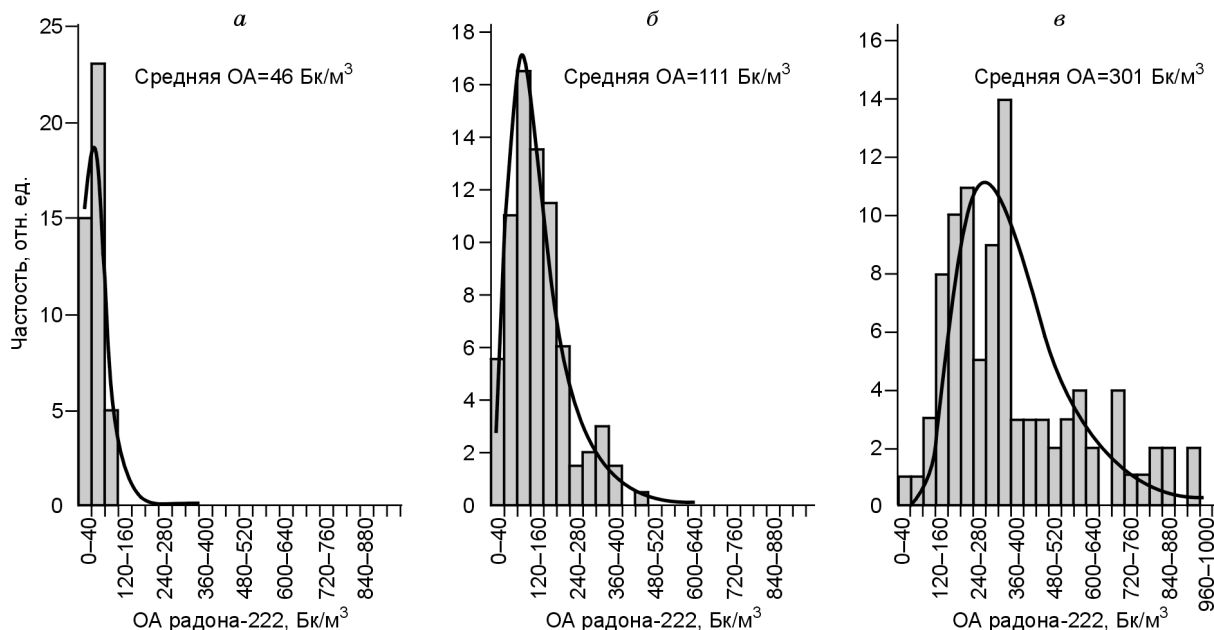
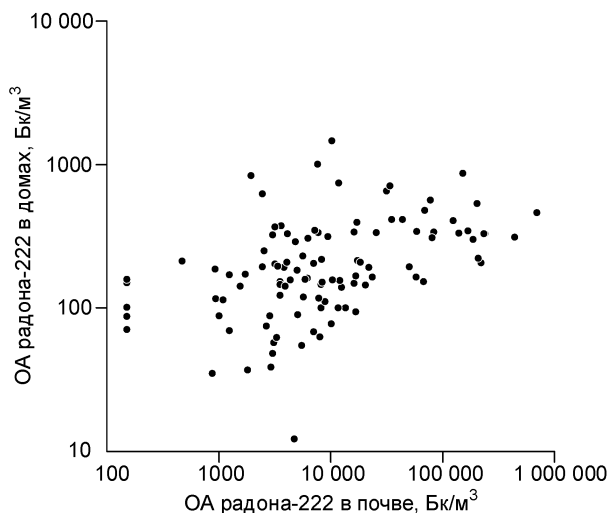
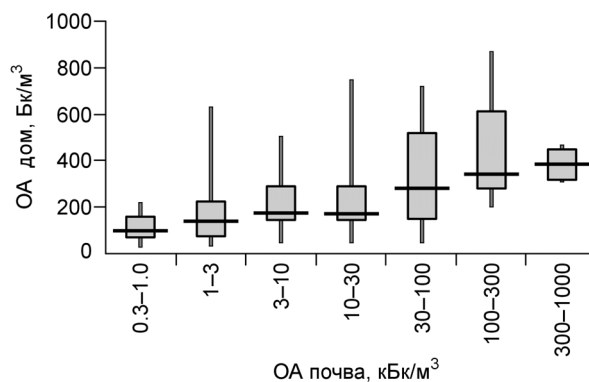


