НАУКА ЮГА РОССИИ (ВЕСТНИК ЮЖНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА) 2016 Т. 12 №1 С. 22–31 SCIENCE IN THE SOUTH OF RUSSIA 2016 Vol. 12 Issue 1 P. 22–31

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 539.3

ТЕХНОЛОГИИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РАЙОНА ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ

© 2016 г. Академик В.А. Бабешко¹, В.В. Калинчук¹, В.Л. Шестопалов¹, В.М. Шереметьев²

Аннотация. Транспортный переход через Керченский пролив – уникальное инженерное сооружение, строящееся в условиях сложной сейсмотектонической обстановки, в зоне развития опасных геологических процессов и высокой геодинамической активности. Поэтому требуется особый подход в формировании эффективной системы контроля за протекающими в недрах процессами как в период строительства перехода, так и во время его эксплуатации. Геодинамическая активность Керченско-Таманской области, в пределах которой расположен транспортный переход, может быть причиной возникновения аварийных ситуаций на объектах морской и сухопутной инфраструктуры. Анализ повторяемости землетрясений на основе современного вероятностного метода показывает возможность сильных землетрясений в этой области и связанного с ними опасного сейсмического воздействия на инженерные сооружения транспортного перехода через Керченский пролив.

В 2014 г. силами Южного научного центра Российской академии наук, Кубанского государственного университета и ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» создана сеть из 10 постоянных спутниковых геодинамических пунктов. Западный фрагмент этой сети, включающий спутниковые геодинамические пункты Темрюк, Порт-Кавказ, Тамань и Анапа, дает возможность ежесуточно определять местоположение пунктов с погрешностью не более 3–5 мм в плане и 9–12 мм по высоте на расстояниях до 1000 км. Временные ряды полученных высокоточных координат пунктов являются исходным материалом для получения оценки напряженно-деформированного состояния земной коры в сейсмоактивных районах Керченско-Таманской области. По данным смещения GPS-пунктов в 2015 г. получены главные деформации и направления их осей в треугольнике спутниковых геодинамических пунктов Тамань, Порт-Кавказ и Темрюк. Предлагается дополнить существующую сеть системой деформационного мониторинга инженерных конструкций транспортного перехода в режиме реального времени с использованием высокоточной аппаратуры позиционирования GPS/ГЛОНАСС и системой мониторинга гидрогеодеформационного поля на базе пяти скважин в районе Керченского пролива.

Ключевые слова: Керченский пролив, GPS-технологии, деформации земной коры, геодинамическая активность.

TECHNOLOGIES OF GEODYNAMIC MONITORING OF THE KERCH-TAMAN REGION AND DEFORMATIONS OF BRIDGE ENGINEERING CONSTRUCTIONS ACROSS THE KERCH STRAIT

Academician RAS V.A. Babeshko¹, V.V. Kalinchuk¹, V.L. Shestopalov¹, V.M. Sheremet'ev²

Abstract. The unique engineering construction – a bridge across the Kerch Strait built under difficult seismictectonic conditions in a zone of development of dangerous geological processes and high geodynamic activity – demands special approach to the development of an effective geologic environment monitoring system both during the bridge construction and during its operation. Geodynamic activity of the Kerch-Taman Region within which the bridge is located can be the cause of emergencies at objects of marine and land infrastructure. The analysis of repeatability of earthquakes on the basis of a modern probabilistic method indicates a possibility of

¹Южный научный центр Российской академии наук (Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: babeshko41@mail.ru, kalin@ssc-ras.ru, vlshestopalov@gmail.com.

²ООО Проектный институт территориального планирования (Project Institute of Territory Planning Ltd. (PITP), Krasnodar, Russian Federation), Российская Федерация, г. Краснодар, тел. (861) 255-00-46, e-mail: pitp@list.ru.

strong earthquakes in this area and the related dangerous seismic impact on engineering constructions of the bridge across the Kerch Strait.

The Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (SSC RAS), the Kuban State University, and the Yuzhmorgeologiya State Enterprise developed a network of 10 permanent satellite geodynamic stations (SGS) in 2014. The western fragment of this network including SGS of Temryuk, Port-Kavkaz, Taman, and Anapa provides a daily possibility to determine the location of stations with an uncertainty of no more than 3–5 mm in the horizontal plane and 9–12 mm by height at distances to 1000 km. Time series of obtained high-precision coordinates of stations are the initial step for an assessment of the intense deformed crust state in seismoactive areas of the Kerch and Taman Region. Based on SGS movement in 2015 the main deformations and the directions of their axes in SGS triangle of Taman – Port-Kavkaz – Temryuk were obtained.

