

## Глобальные факторы в геодеформационных процессах орогенного и платформенного регионов

© В. П. Рудаков<sup>1</sup>, В. В. Цыплаков<sup>1</sup>, В. К. Милюков<sup>2</sup>, 2013

<sup>1</sup>Институт физики Земли РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга, Москва, Россия

Поступила 20 июля 2012 г.

*Представлено членом редколлегии О. М. Русаковым*

Порівняльний аналіз даних деформометричних спостережень, отриманих в умовах Кавказького орогена, і даних флюїдодинамічного (еманаційного) моніторингу геодеформаційних процесів в умовах спряженої з ним Східноєвропейської платформи дав змогу ідентифікувати спектральні складові вимірюваних параметрів, передусім складових місячно-сонячних припливів, що засвідчує зв'язок аналізованих полів з глобальними геодеформаційними процесами. Встановлено деякі характерні особливості зміни параметрів за глобальних змін напружено-деформованого стану земної кори, зокрема, в період підготовки і реалізації катастрофічних землетрусів в Індійському океані 26.12.2004 і 28.03.2005 рр.

An analysis was performed to compare results of deformometric measurements from the Caucasus orogen and data of fluid dynamic (emanation) monitoring geodeformation processes from the conjugated East European Platform. It allowed us to identify spectral components, first of all, in a range of lunar-solar tides that demonstrates a relationship between the analyzed fields and global geodeformation processes. Moreover, the analysis made it possible to reveal some prominent features of changes in the measured parameters during global changes in tense-deformed state in the Earth's crust, in particular, during preparation and realization of catastrophic earthquakes in the Indian Ocean on 26 December, 2004 and 28 March, 2005.

Ранее было показано [Рудаков, 1993, 2004, 2008], что колебательные движения Восточно-Европейской платформы (ВЕП) оказывают ощутимое влияние на изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород на Кавказе и, прежде всего, в периоды подготовки и реализации катастрофических землетрясений. Эти процессы находят отображение в вариациях эманационных полей, что привносит элемент предсказуемости в решение проблемы оценки развития катастрофических геодинамических процессов и создает условия для их инструментального контроля.

В развитие исследований по установлению взаимообусловленности геодеформационных процессов в условиях межплитового орогена (на Кавказе) и в условиях сопряженной с

ним ВЕП был проведен сравнительный анализ данных деформометрических наблюдений, выполненных на Северном Кавказе (Приэльбрусье), и данных флюидодинамического мониторинга геодеформационных процессов, выполненного в условиях Московской синеклизы (на территории Москвы).

Непрерывные измерения деформаций на Кавказе осуществляются с помощью лазерного интерферометра-деформографа ГАИШ МГУ с измерительной базой 75 м и разрешающей способностью  $2 \times 10^{-13}$ , установленного в штольне Баксанской нейтринной обсерватории [Милюков и др., 2005].

Непрерывные наблюдения за вариациями флюидодинамического режима Московской синеклизы осуществлялись по эманациям радо-

на и водорода в зоне динамического влияния региональных тектонических структур кристаллического фундамента, пересекающихся в центральной части Москвы. Наблюдения проводились с помощью оригинальной технологии, обеспечивающей контроль изменения гео-

деформационных процессов на уровне лунно-солнечных приливных возмущений, т. е. на уровне  $10^{-8}$  [Рудаков, Цыплаков, 2008].

Анализируемые временные ряды (рис. 1) являются фрагментом одновременной записи названных параметров, осредненной в часовые

