

## ДИНАМИКА РАДОНОВОЙ АКТИВНОСТИ В СВЯЗИ С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

А.В. Шитов

Горно-Алтайский государственный университет, г. Горно-Алтайск

Актуальность радоновых исследований в настоящее время связана с выявленным влиянием радона на здоровье населения. Наибольший вклад в годовую эффективную дозу населения России и других стран вносит облучение от природных источников ионизирующей радиации. Даже в областях, наиболее пострадавших от аварии на Чернобыльской атомной электростанции, – Брянской, Тульской, Орловской, Калужской – облучение от природных источников ионизирующего излучения составляет свыше 76,4 % общей дозы радиационного воздействия на людей (Стамат, Кормановская, 2008). Имеются сведения, что в России проживает не менее 1 млн. человек с дозами облучения за счет природных источников свыше 10 мЗв/год (Романович, 2007).

Известно, что радон в недрах земли распространен крайне неравномерно. Он связан с тектоническими разломами, куда он поступает по системе трещин и микротрещин пород и кислыми интрузивными массивами с развитой трещиноватостью (Сорокин, Яценко, 2000). Временные аномалии концентрации радона являются индикатором процессов разрушения, происходящих в природной среде (Беликов, Шестаков, 2004; Каратаев, Яковлева и др., 2009). При этом интерпретация измеренных данных по временным вариациям радона дает возможность судить об изменениях в структурно-петрофизических характеристиках геосреды в процессе разрушения и свидетельствовать о химических и геофизических аномалиях в подобных участках.

Наиболее сильно радон связан с современными сейсмическими процессами. Неотектонические движения земной коры играют важную роль в формировании современного облика поверхности Земли. Продолжающиеся до современного времени неотектонические движения влияют на формирование рельефа, расположение речных долин, расселение биоты и др. Изучение и картирование расположения различных разломных структур имеет важное значение для решения ряда практических вопросов тектогенеза территории. Разлом является плоским геологическим телом, сложенным дробленной и милонитизированной породой, крайне неоднородной как в структурно-вещественном составе, так и в распределении полей напряжений. В зоне разлома проявляются особые динамические характеристики вещества, реагирующие на внешние воздействия. Кроме того, система, которую представляет собой разлом, является многокомпонентным образованием в общей структуре земной коры и может воздействовать на природную среду, население и технические сооружения. Поэтому разломные структуры необходимо рассматривать как активную энерго- и массоэнергоактивную систему, через которую к поверхности поступают потоки вещества и энергии (Летников, 2004; Семинский, Бобров, 2009).

На территории Горного Алтая радон связан: с эманациями от кислых магматических и метаморфических комплексов; с зонами тектонических разломов; с естественной уран-ториевой минерализацией горных пород. Миграция радона осуществляется в газообразном или водорастворенном состоянии. Рыхлые и сильно трещиноватые породы (зоны тектонических нарушений, пликативных деформаций) характеризуются повышенным эманированием радона.

Для изучения закономерностей в соотношении между разломными зонами и вмещающими породами важными характеристиками являются закономерности геофизических полей и процессов. Эманиационное поле радона и торона отчетливо отражает расположение разломных зон. Данный эффект связан с тем, что по зонам трещиноватости и разломным зонам осуществляется эманирование радона из глубин. Также повышение этого поля связа-

но с тем, что водоносная система, расположенная в пределах разлома, представляет собой связанную сеть флюидопроводящих каналов и реагирующих на деформации земной коры. Таким образом, радоновая съемка является четким поисковым методом на поиск разломных зон. Как показал опыт предшественников, эманацонные исследования разломных зон осуществлялись с целью картирования и выявления размеров зон разломов. В нашем случае, практически все разломные структуры перекрыты толщей моренных отложений и для надежности выявления использовались геоморфологические, геофизические, геохимические и биоиндикационные критерии.

