

УДК 539.3
DOI: 10.7868/S25000640210201

МОНИТОРИНГ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РАЙОНЕ РОСТОВСКОЙ АЭС МЕТОДАМИ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ

© 2021 г. Академик В.А. Бабешко¹, чл.-корр. РАН В.В. Калинин²,
В.Л. Шестопапов², В.М. Шереметьев³

Аннотация. Дано описание сейсмотектонической обстановки района промышленной площадки Ростовской АЭС. Несмотря на расположение АЭС в пределах стабильной платформенной области, существует вероятность редких сильных сейсмических событий в зонах пересечения глубинных разломов северо-западного и северо-восточного направлений, где возможны супердеформации земной коры ($2 \times 10^{-5} \dots 7 \times 10^{-5}$) со временем формирования от нескольких суток до нескольких месяцев.

Оценка величины максимально возможной магнитуды для разломов неясной степени тектонической активности M_{max} , выполненная Геофизической службой РАН по данным максимальных градиентов поля высот геоида, дает для M_{max} значение магнитуды до 5,2. С учетом выражения для эмпирического радиуса деформации Добровольского $R_D = 10^{0,43M}$ магнитуда 5,2 приблизительно соответствует радиусу 170 км, в пределах требований МАГАТЭ (до 200 км). Для зоны расположения промышленной площадки АЭС с таким радиусом, где возможно проявление деформаций земной поверхности, должны быть получены научно обоснованные данные о геодинамической обстановке.

Рассмотрен проект сети GPS-пунктов, разработанный Геофизической службой РАН с целью оценки сейсмогеодинамической активности района расположения Ростовской АЭС. Эффективность работы сети GPS-пунктов Геофизической службы РАН может быть повышена установкой пяти дополнительных постоянно действующих GPS-пунктов Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН) и внедрением новой технологии обработки спутниковых измерений на основе методов многомерной статистики.

Представлен пример действующей системы GPS-мониторинга ЮНЦ РАН, созданной совместно с АО «Южморгеология» и Кубанским государственным университетом на базе региональной сети GPS-пунктов в районе Таманского полуострова. За время наблюдений в период повышенной сейсмической активности в 2017–2018 гг. было зафиксировано 42 землетрясения, из которых был составлен каталог из 12 сейсмособытий с магнитудами от 3,5 до 4,7 и эпицентрами на суше и в акваториях Азовского и Черного морей. Дается определение интегрального критерия напряженно-деформированного состояния геологической среды на основе математических методов многомерной статистики. Анализ временных вариаций значения интегрального критерия в низкочастотной области показывает рост его амплитуды за 20–40 суток до землетрясения в пределах сети наблюдательных пунктов GPS.

Ключевые слова: GPS-наблюдение, деформация коры, предвестники землетрясения.

¹ Кубанский государственный университет (Kuban State University, Krasnodar, Russian Federation), Российская Федерация, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: babeshko41@mail.ru

² Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: kalin@ssc-ras.ru, valepg@mail.ru

³ ООО Проектный институт территориального планирования (Project Institute of Territory Planning Ltd., Krasnodar, Russian Federation), Российская Федерация, 350049, г. Краснодар, ул. Северная, 255, помещение 316, e-mail: sheremetev-v@mail.ru

MONITORING OF GEODYNAMIC ACTIVITY OF THE ROSTOV NUCLEAR POWER PLANT REGION WITH GPS TECHNOLOGY

Academician RAS V.A. Babeshko¹, Corresponding Member RAS V.V. Kalinchuk²,
V.L. Shestopalov², V.M. Sheremetyev³

Abstract. A description of the seismotectonic situation of the area at the Rostov Nuclear Power Plant (NPP) industrial site area is given. It is noted that despite the location of the NPP within the stable platform area, there is a possibility of rare strong seismic events in the zones of intersection of deep faults of the north-western and north-eastern directions, where superdeformations of the crust ($2 \times 10^{-5} \dots 7 \times 10^{-5}$) with a formation time from several days to several months are possible.

Estimation of the maximum possible magnitude for faults of an unclear degree of tectonic activity M_{max} , performed by the Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences (GS RAS) according to the maximum gradients of the geoidal height field gives M_{max} a magnitude value of up to 5.2. Taking into account the expression for the empirical deformation radius of Dobrovolsky $R_D = 10^{0.43M}$, magnitude 5.2 approximately corresponds to a radius of 170 km, within the IAEA requirements (up to 200 km). For the area of the NPP industrial site location with such radius, where earth's surface deformations are possible, scientifically based data on the geodynamic situation should be obtained.