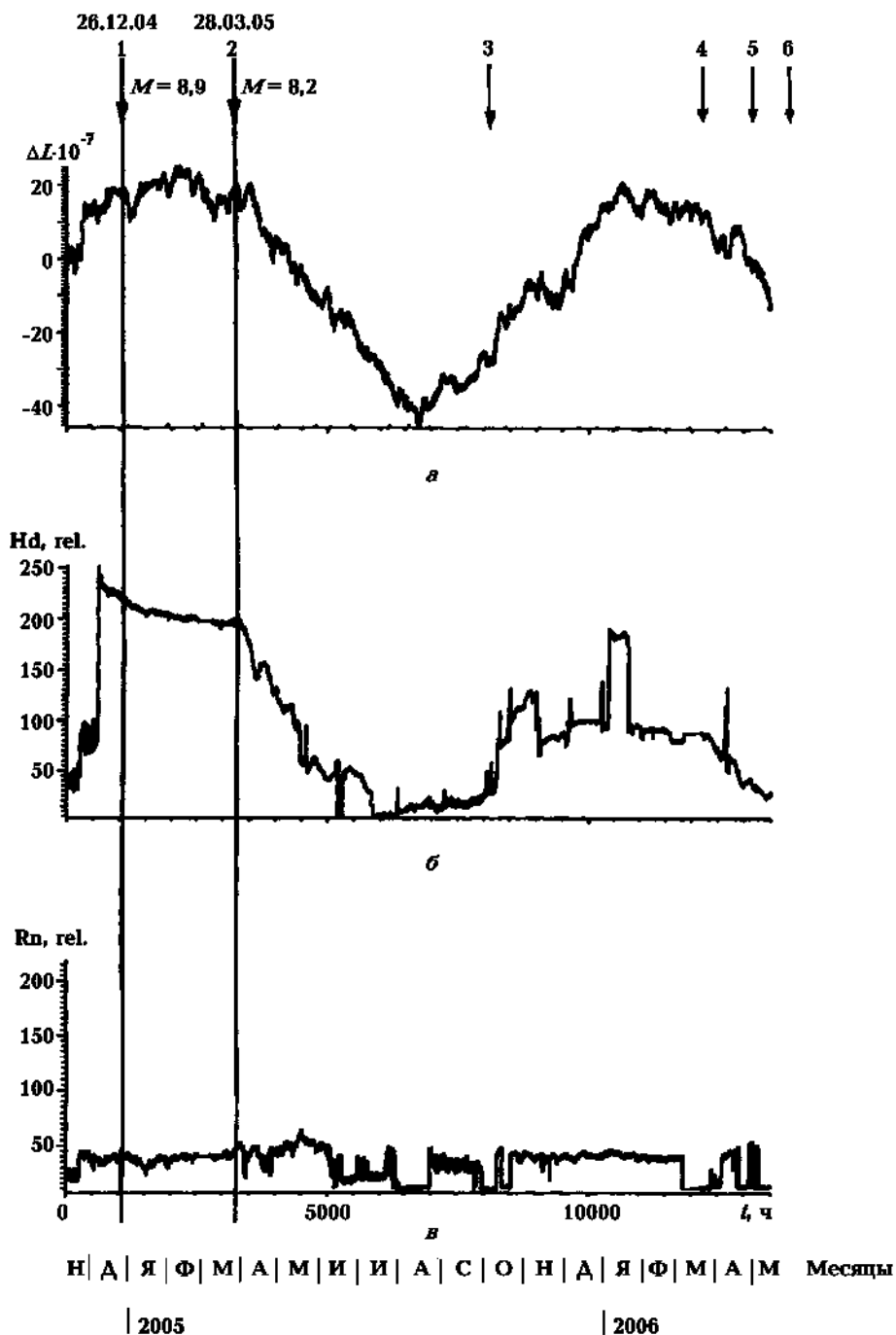


Рис. 1. Фрагменты временных рядов: *a* — деформометрических измерений на Кавказе (Баксан), *б* и *в* — эманационного (водородного и радонового, соответственно) мониторинга геодеформационных процессов в условиях Московской синеклизы. Стрелками отмечены моменты катастрофических землетрясений в Индийском океане 26.12.2004 г. и 28.03.2005 г.

интервалы, общей длительностью 13510 ч, т. е. более 1,5 лет. Начало записи 11 ноября 2004 г. обусловлено моментом включения лазерного интерферометра, а окончание определено выходом из строя микропроцессорного регистратора данных эманационных измерений.

Представленный фрагмент многолетних измерений интересен, прежде всего, тем, что позволяет оценить поведение геодеформационных полей в орогенном (сейсмоактивном) и платформенном регионах в период развития глобальных тектонических процессов, спровоцировавших катастрофические землетрясения в Индийском океане 26 декабря 2004 г. и 28 марта 2005 г. Уровень выделения сейсмической энергии в то время достиг 9-балльной отметки по шкале магнитуд, что свидетельствует о планетарном масштабе геодеформационных процессов, участвовавших в их подготовке, и, очевидно, затронувших земную кору в целом.

При исследовании временных рядов спектральным и взаимокорреляционным анализом были установлены некоторые общие и частные характеристики измерявшихся параметров, которые в той или иной мере определяют реакцию орогенного и платформенного регионов на глобальные геодеформационные процессы.

