© Подымов И. С., Подымова Т. М., 2026, Океанологические исследования, 2026, Том 54, № 2, С. 55–66

УДК 550.34.016+550.343.6 DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2026.54(2).4

НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГЕЛЕНДЖИКСКОГО СЕГМЕНТА ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

И. С. Подымов, Т. М. Подымова

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: ipodymov@inbox.ru; tpodymova@inbox.ru

В работе представлены результаты многолетнего непрерывного мониторинга флуктуаций радона в приземной атмосфере. Полученные данные стали составной частью исследований, ориентированных на изучение сейсмической стабильности региона, а также процессов текущих и долговременных деформаций земной поверхности. Для оценки связи амплитуды вертикальных деформаций земной поверхности с вариациями объемной активности радона использованы данные спутниковых пунктов геодинамического позиционирования. Результаты анализа материалов многолетнего эксперимента позволили построить математическую модель, связывающую эти параметры. Особенностью метода фиксирования данных является метод спектрометрии вариаций объемной активности радона. Аппаратно-программный комплекс проведения названных исследований позволяет фиксировать вариации радона ежечасно, а амплитуду вертикальных деформаций земной поверхности с погрешностью в долях миллиметра.

Ключевые слова: радон-222, земная поверхность, локальные деформации, Черноморское побережье, геодинамическое позиционирование, геофизические процессы, объемная активность радона

Введение

Геодинамические процессы и связанные с ними катастрофические последствия остаются актуальной проблемой научных исследований и одним из приоритетных направлений в науках о Земле. Геологическая структура Черноморского побережья Кавказа имеет сложный характер. Ведущую роль в ней играют субмеридиональные разломы, влияющие на простирание геологических структур. Поперечные разломы верхнего, структурного, этажа выражены флексурообразным перегибом. Региональные разломы располагаются между различно развивающимися блоками фундамента и представляют собой зоны дробления земной коры. Они обеспечивают автономность развития блоков фундамента и являются подвижными областями их сопряжения. Регион характеризуется как большими скоростями вертикальных движений земной коры (от –3.6 до +0.8 мм/год), так и большими скоростями горизонтальных перемещений (до 26 мм/год) (Глазырин, Шестопалов, 2018). По этой причине состояние земной коры в регионе характеризуется как напряженно-деформированное.

Густонаселенные районы Черноморского побережья Кавказа являются одними из самых освоенных и сейсмоопасных областей России. Однако они слабо изучены в сейсмотектоническом отношении. При оценке сейсмической опасности любого региона рассматривается максимально возможная магнитуда землетрясения в нем и период повторяемости подобных сейсмических событий. Данные сейсмостатистики для всех регионов Земного шара можно найти в базе данных Европейско-Средиземноморского Сейсмологического Центра (ЕССЦ, 2025), но они не всегда дают правильные ответы. Это может быть связано как с малыми периодами сейсмологических наблюдений, так и с отсутствием информации о связях с комплексом сейсмособытий в других регионах, послуживших первоисточником (триггером) возникших аномалий в регионе исследований. В целом, метод сейсмостатистики не может служить средством оперативного контроля сейсмической стабильности локальной территории.

С другой стороны, возникающие деформации земной поверхности на последней стадии подготовки землетрясения приводят к изменению проницаемости земной коры и интенсивной миграции в атмосферу глубинных газов (Адушкин и др., 2019; Подымов, Подымова, 2022). Вместе с газами происходит эманация радиоактивного газа радон-222 (^{222}Rn). Выбросы радона из тектонических разломов являются первичными индикаторами начала сейсмических аномалий (Пулинец, Узунов, 2011).

Поставленной целью запланированных исследований в Геленджикском сегменте Черноморского побережья стала разработка методик мониторинга вариаций объемной активности радона (ОАР) в приземной атмосфере и низкочастотных деформаций земной поверхности. В круг задач для решения поставленной цели вошли: разработка аппаратно-программного комплекса регистрации ОАР; поиск связи амплитудно-частотных характеристик вариаций ОАР с вертикальными деформациями земной поверхности; построение модели долговременного смещения по вертикали земной поверхности Геленджикского региона.

Материалы и методы исследований

Реализованная методика фиксирования ОАР в приземной атмосфере носит специфический характер. Упрощенная блок-схема распада радона-222 показана на рисунке 1.

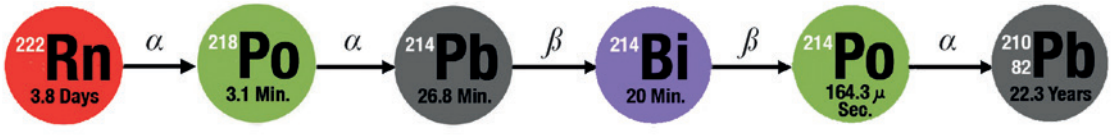


Рис. 1 – Упрощенная схема распада радона-222 (Pulinets et al., 2024)

Период полураспада радона-222 около 3,8 суток. Это означает, что прямой способ измерения энергии высокоэнергичных альфа-частиц, излучаемых радоном при распаде, позволит снимать только одно значение, осредненное за 8–10 суток.