The project of the GPS network developed by the GS RAS was considered in order to assess seismogeodynamic activity of the Rostov NPP location area. The efficiency of the GS RAS GPS network can be improved by installing five additional permanent GPS stations of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (SSC RAS) and introducing a new technology for processing satellite measurements based on multidimensional statistics.

An example of the current GPS monitoring system of the SSC RAS, created jointly with Yuzhmorgeologiya JSC and Kuban State University on the basis of a regional GPS network in the Taman Peninsula region, is presented. In the course of observations during the period of increased seismic activity in 2017–2018 42 earthquakes were recorded, of which a catalog of 12 seismic events with magnitudes from 3.5 to 4.7 and epicenters on land and in the Azov and Black Seas was compiled. The definition of the integrated indicator of the stressed-deformed state of the crust is given on the basis of mathematical methods of multidimensional statistics. Analysis of time variations of the integrated indicator value in the low-frequency band shows an increase in its amplitude 20–40 days before the earthquake within the GPS network.

Keywords: GPS observation, crust deformation, earthquake precursors.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, как никогда раньше, становится актуальным практическое использование знаний о закономерностях развития геодинамических процессов и их влиянии на различные инженерно-технические объекты. Установлено, что подавляющее большинство аварий, связанных с техническим состоянием промышленных объектов, которые расположены в пределах зоны проявления аномальных геодинамических процессов, вызваны медленными (несейсмическими) деформациями земной поверхности. В пределах геодинамических аномалий, приуроченных к зонам пересечения глубинных разломов, происходят супердеформации земной коры ($2 \times 10^{-5} \dots 7 \times 10^{-5}$), время формирования которых составляет от нескольких недель до нескольких месяцев, а иногда и несколько суток.

Причем в силу волновой природы тектонических движений они периодически меняют знак [1].

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА РАСПОЛОЖЕНИЯ РОСТОВСКОЙ АЭС

Район Ростовской атомной электростанции (РАЭС) расположен на юго-востоке Восточно-Европейской платформы и приурочен к северному борту кряжа Карпинского. РАЭС построена в пределах платформенной области, где, по традиционному представлению, обеспечивается высокая степень тектонической стабильности. Однако результаты геодинамических исследований последних лет указывают на вероятность редких сильных сейсмических событий в этих областях [1]. Место расположения РАЭС попадает в зону влияния потенциальной геодинамической аномалии, формирование

которой может быть вызвано активизацией пересекающихся глубинных разломов северо-западного и северо-восточного направлений (рис. 1) [2]. РАЭС расположена на берегу Цимлянского водохранилища вблизи г. Волгодонск. Водохранилище площадью до 2702 км² после его наполнения значительно увеличило весовую нагрузку на литосферу (полный объем 23,8 км³, или 23,8 млрд тонн), что вызвало изменение поля напряжений и ответную реакцию геологической среды в виде движения блоков земной коры. Изменение уровня воды создает переменную нагрузку на земную поверхность в зоне водохранилища и также может быть причиной геодинамической активности [3].

Согласно требованиям МАГАТЭ для промышленной площадки АЭС должны быть получены научно обоснованные данные о геодинамической обстановке в районе с радиусом до 200 км от АЭС.

Величину максимально возможной магнитуды для разломов неясной степени тектонической активности M_{max} можно оценить формулой, полученной в результате обобщения эмпирических данных по Восточно-Европейской платформе [4]:

$$M_{max} = 1,4 + 1,5 \lg(L), \quad (1)$$

где L – длина активного участка разлома, км.

Оценка L для участков Донбасско-Астраханского и Волгоградского глубинных разломов была выполнена в работе [2] в предположении соответствия этой величины области высоких градиентов поля высот геоида, что дает для M_{max} , согласно (1), значение 4,8 и 5,2 соответственно.