It is proposed to add an existing network with a subsystem of bridge deformation monitoring in real time applying high-precision GPS/GLONASS positioning equipment and a deep water level monitoring subsystem based on 5 boreholes in the Kerch Strait area.

Keywords: Kerch Strait, GPS technologies, crust deformation, geodynamic activity.

В связи с созданием транспортного перехода (ПП) через Керченский пролив большое значение имеет решение проблемы надежной эксплуатации этого сложного инженерного сооружения с учетом возможных опасных геологических процессов, связанных с геодинамической активностью Керченско-Таманской области. Сейсмическая активность и тектонические смещения могут оказывать воздействие на инфраструктуру и вызывать структурные нарушения конструкции. Проявлением геодинамической активности также являются асейсмические движения, сопровождающие активизацию грязевых вулканов. В 2012 г. в районе м. Каменный было зафиксировано тектоническое поднятие морского дна на высоту до 5 м над уровнем моря [1].

В этой связи представляется актуальной разработка системы мониторинга состояния инженерных сооружений транспортного перехода, а также системы раннего предупреждения геодинамической активности окружающей территории.

Вопреки некоторым представлениям о низком сейсмическом фоне северо-западной части Кавказа [2], имеются исторические записи о разрушительных землетрясениях в районе Керченского пролива в 63 г. до н.э. ($M = 6,4\pm0,7$) и в 275 г. н.э. ($M = 6,4\pm1,0$) [3]. Положение эпицентра сейсмособытия 63 г. до н.э., по историческим данным о разрушениях древних городов Пантикапея (Керчь), Гермонасса (Тамань) и Горгиппия (Анапа), можно предположить на стыке Восточно-Черноморского и Керченского глубинных разломов. В инструментальный период 24.07.2008 Геофизической службой РАН было зафиксировано землетрясение (M = 3,7) с глубиной гипоцентра 40 км на расстоянии 500 м от трассы ТП и в 1 км от побережья Тамани (рис. 1).

Для территории Таманского полуострова представляет опасность также сейсмогенная зона



Рис. 1. Сеть спутниковых геодинамических станций GPS/ ГЛОНАСС и сейсмичность Западного Кавказа в 2000–2015 гг. Исторические землетрясения отмечены звёздочкой (по данным [3]). В кружках – основные разломы: Ах – Ахтырский, В – Восточно-Черноморский, К – Керченский; поперечные флексуры: Д – Джигинская, А – Анапская

Fig. 1. A network of GPS/GLONASS geodynamic stations and seismicity of the Western Caucasus in 2000–2015. Historical earthquakes (according to data [3]). Figures in circles – the main faults: "Ax" – Akhtyrsky, "B" – East Black Sea, "K" – Kerch; cross flexures: "Д" – Dzhiginskaya, "A" – Anapa

юго-восточного побережья Крыма, где происходили сильные землетрясения (М = 6÷6,5) с эпицентрами в районе Судака (1869 г.), вблизи Севастополя (1875 г.) и Ялты (1927 г.). Кластер очагов этих землетрясений В.И. Уломов выделяет в качестве потенциально опасной зоны и допускает возможность ее миграции в сторону Тамани [4].

На юго-востоке Таманского полуострова расположена зона возможных очагов землетрясений (ВОЗ), сейсмоактивность которой определяется системой глубинных разломов кавказского направления (Ахтырский, Восточно-Черноморский) и поперечными флексурами (Анапская, Джигинская) [5]. Сейсмические наблюдения зафиксировали в этом районе разрушительное землетрясение 09.10.1879 (М = 6,0) в 100 км к востоку от Керченского пролива.

Большое значение при проектировании системы геодинамического мониторинга имеет информация о повторяемости землетрясений различных магнитуд и размер области деформаций, возникающих под их воздействием. Оценка сейсмической опасности в строительстве в настоящее время производится на основе Карты общего сейсмического районирования (ОСР-97). Однако масштаб карт и список населенных пунктов, включенных в комплект ОСР-97, не позволяют непосредственно использовать их для практических целей на территории Краснодарского края [6].