Рис. 3. Типичные гистограммы и функции распределения значений ОА радона-222, измеренные трековым методом в выборке домов трех типов поселков Прибайкалья, находящихся в относительно безопасной — пос. Одинск (а), потенциально опасной — пос. Подкаменная (б) и опасной радоновой зонах — пос. Белая Зима (в).



**Рис. 4. Зависимость содержаний радона в домах от активности его в почвенном воздухе для сельских населенных пунктов Прибайкалья (по выбранным шести поселкам).**



**Рис. 5. Распределение измерений радона в домах, разбитое по группам измерений радона в почве (по выбранным семи поселкам Прибайкалья).**

Низ и верх вертикальных полос означают 5 и 95 %, низ и верх серых прямоугольников — 25 и 75 %, а черная горизонтальная полоска — среднее геометрическое для данной группы измерений по почвенному радону соответственно.

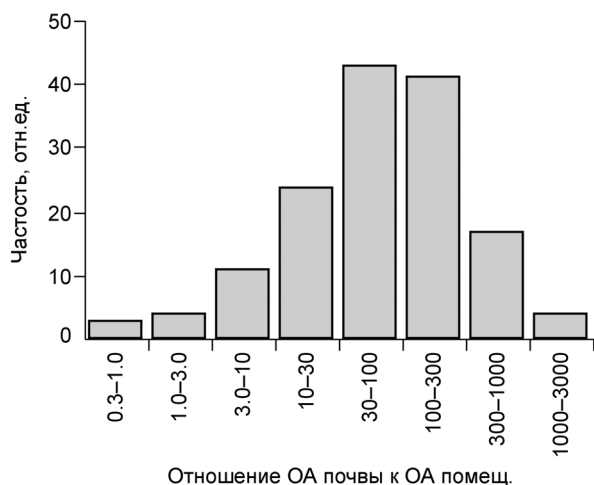
значение объемной активности в домах составило  $1470 \text{ Бк/м}^3$ , что превысило в 3.5 раза санитарный норматив ( $400 \text{ Бк/м}^3$ ).

На рис. 4 приведено сравнение этих двух видов измерений. Хотя все данные собраны в относительно компактной области, корреляция между результатами измерений ОА радона в почве и в помещениях здесь мало очевидна.

Если значения ОА радона в почвенном газе сгруппировать по интервалам  $0.3\text{--}1.0$ ;  $1.1\text{--}3.0$ ;  $3.1\text{--}10.0 \text{ кБк/м}^3$  и т.д. (рис. 5), можно заметить, что с увеличением ОА радона в почве увеличиваются средние геометрические и максимальные значения активности радона в воздухе помещений. При значениях больше  $30 \text{ кБк/м}^3$  наблюдается существенное увеличение ожидаемой концентрации радона в помещении. По этим данным 82 % домов имеют значения ОА радона внутри помещений выше санитарной нормы ( $200 \text{ Бк/м}^3$ ) при концентрациях в газе почвы более чем  $100 \text{ кБк/м}^3$ . Таким образом, наблюдается увеличение значения содержания радона в помещении с ростом содержания радона в почвенном газе.

Значения отношений объемных активностей радона-222 в единичных парах измерений почва—дом изменялись в широком диапазоне — от 0.6 до 1500. Частотное распределение значений отношений имеет логнормальный вид (рис. 6). Среднее геометрическое значение отношения ОА радона в почве к ОА в помещении для всего массива пар данных составляет 61.4.

