



УДК 331.45:614.876

© А. И. Андреев, М. Б. Медведева, 2011

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДОНА В СЛУЖЕБНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ

*Андреев А. И.* – д-р тех. наук, проф. кафедры «Безопасность жизнедеятельности», тел. 40-75-15, e-mail: bgd@festu.khv.ru; *Медведева М. Б.* – асп., преп. кафедры «Безопасность жизнедеятельности», тел. 40-75-15, e-mail: bgd@festu.khv.ru (ДВГУПС)

Приводятся результаты экспериментальных исследований объемной активности радона в здании ДВГУПС. Рассматривается динамика поступления радона в служебные помещения в зависимости от времени года. Обсуждаются залповые выбросы радона в служебные помещения с увеличением объемной активности радона, превышающей гигиенические нормативы. Оцениваются риски злокачественных новообразований у работников за счет облучения радоном.

Results of the experimental research of radon volume activity in the building of FESTU are given. Dynamics of radon inflow into office accommodations is considered as a function of season. Battery radon emissions into office accommodations with increase of radon volume activity exceeding hygienic standards are discussed. Risks of malignant formation in workers due to radon irradiation are estimated.

*Ключевые слова:* залповые выбросы радона, объемная активность радона, риски злокачественных новообразований.

В настоящее время накоплена обширная информация о содержании радона в жилых и служебных помещениях. Радон высвобождается из почвы повсеместно, в том числе и в районе подземного ядерного взрыва [1], но его концентрация существенно различается в различных точках земного шара. Согласно оценке Научного Комитета по Действию Атомной Радиации (НКДАР) ООН, население за счет радона получает до 50 % годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения [2].

Основную часть дозы от радона человек получает вместе с вдыхаемым воздухом, находясь в закрытом непрветриваемом помещении. Данный эффект обусловлен комплексом причин [3], а именно наличием в непосредственной близости от здания или в нем источника радона; путей миграции радона между источником радона и зданием; движущей силы, побуждающей радон поступать внутрь здания; наличия путей проникновения радона внутрь

оболочки здания. При отсутствии хотя бы одной из этих причин объемная активность радона внутри здания будет обусловлена процессами воздухообмена с внешней атмосферой.

Основной источник радона – почва под зданием. Объемная активность радона в почвенном воздухе может составлять десятки килобеккерелей [4]. Менее существенным источником радона являются строительные материалы минерального происхождения, используемые при строительстве зданий. Потенциальным источником радона является вода, используемая для хозяйственных и бытовых нужд, так как при разбрызгивании воды происходит выделение в атмосферу растворенного в ней радона.

Из почвы под зданием и строительных материалов радон мигрирует по порам и трещинам. Процесс переноса радона обусловлен двумя механизмами: диффузным, то есть наличием градиента концентрации радона в среде, и конвективным, вызванным наличием разности давлений между внутренним объемом здания и внешней атмосферой. Принципиальные различия между диффузным и конвективным механизмами приводят к необходимости использования различных подходов к описанию этих процессов.

Рассмотренные механизмы поступления радона в здания, а также разработанные на основе этих механизмов модели расчета ожидаемых значений объемной активности, позволяют произвести оценку объемной активности радона лишь качественно, т. к., как правило, неизвестны численные значения таких параметров, как проницаемость почвы, эффективной площади натекания  $E_{LA}$ , площади натекания радона  $R_{LA}$  и других параметров. Кроме того, для получения численной оценки объемной активности радона необходимо рассматривать сезонные вариации поступления радона в здания, которые во многом зависят от типа здания на конкретной территории [3].

Поэтому, наряду с комплексной оценкой поступления радона в здание с учетом всех механизмов, на первоначальном этапе исследований необходимо проводить экспериментальные работы для получения эмпирических значений параметров, которые затем будут использоваться для количественных расчетов содержания радона в служебных помещениях.

Целью исследований, которые проводились в Дальневосточном государственном университете путей сообщения (ДВГУПС) в течение 2009–2010 гг., являлось изучение динамики поступления радона в служебные помещения, экспериментальное определение объемной активности радона в служебных помещениях университета, а также оценка рисков злокачественных новообразований у работников за счет облучения радоном.