В Институте океанологии им. П. П. Ширшова РАН в 2015 г. разработан аппаратно-программный комплекс (рисунок 2), фиксирующий энергию низкоэнергичных дочерних продуктов бета-линий распада радона-222: изотопов свинца-214 (214Pb) и висмута-214 (214Bi). Период полураспада этих изотопов 27 и 20 минут, соответственно. По уравнению для неравновесной смеси короткоживущих дочерних продуктов распада, вшитому в ПЗУ измерительного блока, рассчитывается значение ОАР. Время осреднения одного измерения – 1 час. Конструктивно спектрометрический датчик размещен в изолированной камере, что позволило исключить влияние альфа-частиц и шумов метеорологического происхождения на показания прибора и получать информацию о величине ОАР даже при очень слабых деформациях земной поверхности. Подробная информация об аппаратно-программном комплексе и некоторых результатах измерений приведена в (Подымов, Подымова, 2018).

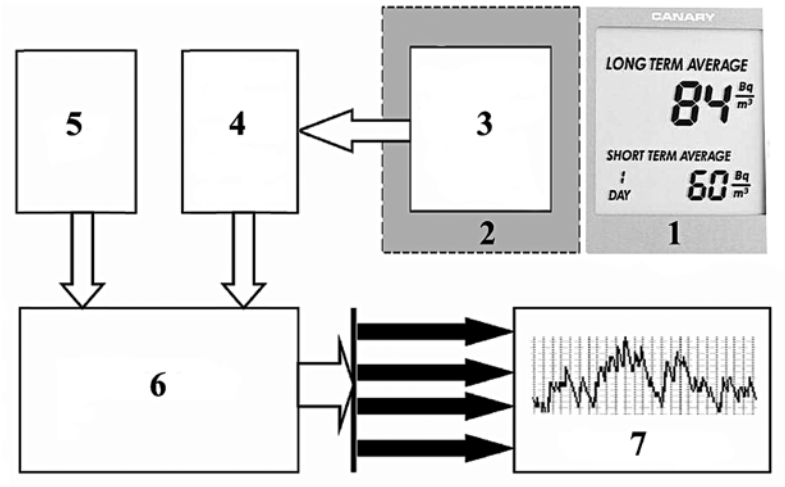


Рис. 2 – Блок-схема структуры аппаратно-программного комплекса: 1 – монитор спектрометра; 2 – фильтр (экран) α-частиц; 3 – спектрометрический радиометр распада изотопов 214Pb и 214Bi; 4 – процессор расчета ОАР 222Rn по энергии распада изотопов, долговременная память; 5 – таймер; 6 – кратковременная буферная память; 7 – компьютер

В таблице 1 приведена спецификация измерительного модуля спектрометрического радиометра.

Табл. 1 – Спецификация измерительного модуля спектрометрического радиометра Canary

Метод отбора проб	**Метод регистрации ^{222}Rn**	**Диапазон измерений ОАР ^{222}Rn, Бк/м^3**	**Погрешность измерения**
Пассивная диффузная камера радона	Спектрометрия	0–9999	±5% ±5Бк/м^3

Аппаратно-программный комплекс установлен в Геленджике, на территории Южного отделения Института океанологии. Регистрируемая информация ежесуточно сбрасывается на компьютер. Непрерывный мониторинг ОАР производится с января 2016 г.

Деформации земной поверхности

За последние 15–20 лет инструментом фиксирования тектонических движений земной коры стали Спутниковые Геодинамические Пункты (СГП) (Бабешко и др., 2019; Бабешко и др., 2022). Основное назначение этих систем – геодинамическое 3D позиционирование.

Для построения модели, связывающей деформации земной поверхности с вариациями ОАР в приземной атмосфере, наиболее важным параметром данных СГП является динамика вертикальных смещений земной поверхности. Модель вертикальных деформаций земной поверхности построена по данным синхронных измерений ОАР и данным вертикальных колебаний поверхности по СГП на двухлетнем временном интервале (2016–2017 гг). Сопоставление графиков вариаций ОАР и характера деформаций земной поверхности в регионе осуществлялось в процессе проявления тектонических аномалий на протяжении проведения калибровочных процедур. Данные об аномалиях считывались с ресурсов Европейско-Средиземноморского Сейсмологического Центра (ЕССЦ, 2025).

Схема сети СГП GPS/Глонасс Азово-Черноморского побережья РФ и тектоническая структура региона показаны на рисунке 3.