Для оценки повторяемости землетрясений используется современный вероятностный подход к оценке сейсмической опасности Ю.К. Чернова, признанный в последние десятилетия приоритетным в России [7]. Сейсмический эффект определяется интегральным воздействием на расчетную точку всех потенциально опасных очагов из всех окружающих и потенциально опасных элементарных участков [8]. Базовые соотношения для повторяемости землетрясений определены как [9]

lg \overline{N} = -0,849M + 1,343 (либеральный вариант),

lg \overline{N} = -0,886M + 1,652 (консервативный вариант), где \overline{N} – среднее количество землетрясений с магнитудой M (M±0,25) на площади $S = 1000 \text{ км}^2$ – пересчитывалось на элементарные участки $S = 5 \times 5 \text{ км}^2$ для периода t = 1 год.

На основе этой методологии Ю.К. Черновым были сделаны оценки повторяемости северокавказских землетрясений разных магнитуд для зон ВОЗ в версии ОСР-97 и получены геометрические параметры потенциально опасных очагов [10]. По этим данным для ВОЗ в районе Керченского пролива с максимальной магнитудой M = 6,5 можно оценить среднее ожидаемое число землетрясений \overline{N} с момента Пантикапейского сейсмического события (М = 6,5) в 63 г. до н.э. (табл. 1). Предполагается смешанный взбросо-сдвиговый характер подвижки очага, характерный для северокавказских землетрясений. В скобках приведены результаты расчета по консервативному варианту, без скобок - по либеральному варианту. Наиболее вероятные значения макросейсмической балльности І получены на средних грунтах в ближней зоне.

Анализ таблицы 1 показывает, что пункты мониторинга, установленные в радиусе 2 км от охраняемого объекта, могут выявить опасные деформации при землетрясениях с M ≥ 5, представляющих угрозу целостности инженерным сооружениям. При общей длине ТП 19 км необходимо установить 5-6 таких пунктов. В действительности, согласно современным представлениям о природе сильного землетрясения (M ≥ 5), деформационные предвестники с учетом размеров очага L = 4,24 км (табл. 1) могут проявиться на площади радиусом R = 30L, т.е. на расстояниях от 100 до 700 км [11]. Для готовящегося землетрясения с М = 5 мониторинг деформационных предвестников должен охватить как минимум территорию Таманского и Керченского полуостровов.

Таблица 1. Среднее ожидаемое число землетрясений \overline{N} с момента Пантикапейского землетрясения в 63 г. д.н.э (период *t* = 2077 лет), геометрические параметры очагов и вероятная оценка балльности для северокавказских землетрясений

Table 1. The average expected number of earthquakes from the moment of the Pantikapei earthquake of 63 BC (the period of *t*=2077 years), geometrical parameters of the seismic centers and a probable assessment of macro-seismic intensity for the Northern Caucasian earthquakes

Зоны ВОЗ М _{max}	\overline{N}	Ширина очага L_1 , км	Длина очага L ₂ , км	Радиус ближней зоны, км	Радиус Дамбары, км [15]	Макросейс- мическая балльность І
3,5	48(73)	0,82	0,82	1,36(1,36)	0,33	6,13
4,0	18(26)	1,40	1,40	1,69(1,69)	0,59	6,73
4,5	8(12)	2,40	2,49	2,01(2,01)	1,06	7,27
5,0	4(6)	4,00	4,43	2,39(2,45)	1,90	7,71
5,5	3(4)	6,10	7,87	2,85(3,19)	3,43	8,06
6,0	2(3)	11,0	14,00	3,39(4,15)	6,18	8,47
6,5	1(2)	18,2	24,9	4,03(5,40)	11,12	8,90

Примечание. ВОЗ - возможные очаги землетрясений.



Рис. 2. Вертикальное движение СГП Тамань и сейсмичность в 2014-2015 гг. Fig. 2. Vertical movement of Taman GPS Station and seismicity in 2014–2015

В 2014 г. силами Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН), Кубанского государственного университета (КубГУ) и ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» создана сеть из 10 постоянных спутниковых геодинамических пунктов (СГП). Западный фрагмент этой сети, включающий СГП Темрюк, Порт-Кавказ, Тамань и Анапа, дает возможность ежесуточно определять местоположение пунктов с погрешностью не более 3-5 мм в плане и 9–12 мм по высоте на расстояниях до 1000 км.