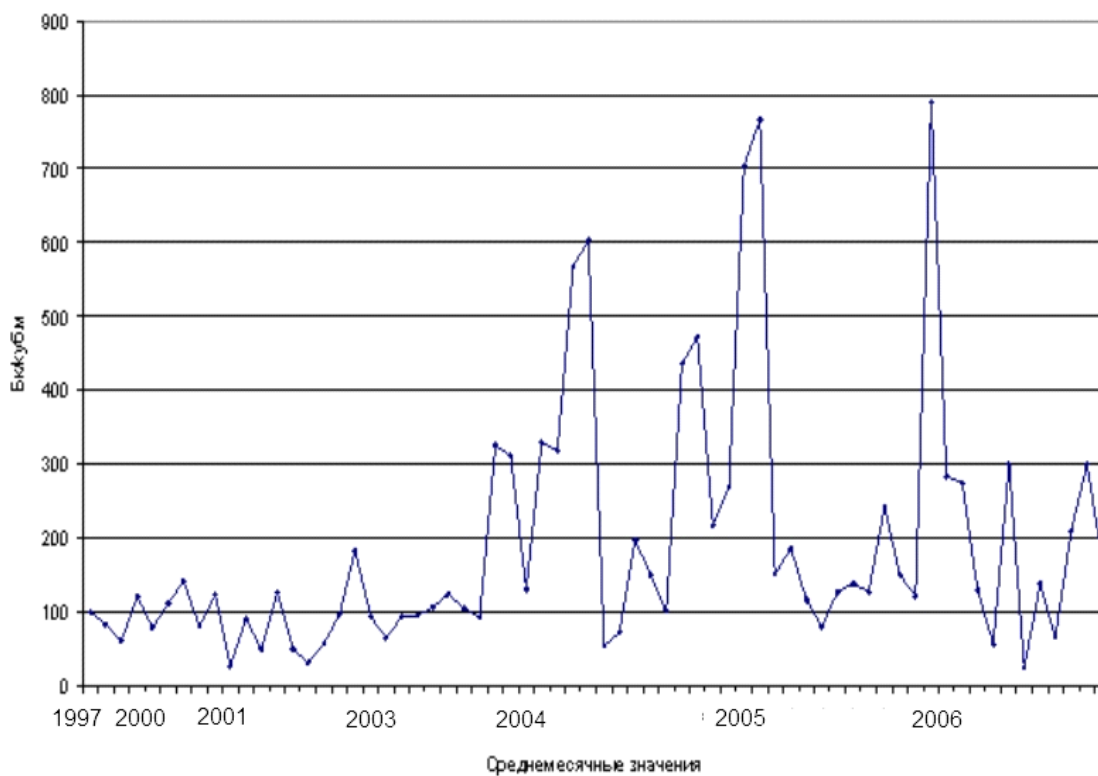
#### ***Методика работ.***

Радонометрические работы производились радиологической лабораторией Роспотребнадзора, территориальным центром «Алтайгеомониторинг» при помощи аппаратуры Alpha Quard PQ-2000, PPA-01-03M. Нами исследования производились при помощи сейсмической радоновой станции СРС-05 в подпочвенном воздухе по выявленным геологическим структурам, магнитным и геохимическим аномалиям. При помощи СРС-05 проводились измерения объемной активности (ОА) радона-222 и количества распадов  $^{216}\text{Po}$  в подпочвенном воздухе. Дополнительно контролировались следующие параметры окружающей среды: температура, относительная влажность и давление. Измерение ОА радона-222 и количества распадов  $^{216}\text{Po}$  основано на электростатическом осаждении положительно заряженных ионов  $^{218}\text{Po}$  и  $^{216}\text{Po}$  из отобранной пробы воздуха на поверхность полупроводникового детектора с помощью высокого положительного потенциала, поданного на электрод измерительной камеры. Активность радона-222 определяется соответственно по количеству зарегистрированных альфа-частиц при распаде  $^{218}\text{Po}$  альфа-спектрометрическим методом воздуха (Сейсмическая ..., 2009). Также производилось изучение влияния сейсмической активности на вариации объемной активности радона. Объемная активность – отношение активности радионуклида в веществе к объему вещества. В период повышения сейсмической активности аномальные изменения ОА почвенного радона могут проявляться на значительных расстояниях от эпицентра землетрясения. С целью повышения чувствительности радонового метода мониторинг стараются производить на территориях с наличием глубинных высокоактивных источников радона (породы с высоким содержанием урана, зоны тектонических разломов в земной коре) (Рудаков, 2009). На таких территориях наблюдается увеличение амплитуды аномальных всплесков.

