

УДК 539.3
DOI: 10.7868/S25000640230203

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ПО ДАННЫМ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ В ПЕРИОД АВАРИИ НА ТРУБОПРОВОДЕ КАСПИЙСКОГО ТРУБОПРОВОДНОГО КОНСОРЦИУМА 07.08.2021 г. И ВОЗМОЖНЫЕ ЕЕ ПРИЧИНЫ

© 2023 г. О.М. Бабешко¹, О.Н. Быхалова², В.Л. Шестопалов³, В.М. Шереметьев⁴

Аннотация. Выполнено исследование геодинамической активности Черноморского побережья Краснодарского края в период аварии на трубопроводе Каспийского трубопроводного консорциума 07.08.2021 г. Целью исследования было выяснение причины произошедшей аварии или обстоятельств, вызвавших нарушение целостности трубопровода. Инструментом исследования являлась сеть спутниковых геодинамических пунктов GPS Анапа и Геленджик. Анализ графиков движений пунктов GPS показывает накопление напряжений за несколько месяцев до аварии. За 1,5 месяца до этого события начала проявляться геодинамическая аномалия вертикального движения в виде бухтообразного проседания земной поверхности. Анализ сейсмогеодинамической обстановки не дает основания связать геодинамическую аномалию движения ближайших GPS-пунктов Анапа и Геленджик с выходом из строя оборудования на причальном устройстве Каспийского трубопроводного консорциума, не имеющем жесткой связи с земной поверхностью. Можно предположить возможное воздействие геодинамических движений на подводный участок трубопровода с жестким креплением на морском дне. Основанием для этого являются последние исследования по изучению резонансных свойств колеблющихся литосферных плит. Установлено, что могут возникать резонансы, способные спровоцировать интенсивные перемещения водных масс в зоне трубопровода.

Ключевые слова: заповедник «Утриш», Черноморское побережье Краснодарского края, спутниковая геодинамика, геодинамическая аномалия, Каспийский трубопроводный консорциум, резонансы литосферных плит.

GEODYNAMIC ACTIVITY OF THE BLACK SEA COAST BASED ON GPS OBSERVATIONS DURING THE ACCIDENT ON THE PIPELINE OF THE CASPIAN PIPELINE CONSORTIUM 7 AUGUST 2021 AND ITS POSSIBLE CAUSES

O.M. Babeshko¹, O.N. Bykhalova², V.L. Shestopalov³, V.M. Sheremet'ev⁴

Abstract. A study of the geodynamic activity of the Black Sea coast of Krasnodar Region during the 7th of August 2021 Caspian Pipeline Consortium accident was performed. The purpose of the study was to clarify the cause of the accident or the circumstances that caused the pipeline integrity failure. The research tool was a network of satellite geodynamic GPS stations Anapa and Gelendzhik. Analysis of GPS station movement plots shows the accumulation of stresses a few months before the accident. 1.5 months before this event, a geodynamic anomaly of vertical movement in the form of a bay-like subsidence of the earth's surface began to appear. Analysis of the seismic-geodynamic situation does not give reason to link the geodynamic anomaly of the movement of the nearest GPS stations Anapa and Gelendzhik with the failure of equipment on the jetty

¹ Кубанский государственный университет (Kuban State University, Krasnodar, Russian Federation), Российская Федерация, 350059, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: babeshko41@mail.ru

² Государственный природный заповедник «Утриш» (State Natural Reserve "Utrish", Anapa, Russian Federation), Российская Федерация, 350049, г. Анапа, ул. Северная, 41, e-mail: utrishgpz@mail.ru

³ 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: valcpg@mail.ru

⁴ Южное межрегиональное управление Росприроднадзора (Southern Interregional Directorate of the Federal Service for Supervision of Natural Resources, Krasnodar, Russian Federation), Российская Федерация, 350063, Россия, г. Краснодар, ул. Северная, 255, помещение 316, e-mail: sheremetev-v@mail.ru

device of the Caspian Pipeline Consortium, which does not have a rigid connection with the earth's surface. One can assume the possible impact of geodynamic movements on the underwater section of the pipeline with a rigid attachment on the seabed. The basis for this is the latest research to study the resonant properties of oscillating lithospheric plates. It has been established that resonances that can provoke intensive movements of water masses in the pipeline zone can occur.

Keywords: Utrish Reserve, Black Sea coast of Krasnodar Region, satellite geodynamics, geodynamic anomaly, Caspian Pipeline Consortium, lithospheric plate resonances.