Временные ряды наблюдений смещения GPS-пунктов сети дают возможность отслеживать движения тектонических блоков Керченско-Таманской области и оценить степень приближения деформаций земной коры к критическим значениям, характерным для резких относительных подвижек тектонических блоков с освобождением накопленной энергии в виде сейсмособытий [12].

Прогнозным признаком готовящегося землетрясения могут быть геодинамические аномалии, проявляющиеся в изменениях траектории планового и высотного движений при изменении геодинамического режима [13; 14]. На рис. 2 представлен график подъема земной поверхности на СГП Тамань накануне землетрясения (05.07.2015, M = 3,8) к северу от выхода Керченского пролива в Азовское море и сейсмособытия (16.08.2015, M = 4,0) в районе г. Анапа.

Для каждого треугольника сети СГП на исследуемой территории главные деформации ε_1 , ε_2 и их направления θ_1 , θ_2 можно получить, представив смещения в единицу времени вершин треугольника в северном (v) и восточном (u) направлениях в виде линейных зависимостей от координат [15]:

$$u = a_1 x + b_1 y + c_1, v = a_2 x + b_2 y + c_2.$$

Неизвестные коэффициенты $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ получают решением матричного уравнения Az = d.

где

$$A = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}, \quad z = \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \\ a_2 \\ b_2 \\ c_2 \end{vmatrix}, \quad d = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{vmatrix}.$$
(2)

Относительные изменения длины линейных элементов, ориентированных вдоль главных осей, или главные деформации ε_1 , ε_2 , вычисляются из выражения [16]

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{1}{2} (\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}) \pm \left[\varepsilon_{xy}^{2} + \frac{1}{4} (\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^{2} \right]^{1/2}.$$
 (3)

(1)

Здесь деформации ε_{xx} вдоль оси x, ε_{yy} – вдоль оси y и сдвиговая деформация ε_{xy} вычисляются через коэффициенты $a_i, b_i, c_i, i = 1, 2$:

$$\varepsilon_{xx} = -\frac{\partial u}{\partial x} = -a_1, \quad \xi_y = -\frac{\partial v}{\partial y} = -b_2,$$

$$\varepsilon_{xy} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{1}{2} (a_2 + b_1). \quad (4)$$

Знак «минус» перед выражениями (4) связан с выбором осей *x* и *y* в [16] в направлении на запад и юг соответственно.

Угол, задающий направление главной оси деформации θ, определяется как

$$\frac{\operatorname{tg} 2\theta = 2\varepsilon_{xy}}{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})}.$$
(5)

Направление другой главной оси определится углом $\theta + \pi/2$.



Рис. 3. Движения спутниковых геодинамических пунктов GPS/ ГЛОНАСС и главные деформации Таманского полуострова в треугольнике Порт-Кавказ – Темрюк – Тамань в 2015 г. Значения компонентов скорости смещения СГП (u, v) даются в мм/год **Fig. 3.** Movements of GPS/GLONASS stations and the main deformations of the Taman Peninsula in a triangle of Port-Kavkaz – Temryuk – Taman in 2015. Values of components of GPS stations' shift velocity (u, v) are given in mm/year

На рисунке 3 представлен пример вычисления главных деформаций и их направлений на территории Таманского полуострова в треугольнике Порт-Кавказ – Темрюк – Тамань. Для каждой вершины треугольника компоненты вектора скорости и и v определяли по трендам смещений СГП, полученных в результате обработки суточных файлов измерений программным пакетом GAMIT/GLOBK. Вычисления производили в среде Matlab с использованием выражений (1)–(5). Заметно преобладание главной деформации сжатия в направлении северо-запад – юго-восток.

В последнее время ведутся работы по исследованию медленных сейсмических волн, распространяющихся на расстоянии в сотни километров от эпицентра землетрясений и проявляющихся в аномальных вариациях геофизических полей [17]. Сеть СГП, выполняющая прямые и синхронные измерения движений земной коры, способна фиксировать приближающуюся волну деформаций за время, достаточное для защиты контролируемого объекта к моменту прихода пика геодинамической деформационной волны. Перспективным направлением исследования и мониторинга волн деформаций является блочный метод, разрабатываемый в КубГУ и ЮНЦ РАН под руководством В.А. Бабешко [18].

