

УДК 550.3:550.4

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПРИРОДНОГО РАДОНА В ПОДПОЧВЕННОЙ АТМОСФЕРЕ

© 2004 г. А. А. Спивак, С. А. Кожухов

Представлено академиком В.В. Адушкиным 18.07.2003 г.

Поступило 21.07.2003 г.

1. Интенсивность газообмена на границе земная кора–атмосфера является весьма информативной характеристикой динамических процессов, связанных с межгеосферными взаимодействиями [1–4]. В настоящей работе представлены результаты инструментальных наблюдений за объемной активностью (относительной концентрацией) подпочвенного радона на геодинамическом полигоне Института динамики геосфер РАН (ИДГ РАН), расположенного на Приокском участке Нелидово-Рязанской тектонической структуры (рис. 1) [5]. Измерения проводили на постоянных пунктах регистрации (геофизическая станция “Михнево” ИДГ РАН (МНУ, 54.9595N, 37.7664E); пункты LUK (54.2054N, 37.1551E) и ELT (54.9872N, 37.8263E)), а также в 15 пунктах оперативной регистрации.

Получено, что разные структурные блоки заметно различаются по объемной активности (ОА) подпочвенного радона. ОА радона на участках земной коры, характеризующихся низкой плотностью линейных элементов, в 1.3 раза ниже по сравнению с участками, характеризующимися повышенной плотностью линейных элементов. На межблоковых границах (нарушениях сплошности земной коры) концентрация радона в подпочвенной атмосфере в 2–5 раз превышает среднюю по Приокскому участку величину. Отмечается корреляция временных вариаций ОА подпочвенного радона и амплитуды приливных сил на тектонических нарушениях. При этом амплитуда вариаций ОА радона на тектонических нарушениях, опережающих Нелидово-Рязанскую тектоническую структуру, в 2 раза выше по сравнению с тектоническими нарушениями такого же порядка, распространяющимися субпараллельно основной тектонической структуре.

2. Строение исследуемого участка определялось на основе морфоструктурного анализа земной поверхности [6]. Основные структурные нарушения показаны на рис. 1. Видно, что в районе

работ выделяется несколько структурных блоков разного порядка. При измерениях на тектонических нарушениях точное положение последних определялось по наличию отрицательных форм рельефа местности и результатам регистрации ОА подпочвенного радона  $K$ , Бк/м<sup>3</sup>.

3. Измерение ОА радона  $K$  в подпочвенной атмосфере проводили с помощью автоматизированного радиометра радона РРА-03. Основные технические характеристики прибора: диапазон измерения ОА радона– $222\text{ Rn}$   $20\text{--}2 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>3</sup>; чувствительность (не менее)  $1.6 \cdot 10^{-4}$  м/с · Бк; предел допускаемой относительной погрешности 20%; уровень собственного фона (не более)  $2 \cdot 10^{-3}$  с<sup>-1</sup>.

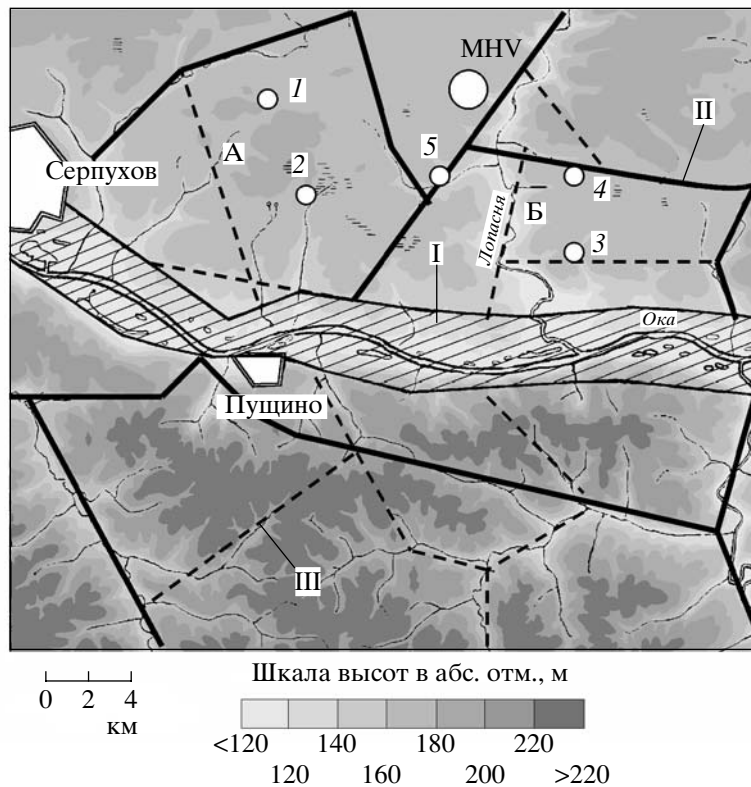
ОА радона измеряли на глубине около 0.8 м сенсорами, длительность которых устанавливалась в соответствии с показаниями прибора. Исследования проводили в блоках А и Б (рис. 1) северного борта Нелидово-Рязанской тектонической структуры, сложенных из однотипных горных пород (известняки) и имеющих сходное структурно-геологическое строение. Одновременно измеряли микросейсмические колебания и атмосферное давление.