ВВЕДЕНИЕ

Природные и техногенные катастрофы часто связаны с движением блоков земной коры. В исследованиях Н.А. Касьяновой [1] показано, что в разломных зонах, разделяющих тектонические блоки, происходит 70 % аварий на трубопроводах, пересекающих эти зоны. В соответствии с теорией тектонических плит земная кора состоит из шести крупных и более двадцати меньших, сравнительно жестких, литосферных плит. Плиты перемещаются относительно друг друга по поверхности более теплой астеносферы, обладающей низкой вязкостью. Для границ плит характерны зоны землетрясений различной интенсивности. В последние годы одним из эффективных инструментов измерения движений блоков земной коры являются сети GPS-пунктов, определяющих местоположение с миллиметровой точностью. Опыт использования GPS-измерений на сверхдлинных базах (свыше 1000 км) в рамках международных программ изучения современных движений земной коры представ-

вил бесспорные доказательства заметных горизонтальных и в меньшей степени вертикальных движений литосферных плит.

Объектом настоящего исследования является территория Государственного природного заповедника «Утриш», расположенного в зоне с высокой геодинамической активностью геологической среды и окруженного глубинными сейсмогенерирующими разломами. На территории заповедника сформировались уникальные структуры как на суше, так и в акватории моря с уникальными наземными и морскими экосистемами Северо-Восточного Причерноморья с высоким биологическим разнообразием редких, исчезающих видов флоры и фауны. Современная сейсмическая и геодинамическая активность вблизи заповедника может существенно влиять на изменение рельефа и нарушить привычные условия обитания биоты, а при существовании рядом с заповедником экологически опасных промышленных предприятий (нефтепроводов, газопроводов) – привести к экологической катастрофе. Примером такого воздействия может служить авария в Черном море вблизи акватории заповедника на трубопроводе Каспийского трубопроводного консорциума (КТК), произошедшая в августе 2021 г.

Район подхода нефтепровода КТК, резервуарного парка и причальных устройств в сеймотектоническом плане находится в геодинамически активной зоне (рис. 1).

Между берегом и выносными причальными устройствами расположен Утришский разлом. Активный разлом пересекает территорию резервуарного парка, расположенного в пределах Абрау-Раевской сейсмоактивной зоны. Севернее резервуарного парка нефтепровод пересекает Цемесский разлом. Интенсивность сейсмических событий здесь достигала 9 баллов и, возможно, более при прохождении землетрясений магнитудами до 6,9. Наряду с перечисленным нельзя снимать со счета также возможность систематического возникновения резонансных явлений в самой литосферной плите,

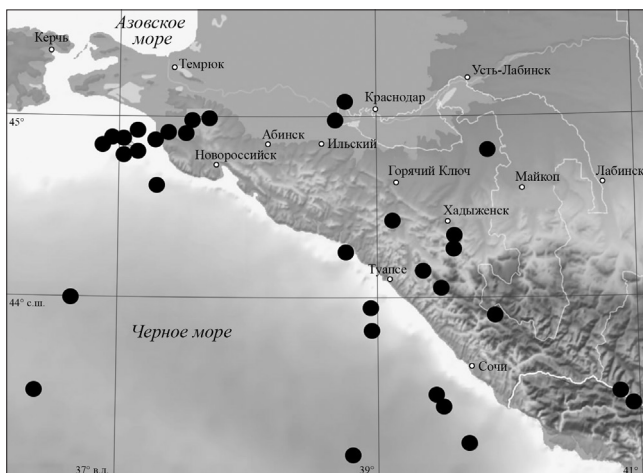


Рис. 1. Очаги землетрясений, зарегистрированные локальной сетью сейсмостанций Анапско-Геленджикского сейсмологического полигона Геленджикской прибрежно-шельфовой зоны [13].

Fig. 1. Earthquake centers registered by the local network of seismic stations of the Anapa-Gelendzhik seismological polygon of the Gelendzhik coastal-shelf zone [13].

которая, по показаниям GPS/ГЛОНАСС-приемников, имела колебательные вертикальные подвижки. В работе достаточно подробно описан этот феномен и даны ссылки на источники, позволяющие проверить при необходимости возможные резонансные поведения.

МЕТОД

В настоящей работе использован спутниковый геодезический метод для оценки геодинимической активности Азово-Черноморского побережья в период аварии на инженерных причальных устройствах КТК в августе 2021 г. в районе пос. Южная Озеревка на расстоянии от ближайших GPS-пунктов Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН) Анапа (15 км) и Геленджик (40 км). Для оценки возможного влияния геодинимической активности на инженерные сооружения трубопровода КТК в период аварии по данным GPS-наблюдений были определены траектории

движения в горизонтальной плоскости и по высоте пункта Анапа, расположенного в 15 км к западу от места аварии (рис. 2а, б). Обработка данных суточных измерений выполнена с помощью пакета GAMIT (V 10.7) [2] и комплекса программ в среде Matlab, разработанных в ЮНЦ РАН.

