

## Сравнительный анализ вариаций полей радона и водорода в условиях сейсмоактивного и платформенного регионов

В. П. Рудаков, В. В. Цыплаков  
Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта, Москва  
[rudak@mail.ru](mailto:rudak@mail.ru); тел.: 8 (499) 254 9006

*Ключевые слова:* эманационный мониторинг, приливные деформации, спектральный анализ.

**Ссылка:** Рудаков, В. П., В.В. Цыплаков (2011), Сравнительный анализ вариаций полей радона и водорода в условиях сейсмоактивного и платформенного регионов, *Вестник ОНЗ РАН*, 3, NZ6084, doi:10.2205/2011NZ000214.

Ранее нами было показано, что при выполнении требований разработанной для сейсмопрогностических целей технологии эманационных измерений, обеспечивающей измерение вариаций деформаций земной коры на уровне приливных возмущений, удастся отслеживать процессы регионального и глобального изменения напряженно-деформированного состояния литосферы в периоды, предвещающие и сопутствующие высвобождению сейсмической и вулканической энергии [Рудаков, 2009].

В развитие методологических аспектов оценки реакции флюидодинамических систем разломных структур земной коры на процессы подготовки геодинамических событий был проведен компарационный анализ вариаций временных рядов эманационных полей (радона и водорода), полученных в геодинамически активном регионе (на Камчатке) и в условиях сейсмически пассивной Русской платформы (Московская синеклиза). Причем, спектральные составляющие данных временных рядов сопоставлялись с результатами спектрального анализа данных лазерной деформометрии, полученных в условиях Кавказа [Милуков и др., 2007].

Непрерывные наблюдения за вариациями флюидодинамического режима Московской синеклизы осуществлялись в зоне динамического влияния разломов, пересекающихся в центральной части Москвы по эманациям радона и водорода [Рудаков, Цыплаков, 2008] с использованием оригинальной технологии, обеспечивающей регистрацию геодеформационных процессов на уровне  $10^{-8}$ . Аналогично измерения осуществлялись на Камчатке в районе поселка Паратунка, где геодинамическая активность территории перманентно проявляется выходом на поверхность источников термоминеральных вод [Фирстов, 1999].

Анализируемый фрагмент временных рядов одновременной регистрации названных параметров (рис.1) представляет собой результаты квазинепрерывных записей, осредненных в часовые интервалы, общей длительностью 13510 часов, т.е. более 1,5 лет.

Сопоставление временных рядов параметров эманационных полей, полученных на Камчатке и в условиях Русской платформы посредством вычисления функции скользящей корреляции, свидетельствует об определенно общем характере геодеформационных процессов, определяющих режим флюидопереноса в заведомо различающихся геодинамических условиях. На это указывает корреляционная связь между анализируемыми параметрами (рис.2), которая в интервалах, кратных сезонным циклам длительностью несколько месяцев, варьирует от стопроцентно положительных до стопроцентно отрицательных значений.