Прежде всего, обращает на себя внимание то, что трендовая составляющая деформаций на Кавказе и деформаций, управляющих флюидопереносом в условиях Московской синеклизы, носит сезонный (годовой) характер, нашедший также отображение в результатах корреляционного анализа (рис. 2). Причем сезонная составляющая в деформационных измерениях на Кавказе практически на месяц опережает ход аналогичных составляющих временных рядов эманационных измерений в условиях платформы. Корреляция между деформометрическими и водородометрическими данными положительна, а между деформометрическими и радонометрическими — отрицательна, что соответствует установленному ранее характеру поведения эманаций радона и водорода при ординарных (не аномальных) изменениях геодеформационных процессов, управляющих изменением флюидопроницаемости тектонических образований, используемых при эманационном мониторинге [Рудаков, Цыпलाков, 2008]. При этом поле водорода в Московской синеклизе меняется синхронно деформациям горного сооружения Кавказа, а поле радона — с некоторым опережением. После-

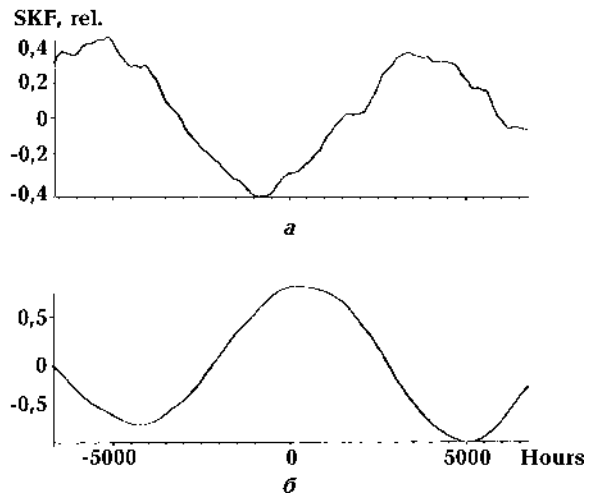


Рис. 2. Графики функций взаимной корреляции: *а* — временных рядов деформометрии и эманационного (радонового) мониторинга, *б* — временных рядов деформометрии и эманационного (водородного) мониторинга.

днее свидетельствует о том, что вариации водорода непосредственно отображают вариации напряженно-деформированного состояния земной коры, а вариации радона опосредованы изменением гидрогеодеформационного режима тектонического образования, используемого для радонового мониторинга геодеформационных процессов.

Спектральный анализ всего временного ряда деформометрических измерений (подробный анализ которых приведен в работе [Милюков и др., 2007]) и последующий спектральный анализ временных рядов взаимокорреляционной функции полей радона и водорода в пределах выделенного фрагмента позволили идентифицировать составляющие измерявшихся параметров в области вариаций, обусловленных лунно-солнечными приливами (табл. 1), и в области длиннопериодных вариаций (табл. 2). Как следует из проведенного анализа, полученные данные свидетельствуют об адекватности отображения глобальных геодеформационных процессов в измеряемых параметрах и орогенного и платформенного регионов.

В то же время, как можно видеть, спектральный состав временных рядов эманационных полей несколько отличается от деформометрических данных, что объясняется технологией эманационных измерений, обеспечивающей извлечение информации об объемных деформациях горного массива. Видимо, этим же объясняется и характер реакции эманационных

**Т а б л и ц а 1 .** Значимые ( $P > 0,95$ ) спектральные пики диапазона лунно-солнечных приливов временных рядов деформометрии на Кавказе и эманационных измерений в условиях ВЕП

Название	T, ч	$A \cdot 10^{-3}$ , отн. ед.		T, ч	$A \cdot 10^{-3}$ , отн. ед.		T, ч	$A \cdot 10^{-3}$ , отн. ед.		T, ч	$A \cdot 10^{-3}$ , отн. ед.	
Деформограф			25,75	0,7	24,0	0,7	12,7	0,13	12,4	2,6	12,0	0,5
1 р. 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
1 в. 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
2 р. 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
2 в. д.			25,75	0,13	24,0	0,93	12,7	0,04	12,4	0,2	12,0	0,3

Примечание: 1 и 2 р. д. — 1 и 2-й датчики радона, 1 и 2 в. д. — 1 и 2-й датчики водорода.

полей (см. рис. 1) на глобальные изменения напряженно-деформированного состояния земной коры, спровоцировавшие высвобождение сейсмической энергии вблизи о-ва Суматра 26.12.2004 г. и 28.03.2005 г., когда в поле водорода Московской синеклизы практически за месяц до трагических событий произошел резкий скачок, пятикратно превысивший уровень концентрации предшествующих месяцев. В поле радона этот эффект, наоборот, отметился более чем двукратным (на рис. 1 не показано из-за усеченности временного ряда) уменьшением уровня концентрации эманации [Рудаков, Цыплаков, 2008].