С учетом выражения для эмпирического радиуса деформации Добровольского ($R_D = 10^{0,43M}$, [5]) магнитуда 5,2 приблизительно соответствует радиусу 170 км, в пределах которого возможно проявление деформационных признаков в наблюдательной сети GPS-пунктов. Расстояние от РАЭС до Донбасско-Астраханского глубинного разлома составляет 20–30 км и до сейсмоопасных зон пересечения разломов I и II – 70 и 120 км соответственно. Ближайшие по местоположению землетрясения имели магнитуду 4,1 и 5,0 и происходили на удалении 100–130 км к югу от площадки РАЭС. Землетрясение магнитудой 5,0 произошло 22.05.2001 г. в 126 км к югу от РАЭС и в 60 км к востоку от г. Сальск в зоне Северо-Маньчского разлома на глубине 15 км. Землетрясение магнитудой 3,6 было зарегистрировано 15.04.2018 г. на глубине 5 км на расстоянии 183 км к юго-западу от РАЭС.

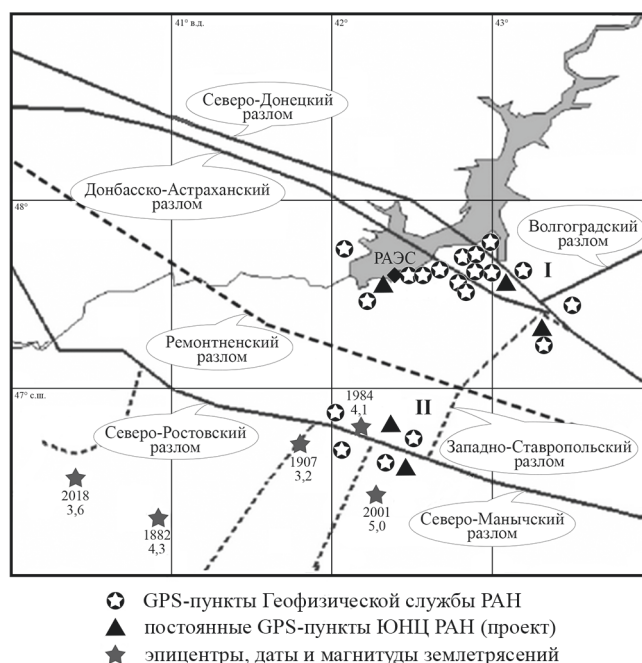


Рис. 1. Схема глубинных разломов в районе РАЭС и наблюдательной сети GPS-пунктов (составлено с использованием материалов работы [2]): I – сейсмоактивная зона пересечения Донбасско-Астраханского, Северо-Донецкого и Западно-Ставропольского разломов; II – сейсмоактивная зона пересечения Северо-Ростовского, Ремонтненского и Западно-Ставропольского разломов.

Fig. 1. Diagram of deep faults in the Rostov NPP region and the observation network of GPS stations, according to [2]: I – seismic zone of the intersection of the Donbass-Astrakhan, North-Donetsk and West-Stavropol faults; II – seismic zone of the intersection of the North-Rostov, Remontnensky and West-Stavropol faults.

Зафиксированные сейсмические события и многочисленные данные других геофизических исследований указывают на геодинамическую активность рассматриваемого района и актуальность его геодинамического мониторинга.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ПУНКТАХ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РАН

В работе [2] для инструментального доказательства активности системы разломов предложена схема двухуровневой сети из 20 GPS-пунктов. Сеть локального уровня, ограниченная радиусом до 20 км от АЭС, включает 7 пунктов, запроектированных институтом «Атомэнергопроект», и 3 дополнительных пункта Геофизической службы РАН. Региональная сеть из 10 пунктов предназначена для измерения возможных движений участков земной коры в районе близко лежащих к АЭС и наиболее активных глубинных разломов.

По результатам повторных геодинимических наблюдений на пунктах локального и регионального уровней были получены величины среднегодовых относительных скоростей смещения GPS-пунктов, что не дает возможности выявить геодинимические аномалии на более коротких временных интервалах.