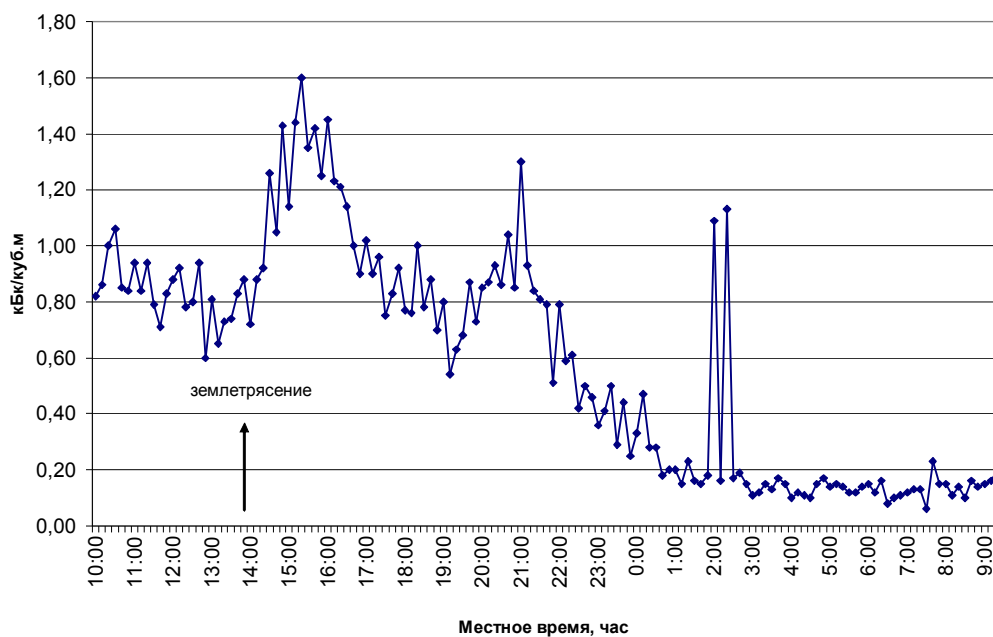
#### ***Результаты исследования.***

По данным радиологической лаборатории Роспотребнадзора по Республике Алтай, современная радиационная обстановка на значительной части территории республики является напряженной. Радиационная доза облучения, получаемая ежегодно среднестатистическим жителем республики от природных источников и медицинских процедур, составляет 13,1 мЗв, в том числе от внутреннего облучения – 10,6 мЗв. При этом почти 60 % этой дозы формируется за счет радона. В результате сейсмической активизации, происходящей на территории Алтае-Саянского региона в настоящее время в целом, по республике возросли концентрации радона в подвальных помещениях жилых и производственных зданий. Средневзвешенная объемная концентрация радона по республике, с учетом данных 2005-2006 гг., составила 258 Бк/м<sup>3</sup>, что соответствует дозе облучения 10,4 мЗв/год. Наиболее высокие плотности потока радона приходятся на Онгудайский, Турочакский, Чойский и Майминский районы, а также г. Горно-Алтайск. Наиболее напряженная обстановка по радону имеет место в Турочакском районе, где до 80 % населения подвержено его воздействию выше нормируемого показателя. Следовательно, для отдельных сел республики возникают проблемы минимизации влияния радона на здоровье населения (Гвоздарев, 2006).