После реализации землетрясения 28.03.05 г. в течение трех месяцев происходило снижение концентрации водорода до исходного, а в последующие месяцы — практически до нулевого уровня. Концентрация радона на исход-

ный уровень не вернулась, что объясняется нисходящим трендом во временных рядах эманационных полей, связанным с влиянием волновых гедеформационных процессов более высокого иерархического уровня [Rudakov, 1996].

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 (сходством) изменения регистрируемых параметров.

Следовательно, согласно данным синхронных деформометрических наблюдений, полученным в условиях орогенного и платформенного регионов, и данным флюидодинамичес-

**Т а б л и ц а 2.** Значимые ( $P > 0,95$ ) спектральные пики длиннопериодного диапазона временных рядов лазерной деформометрии на Кавказе и эманационных измерений в условиях ВЕП (с дублированием измерений датчиками, установленными в 30 м от основных)

Название	Сутки														
Деформограф	22,8	20,1	17,1	15,9	13,9	11,2	10,0	9,5	8,8	8,13	7,8	7,5	6,6	4,9	
1 р. д.	23,5	20,1	18,4		13,9	11,2		9,5	8,5	8,13	7,8	7,5	7,0	5,9	
1 в. д.	23,5	20,7	18,9	14,5		11,2	10,2			8,13	7,8	7,5	7,0	6,4	
2 р. д.	22,8		17,1		13,9	11,2		9,5		8,13			6,6	5,6	
2 в. д.	22,8	20,7		15,9	14,5	11,8	10,0	9,5	8,5	8,13			7,0	6,4	

кого (эманационного) мониторинга геодеформационных процессов, полученным в условиях ВЕП, в подготовке и реализации катастрофических геодинамических событий таких, как, например, землетрясений, произошедших вблизи о-ва Суматра 26.12.2004 г. и 28.03.2005 г., задействованы процессы глобального изменения напряженно-деформированного состояния земной коры. При этом реализация деформи-

метрических измерений в условиях сейсмоактивного региона и в условиях сопряженной с ним платформы, равно как осуществление измерений вариаций эманационных полей в структурно-тектонических образованиях платформы, позволяет контролировать эти процессы и прогнозировать периоды формирования областей сейсмотектонической деструкции массива горных пород.

### Список литературы

- Латынина Л. А., Милюков В. К., Васильев И. М. Сильнейшие землетрясения и глобальные тектонические процессы // Наука и технология в России. — 2006. — № 1—2. — С. 4—6.
- Милюков В. К., Клячко Б. С., Мясников А. В., Стриганов П. С., Янин А. Ф., Власов А. Н. Лазерный интерферометр-деформограф для мониторинга движений земной коры // Приборы и техника эксперимента. — 2005. — № 6. — С. 87—103.
- Милюков В. К., Копяев А. В., Лагуткина А. В., Миронов А. П., Мясников А. В. Наблюдения приливных деформаций земной коры в Приэльбрусье // Физика Земли. — 2007. — 43, № 11. — С. 922—930.
- Рудаков В. П. Геодеформационные волны в вариациях флюидодинамических и сейсмических режимов геосинклинальных и платформенных областей // Исследования в области геофизики: К 75-летию Объединенного института физики Земли им. О. Ю. Шмидта. — Москва: ИФЗ РАН, 2004. — С. 119—122.
- Рудаков В. П. О роли геодвижений волновой структуры в активизации геодинамических процессов в асейсмичных регионах (на примере геодинамических явлений Русской платформы) // Докл. РАН. — 1993. — 332, № 4. — С. 509—511.
- Рудаков В. П. Проявление современной геодинамики Русской платформы в техногенных процессах и эманационных полях // Аппаратура и новости радиацион. измерений. — 2008. — № 2. — С. 64—71.
- Рудаков В. П., Цыпलाков В. В. Флюидодинамические эффекты разрывных структур Московской синеклизы в связи с глобальными геодеформационными процессами // Геохимия. — 2008. — № 11. — С. 1168—1173.
- Rudakov V. P. Seismicity implication of subsoil radon dynamics in seismically active regions of the former USSR: a Caucasus mountain case study // J. Earthquake Prediction Res. — 1996. — 5, № 4. — P. 584—593.