В качестве объектов исследований были выбраны: убежище гражданской обороны, расположенное в подвальном этаже учебного корпуса, комната 3105, расположенная на первом этаже учебного корпуса, непосредственно над убежищем, и комната 3131, расположенная на первом этаже, на расстоянии около 150 м от комнаты 3105.

Измерения проводились с помощью радиометра радона РРА – 01М – 03, предназначенного для измерения ОА радона в воздухе жилых и рабочих по-



мещений. В соответствии с требованиями технической документации прибор ежегодно проходил поверку в лаборатории эталонирования измерительной техники. Результаты экспериментальных исследований объемной активности радона в убежище гражданской обороны и в комнате 3105 усредненные по месяцам представлены на рис. 1 и рис. 2 соответственно.

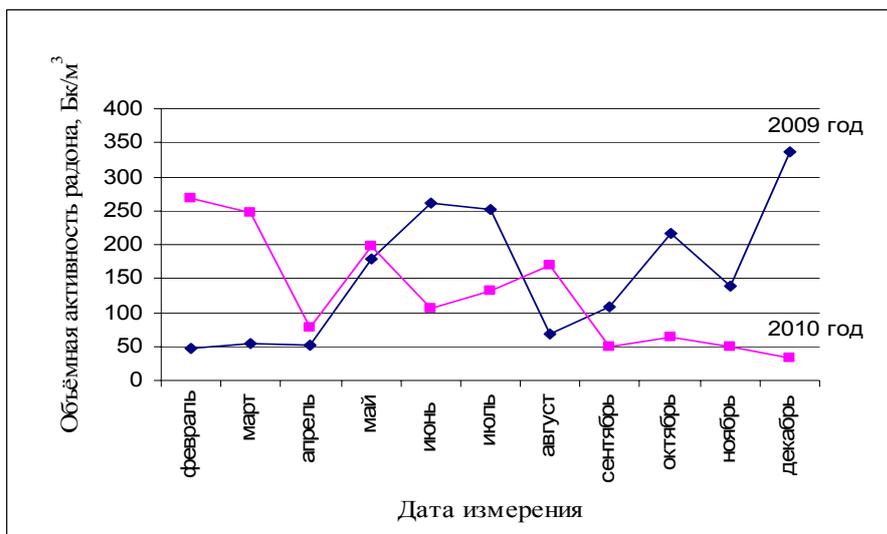


Рис. 1. Изменение объемной активности радона в убежище гражданской обороны за 2009–2010 гг.

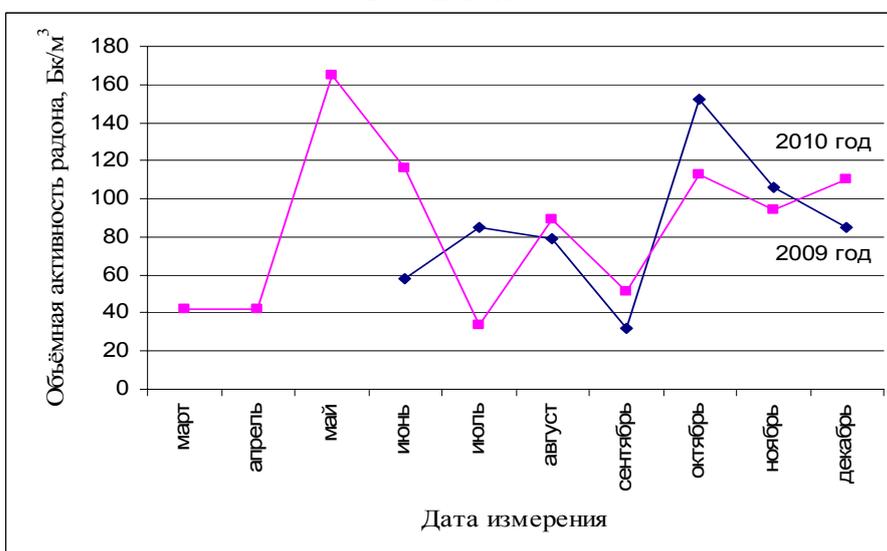


Рис. 2. Изменение объемной активности радона в комнате 3105 за 2009–2010 гг.