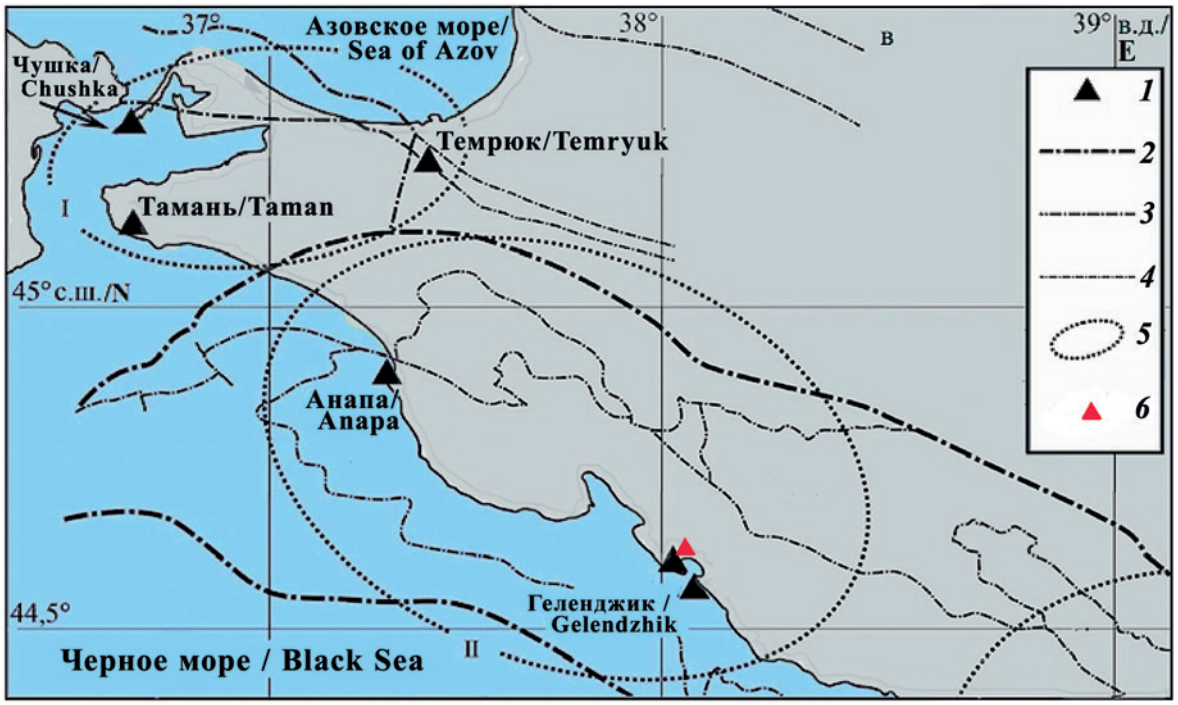


Рис. 3 – Схема сети СГП GPS/Глонасс Азово-Черноморского побережья РФ (Глазырин, Шестопалов, 2018): 1 – пункты СГП; 2–4 – границы тектонических структур: 2 – первого порядка; 3 – второго порядка; 4 – третьего порядка; 5 – зоны сейсмической активности (I – Керченско-Таманская; II – Анапско-Новороссийская); 6 – пункт мониторинга ОАР

Результаты и обсуждение

Эмпирическая модель деформаций земной поверхности, рассчитанная по данным синхронных измерений ОАР и СГП на двухлетнем временном интервале, представлена формулой (1):

$$D_h = 0.006 - 0.00775V/V_y, \quad (1)$$

где D_h – вертикальные деформации земной поверхности в метрах; V – вариации ОАР в приземной атмосфере (Бк·м$^{-3}$); V_y – среднегодовое значение ОАР (Бк·м$^{-3}$).

Рассчитанный по эмпирической модели (1) график вертикальных деформаций земной поверхности на двухлетнем временном интервале представлен на рисунке 4.

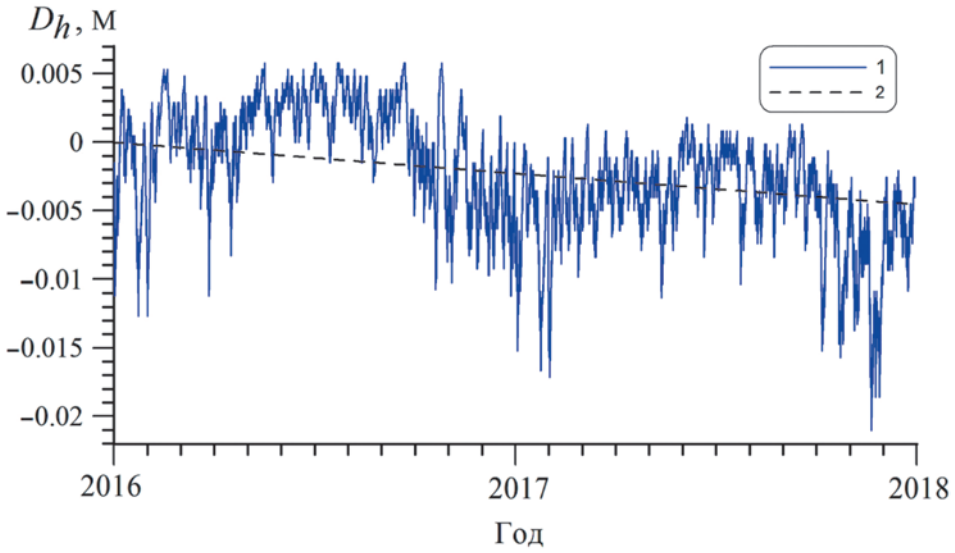


Рис. 4 – Вертикальные деформации (D_h) земной поверхности в регионе Геленджика на временном интервале 2016–2017 гг: 1 – вертикальные деформации без фильтрации; 2 – осредненное смещение земной поверхности по вертикали за 2 года

По данным десятилетнего мониторинга рассчитана математическая модель смещения земной поверхности региона по вертикали за многолетний период. Уравнение представлено формулой (2):

$$D_n = -2.8053141566075N/E003, \quad (2)$$

где D_n – вертикальное смещение земной поверхности (в метрах) за количество лет N.