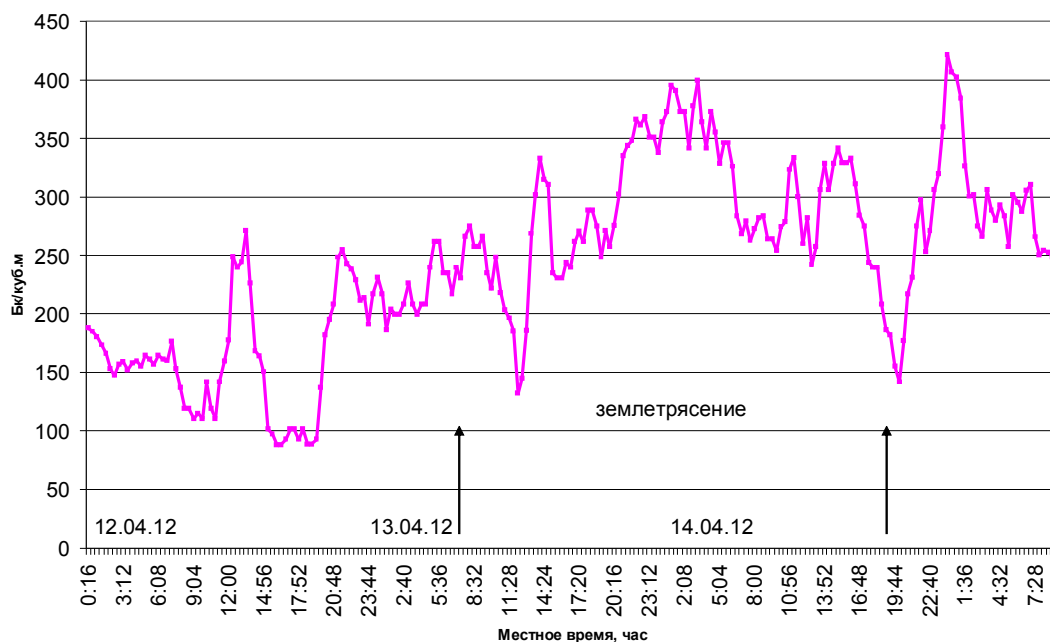
Результаты измерения объемной активности радона по территории Горно-Алтайска и административных районов Республики Алтай (Гвоздарев, 2006) показали сильную диффе-



**Рис. 1.** Динамика среднемесячной радоновой активности по г. Горно-Алтайску (по данным радиологической лаборатории Респотребнадзора Республики Алтай).



**Рис. 2.** Реагирование эманации радона в г. Горно-Алтайске на одно из афтершоковых землетрясений, произошедшее 11.03.04 г. в 13:53 час с эпицентром вблизи с. Акташ (данные о землетрясении представлены Геофизической службой СО РАН).



**Рис. 3. Пример изменения динамики объемной активности радона в результате землетрясений.**

ренциацию значения радоновой активности по территории, причем в ряде случаев повторные измерения ОА, проведенные в Горно-Алтайске, совершенные спустя несколько дней, показывали существенно более низкие значения плотности потока радона. В связи с чем нами было предположено, что в данном случае ведущую роль в значениях эманиции радона играют сейсмические события, происходящие на территории Горного Алтая, и пространственные карты ОА, построенные на основе снятых за разные временные промежутки (2003-2007 гг.) данных, являются некорректными. Поэтому нами был предложен подход, отражающий временные закономерности динамики радона. При этом отбирались средние значения по точкам измерения и эти значения усреднялись по месяцам, в которые производились измерения. По этим данным и строился график среднемесячной динамики радона (рис. 1).

В результате было выявлено, что активизация радона связана с Чуйским землетрясением (сентябрь 2003 года), сейсмическими событиями в районе г.Горно-Алтайска. Здесь максимальные значения среднемесячной радоновой активности отмечаются в феврале 2004 г. Высокий средний уровень радона в ноябре-декабре 2004 года, феврале-марте 2005 года и марте 2006 года связаны с афтершоковым процессом Чуйского землетрясения.

Детальный суточный анализ динамики радона также показал, что существует влияние сейсмических процессов на эманиция радона (рис. 2). За несколько часов перед землетрясением происходит активная эксгаляция радона, при этом его уровень повышается, достигая после основного толчка максимума, а спустя несколько часов после землетрясения уровень радона понижается до фонового.

Горно-Алтайск находится под влиянием повышенной активности этого газа. При этом на содержание радона в нашем городе влияет не один фактор. Так, превышение норм наблюдается либо вблизи разломов, либо в районах, возведенных на возвышенностях, на окраинах города. Высокие показатели могут быть связаны с интрузиями, залегающими под этими возвышенностями. В центральной части города, перекрытой рыхлыми четвертичными отложениями, уровни активности радона относительно не высокие.