Эффективность предложенной схемы сети GPS-пунктов может быть значительно повышена использованием режима постоянных GPS-наблюдений и новых методов обработки данных. Представляется целесообразным установить дополнительно к пунктам сети Геофизической службы РАН пять постоянно действующих GPS-пунктов Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН) согласно схеме рисунка 1. Два из этих пунктов устанавливаются в зоне II на бортах Северо-Ростовского глубинного разлома, активность которого в работе [2] предполагалась по данным аномалий поля градиентов высот геоида. Активность зоны II подтверждается также данными сейсмического каталога землетрясений в исторический и инструментальный периоды. Мониторинг геодинимических движений в зоне I осуществляется

GPS-пунктами, установленными в районе пересечения Донбасско-Астраханского, Северо-Донецкого и Западно-Ставропольского разломов, современная активность которых еще не определена прямыми геодезическими измерениями. Пятый GPS-пункт ЮНЦ РАН планируется установить в районе промышленной площадки РАЭС.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для дальнейшего развития и повышения информативности системы геодинимических наблюдений Геофизической службы РАН в районе РАЭС представляет интерес опыт использования действующей системы GPS-мониторинга геодинимической активности, созданной в 2012 г. на территории сейсмоактивных районов Азово-Черноморского побережья ЮНЦ РАН совместно с АО «Южморгеология» и Кубанским государственным университетом (КубГУ).

Настоящее исследование проведено в районе Таманского полуострова, близко расположенного к району РАЭС, по данным измерений GPS-сети из четырех постоянно действующих пунктов – Анапа,

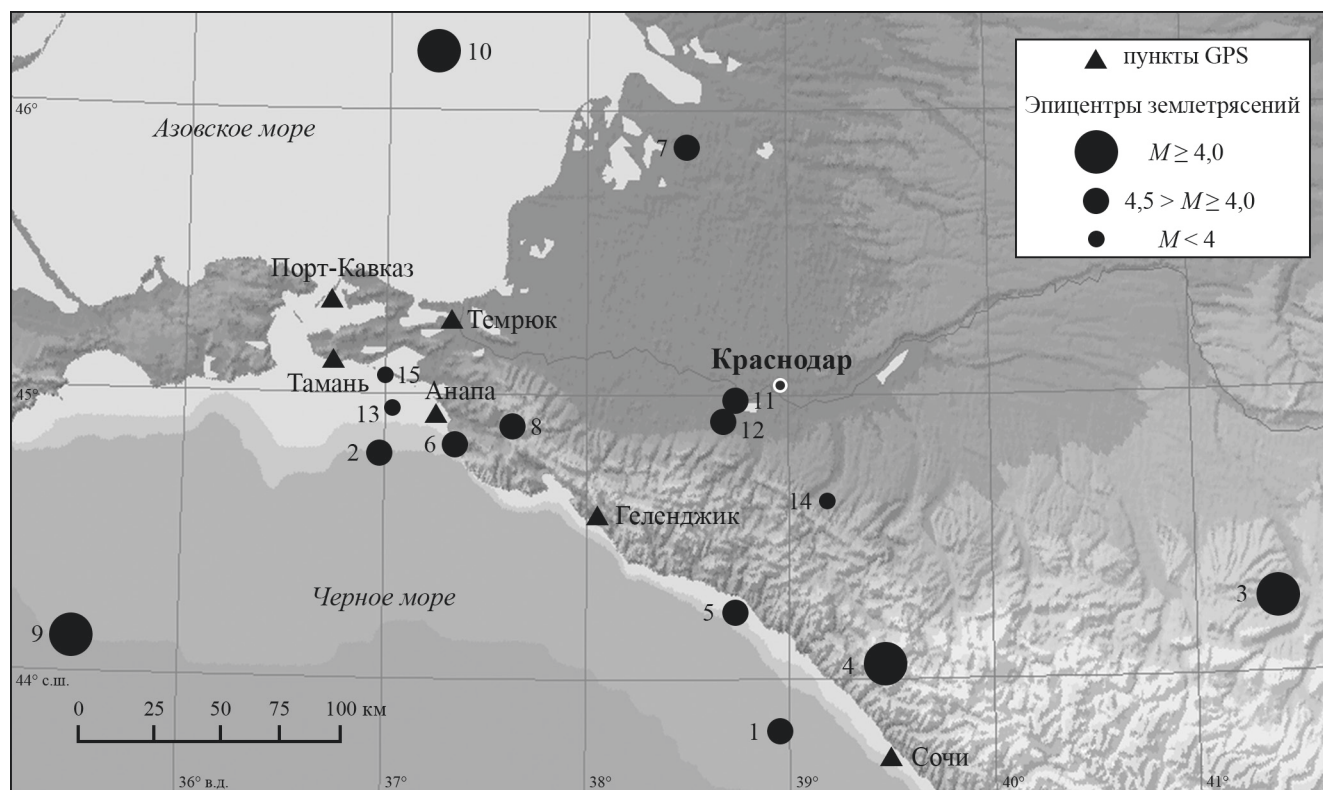


Рис. 2. Схема сети GPS-пунктов и эпицентры землетрясений в районе Азово-Черноморского побережья РФ в 2017–2018 гг. Цифрами обозначены номера землетрясений с характеристиками, приведенными в таблице 1.