Расчет по уравнению показывает, что средняя скорость вертикального смещения земной поверхности за 10-и летний период составляет, примерно, –2.8 мм/год. На рисунке 5 приведен график суммарного смещения по вертикали земной поверхности Геленджикского сегмента Черноморского побережья за период мониторинга.

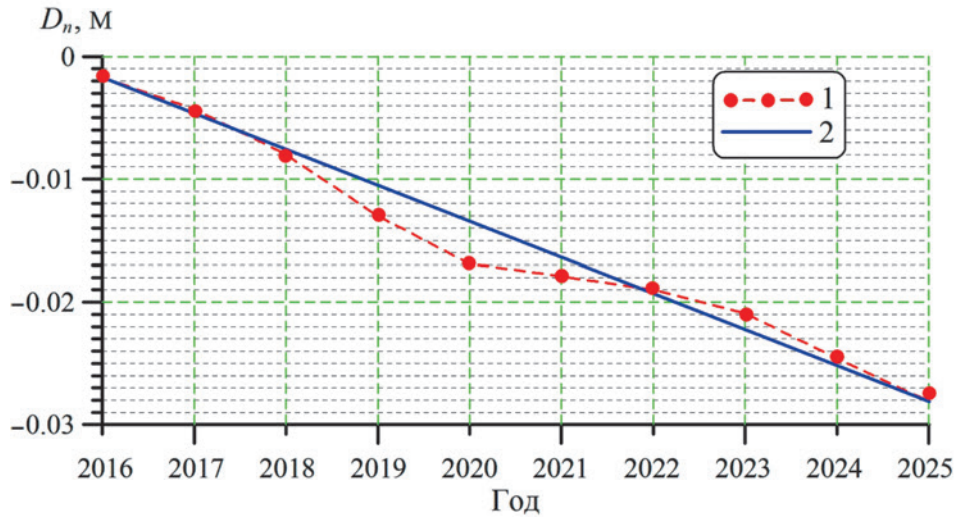


Рис. 5 – Вертикальное смещение (D_n) земной поверхности региона исследований за 10 лет: 1 – смещения за конкретный год; 2 – расчет смещения за период мониторинга по модели (2)

Итоговые результаты о деформациях земной поверхности

Результаты сравнения вертикального смещения земной поверхности, полученные разными методами и для разных временных интервалов, приведены в таблице 2.

Табл. 2 – Деформации земной поверхности для разных временных интервалов

Вертикальное смещение за 2 года, мм		**Расхождение в расчетах, мм**	**Вертикальное смещение за 10 лет, мм**		**Расхождение в расчетах, мм**
СГП	–3.8	–	ОАР Мониторинг	27	–
ОАР Мониторинг	–4.1	–0.3 (–7.8 %)	Модель	28	1 (3.8 %)

Расхождение в расчетах деформаций земной поверхности по эмпирическому уравнению (1) с данными СГП (для 2-х летнего интервала) можно объяснить частотой регистрации показаний. Спутниковые системы фиксируют перемещения тектонических плит на 24 часовом интервале. Спектрометрические регистраторы усредняют показания на временном интервале 1 час.

Для десятилетнего интервала расхождение с расчетом по модели (2) составило 1 мм.

Но, в целом, ошибки расхождений в конечных данных не превышают 5–10 %. Для целей регистрации локальной сейсмической опасности региона такие расхождения не является критическими. Не исключаются также некоторые ошибки математического моделирования, связанные со сложностью и бессистемностью глобальных тектонических процессов, вызывающих деформации земной поверхности.

ISSN (online): 2587-9634 / ISSN (print): 1564-2291
Океанологические исследования. 2026. Том 54. № 2. С. 55–66

Пример вариаций ОАР и деформаций земной поверхности на годовом интервале 2025 года

Для общего представления на рисунке 6 показаны результаты мониторинговых наблюдений относительных вариаций объемной активности радона 222 (K_{RVA}) и график рассчитанных по модели деформаций земной поверхности (D_h, м) на годовом интервале 2025 года. Коэффициент K_{RVA} – частное от деления текущего значения ОАР на его среднегодовое значение за год мониторинга.