ВЫСОКОТОЧНЫЙ ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТУРЫ GPS/ГЛОНАСС

Мониторинг деформаций инженерных сооружений на основе GPS-технологий становится в последние годы все более востребованным видом работ. Благодаря использованию современных двухчастотных и двухсистемных GNSS-приемников(GPS/ГЛОНАСС) можно достичь миллиметрового уровня точности положения элементов конструкций и отслеживать их изменение во времени. В технологии высокоточного мониторинга объектов, как правило, используется непрерывная автоматическая постобработка GNSS-данных, полученных в режиме статики. На опорных GPS-пунктах (базах) и пунктах GPS-наблюдений (роверах) производится синхронная запись сырых GNSS-измерений, которые накапливаются в приемниках в виде файлов стандартной продолжительности и затем отсылаются в вычислительный центр для автоматической постобработки. В результате этого выполняется привязка положений роверов к твердым опорным пунктам и строятся графики их изменений в режиме времени, близком к реальному. Точность такой привязки составляет первые миллиметры, что на порядок выше точности, достижимой в стандартной GPS-технологии реального времени RTK (Real Time Kinematic).

Технология деформационного мониторинга (ДМ) разработана компанией JAVAD GNSS и апробирована в ходе реализации ряда проектов по созданию фундаментальной астрономо-геодезической сети России, строительству моста Владивосток – остров Русский в проливе Восточный Босфор и др.

Основными компонентами системы высокоточного ДМ являются:

– двухчастотные приемники GNSS (ГЛОНАСС/ GPS) на пунктах ДМ;

– NetView/NetHub – программы для настройки GNSS-приемников;

- средства коммуникации (WiFi, UHF и др.);

 – центральный процессор для сбора и обработки данных;

 – «Архивариус» – база данных GNSS-измерений, каталог пунктов и результатов ДМ.

Управление мониторингом выполняется в автоматическом режиме через веб-интерфейс.

На рисунке 4 представлен один из вариантов реализации технологии ДМ для строящегося ТП через Керченский пролив. Общая длина моста составляет



Рис. 4. Один из возможных вариантов реализации технологии деформационного мониторинга для строящегося транспортного перехода через Керченский пролив

Fig. 4. One of possible implementation versions of the deformation monitoring technology for a transport passage under construction across the Kerch Strait

19 км. Планируется установить на надводном участке моста длиной 7,5 км и на косе Тузла (6,5 км) пять GNSS-датчиков (роверы) с привязкой к опорным пунктам на побережье Крыма и Тамани. Спутниковые геодинамические пункты Порт-Кавказ, Тамань, Анапа, Темрюк и Геленджик обеспечивают данные по общей геодинамической активности Керченско-Таманской области и контролируют стабильность опорных инженерных GPS-пунктов в районе ТП.

МОНИТОРИНГ ГИДРОГЕОДЕФОРМАЦИОН-НОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Мониторинг гидрогеодеформационного (ГГД) поля осуществляется в Краснодарском крае с 1987 г. Технология мониторинга ГГД-поля [19] основана на том, что подземные воды чувствительно реагируют на текущие изменения напряженно-деформированного состояния геологических толщ, фиксируя в реальном времени напряженное состояние недр и миграцию зон сжатия-растяжения.

Мониторинг ГГД-поля осуществлялся в режиме онлайн с посуточным построением карт ГГД-поля (рис. 5). Ближайшие посты к Керченскому проливу расположены на косе Чушка (Чушкинский пост) и в основании косы Тузла (Тузлинский пост).





Рис. 5. Гидрогеодеформационное поле Земли в Краснодарском крае на 21.09.2005 **Fig. 5.** A hydrogeodeformation field of the earth in Krasnodar Region for 21.09.2005



Уровень ПВ и атмосферное давление. Чушкинский пост, с 01.11.2011 по 30.11.2011

Температура воды и электропроводность. Чушкинский пост, с 01.11.2011 по 30.11.2011



Рис. 6. Данные мониторинга по Чушкинскому посту с фиксацией возникновения деформации сжатия перед землетрясением с K = 9,2**Fig. 6.** Monitoring data on the Chushkinsky post fixing the emergence of compression deformation before an earthquake with K = 9.2

Мониторинг ГГД-поля показал, что в последние годы наблюдается сейсмогеодинамическая активизация Керченского разлома. В конце августа – начале сентября 2011 г. по Чушкинскому посту наблюдался ступенчатый сброс напряжений, что характеризовалось резким падением уровней подземных вод в скважине на 0,7 м. Затем, в октябре – ноябре, наблюдались всплески деформаций сжатия, предшествующие сейсмическим событиям с K = 9,2-9,9 (рис. 6).