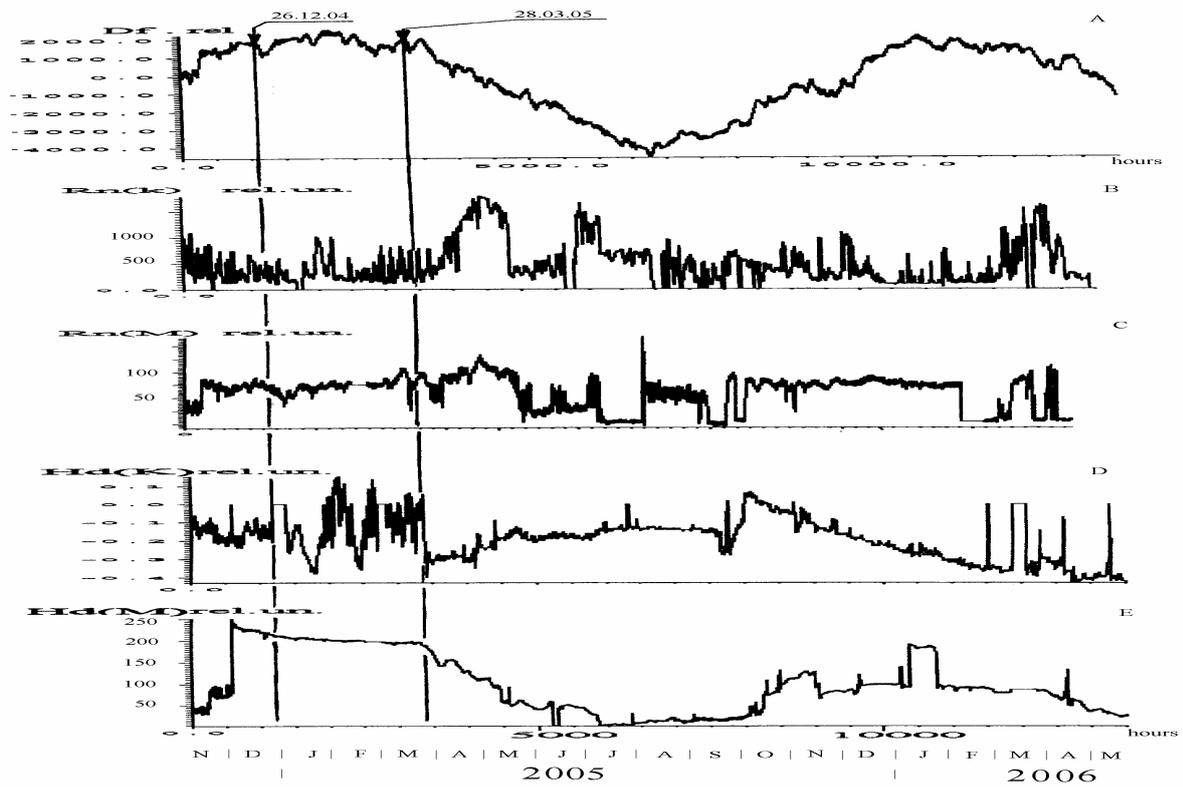


Рис.1. Временные ряды вариаций: а) деформаций горных пород на Кавказе, б) радона на Камчатке, с) радона в Москве, д) водорода на Камчатке, е) водорода в Москве. Стрелками отмечены моменты катастрофических землетрясений в Индийском океане.