Fig. 2. The network of GPS stations and seismicity in the Azov-Black seas region of the RF in 2017 and 2018. The digits represent the numbers of earthquakes with the characteristics given in Table 1.

Таблица 1. Характеристики землетрясений в районе Азово-Черноморского побережья РФ в 2017–2018 гг.
Table 1. Characteristics of earthquakes in the Azov-Black seas region of the Russian Federation in 2017 and 2018

№	Дата Date	Координаты эпицентра Epicenter coordinates		Глубина очага, км Focus depth, km	Магнитуда Magnitude
		N	E		
1	30.04.2017	43,82	38,96	10	4,0
2	16.06.2017	44,85	36,86	10	4,3
3	24.08.2017	44,32	41,52	10	4,5
4	28.09.2017	44,06	39,48	10	4,5
5	26.01.2018	44,26	38,73	10	4,0
6	31.01.2018	44,87	37,25	15	4,2
7	20.02.2018	45,96	38,46	10	4,0
8	24.04.2018	44,95	37,54	10	4,2
9	14.08.2018	44,17	35,24	10	4,5
10	15.10.2018	46,32	37,19	10	4,7
11	24.11.2018	44,99	38,66	10	4,3
12	25.11.2018	45,08	38,73	10	4,4
13	01.02.2017	44,90	36,97	15	3,6
14	24.02.2017	44,62	39,40	10	3,3
15	16.06.2017	45,00	37,16	10	3,5

Тамань, Порт-Кавказ и Темрюк – в период повышенной сейсмической активности в 2017–2018 гг. (рис. 2).

За время наблюдений в районе Азово-Черноморского побережья РФ было зафиксировано 42 землетрясения, из которых был составлен каталог из 12 сейсмособытий с $M \geq 4$ и эпицентрами на суше и в акваториях Азовского и Черного морей (табл. 1). В каталог были включены также события №№ 13 и 14 ($M < 4$) с целью анализа геодинамической активности в начале 2017 г. и событие № 15, произошедшее 16.06.2017 г. ($M = 3,5$) в 5 км к юго-востоку от ст. Благовещенская, составляющее дуплет землетрясений с событием № 2.

Расстояние от эпицентров землетрясений ($4,7 > M \geq 4,0$) до пунктов наблюдения составило от 5 до 150 км. Эмпирический радиус деформации Добровольского R_D для магнитуд 4,0–4,7 дает сопоставимую оценку 52 км и 105 км соответственно, что указывает на возможность проявления деформационных признаков на пунктах GPS. Расстояние от эпицентра наиболее дальнего землетрясения № 3 24.08.2017 г. в районе пос. Отрадное ($M = 4,5$) до ближайшего пункта Анапа составило 340 км. Указанное землетрясение включено в анализ с целью проверки чувствительности системы мониторинга к удаленным сейсмическим событиям.

Измерения на пунктах производились приемниками GPS/ГЛОНАСС Prego JNSS и Trimble 5700 с высокоточными антеннами, установленными на

стабильных спецоснованиях. Обработка данных выполнена с помощью пакета GAMIT (V 10.7) и комплекса программ в среде Matlab, разработанных в ЮИЦ РАН. За период наблюдений с 2017 по 2018 г. были накоплены временные ряды пространственного положения пунктов мониторинга с точностью 3–6 мм в горизонтальной плоскости и 6–12 мм по высоте в международной координатной системе ITRF2014, реализация которой осуществлялась опорными станциями ARTU (г. Екатеринбург, Россия), MOBN (г. Обнинск, Россия), GLSV (г. Киев, Украина), JOZ2 (Польша), PENC (Венгрия), WTZR (Германия) и ZECK (станция Зеленчукская, Карачаево-Черкесия, Россия). На графике вертикальных движений GPS-пункта Темрюк в 2016–2018 гг. представлен пример геодинамической аномалии в виде проседания земной поверхности за 4–5 месяцев до сейсмособытия № 10 магнитудой 4,7 в Азовском море (рис. 3).

ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ
 НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
 СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ
 МЕТОДАМИ МНОГОМЕРНОЙ СТАТИСТИКИ

Перспективным направлением использования GPS-технологий является определение интегрального критерия (ИК) напряженно-деформированного состояния земной коры методами многомерной статистики. Понятие ИК в отличие от других многочисленных предвестников строит-

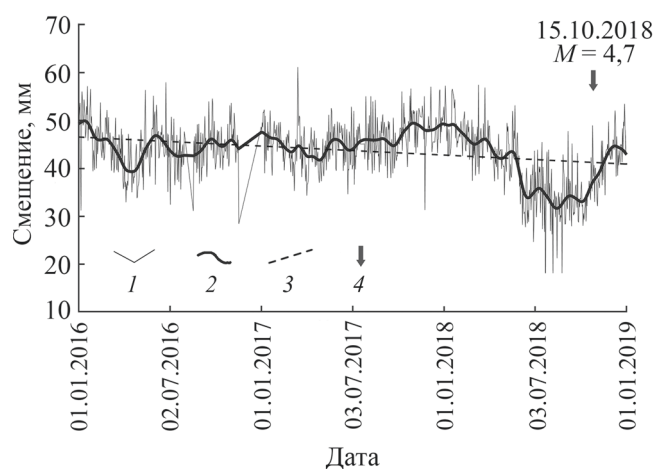


Рис. 3. Движение пункта Темрюк по высоте в 2016–2018 гг. 1–3 – траектория движения: 1 – исходная (суточная), 2 – сглаженная, 3 – средний многолетний тренд; 4 – дата и магнитуда землетрясения.

Fig. 3. Vertical movement of Temryuk GPS-station in 2016–2018. 1–3 – trajectory of movement: 1 – initial (daily), 2 – smoothed, 3 – average multi-year trend; 4 – the date and magnitude of the earthquake.

ся на современном представлении о геофизической среде, имеющей блоковую иерархическую структуру, где характер движения составляющих блоков приобретает согласованный коллективный характер по мере приближения сейсмического события [6]. В настоящей работе для вычисления ИК использовался алгоритм [7] на основе методов многомерной статистики для обработки временных рядов низкочастотных систем геофизического мониторинга [8]. Задавалось скользящее временное окно длиной 60 суток и смещением 1 сутки, в котором формировалась многоканальная матрица спектральной мощности. В качестве ИК выбиралось максимальное собственное число $\lambda(f, \tau)$ спектральной матрицы для частоты f и заданного момента времени τ . Входной массив данных каждого окна состоял из 12 скалярных временных рядов ежесуточных приращений широты, долготы и высоты для четырех GPS-пунктов (Темрюк, Анапа, Порт-Кавказ и Тамань). За временную координату скользящего окна принималась третья часть временного интервала. Алгоритм программировался в среде Matlab по методике, описанной в работе [7]. Эволюция $\lambda(f, \tau)$ показана на рисунке 4.

Рисунок 4 показывает три заметных максимума вариаций $\lambda(f, \tau)$ (далее ИК) в низкочастотной области. Первый максимум совпадает по времени с сейсмической активностью в феврале 2017 г. Сейсмическое событие № 13 ($M = 3,6$) произошло

у побережья Черного моря 01.02.2017 г. в 17 км к юго-западу от пос. Витязево; 24.02.2017 г. было зафиксировано землетрясение № 14 ($M = 3,3$) на расстоянии 167 км к востоку от г. Анапа. Проявлением состояния напряженности земной коры в этот период можно считать последующее событие № 1 у г. Туапсе 30.04.2017 г. ($M = 4,0$).