4. Для исключения влияния внешних силовых возмущений на результаты измерений пространственные распределения ОА радона определяли в периоды времени (23–25 мая, 7–8 и 20 июня 2003 г.), характеризующиеся минимальной динамикой лунно-солнечных приливов в изучаемом районе. Измерения выполнялись последовательно в разных пунктах с повтором с целью контроля стабильности величины  $K$  в указанные промежутки

**Таблица 1.** Объемная активность подпочвенного радона (Бк/м<sup>3</sup>) на разных участках

Блок А		Блок Б	
Участки повышенной относительной плотности линейных элементов	Участки низкой плотности линейных элементов	Участки повышенной относительной плотности линейных элементов	Участки низкой плотности линейных элементов
550–900	800–1150	950–1350	1150–1750

Институт динамики геосфер  
Российской Академии наук, Москва



**Рис. 1.** Структурная схема участка: I – Нелидово-Рязанская тектоническая структура I порядка; II и III – тектонические нарушения соответственно II и III порядка; 1–5 – пункты регистрации ОА подпочвенного радона.

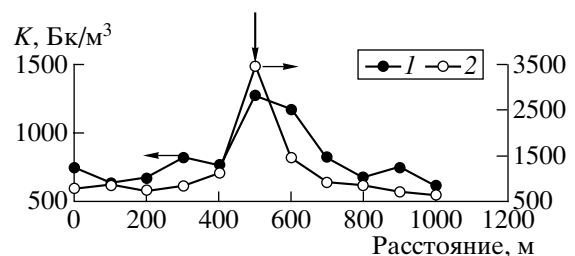
времени. Результаты измерений показали, что разные структурные блоки заметно различаются по ОА подпочвенного радона (табл. 1). Как это следует из данных табл. 1, участки с повышенной и пониженной плотностью линейментов также различаются величиной *K*.

Участки, которые допустимо рассматривать (в соответствии со схемой на рис. 1) в качестве межблоковых границ (нарушений сплошности земной коры), характеризуются повышенной концентрацией радона в подпочвенной атмосфере. В качестве примера на рис. 2 приведены результаты измерений *K* вдоль трасс, пересекающих тектонические нарушения II порядка в пунктах 4 и 5 (рис. 1). Видно, что тектонические нарушения отчетливо проявляются заметным повышением ОА радона. Более детальный анализ свидетельствует о том, что по сравнению с нарушениями, распространяющимися субпараллельно основной тектонической структуре I порядка (пункт 4), оперяющие нарушения, секущие основную структуру (пункт 5), характеризуются более высокой ОА радона по сравнению с участками, расположенными внутри структурных блоков.

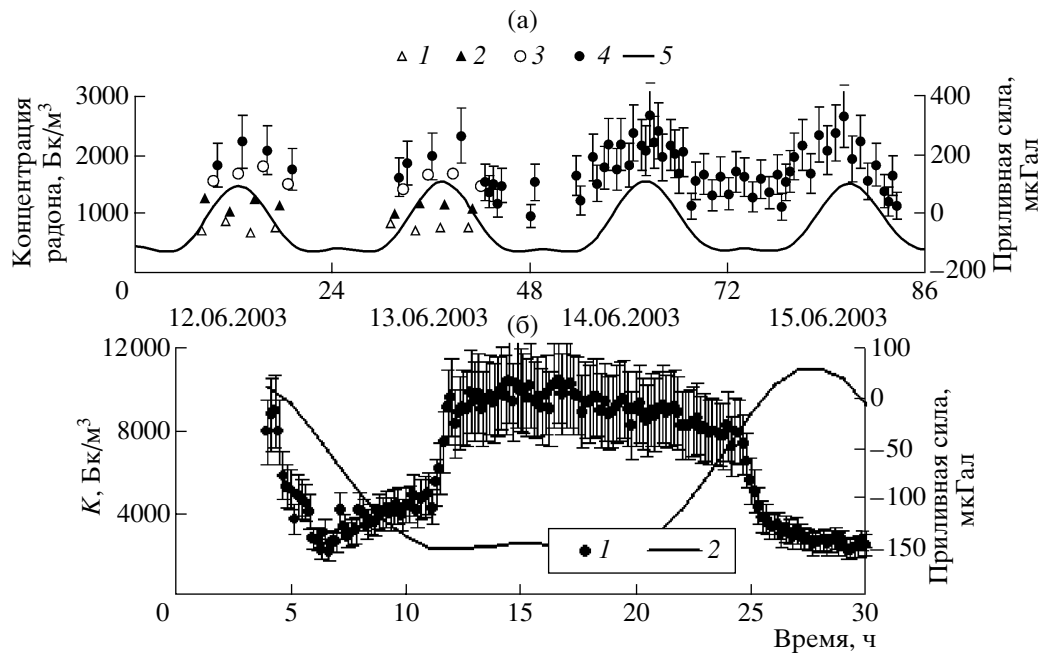
5. С целью установления влияния напряженно-деформированного состояния среды на величину ОА подпочвенного радона на разных участках земной коры определяли временные вариации *K*