Многолетнее изучение ГГД-поля в Краснодарском крае показало, что в геодинамически активные периоды увеличивается не только количество сейсмических событий в регионе, но и возрастает количество аварий на линейных объектах. Поэтому ведение данного вида мониторинга позволяет как прогнозировать собственно сейсмические события, так и предупреждать техногенные аварии на линейных объектах (трубопроводные системы, железные дороги, дамбы, плотины, мосты и т.д.) при неожиданном воздействии на них аномальных природных геодинамических процессов [20].

Транспортный переход через Керченский пролив – уникальное инженерное сооружение, строящееся в условиях сложной сейсмотектонической обстановки, в зоне развития опасных геологических процессов и высокой геодинамической активности, требующее особого подхода в фор-



Рис. 7. Предлагаемое местоположение постов по ведению мониторинга ГГД поля в зоне транспортного перехода через Керченский пролив

Fig. 7. The proposed scheme of sites for hydrogeodeformation field monitoring in a zone of a transport passage across the Kerch Strait

мировании эффективной системы контроля за протекающими в недрах процессами как в период строительства перехода, так и во время его эксплуатации. На рисунке 7 представлена схема мониторинга ГГД-поля в зоне транспортного перехода через Керченский пролив. Данная мониторинговая сеть должна состоять из двух существующих постов с длительными рядами наблюдений (Чушкинский и Тузлинсий посты) и трех новых постов, созданных на острове Тузла, на выходе перехода на Керченский полуостров и южной окраине г. Керчи. Кроме того, должны быть организованы наблюдения за активностью грязевых вулканов Блевака, Карабетова сопка и Солдатско-Слободского грязевулканического очага.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Геодинамическая активность Керченско-Таманской области может быть причиной возникновения аварийных ситуаций на объектах морской и сухопутной инфраструктуры. Анализ повторяемости землетрясений на основе современного вероятностного метода показывает возможность сильных землетрясений в этой области и связанного с ними опасного сейсмического воздействия на инженерные конструкции ТП.

2. Использование деформационных методов спутниковой геодинамики и технологии ГГД-поля позволит оценивать степень напряженно-деформированного состояния геологической среды в режиме мониторинга и может стать основой создания комплексной системы раннего предупреждения сейсмогеодинамической опасности на территории Керченско-Таманской области.

Надежность получаемых результатов измерения деформаций земной коры в сети СГП GPS/ГЛО-НАСС значительно повысится за счет параллельной обработки международным математическим пакетом GAMIT, разработанным в США, и математическим пакетом BERNESE (Астрономический институт в Берне, Швейцария), способным работать с российской системой ГЛОНАСС.

3. Эффективный контроль состояния транспортного перехода через Керченский пролив можно обеспечить с помощью технологии высокоточного ДМ с использованием аппаратуры GPS/ГЛОНАСС и пакетов программ, разработанных фирмой JNSS и апробированных в ряде проектов на территории РФ. Дополнительные исследования следует провести для создания математического обеспечения высокоточного ДМ исключительно по спутникам российской системы ГЛОНАСС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Глазырин Е.А., Артюхин Ю.В., Марфин А.А., Волокитина О.А., Натарова Е.В., Шестопалов В.Л. 2012. Локальные геодинамические перестройки рельефа береговой зоны Таманского полуострова. В кн.: Экосистемные исследования среды и биоты Азовского бассейна. Под. ред. Д.Г. Матишова. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 86–90.
- Милановский Е.Е. 1968. Новейшая тектоника Кавказа. М., Недра: 483 с.
- Кондорская Н.В., Шебалин Н.В. 1977. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейиих времен до 1975 г. М., Наука: 536 с.

- Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П., Шумилина Л.С. 2007. К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе. *Физика Земли*. (7): 31–45.
- 5. Буланже Ю.Д. (ред.). 1975. Земная кора и история развития Черноморской впадины. М., Наука: 356 с.
- ТСН 22-302-2000. Строительство в сейсмических районах Краснодарского края. 2001. Краснодар, Департамент по строительству и архитектуре Краснодарского края: 44 с.
- СНиП II 7-81. Строительные нормы и правила. Часть II, глава 7: Строительство в сейсмических районах. (2000). М., Минстрой России. С. 48.
- Чернов Ю.К. 1989. Сильные движения грунта и количественная оценка сейсмической опасности территорий. Ташкент, «ФАН»: 295 с.

- Уломов В.И., Шумилина Л.С. 1999. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Масштаб 1: 8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населённых пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М., Объединённый Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта: 57 с.
- Чернов Ю.К. 2004. Разработка комплексной методики оценки вероятных сейсмических воздействий, сейсмической опасности и сейсмического риска (на примере районов Северного Кавказа и Сахалина). Отчёт о НИР. Ставрополь, Госстрой РФ: 251 с.
- Машимов М.М. 1995. Обратная геодинамическая задача и прогноз землетрясений: новые подходы. *Геодезия и картография*. (2): 15–24.
- 12. Певнев А.К. 1990. Прогноз землетрясений миф или реальность. *Геодезия и картография*. (8): 16–20.
- Бабешко В.А., Калинчук В.В., Шереметьев В.М., Шестопалов В.Л. 2012. К проблеме оценки состояния сейсмичности в зонах повышенной геодинамики. Экологический вестник научных центров ЧЭС. (2): 1–5.
- Шестопалов В.Л., Илюхин С.Р. 2007. Исследование геодинамики региона Крым – Западный Кавказ методами GPS-измерений. Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. (3): 34–36.
- 15. Рикитаки Т. 1979. *Предсказание землетрясений*. М., Мир: 388 с.
- 16. Тёркот Д., Шуберт Дж. 1985. Геодинамика. Геологическое приложение физики сплошных сред. Ч. 1. М., Мир: 376 с.
- Овчаренко А.В. 1998. Динамические модели деформационных процессов в земной коре и сейсмологический прогноз. ДАН. 359(2): 251–254.
- Бабешко В.А., Бабешко О.М., Евдокимова О.В., Мухин А.С., Федоренко А.Г., Шестопалов В.Л. 2012. К проблеме медленных сейсмических волн. *Механика твердого тела.* (6): 37–43.
- Вартанян Г.С. 2015. Геодинамические катастрофы и их прогноз (эндодренаж Земли, деформации, сейсмичность).
 М., Геоинформмарк: 260 с.
- Шереметьев В.М. 1996. Мониторинг гидрогеодеформационного поля Земли – основа системы оперативного прогноза техногенных аварий и катастроф. *Разведка и охрана недр.* (6): 12–14.

REFERENCES

- Glazyrin E.A., Artyukhin Y.V., Marfin A.A., Volokitina O.A., Natarova E.V., Shestopalov V.L. 2012. [Local geodynamic reorganizations of the Taman Peninsula coastal relief]. In: *Ekosistemnye issledovaniya sredy i bioty Azovskogo basseyna*. [*Ecosystem research of the Sea of Azov environment and biota*]. D.G. Matishov (Ed.). Rostov-on-Don, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Publishers: 86–90. (In Russian).
- Milanovskiy E.E. 1968. Noveyshaya tektonika Kavkaza. [The newest tectonics of the Caucasus]. Moscow, Nauka Publishers: 483 p. (In Russian).