Нами проводились мониторинговые исследования динамики подпочвенного радона при помощи сейсмической радоновой станции СРС-05. Станция была установлена в раз-

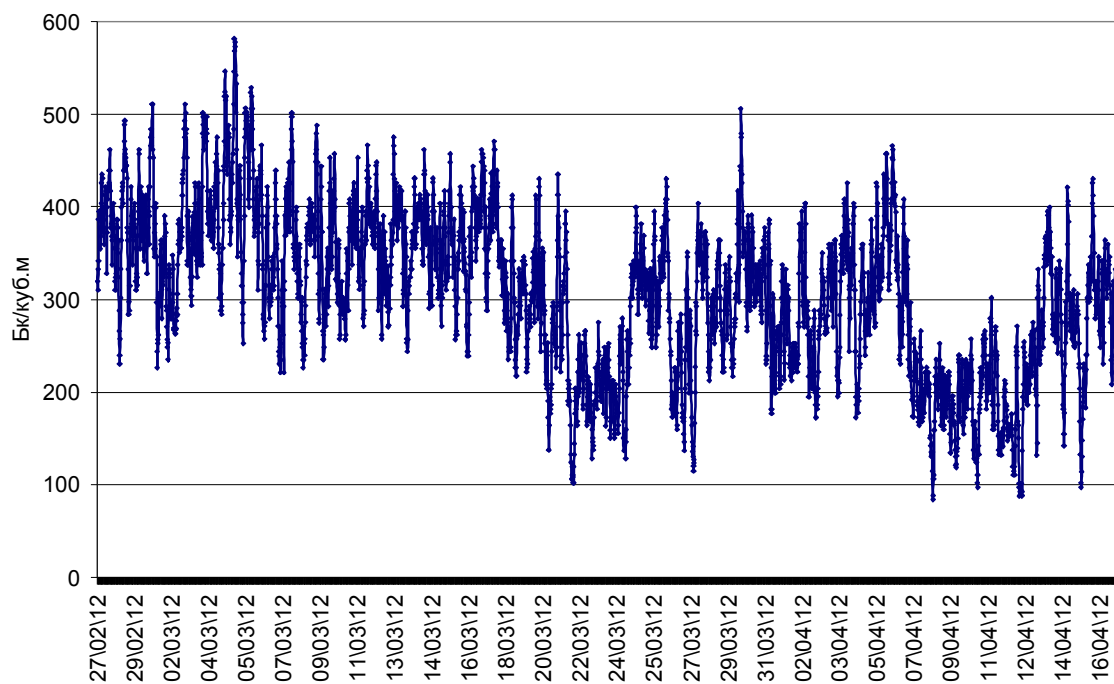


Рис. 4. Динамика объемной активности радона в г. Горно-Алтайске.