В подвальные помещения радон в основном поступает непосредственно из почвы, что обусловлено комбинацией диффузного и конвективного меха-

низмов, так как из-за разницы температур в подвале и в почвенном воздухе возникает естественная депрессия в подвальном помещении, которая является дополнительной движущей силой для поступления радона. Как отмечают авторы работы [3], обычно накопление радона в подвальном помещении зимой больше, чем летом. Такая зависимость подтверждается нашими данными. В 2009 г. объемная активность радона в убежище гражданской обороны в зимний период была в 1,3 раза выше, чем в летний период, а в 2010 г. это превышение составляло 1,5 раза.

При доминировании конвективного механизма поступления радона объемная активность радона в комнате 3105 для зимнего сезона должна быть выше, чем для летнего сезона. Результаты наших наблюдений не позволяют корректно подтвердить это предположение. Так, если в 2009 г. объемная активность радона в комнате 3105 в зимний период была в два раза выше, чем в летний период, то в 2010 г. объемная активность радона в летний период была несколько выше, чем в зимний период.

Для выявления источника поступления радона в комнату 3105 вся исходная выборка была разбита на 2 части. В первую часть были включены результаты экспериментальных наблюдений за март, апрель, октябрь, ноябрь, декабрь 2010 г. Во вторую часть были включены результаты экспериментальных наблюдений за май, июнь, июль, август, сентябрь 2010 г. Затем были построены графики изменения объемной активности радона в убежище и комнате 3105 (рис. 3, 4). В выборку не включены январь и февраль 2010 г., т. к. экспериментальные исследования объемной активности радона в к. 3105 начали проводиться с марта 2010 г.

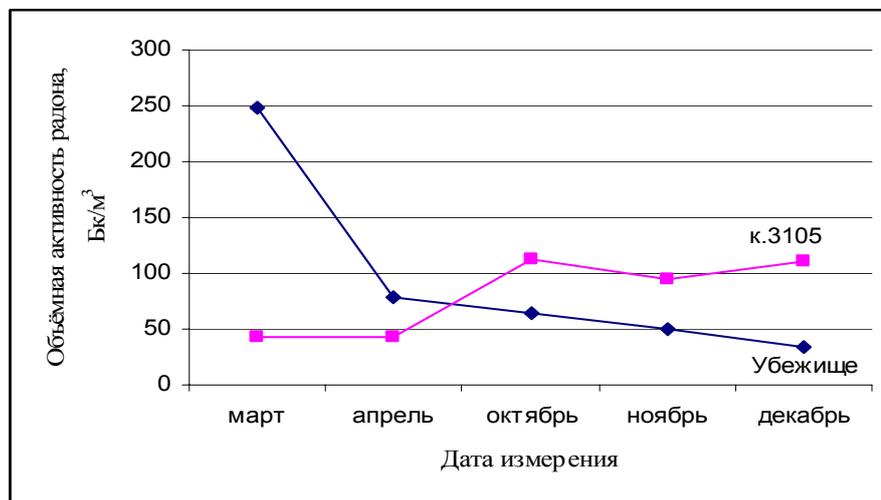


Рис. 3. Изменение объемной активности радона в 2010 г., первая часть выборки

Из рис. 3 видно, что с уменьшением объемной активности радона в убежище увеличивается объемная активность радона в комнате 3105. При анали-



зе второй части экспериментальных наблюдений за 2010 г. видно, что изменение объемной активности радона в убежище и комнате 3105 проходили практически одинаково с превышением объемной активности радона в убежище в мае, а также июле–августе 2010 г. (рис. 4).

Для оценки тесноты связи между вариациями объемной активности радона в убежище и комнате 3105 был рассчитан коэффициент парной корреляции  $\eta$ . Для первой части выборки 2010 г.  $\eta = -0,697$ , а для второй части выборки 2010 г.  $\eta = 0,616$ . Как следует из проведенного анализа, в первом случае существует сильная отрицательная связь анализируемых признаков. То есть основным источником поступления радона в комнату 3105 в рассматриваемой выборке является радон, находящийся в убежище. Такая же оценка проводилась и для сезонных вариаций объемной активности радона в 2009 г. В летний период  $\eta = 0,707$ . Для зимнего периода расчеты коэффициента парной корреляции не проводились из-за недостатка экспериментальных данных.