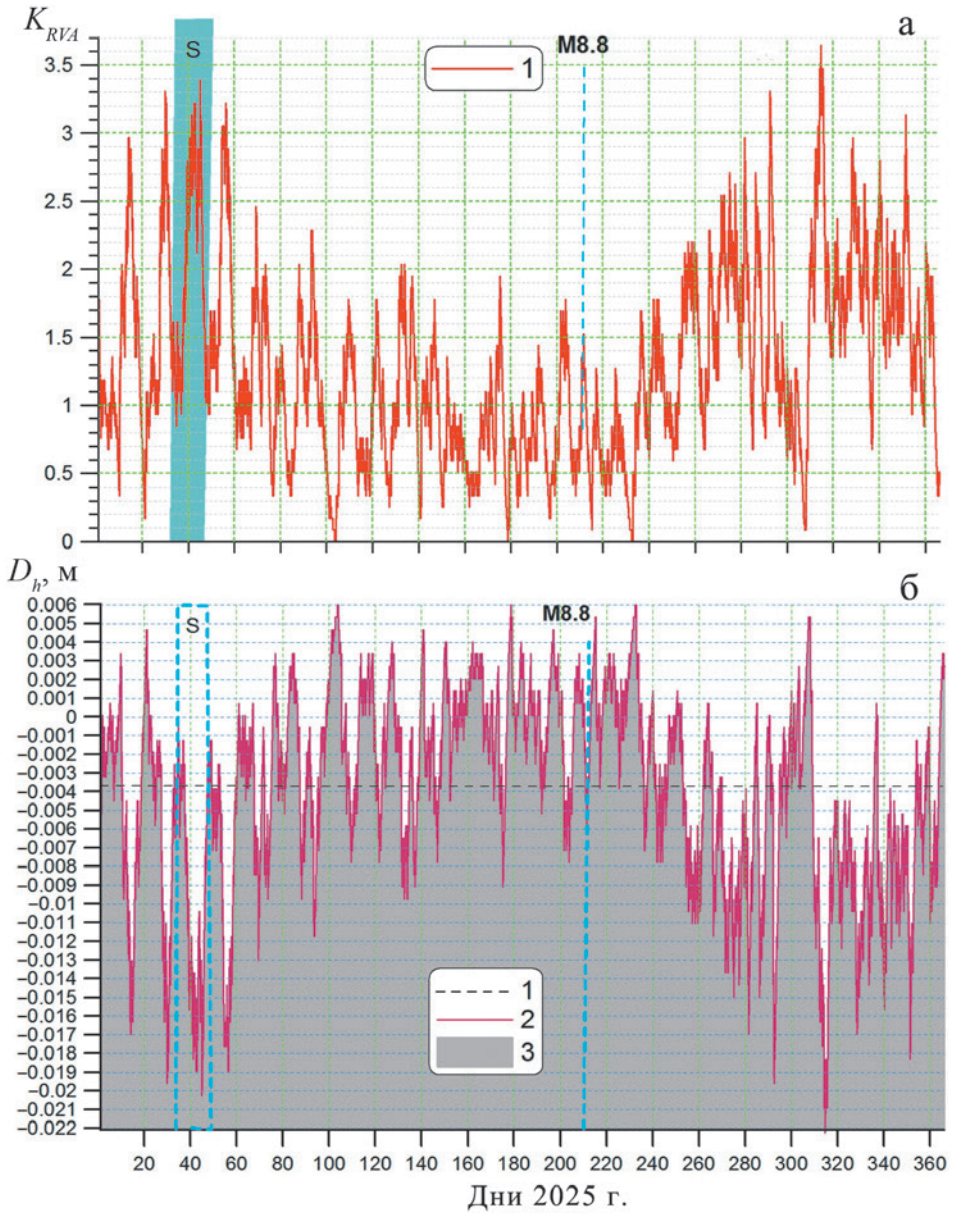


Рис. 6 – **а**: 1 – относительные вариации ОАР (K_{RVA}); **б**: 1 – линия суммарного смещения земной поверхности по вертикали за текущий год; 2 – динамика вертикальных деформаций земной поверхности (D_h) в метрах на годовом интервале 2025 года; 3 – фон отображения земной коры; **а**, **б**: S – временной интервал пика землетрясений в регионе Санторини-Аморгос; M8.8 – землетрясение на Камчатке 30.07.2025 г. (Землетрясение на Камчатке, 2025)

Примеры конкретных событий, получивших отражение на графиках вариаций ОАР и деформаций земной поверхности в регионе исследований

С 27 января по 13 февраля 2025 г. крупный сейсмический кризис затронул регион Санторини-Аморгос в Эгейском море (Вулкан Санторин, 2025). За две недели в регионе произошло 2405 землетрясений. Тысячи небольших землетрясений трясли остров Санторин более месяца. С острова было эвакуировано более 10 000 человек. Магнитуда землетрясений достигала интенсивности M5.3. Достаточно много землетрясений было магнитудой > M5. На графиках (рисунок 6) временной интервал пика землетрясений выделен по оси абсцисс зоной, обозначенной буквой S. В этом временном интервале амплитуда относительных вариаций ОАР увеличилась в 3.2 раза (рисунок 6а), а амплитуда низкочастотных деформаций земной поверхности в регионе Геленджика превысила 20 мм (рисунок 6б). На рисунке 7 представлены землетрясения магнитудой M2–M7, произошедшие за этот период. Рисунок представлен Европейско-Средиземноморским Сейсмологическим Центром (ЕССЦ, 2025).