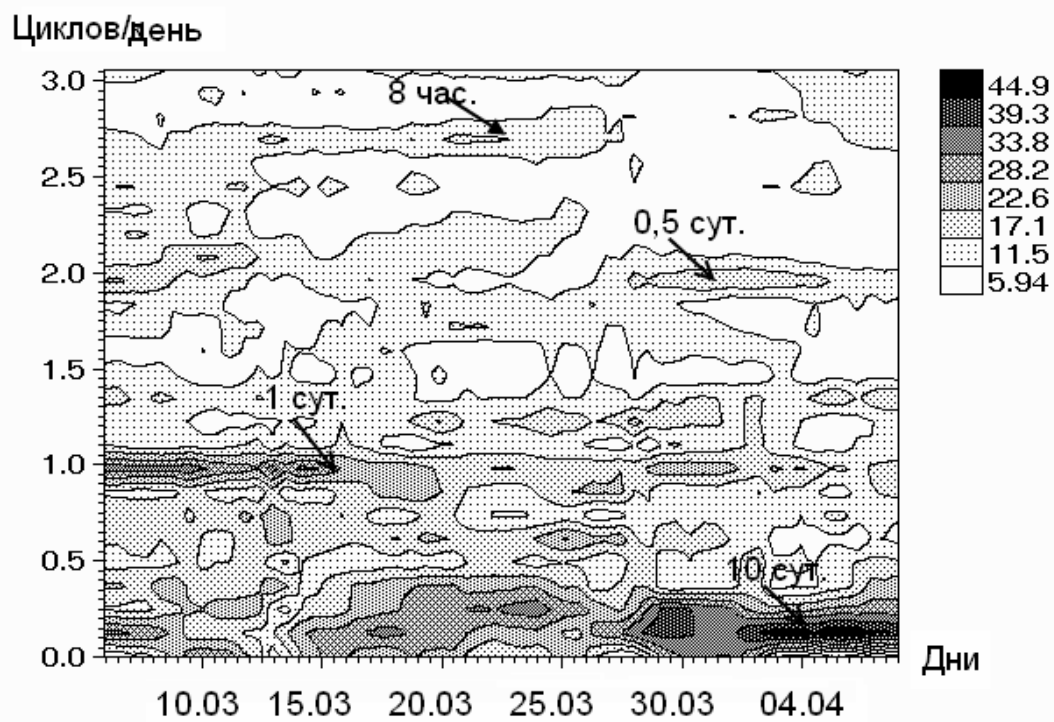


Рис. 5. Спектрально-временной анализ объемной активности радона.

ломной зоне в городской черте и вела в автоматическом режиме измерения радона и торона. Одновременно станцией измерялась температура, давление и влажность. В результате зафиксированы резкие увеличения эксгаляции радона перед сейсмическими событиями с магнитудой порядка 3 (рис. 3). Здесь показаны реакции на сейсмические события, произошедшие 13.04.12 г. в 01:35 час, с эпицентром в Чарышском районе Алтайского края и 14.04.12 г. в 13:03 час (время по Гринвичу) с эпицентром вблизи оз.Джулуколь Улаганского района Республики Алтай. Данные о землетрясении представлены Геофизической службой СО РАН.

Временные вариации ОА радона зависят от сложности и разнообразия особенностей геологических структур, изменчивости фильтрационных свойств среды. Изменение метеорологических условий также значительно влияют на показатели радона. Поэтому в ряде случаев влияние сейсмических характеристик на динамику объемной активности может быть незамечено (Спивак, 2008).

Для анализа динамики радона нами проводились измерения ОА радона в период с 27.02 по 14.04.12 г. Отметим, что на графике (рис. 4) выделяется период сейсмической активизации на территории Тывы (29.02-06.03.12 г.) увеличением объемной активности радона.

Для выявления изменения периодичностей эманации радона нами был использован спектрально-временной анализ (Гамбурцев, 2009). В результате было выявлено, что очень хорошо выявляется 10-дневная и суточная периодизация объемной активности радона (рис. 5). Так же проявляется полусуточная и 8-часовая периодичность. Данный метод позволил показать, что в период с 15.03 по 30.03.12 г. изменялась периодичность ОА, что связано с сезонными характеристиками, в том числе и в связи с изменением уровня грунтовых вод.

Очень важно вести исследования радоновой концентрации относительно сейсмической активности. Регулярные измерения содержания радона на линии активных геологических разломов могут помочь в картировании активных тектонических структур. Известно, что при подготовке сейсмического очага обычно происходит усиление электромагнитного и инфразвукового излучения, усиливается истечение радона. При этом перед сильным землетрясением наблюдается резкое увеличение концентрации радона в подземных водах и почвенном газе (в 2-5 раз за 7-18 дней, в зависимости от магнитуды ожидаемого землетрясения), и резкое уменьшение концентрации радона до уровня ниже среднего непосредственно после землетрясения), ртуть и других газовых компонент, изменяется состав подземных и поверхностных вод, что неблагоприятно сказывается на здоровье человека и приводит к стрессам.

Анализ изменений, происходящих в земной коре и атмосфере в результате подготовки и протекания сейсмических событий, позволил предложить единый механизм взаимосвязи между различными процессами, протекающими в это время. Этот механизм предполагает существенное влияние подготовки и протекания сейсмических событий на динамику различных геологических, геохимических и геофизических процессов, протекающих на территории. Кроме этого, существенное влияние на протекание таких процессов играет блочность геологической среды (Садовский, Писаренко, 1991). Отдельные блоки, обладающие различной плотностью, по-разному реагируют на подвижки, происходящие в результате геодинамической активизации. Под действием региональных и локальных полей напряжений в геологической среде могут возникать динамические поля напряжений, связанные с системой трещин (Шило и др., 1983). В случае резкого изменения динамического поля напряжений происходит изменение характеристик водных и газовых флюидов (в том числе и радона), и доля соединений, находящихся в метастабильном состоянии, будет увеличиваться пропорционально росту градиента. При этом функцией от количества и качества глубинных компонентов является сейсмическое событие и размеры тектонических нарушений, по которым проникают глубинные флюиды (Шитов, 2011). Таким образом, регистрируя альфа-частицы при распаде радона, можно получить данные о накоплении глубинных земных напряжений с целью предсказания момента «спускового крючка» сильного землетрясения.