Объемные активности радона как в почвах, так и в воздухе помещений домов имеют значительный разброс даже на достаточно ограниченной территории (в отдельном населенном пункте). Отсутствие однородности значений отношений ОА радона в почве и домах в отдельных точках (пунктах наблюдения) свидетельствует о существенном влиянии на величину измеренного содержания радона в домах факторов,



упомянутых выше, но также и характера измерений радона (мгновенные—интегральные). Однако влияние этих факторов можно уменьшить (сгладить), если для оценки использовать достаточно большое количество измерений. Корреляцию между значениями активностей радона в почве и в домах следует искать, видимо, для усредненных (по представительному и статистически значимому массиву измерений) величин в отдельных населенных пунктах.

Если рассмотреть зависимость отношений средних (геометрических) значений активностей радона в

**Рис. 6. Частотное распределение значений отношения активностей радона-222 в почве и в помещениях поселков Прибайкалья.**

**Рис. 7. Зависимость отношений объемных активностей радона-222 в почве и помещениях к активности почвенного радона.**

помещении и в почвенном газе от активности в почве, сгруппированные по «логарифмическим» интервалам, то можно наблюдать также увеличение значений этого соотношения от 5 — для концентраций радона в почве менее 1 кБк/м<sup>3</sup> до 616 — для интервала от 100 до 300 кБк/м<sup>3</sup>, т. е. чем больше концентрация радона в почве, тем меньше отношение активности радона в почве к активности в помещении. И, наоборот, существенные активности радона в воздухе помещений могут обнаружиться на территориях с относительно небольшими активностями радона-222 в почвенном газе. Эта зависимость хорошо описывается степенной функцией с множителем 0.021 и показателем степени 0.89, близким к единице (рис. 7). Для наиболее типичных для региона (средних) объемных активностей радона-222 в почве 3000—10 000 Бк/м<sup>3</sup> значения отношений активностей радона в почве и в помещениях составляют примерно от 30 до 100.

**Торон (радон-220) в почвах и домах.** Считается, что в домах объемная активность торона — короткоживущего изотопа радона-220 — пренебрежимо мала. Изучая проблему радоновой опасности, исследователи обычно игнорируют так называемую «тороновую» опасность. Из-за особенностей уран-ториевой минерализации коренных пород Прибайкалья [Черняго и др., 1996], в почвах региона активность торона обычно примерно в три раза выше, чем активность радона-222 (см. рис. 2), поэтому следует ожидать более значимые величины объемной активности торона в помещениях. Если учитывать дозовый фактор, то объемные активности торона в несколько десятков Бк/м<sup>3</sup> могут создавать дозовые нагрузки на население, сопоставимые и даже превышающие радоновые.

Прямые измерения торона в домах мы могли произвести не везде, и таких данных, к сожалению, мало. В первую очередь обследовались те населенные пункты, где уже были зафиксированы большие значения активности радона-222 в домах. Наибольший объем измерений торона в воздухе помещений был выполнен в прибайкальском пос. Большие Коты. Здесь содержания изотопов радона-220 измеряли не только в почве, но и в домах. При среднем значении активности торона в почве 31 900 Бк/м<sup>3</sup>, объемная активность этого изотопа в воздухе помещений составила 81 Бк/м<sup>3</sup>. Отношение средних активностей торона в почве и в помещениях составило примерно 400:1. Такой же порядок этих величин получался при единичных измерениях, выполненных в других поселках Прибайкалья. Учитывая полученное значение отношения объемных активностей торона, можно ожидать, что средняя по поселку объемная активность торона в домах, например, пос. Одинска будет около 18, в Подкаменной — около 40 Бк/м<sup>3</sup>, а в пос. Листвянка (при средней ОА торона в почве 33 320 Бк/м<sup>3</sup>) составит 83 Бк/м<sup>3</sup>.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ. К ОЦЕНКЕ РАДОНОВОЙ ОПАСНОСТИ ОТДЕЛЬНОГО НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА

Интересно, что достаточно содержания радона в почве менее 10 кБк/м<sup>3</sup>, чтобы создать внутренние концентрации выше предельно допустимой санитарной величины 200 Бк/м<sup>3</sup>. Это предполагает наличие существенного потока воздуха почвы в дом [Scott, 1992]. Содержание радона-222 в помещениях увеличивается с концентрацией газа почвы, увеличивается и доля помещений (домов) с превышением санитарного норматива. При концентрации более чем 100 кБк/м<sup>3</sup> в почве более 80 % жилья было с превышением уровня 200 Бк/м<sup>3</sup>.