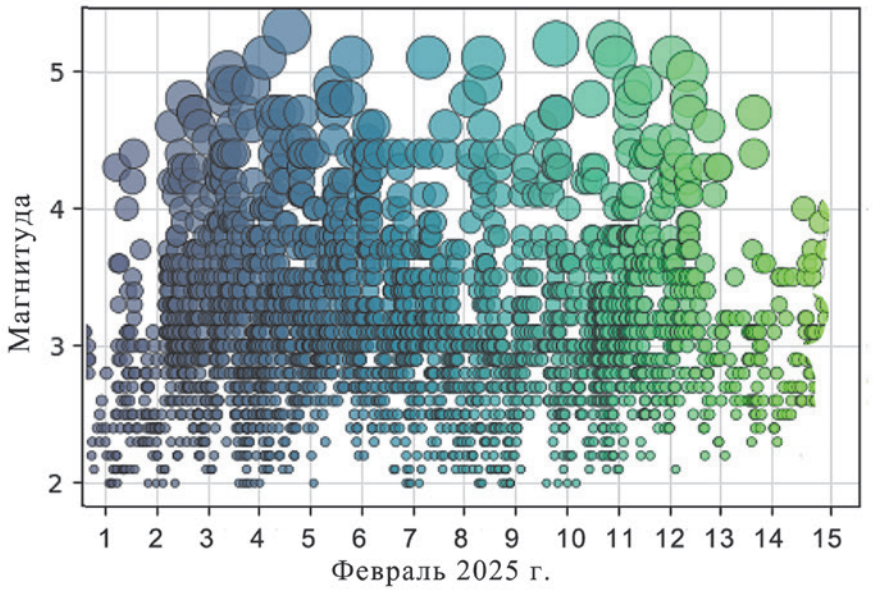


Рис. 7 – Землетрясения в регионе Санторини-Аморгос, произошедшие с 1 по 15 февраля

Другой пример. Цикл сильных землетрясений начался в регионе Камчатки 30 июля (Землетрясение на Камчатке, 2025). 30 июля на территории Камчатского края произошло землетрясение магнитудой M8.8. При этом тектоническая плита, на которой находится полуостров, сдвинулась на 70 метров. Отголоски этого землетрясения докатились до Геленджикского региона. На графиках рисунка 6 момент проявления землетрясения обозначен пунктирными линиями и меткой M8.8. Землетрясение привело к увеличению вариаций ОАР в 1.8 раза. Амплитуда низкочастотных деформаций земной поверхности превысила 10 мм (рисунок 6б).

Можно предположить, что прочие аномалии на графиках (рисунок 6) также связаны с тектоническими процессами в других регионах планеты.

Необходимо отметить: при анализе вариаций ОАР и низкочастотных деформаций земной поверхности, а также поиске корреляций между процессами, нужно иметь в виду, что эти процессы находятся в противофазе. Отсутствия корреляции между ними быть не может, так как зависимость одного параметра от другого описывается математической моделью.

Суть противофазы процессов

Выбросы радона появляются, когда тектонические плиты расходятся. В это время происходит оседание одной или обеих плит. Через образовавшийся разлом выбрасывается радон с прочими газами. При субдукции, когда одна плита наезжает на другую, происходит компрессия. Компрессия перекрывает разлом, останавливает выбросы газов во внешнюю среду и вызывает подъем места стыковки плит. Подъем продолжается до тех пор, пока сила компрессии не превысит предел прочности пород. Компрессия, как правило, является следствием воздействия тектонических процессов извне (сейсмической нестабильности территории, в частности).

Заключение

Причины проводимых исследований и поставленных для ее решения задач связаны с резким увеличением сейсмической нестабильности планеты Земля с 1995 года. Количество значимых землетрясений (>М3) за это время увеличилось в десятки раз.

Начало формирования медленных нарастающих колебаний волновых форм в зонах коллизии и субдукции литосферных плит, в которых возможны проявления экстремальных ситуаций, сложно зафиксировать классическими методами. Именно для оценки сейсмической опасности локальных территорий и краткосрочного прогноза зарождающихся сейсмических аномалий необходим комплекс рассмотренных разработок. Степень тектонической нестабильности места мониторинга отражается в амплитудах относительных вариаций радона и вертикальных деформаций земной поверхности. Статистика регистрации данных мониторинга показала, что, как правило, через 3–6 дней после резкого увеличения ОАР относительно среднегодового значения, возможны проявления опасных природных процессов.

Частота биений максимальной передачи энергии (по регистратору ОАР ^{222}Rn) определена как $8.7 \cdot 10^{-7}$ Гц (период 13.3035 суток). Для сравнения: период одной из гармоник нутации земной оси равен 13.7 суток.

Особенность рассмотренного аппаратно-программного комплекса состоит в том, что он не фиксирует колебаний земной поверхности, вызванных силовыми воздействиями на земную поверхность извне.

Эмпирическая математическая модель локальных деформаций земной поверхности связана с геологической структурой места проведения наблюдений. По этой причине она не может быть универсальной. Для каждого конкретного региона она должна рассчитываться индивидуально.

Представленный комплекс натурных наблюдений, помимо прогноза зарождающихся сейсмоаномалий, может играть важную роль при исследованиях на карбоновых полигонах. Характер выбросов глубинных газов связан с выбросами радона. Сопоставление материалов, экспериментально полученных на карбоновых полигонах, с глобально происходящими процессами тектонической нестабильности, может открыть новые природные закономерности и зависимости.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках научного проекта FMWE-2024-0027 «Морские природные системы Черного и Азовского морей: эволюция и современная динамика гидрофизических, гидрохимических, биологических, береговых и литодинамических процессов».