Сопоставляя данные по радону с данными других сейсмических методов наблюдений, можно более детально судить о геологических процессах, протекающих в земной коре, вероятных сроках и силе землетрясений, направлениях преимущественного распространения сейсмической волны, т.е., таким образом, решать фундаментальные вопросы геотектоники, сейсмологии и геоэкологии.

### **Литература**

Беликов В.Т., Шестаков А.Ф. Использование радоновых измерений для изучения изменений энергии деформации, поверхностной энергии и давления в разрушающейся геосреде // 4-я Всероссийская научная конференция “Физические проблемы экологии (Экологическая физика)” (22–24 июня 2004 г., Москва). Тезисы докладов. Москва: МГУ, 2004. С. 133-134.

*Гамбурцев А.Г.* Человек и три окружающие его среды//Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Том 4. М.: ООО Светоч-Плюс, 2009. С. 19-57.

*Гвоздарев А.Ю.* Построение карт-схем активности и плотности потока радона на территории Республики Алтай и анализ ее связи с заболеваемостью // Основные проблемы охраны окружающей среды и благополучия человека в Сибирском федеральном округе, перспективы их решения. Сборник материалов конференции. Горно-Алтайск, 2006. С. 137-147.

*Каратаев В.Д., Яковлева В.С., Инполитов И.И., Кабанов М.В., Нагорский П.М., Фирстов П.П., Вуколов А.В., Смирнов С.В.* Методология скоординированного эксперимента по изучению переноса радона в системе «литосфера-атмосфера» // Становление и развитие научных исследований в высшей школе. Сборник трудов Международ. научн.конф. Том 1. Томск: изд-во ТПУ, 2009. С. 185-191.

*Летников Ф.А.* Синергетика нелинейных природных и техногенных воздействий на человека // Экология антропогена и современности: природа и человек. СПб: Гуманистика, 2004. С. 324-332.

*Романович И. К.* Современное состояние и задачи обеспечения радиационной безопасности населения России: Материалы X Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей [под ред. Г.Г. Онищенко, А.И. Потапов]. Книга II. М., 2007. С. 415–419.

*Рудаков В.П.* Эманиационный мониторинг геосред и процессов. М.: Научный мир, 2009. 176 с.

*Садовский М.А., Писаренко В.Ф.* Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 96 с.

*Сейсмическая радоновая станция.* Руководство по эксплуатации. Москва: НТМ-Защита, 2009. 22 с.

*Семинский К.Ж., Бобров А.А.* Радоновая активность разнотипных разломов земной коры (на примере Западного Прибайкалья и Южного Приангарья) // Геология и геофизика, 2009, Т. 50, № 8, С. 881-896.

*Сорокин В.М., Яценко А.К.* Возмущение квазистационарного электрического поля в атмосфере над сейсмоактивными районами // Химическая физика. Том 19, № 6, 2000. С. 71-80.

*Спивак А.А.* Объемная активность подпочвенного радона в зонах тектонических нарушений // Геофизика межгеосферных взаимодействий. М.: ГЕОС, 2008. с. 235-246.

*Стамат Н.П., Кормановская Т.А.* Уровни облучения населения России на территориях с повышенным радиационным фоном. Сб.тез. Международная научно-практическая конференция (14–17 сент. 2008, С.-Петербург). СПб., 2008. С. 135–138.

*Шило Н.А., Измайлов Л.И. и др.* Влияние сейсмического фактора на процесс рудообразования на примере золоторудных месторождений // Тихоокеанская геология, 1983. № 5. С. 21–26.

*Шитов А.В.* Динамика природных характеристик и здоровье населения (на примере Чуйского землетрясения 2003 г.). Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 130 с.