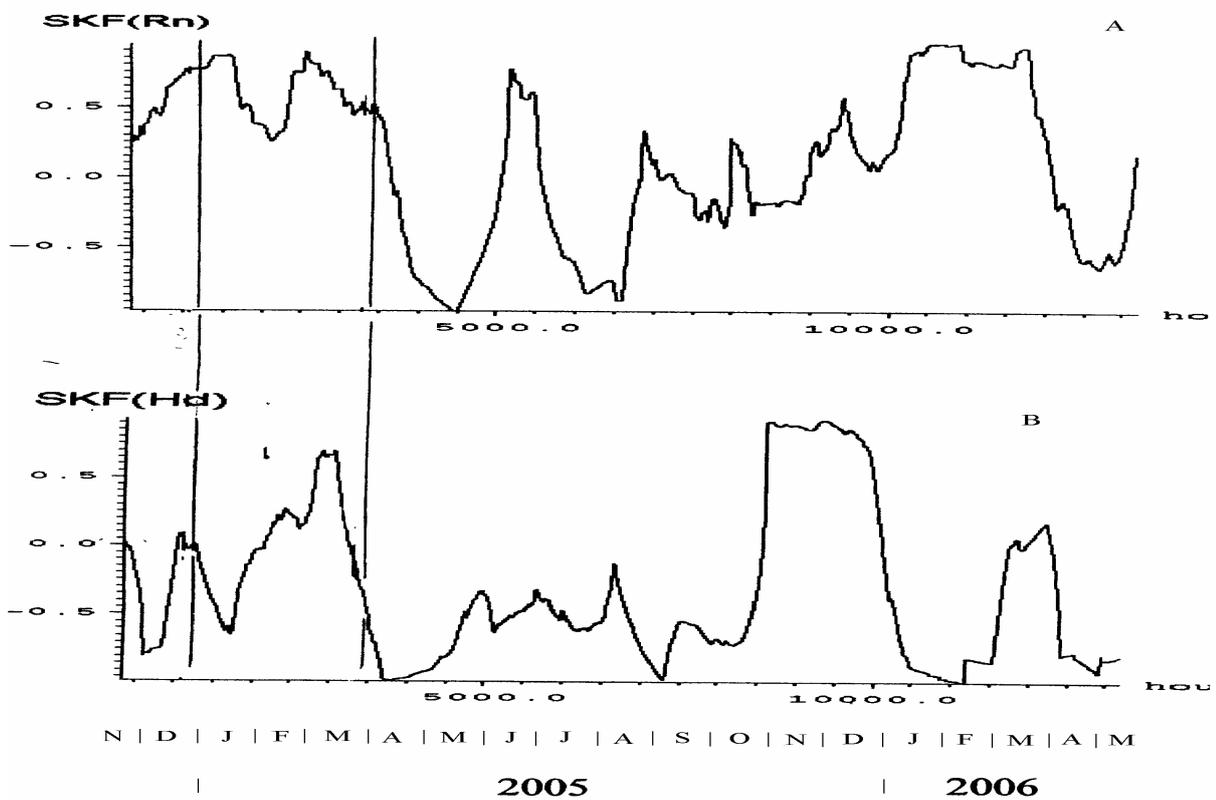


Рис. 2. Графики функций скользящей корреляции временных рядов: а) радона, б) водорода, полученных в условиях Камчатки и Московской синеклизы

## РУДАКОВ И ЦЫПЛАКОВ: ПОЛЯ РАДОНА И ВОДОРОДА

Причем, для временных рядов радона положительная стопроцентная корреляция наблюдается с декабря по март, а отрицательная – в апреле – мае. В то же время для временных рядов водорода стопроцентно положительная корреляция отмечается в конце февраля – начале марта и с ноября по декабрь, а отрицательная - с августа по сентябрь и с января по февраль. При этом трендовые составляющие деформаций на Кавказе и деформаций, управляющих флюидопереносом в условиях Московской синеклизы и на Камчатке, имеют явно выраженный сезонный (годовой) характер.

Спектральный анализ временного ряда деформометрических измерений, профильтрованный в приливном диапазоне частот с периодами (от 30 до 5 часов) и последующий спектральный анализ временных рядов взаимокорреляционных функций полей радона и водорода в пределах выделенного фрагмента, позволили идентифицировать составляющие измерявшихся параметров в области вариаций, обусловленных лунно-солнечными приливами (табл.1).

Результаты этой идентификации указывают на адекватность отображения глобальных геодинамических процессов, каковыми являются, прежде всего, земные приливы, в измеряемых параметрах и геосинклинального (сейсмоактивного) и платформенного регионов.

И, как следует из таблицы, характер отклика эманационных полей на приливные деформации земной коры в области наиболее характерных составляющих спектра практически идентичен характеру деформаций горного массива на Кавказе, выявленному при деформометрических наблюдениях.

**Таблица 1.** Приливные составляющие взаимокорреляционного спектра фильтрованных данных лазерного деформографа в Баксане и вариаций радона и водорода в Москве и на Камчатке в сравнении с приливыми составляющими данных деформометрии

	T (час)	A(o.e) *10 <sup>-3</sup>	T (час)	Ao.e. *10 <sup>-3</sup>	T (час)	Ao.e *10 <sup>-3</sup>						
Деф.			25.75	0.7	24.0	0.7	12.7	0.13	12.4	2.6	12.0	0.5
1рад/д.	26.9	0.08	25.75	4.9	24.0	0.35	12.7	0.1	12.4	0.6	12.0	0.17
1вод/д.	26.9	0.04	25.9	0.2	24.0	1.1	12.7	0.02	12.4	0.15	12.0	0.09
2рад/д.	26.9	0.17	25.75	0.6	24.0	1.1	12.7	0.16	12.4	0.5	12.0	0.6
2вод/д.			25.75	0.13	24.0	0.93	12.7	0.04	12.4	0.2	12.0	0.3
Кам/рд			25.9	1.0	24.0	1.85	12.7	0.11	12.4	0.8	12.0	2.0
Кам/вд	26.9	0.3	25.8	1.6	24.0	1.6			12.4	1.1	12.0	0.5

Обозначения: Деф. – данные деформометрии; 1 рад, 1 вод – датчики радона и водорода в первом пункте измерения; 2 рад, 2 вод – датчики радона и водорода во втором пункте измерения в Москве. Кам/рд – радон на Камчатке; Кам/вд – водород на Камчатке