Список литературы

1. *Адушкин В. В., Нифадьев В. И., Чен Б. Б., Попель С. И., Когай Г. А., Дубинский А. Ю., Вайдлер П. Г.* Об изменениях параметров внутренних гравитационных волн в атмосфере Центральной Азии перед землетрясениями // Доклады Академии наук. 2019. Т. 487 (3). С. 299–303. EDN: KGYZNR. https://doi.org/10.31857/S0869-56524873299-303
2. *Бабешко В. А., Шестопалов В. Л., Глазырин Е. А., Шереметьев В. М.* Исследование сейсмической активности района большого Сочи методами спутниковой геодинамики // Ростов на Дону: Наука юга России. 2019. Т. 15 (1). С. 3–11. EDN: ZWYBLR. https://doi.org/10.7868/S25000640190101
3. *Бабешко В. А., Калинчук В. В., Шестопалов В. Л., Глазырин Е. А., Алешин Б. Н., Леонтьев И. В., Дидикин О. В., Бородако А. М., Фоменко В. А., Шереметьев В. М.* Геодинамический мониторинг района Крымского моста // Ростов на Дону: Наука юга России. 2022. Т. 18 (2). С. 35–40. EDN: OSKGWS. https://doi.org/10.7868/S25000640220205
4. Вулкан Санторин, Греция – сейсмический кризис 2025 [Электронный ресурс]. https://www.volcanodiscovery.com/ru/santorini/current-activity.html (дата обращения: 20.11.2025).
5. *Глазырин Е. А., Шестопалов В. Л.* Современные движения поверхности Земли российского сегмента побережья Черного моря по данным GPS-наблюдений // Система Черного моря / Под ред. А. П. Лисицына. М.: Научный мир, 2018. С. 76–83. EDN: OAMTRW. https://doi.org/10.29006/978-5-91522-473-4.2018.76
6. Европейско-Средиземноморский сейсмологический центр (ЕССЦ) [Электронный ресурс]. https://www.emsc-csem.org/Earthquake_information/ (дата обращения: 20.11.2025).
7. Землетрясение на Камчатке. Спецвыпуск журнала **“**Russian Journal of Earth Sciences” [Электронный ресурс]. https://gcras.ru/news.php?n=1186 (дата обращения: 20.11.2025).
8. *Подымов И. С., Подымова Т. М.* Некоторые результаты долговременного мониторинга объемной активности радона в приземной атмосфере северо-восточного сектора Черного моря. В кн.: Сборник результатов научных исследований: Современные исследования в сфере естественных, технических и физико-математических наук. Киров, 2018. С. 243–256. EDN: XRMQMX
9. *Подымов И. С., Подымова Т. М.* Вариации параметров внутренних гравитационных волн и объемной активности радона в приземной атмосфере перед землетрясениями // Уфа: Инновационные научные исследования, 2022. Т. 10 (22). С. 52–63. EDN: ASMXUU. https://doi.org/10.5281/zenodo.7236518
10. *Пулинец С. А., Узунов Д.* Спутниковым технологиям нет альтернативы. О проблеме мониторинга природных и техногенных катастроф // Труды Института прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова. М.: ИПГ, 2011. Т. 89. С. 173–185.

11. *Pulinets S., Mironova I., Miklyaev P., Petrova T., Shitov A., Karagodin A.* Radon Variability as a Result of Interaction with the Environment // Atmosphere. 2024. Vol. 15 (2). P. 2–29. EDN: XRSBGZ. https://doi.org/10.3390/atmos15020167

Статья поступила в редакцию 14.04.2026, одобрена к печати 10.06.2026.
Для цитирования: *Подымов И. С., Подымова Т. М.* Натурные наблюдения низкочастотных деформаций земной поверхности Геленджикского сегмента Черноморского побережья // Океанологические исследования. 2026. Т. 54. № 2. С. 55–66. https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2026.54(2).4

FIELD OBSERVATIONS THE LOW-FREQUENCY DEFORMATIONS OF EARTH'S SURFACE IN THE GELENDZHIK SEGMENT OF BLACK SEA

I. S. Podymov, T. M. Podymova

Shirshov Institute of oceanology, Russian Academy of Science,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: ipodymov@inbox.ru; tpodymova@inbox.ru

The paper presents results of long-term continuous monitoring for radon fluctuations in the surface atmosphere. The data obtained has become an integral part of research focused to studying the region seismic stability, as well as the processes of current and long-time Earth's surface deformations. Data from the points of satellite geodynamic positioning were used to assess the relationship the amplitude of Earth's surface vertical deformations and radon volumetric activity variations. The results of materials analysis from long-term experiment made it possible to build a mathematical model linking these parameters. A special feature data capture is radon volumetric activity variation measuring spectrometry method. The hardware-software measuring complex for conducting these studies makes it possible to record radon variations in hourly, and amplitude of the Earth's surface vertical deformations with an error of a millimeter fraction.