- Kondorskaya N.V., Shebalin N.V. (Ed.). 1982. New catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times through 1977. Academy of Sciences of USSR; Boulder, USA, 608 p.
- Ulomov V.I., Danilova T.I., Medvedeva N.S., Polyakova T.P., Shumilina L.S. 2007. [To the estimation of seismic danger in the Northern Caucasus]. *Fizika Zemli*. (7): 31–45. (In Russian).
- Bulanzhe Yu.D. (Ed). 1975. Zemnaya kora i istoriya razvitiya Chernomorskoy vpadiny. [The Earth's crust and the history of the Black Sea depression]. Moscow, Nauka Publishers: 356 p. (In Russian).
- 6. TSN 22-302-2000. 2001. Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh Krasnodarskogo kraya. [Building in seismic areas of Krasnodar Region]. Krasnodar, Department of Building and architecture of Administration of Krasnodar Region: 44 p. (In Russian).
- BNaR II 7-81. 2000. Stroitel'nye normy i pravila. Chast' II, Glava 7: Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh. [Building norms and rules. Part II, Chapter 7: Building in seismic areas]. Moscow, Ministry of Construction and Housing and Utilities of the Russian Federation. P. 48. (In Russian).
- Chernov Yu.K. 1989. Sil'nye dvizheniya grunta i kolichestvennaya otsenka seysmicheskoy opasnosti territoriy. [Strong movements of ground and a quantitative estimation of seismic danger of territories]. Tashkent, "FAN" Publishers: 295 p. (In Russian).
- Ulomov V.I., Shumilina L.S. 1999. Komplekt kart obshchego seysmicheskogo rayonirovaniya territorii Rossiyskoy Federatsii OSR-97. Masshtab 1 : 8 000 000. Ob"yasnitel'naya zapiska i spisok gorodov i naselennykh punktov, raspolozhennykh v seysmoopasnykh rayonakh. [The complete set of maps of the general seismic division into districts of the territory of the Russian Federation OSR-97. Scale 1 : 8 000 000. An explanatory note and the list of cities and the settlements located in seismic areas]. Moscow, the Schmidt United Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences: 57 p. (In Russian).
- Chernov Yu.K. 2004. Razrabotka kompleksnoy metodiki otsenki veroyatnykh seysmicheskikh vozdeystviy, seysmicheskoy opasnosti i seysmicheskogo riska (na primere raionov Severnogo Kavkaza i Sakhalina). Otchet o NIR. [Development of a complex estimation technique of probable seismic influences, seismic danger and seismic risk (on the example of areas of the Northern Caucasus and Sakhalin). The report on scientific work]. Stavropol, Ministry of Construction and Housing and Utilities of the Russian Federation: 251 p. (In Russian).
- Mashimov M.M. 1995. [A return geodynamic problem and the earthquakes prediction: new approaches]. *Geodeziya i kartografiya*. (2): 15–24. (In Russian).
- Pevnev A.K. 1990. [The forecast of earthquakes a myth or reality]. *Geodeziya i kartografiya*. (8): 16–20. (In Russian).
- Babeshko V.A., Kalinchuk V.V., Sheremet'ev V.M., Shestopalov V.L. 2012. [To a problem of estimation of seismicity in zones of active geodynamics]. *Ekologicheskiy vestnik nauchnykh tsentrov ChES.* (2): 1–5. (In Russian).

- Shestopalov V.L., Ilyukhin S.R. 2007. [Research of geodynamics of the Crimea – Western Caucasus Region by methods of GPS-measurements]. *Izvestiya VUZov. Geodeziya i aerofotos" emka*. (3): 34–36. (In Russian).
- 15. Rikitake T. 1976. Earthquake prediction. Amsterdam; Oxford; New York, Elsevier Scientific Publishers: 357 p.
- Turkotte D.L., Schubert G. 1985. *Geodinamics. Application* of Continuum Physics to Geological Problems. 1. New York, John Wiley & Sons Publishers: 450 p.
- Ovcharenko A.V. 1998. [Dynamic models of deformation processes in the earth's crust and the seismological forecast]. *Doklady Akademii nauk*. 359(2): 251–254. (In Russian).
- Babeshko V.A., Babeshko O.M., Evdokimova O.V., Mukhin A.S., Fedorenko A.G., Shestopalov V.L. 2012. [On the problem of slow seismic waves]. *Mekhanika tverdogo tela*. (6): 37–43. (In Russian).
- Vartanyan G.S. 2015. Geodinamicheskie katastrofy i ikh prognoz (endodrenazh Zemli, deformatsii, seysmichnost'). [Geodynamic accidents and their prediction (subsurface drain of the Earth, deformation, seismicity)]. Moscow, Geoinformmark Publishers: 260 p. (In Russian).
- Sheremet'ev V.M. 1996. [Monitoring of hydrogeological deformation fields of the Earth a basis of early warning systems of technogenic failures and accidents]. *Razvedka i okhrana nedr.* (6): 12–14. (In Russian).

Поступила 30.10.2015