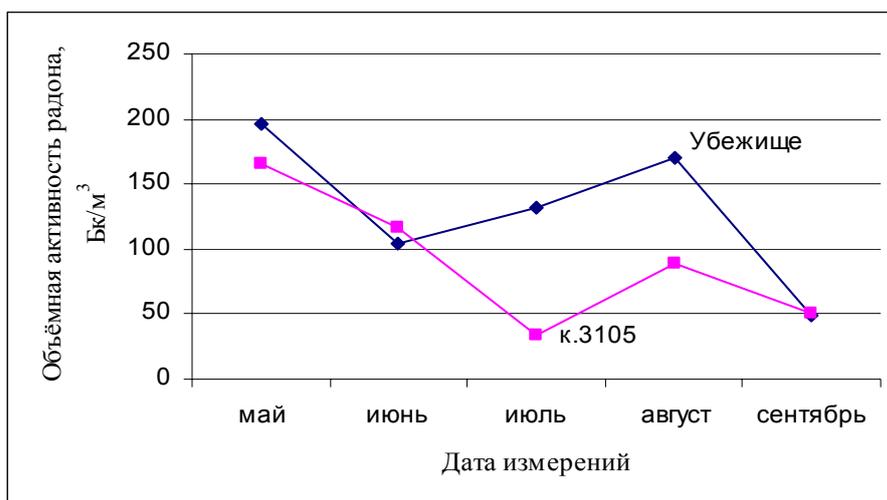


Рис. 4. Изменение объемной активности радона в 2010 г., вторая часть выборки

Если предположить, что скорость конвективного поступления радона в служебное помещение пропорциональна кратности воздухообмена, то для оценки сезонных вариаций уровней накопления радона можно воспользоваться зависимостью [3]:

$$C_{Rn}^{ind} = C_{Rn}^{atm} + (C_{Rn}^{bas} - C_{Rn}^{atm}) \times f + [S_D^{ind} / (V \times \lambda_v)], \quad (1)$$

где:  $C_{Rn}^{ind}$  – объемная активность радона в служебном помещении;  $C_{Rn}^{atm}$  – объемная активность радона в атмосфере;  $C_{Rn}^{bas}$  – объемная активность радона в убежище;  $f$  – коэффициент, показывающий, какая доля из общего воздухо-

обмена приходится на поступления из убежища;  $S_D^{ind}$  – диффузное поступление радона в служебное помещение;  $V$  – объем помещения;  $\lambda_v$  – кратность воздухообмена в служебном помещении.

Разница между объемной активностью радона в зимний и летний период возникает в результате сезонного изменения параметров в модельном уравнении (1). Этими параметрами могут быть кратность воздухообмена в служебном помещении, коэффициент  $f$  и объемная активность радона в убежище.

Если кратность воздухообмена является характеристикой каждого отдельного помещения, то, как показано в работе [3], значение зимнего параметра  $f$  будет превышать его летнюю величину.

Как следует из вышеизложенного, в зимний период значение объемной активности в комнате 3105 должно быть выше, чем в летний период, однако наши данные не подтверждают это положение. На наш взгляд, это связано с дополнительным поступлением радона в комнату 3105 через механизм залпового выброса радона и увеличения объемной активности радона в атмосфере. На рис. 5 показано изменение объемной активности радона в комнате 3105 за весь период наблюдений в 2010 г.

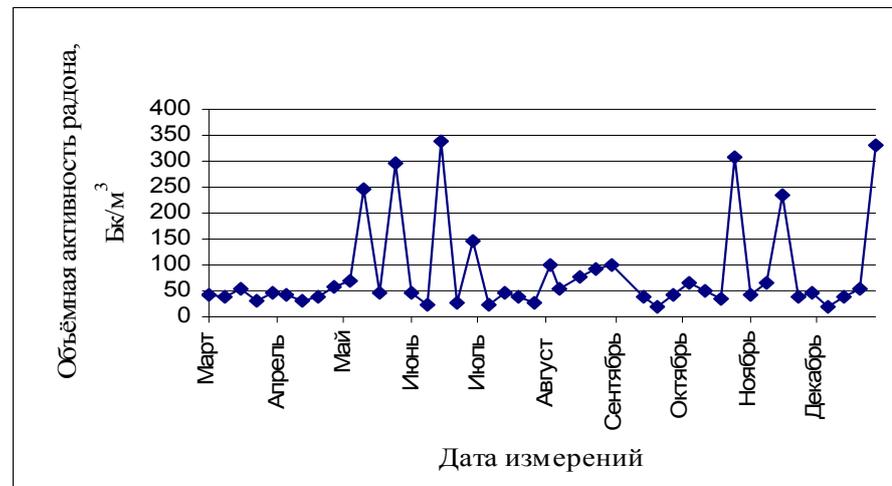


Рис. 5. Вариации объемной активности радона в комнате 3105 в 2010 г.