в нескольких пунктах. При этом одни находились внутри структурных блоков (например, пункты 1 и 2), другие – на тектонических нарушениях (например, пункты 4 и 5).

В качестве источника внешнего воздействия, изменяющего напряженно-деформированное состояние приповерхностных участков земной коры, рассматривались лунно-солнечные приливы. ОА подпочвенного радона регистрировали в период активной динамики приливных сил (12–15 и 25–26 июня 2003 г.). Следует отметить, что указанные периоды времени характеризовались стабильной амплитудой микросейсмических колебаний, а также стабильной метеорологической об-



**Рис. 2.** ОА подпочвенного радона вдоль трасс, пересекающих тектонические нарушения II порядка в пунктах 4 (1) и 5 (2) (20.06.2003 г.).



**Рис. 3.** Изменение ОА подпочвенного радона (средние значения по 3–7 измерениям) со временем: а – в пунктах 1–4 (начало отсчета времени 00 : 00 МСК 12.06.2003 г.); 5 – вертикальная составляющая обобщенной приливной силы [7]; б – в пункте 5 (1) (отсчет времени 12 : 00 МСК 25.06.2003 г.); 2 – изменение обобщенной приливной силы.

становкой, что позволило исключить влияние вариаций сейсмического фона и атмосферного давления на измеряемую величину  $K$  (атмосферное давление за период проведения измерений изменялось в интервале 738–745 мм. рт. ст.).

Последовательная регистрация величины  $K$  в пунктах 1–4 в течение 12–13 июня 2003 г. показала, что в пунктах 1 и 2, расположенных внутри структурных блоков, ОА подпочвенного радона практически не изменяется со временем (рис. 3а). В пунктах, расположенных в зонах влияния тектонических структур II и III порядка (рис. 1), вариация величины  $K$  достигала 51% (пункт 4). С целью уточнения временной вариации ОА подпочвенного радона в зоне структурного нарушения II порядка в течение 14 и 15 июня 2003 г. выполнялись измерения только в пункте 4, в результате чего было зарегистрировано характерно проявляющееся изменение относительной концентрации  $K$  со временем (рис. 3а). Данные рис. 3а свидетельствуют о корреляции концентрации подпочвенного радона в зоне тектонического нарушения и амплитуды приливного возмущения.

Характерно, что вариация ОА подпочвенного радона в сопоставлении с величиной приливной силы существенно выше на тектонических нарушениях II порядка, опережающих основную тектоническую структуру I порядка. Это хорошо видно из сравнения вариаций  $K(t)$  в пунктах 4 и 5 (рис. 3). Вариация  $K(t)$  в пункте 5 значительно превышает вариацию  $K(t)$  в пункте 4. Следует также отметить, что на опережающих тектонических наруше-

ниях корреляция между ОА подпочвенного радона и приливной силой наблюдается со сдвигом в 10 ч. Существенное различие в ОА подпочвенного радона и характера ее реакции на внешнее возмущение на субнормальных и субпараллельных структурных нарушениях связано, по-видимому, с разной механикой деформирования указанных структур (деформирование Нелидово-Рязанской тектонической структуры характеризуется правосторонним сдвигом [5]).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В.В., Кожухов С.А., Кукушкин Ю.В., Кузнецов О.П. В сб.: Нестационарные процессы в верхних и нижних оболочках Земли. М.: ИДГ РАН, 2002. С. 171–178.
2. Беликов В.Т., Шестаков А.Ф. // Урал. геофизич. вестн. 2000. № 1. С. 27–31.
3. Николаев А.В., Войтов Г.И., Рудаков В.П., Ишанкулиев Д.И. // ДАН. 1993. Т. 330. № 3. С. 376–378.
4. Фирстов П.П., Рудаков В.П. // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 26–41.
5. Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н., Спивак А.А. В сб.: Нестационарные процессы в верхних и нижних оболочках Земли. М.: ИДГ РАН, 2002. С. 114–129.
6. Иванченко Г.Н. В сб.: Динамические процессы в геосферах под воздействием внешних и внутренних потоков энергии и вещества. М.: ИДГ РАН, 1998. С. 33–39.
7. Lougman I.M. // J. Geophys. Res. 1959. V. 64. № 12. P. 2351–2355.