Для определения категории радоновой опасности отдельного населенного пункта разброс по диапазону значений и неопределенность объемных активностей изотопов радона в точках измерений на территории может нивелироваться усреднением по достаточно большому массиву измерений, выполненных как в небольшой срок (при одинаковых метеоусловиях), так и сериями в разные сезоны. Для характеристики ограниченной территории, например поселка или его части, вполне приемлемо использовать средние значения величин.

Перейдем к характеристикам выделенных территорий или отдельным населенным пунктам. Понятно, что типичная отдельная территория характеризуется более широким диапазоном значений содержания радона в почве, чем один—два интервала «логарифмического» масштаба. В табл. 2 показаны обобщенные результаты радиационного обследования отдельных сельских населенных пунктов, расположенных в

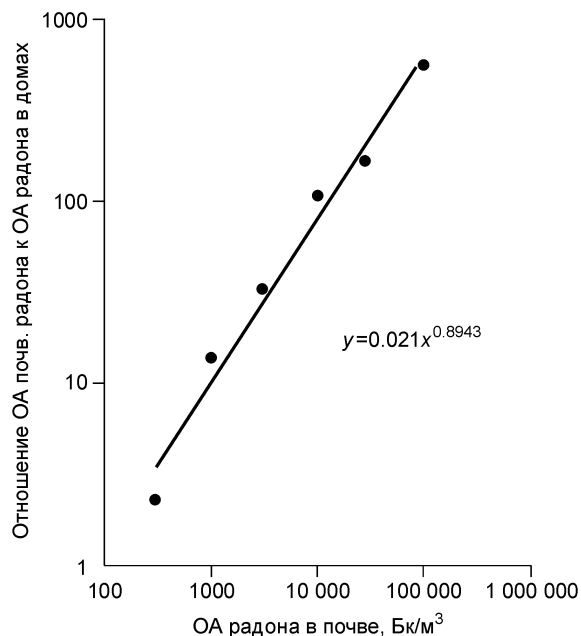


Таблица 2. Диапазоны вариаций и средние геометрические значения объемной активности (ОА) радона-222 в почве и помещениях сельских населенных пунктов Прибайкалья

Поселок	Вариации ОА радона-222 в почвах, Бк/м <sup>3</sup>	Средняя ОА в почвах, Бк/м <sup>3</sup>	Вариации ОА радона-222 в домах, Бк/м <sup>3</sup>	Средняя ОА в домах, Бк/м <sup>3</sup>	Отношение средних ОА по поселку в почве и домах
Белая Зима	1800—695 300	57577	37—1466	325	177.2
Большие Коты	2400—38 900	12872	100—742	262	49.0
Листвянка	3500—88 800	11540	20—960	250	46.2
Большая Речка	2000—74 800	10600	20—1100	232	45.7
Малое Голоустное	400—48 000	5197	27—434	132	39.4
Подкаменная	600—70 500	5056	20—252	110	46.0
Карлук	900—22 000	4196	7—369	108	38.7
Оек	400—17 000	3302	17—270	68	48.6
Одинск	550—6500	2726	17—113	66	41.3

разных радоноопасных провинциях Прибайкалья. Результаты мгновенных и интегральных измерений содержания радона в представительных выборках домов сопоставлены с данными измерений потоков радона из почвы, активностей изотопов радона в почвенном воздухе и содержаний естественных радионуклидов в почвах на территориях этих поселков. На каждый обследованный населенный пункт приводится среднее (по выборке обследованных домов) значение объемной активности радона, нижний и верхний пределы вариации.