Как видно из рис. 5, в мае–июле 2010 г. наблюдалось резкое увеличение объемной активности радона в исследуемом служебном помещении. Так 16.06.2010 объемная активность радона составляла  $338 \pm 51$  Бк/м<sup>3</sup>, что в 1,69 раза превышало ПДК. В табл. 1 с использованием данных работы [5] приводятся характеристики землетрясений, которые произошли в регионе Дальнего Востока в 2010 г., даты залповых выбросов радона, а также увеличение объемной активности радона по сравнению со средним его значением.



Для изучения плотности потока радона в атмосферу из грунта в течение апреля–октября 2010 г. с помощью пробоотборной установки ПОУ – 4 отбирались пробы почвенного воздуха. Пробоотборная площадка располагалась на участке клумбы, расположенной на удалении 3,8 м от учебного корпуса № 2 ДВГУПС. Затем отобранная проба воздуха анализировалась в лаборатории. Плотность потока радона из грунта за период исследований менялась в диапазоне от 34,4 мБк/с·м<sup>2</sup> в апреле до 254 мБк/с·м<sup>2</sup> в мае. Среднее значение плотности потока радона в пределах пробоотборной площадки за период исследований составило  $98,8 \pm 30$  мБк/с·м<sup>2</sup>, причем в мае плотность потока радона увеличилась по сравнению со средним значением в 2,6 раза.

Таблица 1

Характеристика землетрясений, произошедших в регионе Дальнего Востока в 2010 г. и даты залпового выброса радона

Дата залпового выброса	Увеличение объемной активности радона, раз	Землетрясение		
		Дата	Место	Магнитуда, <i>m</i>
12 мая	4,75	11 мая	-	-
		12 мая	Юго–восточнее о. Хонсю, Япония	5,3
26 мая	5,70	25 мая	Провинция Сычуань, Китай	5,4
		26 мая	Юго–восточнее о. Рюкю, Япония	5,2; 6,2
16 июня	6,12	15 июня	Восточнее Курильских островов	3,9
		16 июня	Курильские острова;	4,0
			Восточное побережье о. Хонсю, Япония	5,1
30 июня	2,80	29 июня	Курильские острова	3,9; 3,5; 5,7
		30 июня	Провинция Сычуань, Китай	5,1
			Цинхай, Китай	4,9
			Цинхай, Китай	4,8

Как показано в работе [6], динамику миграции радона в восходящих потоках подземных вод и трещино-инфильтрационных системах отмечает высокая степень связи с сейсмической активностью территории. Микросейсмы импульсно повышают скорость восходящего потока, в результате чего концентрация радона в поверхностном слое может увеличиваться весьма существенно. При этом повышенную радононосность участка отражают не сильные землетрясения, а высокая повторяемость слабых. В работе [7] также отмечается, что объемная активность радона разломных зон при прочих равных условиях зависит от их тектонической активности, размера и морфогенетического типа.

В качестве рабочей гипотезы можно высказать предположение, что увеличение объемной активности радона в летний период 2010 г. в комнате 3105

связно с залповыми выбросами радона, обусловленными повышением тектонической активности в регионе Дальнего Востока в рассматриваемый период. Это, в свою очередь, привело к увеличению плотности потока радона из грунта и повышению его содержания в атмосфере. Такая гипотеза требует более детальной проработки, включая получение экспериментальных данных за более длительный промежуток времени.