Для выделения низкочастотных составляющих вариаций полей радона и водорода, аналогичных соответствующим составляющим деформаций земной коры, была получена огибающая фильтрованной записи данных деформографа, по которой был вычислен спектр огибающей приливных деформаций, использованный при тестировании взаимных спектров полей радона и водорода (табл.2). Это тестирование (как следует из таблицы) также свидетельствует о соподчиненности флюидопереноса в геодинамически различающихся регионах влиянию планетарных геодинамических процессов, определяемых в первую очередь приливным воздействием Луны и Солнца. В то же время, как можно видеть, спектральный состав временных рядов эманационных полей несколько отличается от деформометрических данных, что связано с технологией эманационных измерений, обеспечивающей извлечение информации об объемных деформациях горного массива, спектр которых существенно богаче спектра деформаций линейных. Видимо, с этим же связан характер реакции эманационных полей (рис.1) на глобальные изменения напряженно-деформированного состояния земной коры, спровоцировавшие высвобождение сейсмической энергии вблизи острова Суматра 26 декабря 2004 г. и 28 марта 2005 г. Уровень выделения сейсмической энергии при этих землетрясениях достиг 9-бальной отметки по Шкале магнитуд, что свидетельствует об экстраординарности геодинамических процессов, участвовавших в их подготовке, и, очевидно, затронувших земную кору в целом.

Как можно видеть из рис. 1, характер реакции эманационных полей на Камчатке и на Русской платформе и деформаций на Кавказе на глобальные изменения напряженно-деформированного состояния земной коры, спровоцировавшие высвобождение сейсмической энергии в Индийском океане, существенно различны. Так в поле водорода Московской синеклизы практически за месяц до трагических событий произошел резкий скачок, пятикратно превысивший уровень концентрации

## РУДАКОВ И ЦЫПЛАКОВ: ПОЛЯ РАДОНА И ВОДОРОДА

предшествующих месяцев. В поле радона этот эффект наоборот отмечился более чем двукратным уменьшением уровня концентрации эманации [Рудаков, Цыплаков, 2008]. На Камчатке поле водорода и радона менялись в это время не столь аномально. Однако практически стопроцентная корреляция полей радона перед событиями в декабре 2004 года и в марте 2005 года, а также стопроцентная корреляция полей водорода в марте 2005 года в пунктах измерения, разнесенных на расстояние, практически равное трети периметра земного шара, свидетельствуют о глобальном характере изменения напряженно-деформированного состояния земной коры, причиной которого стали катастрофические события в Индийском океане.

**Таблица 2.** Спектральные составляющие взаимно-корреляционного спектра вариаций огибающей фильтрованного ряда данных лазерного деформографа в Баксане и вариаций радона и водорода в Москве и на Камчатке.

ЛД, Т А(*10 <sup>-3</sup> )	28.4с 2.8	14.8с 8.7	26.9с 1.7	25.8с 6.6	24.0с 6.3	22.4с 2.2		12.9с 0.7	12.4с 1.2	12.0с 0.5	8.4с 1.2	8.2с 1.2	8.0с 0.6	6.2с 1.6	6.1с 1.2
КР, Т А(*10 <sup>-3</sup> )	27.3с 13.8	14.5с 8.4		25.8с 11.7	24.0с 9.6	22.4с 4.3	16.5с 1.4		12.4с 0.7	12.0с 1.1	8.4с 0.4	8.2с 0.43	8.0с 0.4	6.2с 0.5	6.1с 0.6
1Р, Т А(*10 <sup>-3</sup> )	27.3с 14.7	14.8с 28.7	26.9с 3.5	25.8с 17.8	24.0с 10.0	22.4с 5.7	17.3с 0.2		12.4с 0.2	12.0с 0.6	8.4с 0.1	8.2с 0.25	8.0с 0.05	6.2с 0.15	6.1с 0.15
2Р, Т А(*10 <sup>-3</sup> )	27.3с 12.1	14.5с 11.6	26.9с 0.7	25.8с 2.1	24.0с 4.0	22.4с 0.6	17.2с 0.3	12.9с 0.2	12.4с 0.13	12.0с 0.12	8.4с 0.1	8.2с 0.23	8.0с 0.1	6.2с 0.2	6.1с 0.2
КВ, Т А(*10 <sup>-3</sup> )	27.3с 17.6	14.8с 19.2	13.9с 10.0	25.8с 2.9	24.0с 1.6	22.4с 0.7	16.6с 0.1		12.4с 0.1	12.0с	8.4с	8.2с	8.0с	6.2с	6.1с
1В, Т А(*10 <sup>-3</sup> )	28.4с 3.0	14.5с 7.6	26.9с 0.13	25.8с 0.6				12.8с 0.05	12.4с 0.05		8.4с 0.06	8.2с 0.05		6.2с 0.03	6.1с 0.04
2В, Т А(*10 <sup>-3</sup> )	28.4с 5.6	14.5с 11.4		25.6с 0.4	24.0с 2.4	22.4с 0.2		12.8с 0.07	12.4с 0.06	12.0с 0.06	8.4с 0.05	8.2с 0.04	8.0с 0.05	6.2с 0.06	6.1с