Keywords: Radon-222, earth's surface, local deformations, Black Sea coast, geodynamic positioning, geophysical processes, radon volumetric activity

Acknowledgements: The research was carried out as part of a scientific project FMWE-2024-0027 "Marine natural systems of the Black and Azov Seas: evolution and modern dynamics of hydrophysical, hydrochemical, biological, coastal and lithodynamic processes".

References

1. Adushkin, V. V., V. I. Nifad'ev, B. B. Chen, S. I. Popel, G. A. Kogai, A. Yu. Dubinsky, and P. G. Waidler, 2019: *On changes in the parameters of internal gravitational waves in the atmosphere of Central Asia before earthquakes.* Reports of the Academy of Sciences, **487** (3), 299–303, EDN: KGYZNR, https://doi.org/10.31857/S0869-56524873299-303 [in Russian].
2. Babeshko, V. A., V. L. Shestopalov, E. A. Glazyrin, and V. M. Sheremet'ev, 2019: Research of seismic activity of the greater Sochi area by methods of satellite geodynamics. *Science in the South of Russia*, **15** (1), 3–11, EDN: ZWYBLR, https://doi.org/10.7868/S25000640190101 [in Russian].

3. Babeshko, V. A., V. V. Kalinchuk, V. L. Shestopalov, E. A. Glazyrin, B. N. Alyoshin, I. V. Leont'ev, O. V. Didikin, A. M. Borodako, V. A. Fomenko, and V. M. Sheremet'ev, 2022: Geodynamic monitoring of the Crimean Bridge area. *Science in the South of Russia*, **18** (2), 35–40, EDN: OSKGWS, https://doi.org/10.7868/S25000640220205 [in Russian].
4. *Earthquake in Kamchatka, 2025.* The "Russian Journal of Earth Sciences" special issue. Available at https://www.gcras.ru/news.php?n=1186 (accessed 20.11.2025)
5. *Santorini volcano (Greece) – the seismic crisis of 2025*. Available at https://www.volcanodiscovery.com/ru/santorini/current-activity.html (accessed 20.11.2025).
6. Glazyrin, E. A. and V. L. Shestopalov, 2018: *Modern movements of the Earth's surface of the Russian segment of the Black sea coastline according to GPS observations*. Lisitsin A. P. [ed.] Moscow, The scientific world, 76–84, EDN: OAMTRW, https://doi.org/10.29006/978-5-91522-473-4.2018.76 [in Russian].
7. *The European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC)*. Available at https://www.emsc-csem.org/Earthquake_information/ (accessed 20.11.2025).
8. Podymov, I. S. and T. M. Podymova, 2018: *Some results of long-term monitoring radon volumetric activity in the surface atmosphere of the northeastern sector of Black Sea.* Collection of scientific research results: Modern research in the field of natural, technical and physical-mathematical sciences. Kirov, 243–256, EDN: XRMQMX
9. Podymov, I. S. and T. M. Podymova, 2022: Variations of the internal gravitational waves parameters and the radon volumetric activity in the surface atmosphere before the earthquakes. *Ufa: Innovative scientific research*, **10** (22), 52–63, EDN: ASMXUU, https://doi.org/10.5281/zenodo.7236518
10. Pulinets, S. and D. Ouzounov, 2011: There is no Alternative to Satellite Technologies. On the Problem of Monitoring Natural and Man-Made Disasters. *Proceedings of Institute of Applied Geophysics*. Moscow, IPG, **89**, 173–185.
11. Pulinets, S., I. Mironova, P. Miklyaev, T. Petrova, A. Shitov, and A. Karagodin, 2024*:* Radon Variability as a Result of Interaction with the Environment. *Atmosphere*, **15** (2), 2–29, EDN: XRSBGZ, https://doi.org/10.3390/atmos15020167

Submitted 14.04.2026, accepted 10.06.2026.
For citation: Podymov, I. S. and T. M. Podymova, 2026: Field observations the low-frequency deformations of earth's surface in the Gelendzhik segment of Black Sea. *Journal of Oceanological Research,* **54** (2), 55–66, https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2026.54(2).4

格连吉克黑海沿岸段地表低频形变的现场观测

I. S. Podymov, T. M. Podymova

Shirshov Institute of oceanology, Russian Academy of Science,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 邮编 : *117997, Russia,*
电子邮箱: *ipodymov@inbox.ru; tpodymova@inbox.ru*

本文介绍了对近地表大气中氡波动进行长期连续监测的成果。所获数据已成为区域地震稳定性研究以及地表当前和长期形变过程研究的重要组成部分。为评估地表垂直形变幅度与氡体积活度变化之间的关系，采用了卫星测地定位站的数据。通过分析长期实验资料，构建了关联这些参数的数学模型。数据记录方法的特点是采用氡体积活度变化光谱测量法。上述研究的硬件和软件系统能够实现氡变化的逐小时记录，并以毫米级精度测量地表垂直形变幅度。

关键词： 氡-222，地表，局部形变，黑海沿岸，测地定位，地球物理过程，氡体积活度

致谢： 本研究在科研项目"黑海和亚速海海洋自然系统：水文物理、水文化学、生物、海岸和岩石动力过程的演化与当代动力学"（编号：FMWE-2024-0027）框架内完成。