В соответствии с требованиями норм радиационной безопасности эффективная доза облучения природными источниками излучения всех работников, включая персонал, не должна превышать 5 мЗв в год в производственных условиях (любые профессии и производства) [8]. По методике, приведенной в работе [9], был проведен расчет эффективной дозы облучения работников в течение 2009–2010 гг. в комнате 3105 и 3131 за счет радона. Продолжительность работы в соответствии с требованиями [8] принималась 2000 ч/год. Кроме того, был проведен расчет возможной эффективной дозы облучения 3131 за счет радона в убежище в случае постоянного пребывания в нем работников. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета эффективной дозы облучения за счет радона работников за год, мЗв/год

Год	Убежище	Комната 3105	Комната 3131
2009	1,87	0,975	0,780
2010	1,78	0,948	0,708

Для наиболее полной оценки вреда, который может быть нанесен здоровью в результате облучения в малых дозах, определяется ущерб, количественно учитывающий как эффекты облучения отдельных органов и тканей тела, отличающихся радиочувствительностью к ионизирующему излучению, так и всего организма в целом. В соответствии с общепринятой в мире линейной беспороговой теорией зависимости риска стохастических эффектов от дозы, величина риска пропорциональна дозе излучения и связана с дозой через линейные коэффициенты радиационного риска, приведенные в работе [8]. Результаты расчета риска злокачественных новообразований приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета риска злокачественных новообразований работников

Год	Убежище	Комната 3105	Комната 3131
2009	$7,67 \times 10^{-5}$	$3,99 \times 10^{-5}$	$3,20 \times 10^{-5}$
2010	$7,40 \times 10^{-5}$	$3,89 \times 10^{-5}$	$2,90 \times 10^{-5}$

В соответствии с [8] уровень пренебрежимо малого риска составляет  $1 \times 10^{-6}$ . Как следует из табл. 3 риск возникновения злокачественных новообразований у работников незначительный, однако им пренебрегать нельзя, и для снижения риска до уровня пренебрежимо малого необходимо проводить



защитные мероприятия, в частности перед началом и в течение рабочего дня проветривать рабочие помещения.

По результатам экспериментальных исследований динамики поступления радона в служебные помещения можно сделать следующие выводы:

1. Существующие модели расчета ожидаемых значений объемной активности позволяют произвести оценку объемной активности радона лишь качественно. На первоначальном этапе исследований необходимо проводить экспериментальные работы для получения эмпирических значений параметров, которые затем будут использоваться для количественных расчетов содержания радона в служебных помещениях.

2. В результате залпового выброса радона объемная активность радона в служебных помещениях может увеличиться до 6 раз и превышать ПДК в 1,7 раза.

3. В мае 2010 г. плотность потока радона из грунта увеличилась по сравнению со средним значением в 2,6 раза.

4. Увеличение объемной активности радона в летний период 2010 г. в служебных помещениях связано с залповыми выбросами радона, обусловленными повышением тектонической активности в регионе Дальнего Востока в рассматриваемый период.

5. Риск возникновения злокачественных новообразований у работников незначительный, и составляет, в зависимости от помещения, от  $2,90 \times 10^{-5}$  до  $7,67 \times 10^{-5}$ .

### Библиографические ссылки

1. *Идентификация* мест выхода газообразных радиоактивных продуктов из горного массива на дневную поверхность по проявлениям тепловой аномалии в эпицентральной зоне подземного ядерного взрыва / А. И. Андреев // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2008. – № 1 (8).

2. *Радиация. Дозы, эффекты, риск* / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.

3. *Жуковский М. В., Кружалов А. В., Гурвич В. Б., Ярмошенко И. В.* Радоновая безопасность зданий. – Екатеринбург: УрО РАН, 2000.

4. *Андреев А. И., Медведева М. Б.* Экспериментальные исследования объемной активности радона в помещениях здания ДВГУПС. Бюллетень научных сообщений № 15: Сб. науч. тр. / Под ред. В. И. Строгонова. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011.

5. *Геофизическая служба Российской Академии Наук.* Интернет-ресурс: <http://www.ceme.gsras.ru/ccd.htm>

6. *Андреев А. И., Коковкин А. А.* Методика оценки радоновой опасности на объектах Дальневосточной железной дороги. Современные проблемы регионального развития: Материалы II междунар. науч. конф. Биробиджан, 06–09 октября 2008 г. / Под ред. Е. Я. Фрисмана. – Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2008.



7. *Отражение* некоторых особенностей разломных зон приольхонья и южного приангарья в эманациях радона /А. А Бобров // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о земле. – 2009. – Т. 2.

8. *Нормы* радиационной безопасности НРБ–99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523–09.

9. *Маслодудов Ю., Кун С.* Методика определения радонового излучения в жилых помещениях и на открытом воздухе. Интернет-ресурс: <http://2001.vernadsky.info/e7/w01045.html>