Обозначения: ЛД – лазерный деформограф; КР – радон на Камчатке; 1Р(1В) – первый датчик радона (водорода) в Москве

После реализации землетрясения 28.03.05 г. в условиях Московской синеклизы в течение 3-х месяцев происходило снижение концентрации водорода до исходного, а в последующие месяцы практически до нулевого уровня. Концентрация радона на исходный уровень не вернулась, что объясняется нисходящим трендом во временных рядах эманационных полей, обусловленным влиянием волновых геодинамических процессов более высокого иерархического уровня [Рудаков, 2009]. Кроме того, это подтверждает то, что вариации поля радона опосредованы вариациями гидродинамического режима тектонических структур, используемых для флюидодинамического мониторинга, в то время как вариации поля водорода непосредственно отображают режим деформаций земной коры [Рудаков, Цыплаков, 2008].

В данных деформометрических измерений эффект глобального изменения напряженно-деформированного состояния земной коры проявился в результатах совместного анализа записей, полученных на Кавказе и в п. Протвино (Московская обл.) [Латынина и др., 2006], в которых период подготовки и реализации землетрясений характеризуется однообразием изменения регистрируемых параметров.

Следовательно, согласно данным флюидодинамического (эманационного) мониторинга геодинамических процессов в геодинамически активном регионе – на Камчатке и в условиях Русской платформы, опирающихся на данные деформометрических наблюдений в условиях Кавказа, в подготовке и реализации катастрофических геодинамических событий таких как, например, землетрясений, произошедших вблизи острова Суматра 26 декабря 2004 г. и 28 марта 2005 г., задействованы процессы глобального изменения напряженно-деформированного состояния земной коры. При этом рациональное использование данных слежения за изменением флюидодинамических режимов геоструктурных образований геодинамически активных и платформенных регионов позволяет контролировать эти процессы и прогнозировать периоды формирования областей сеймотектонической деструкции массива горных пород.

## РУДАКОВ И ЦЫПЛАКОВ: ПОЛЯ РАДОНА И ВОДОРОДА

*Авторы выражают признательность сотруднику ГАИШ МГУ, доктору физ.-мат. наук Милюкову В.К. за предоставление данных лазерной деформометрии и проявленное внимание к работе, а также сотруднику института ВУЛКАНОЛОГИИ И СЕЙСМОЛОГИИ ДВО РАН доктору физ.-мат. наук Фирстову П.П. за предоставление данных эманационного мониторинга на Камчатке и сподвижничество в проведении эманационных исследований.*

### **Литература**

Латынина, Л. А., Милюков В.К., Васильев И.М. (2006), Сильнейшие землетрясения и глобальные тектонические процессы, *Наука и технология в России*, №1-2, сс. 4–6.

Милюков, В. К., Копаев А.В., Лагуткина А.В., Миронов А.П., Мясников А.В. (2007), Наблюдения приливных деформаций земной коры в Приэльбрусье, *Физика Земли*, т.43, №11, сс. 922–930.

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

Рудаков, В. П., Цыплаков В.В.(2008), Флюидодинамические эффекты разрывных структур Московской синеклизы в связи с глобальными геодеформационными процессами, *Геохимия*, №11, сс. 1238-1244.

Фирстов, П. П. (1999), Мониторинг объемной активности подпочвенного радона (Rn-222) на Паратунской гидротермальной системе в 1997–1998 г.г. с целью поиска предвестников сильных землетрясений Камчатки, *Вулканология и сейсмология*, №6, сс. 1–11