Дуплет землетрясений 16.06.2017 г. у побережья г. Анапа отмечен заметным максимумом вариаций ИК. Слабый рост значения ИК в период событий № 3 ($M = 4,5$) и № 4 ($M = 4,5$) можно объяснить достаточной удаленностью эпицентров землетрясений от ближайшего GPS-пункта Анапа (193 км и 340 км соответственно). Максимум вариаций ИК в период событий № 5, 6 и 7 отчетливо фиксирует рост напряженного состояния земной коры в январе – феврале 2018 г. Резкий подъем показаний графика вариаций ИК в апреле 2018 г. соответствует землетрясению № 8 24.08.2018 г. в 25 км к северо-западу от г. Новороссийск ($M = 4,2$). Следующий локальный максимум ИК можно отнести к событию № 9 ($M = 4,5$) у берегов Крыма на расстоянии 152 км от GPS-пункта Тамань. Наиболее сильное за весь период наблюдений сейсмическое событие № 10 ($M = 4,7$), отмеченное максимальным значением ИК, произошло 15.10.2018 г. в Азовском море в 116 км к северу от ближайшего пункта наблюдений Темрюк. Локальный максимум ИК в октябре – декабре 2018 г. отражает, по-видимому, состояние напряженности земной коры, на фоне которого произошли землетрясения № 11 ($M = 4,3$) и № 12 ($M = 4,4$) у г. Краснодар.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты дают возможность сделать следующие выводы:

1. Данные геофизических и геологических исследований подтверждают возможность усиления геодинамической активности и реализации редкого сейсмического события магнитудой до 5,2 в районе промышленной площадки РАЭС, расположенной в зоне активных глубинных разломов северо-западного и северо-восточного простирания. В районе радиусом до 170 км от РАЭС могут наблюдаться деформации земной поверхности с возможностью их измерения инструментальными методами GPS.

2. Анализ проекта сети GPS-пунктов Геофизической службы РАН показывает необходимость его дополнения постоянными пунктами GPS, на кото-

рых в режиме мониторинга возможно обнаружение геодинамических аномалий в коротких временных интервалах (несколько недель – несколько месяцев). Дополнительные 5 постоянных GPS-пунктов целесообразно установить в сейсмоактивных зонах пересечения глубинных разломов в южной и восточной частях района расположения РАЭС и в районе промышленной площадки РАЭС.

3. Представлен пример действия системы GPS-мониторинга ЮНЦ РАН, созданной совместно с АО «Южморгеология» и КубГУ на базе региональной сети GPS-пунктов в районе Таманского полуострова, в период повышенной сейсмической активности в 2017–2018 гг. Дано определение интегрального критерия напряженно-деформированного состояния геологической среды на основе математических методов многомерной статистики. Анализ временных вариаций значения ИК в низкочастотной области показывает рост его амплитуды за 20–40 суток до землетрясения в пределах сети наблюдательных пунктов GPS.

4. Дальнейшее развитие представленной технологии мониторинга геодинамической активности может быть выполнено с помощью включения в обработку измерений других геофизических параметров (уровень воды в скважинах, объемная активность радона и др.) в рамках комплексной

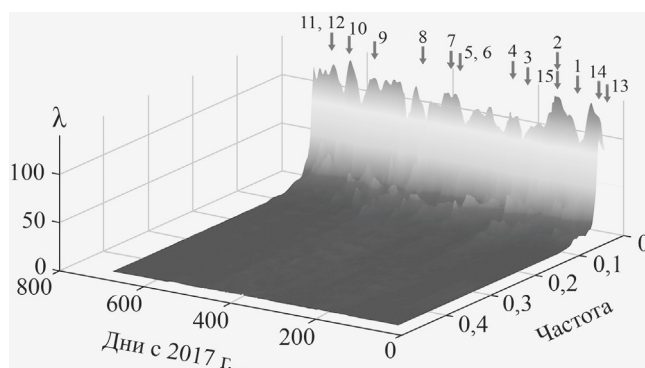


Рис. 4. Эволюция максимального собственного числа спектральной матрицы $\lambda_1(f, \tau)$ в районе Таманского полуострова в 2017–2018 гг. Время выражено в днях с начала 2017 г., частота – в циклах в день. Входные данные – приращение высоты, широты и долготы для СГП Темрюк, Анапа, Порт-Кавказ и Тамань. Стрелки – землетрясения согласно таблице 1.

Fig. 4. The evolution of the maximum eigenvalue of the spectral matrix $\lambda_1(f, \tau)$ in the Taman Peninsula region in 2017–2018. The time is expressed in days from the beginning of 2017; the frequency is in cycles per day. Input data – increment of height, latitude and longitude for GPS stations Temryuk, Anapa, Port-Kavkaz and Taman. Arrows – earthquakes according to Table 1.