Результаты сопоставления средних на населенный пункт активностей радона в почвенном газе и в воздухе помещений обследованных поселков Иркутского района показаны в табл. 2. Значения соотношений в основном близки к 45. Величины отношений между средними содержаниями радона в помещениях и в почвах, измеренными в поселках, расположенных в разных по степени радоновой опасности зонах, имеют близкие значения (с поправкой на зависимость от активности радона в почвах) при всем разнообразии геологических особенностей территорий обследованных поселков.

Казалось бы, исключением явился пос. Белая Зима, где неожиданно получилось более высокое значение отношения при более высоких активностях почвенного радона, т. е. объемная активность радона в воздухе домов этого поселка, несмотря на наличие значительных содержаний радона в помещениях, превышающих санитарные нормативы, оказалась меньшей, чем можно было бы ожидать при одинаковом отношении содержаний радона в почве и в домах.

Однако, как показано ранее, например [Varley, Flowers, 1994], отношение объемных активностей радона в почвенном газе и в воздухе помещений не является постоянной величиной по отношению к значениям активностей в почве. Это нужно учитывать при обобщении результатов измерений и составлении прогноза для территорий населенных пунктов (см. табл. 2), поэтому исключением, скорее, являются данные для поселков Большие Коты и Листвянка, чем данные для пос. Белая Зима.

Полученная зависимость отношения активностей радона-222 в почвах территории и домах позволяет сделать вывод о возможности использования этих отношений для прогнозирования радоновой опасности в других однотипных населенных пунктах не только Иркутского района, но и на территории Юго-Западного Прибайкалья. Хотя этот вид измерения имеет небольшую ценность в предсказании содержания радона в жилье, нет сомнения, что измерения радона в почве — полезный метод прогноза среднего уровня радона в домах для данной территории. Однако необходимо заметить, что использование этих результатов не может гарантировать успех для других территорий. В различных исследованиях оказывалось трудным установить корреляцию между уровнями радона внутри дома и радона в почвенном газе. Отношения концентраций радона между почвенным газом и внутри дома полностью еще не поняты, но ясно, что каждая географическая область будет иметь собственные особенности, определяющие радоновую обстановку, — в геологии, конструкциях домов и образе жизни жителей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и администрации Иркутской области (проект РФФИ-Байкал № 05-05-97305).

#### ЛИТЕРАТУРА

**Алексахин Р.М.** 42-я сессия Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН. Обзор. Информационный бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. М., ЦНИИАтоминформ, 1994, № 7—8, с. 27—33.

**Защита** от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах (Публикация 65 МКРЗ). М., Энергоатомиздат, 1995, 78 с.



**Методические указания** по выполнению измерений ОА радона и его ДПР в воздухе жилых и служебных помещений. МУ 2.6.1.715-98, М., 1998, 216 с.

**Разведочная** ядерная геофизика: Справочник геофизика / Под ред. О.Л. Кузнецова и А.Л. Поляченко. М., Недра, 1986, 422 с.

**Черняго Б.П., Непомнящих А.И., Пампура В.Д.** Торон и радон в почвах Прибайкалья // Материалы межд. конф. «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». Томск, 1996, с. 216—218.

**Nazaroff W.W., Nero A.V.** Radon and its decay products in indoor air. New York, J.Wiley & Sons, 1988, 758 p.

**Reimer G.M., Gundersen L.C.S.** A direct correlation among indoor radon soil gas and geology in the Reading Prong near Boyertown // Pennsylvania Health Physics, 1989, v. 57, № 1, p. 155—160.

**Scott A.G.** Site characterization for radon source potential: a progress review // Health Physics, 1992, v. 62, № 5, p. 422—428.

**Varley N.R., Flowers A.G.** Relations between indoor and soil gas radon in SW England. Portsmouth 94 Proceedings. Nuclear Technology Publishing, 1994, p. 297—300.

*Рекомендована к печати 27 марта 2008 г.  
Г.Н. Аношиным*

*Поступила в редакцию  
13 декабря 2007 г.*