системы мониторинга геоэкологической безопасности РАЭС.

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ЮНЦ РАН, № госрегистрации проекта 01201354241.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касьянова Н.А. 2003. *Экологические риски и геодинамика*. М., Научный мир: 332 с.
2. Морозов В.Н., Родкин М.В., Татаринов В.Н. 2001. К вопросу о геодинамической безопасности Ростовской АЭС. В кн.: *Материалы международной конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли» (Новосибирск, 02–04 октября 2001 г.)*. Новосибирск: 271–277.
3. Артиков Ф.Р., Хамидов Л.А., Анварова С.Г. 2020. Влияние вариации объема воды в водохранилище на изменения количества местных сейсмических событий. В кн.: *Пятая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием (Москва, 5–9 октября 2020 г.)*. М., ИФЗ РАН: 490–496.
4. Грачев А.Ф., Магницкий В.А., Мухамедиев Ш.А., Юнга С.Л. 1996. К определению максимально возможных магнитуд землетрясений на Восточно-Европейской платформе. *Физика Земли*. 7: 3–20.
5. Dobrovolsky I.P., Zubkov S.I., Miachkin V.I. 1979. Estimation of the size of earthquake preparation zones. *PAGEOPH*. 117(5): 1025–1044. doi: 10.1007/BF00876083
6. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. 1987. *Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс*. М., Наука: 101 с.

7. Бабешко В.А., Калинин В.В., Шестопалов В.Л. 2020. Интегральный признак напряженно-деформированного состояния среды по данным GNSS-наблюдений. *Наука Юга России*. 16(1): 3–10. doi: 10.7868/S25000640200101
8. Любушин А.А. 1993. Многомерный анализ временных рядов систем геофизического мониторинга. *Физика Земли*. 3: 103–108.

REFERENCES

1. Kas'yanova N.A. 2003. *Ekologicheskie riski i geodinamika*. [Environmental risks and geodynamics]. Moscow, Nauchnyy Mir: 332 p. (In Russian).
2. Morozov V.N., Rodkin M.V., Tatarinov V.N. 2001. [On the issue of geodynamic safety of Rostov NPP]. In: *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii "Geodinamika i napryazhennoe sostoyanie neдр Zemli"*. [Materials of the International Conference "Geodynamics and the stress state of the Earth's crust" (Novosibirsk, Russia, 2–4 October 2001)]. Novosibirsk: 271–277. (In Russian).
3. Artikov F.R., Hamidov L.A., Anvarova S.G. 2020. [Impact of water volume variation in the reservoir on changes in the number of local seismic events]. In: *Pyataya tektonofizicheskaya konferentsiya v IFZ RAN. Tektonofizika i aktual'nye voprosy nauk o Zemle: Materialy докладов vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. [The fifth tectonophysical conference at the IPE RAS. Tectonophysics and topical

- issues of Earth sciences: Materials of the All-Russian conference with international participation (Moscow, Russia, 5–9 October 2020)*. Moscow, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences: 490–496. (In Russian).
4. Grachev A.F., Magnitsky V.A., Mukhamediev S.A., Junga S.L. 1996. [To determine the maximum possible magnitude of earthquakes on the East European platform]. *Fizika Zemli*. 7: 3–20. (In Russian).
 5. Dobrovolsky I.P., Zubkov S.I., Miachkin V.I. 1979. Estimation of the size of earthquake preparation zones. *PAGEOPH*. 117(5): 1025–1044. doi: 10.1007/BF00876083
 6. Sadovskiy M.A., Bolkhovitinov L.G., Pisarenko V.F. 1987. *Deformirovanie geofizicheskoy sredy i seismicheskiy protsess*. [Deformation of geophysical environment and seismic process]. Moscow, Nauka: 101 p. (In Russian).
 7. Babeshko V.A., Kalinchuk V.V., Shestopalov V.L. 2020. [Integrated indicator of stressed-strain state of the Earth's crust from GNSS observations]. *Nauka Yuga Rossii*. 16(1): 3–10. (In Russian). doi: 10.7868/S25000640200101
 8. Lyubushin A.A. 1993. [Multidimensional analysis of time series of geophysical monitoring systems]. *Fizika Zemli*. 3: 103–108. (In Russian).

Поступила 15.03.2021