В основе методологии использования спутникового геодезического метода лежит теория тектонических плит и открытие Г.Ф. Рейдом явления «упругой отдачи» как проявления разряженных упругих деформаций, которые длительное время накапливались в локальном объеме горных пород в процессе подготовки землетрясения [3]. Это в корне отличает его от региональной концепции Ч.Ф. Рихтера, предполагающей вероятностную возможность обнаружения очага землетрясения лишь на последней стадии существования.

В нормативных документах [4] отмечается, что скорости современных вертикальных движений, установленных для периодов повторных измерений в десятки лет, составляют от 1 до 10 мм/год и

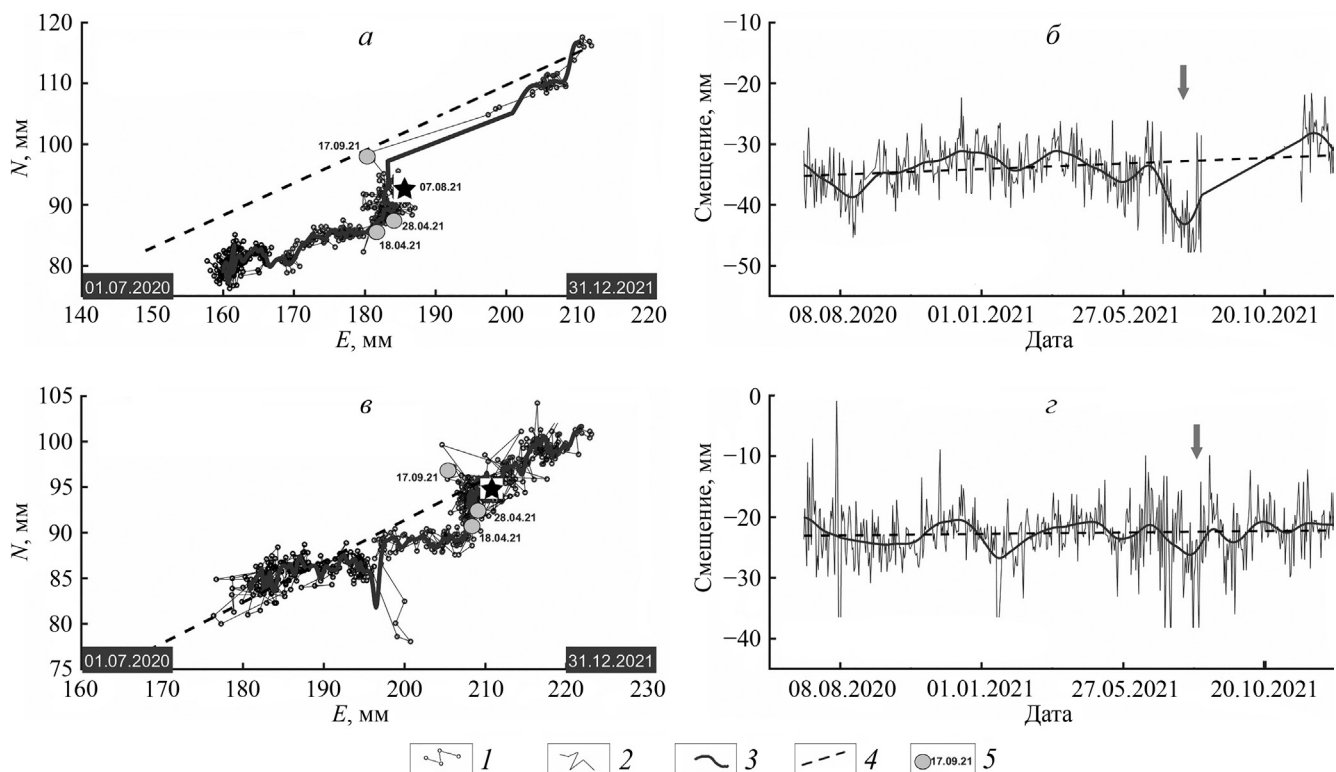


Рис. 2. Движение GPS-пунктов Анапа и Геленджик по горизонтали (а, в) и по вертикали (б, г) в 2020–2021 гг. 1–4 – траектории движения: 1 – суточные горизонтальные смещения, 2 – суточные вертикальные смещения, 3 – сглаженная траектория, 4 – средний многолетний тренд; 5 – время землетрясения. Звездочкой отмечена точка GPS-наблюдения в день аварии на трубопроводе КТК 07.08.2021 г.

Fig. 2. Horizontal (а, в) and vertical (б, г) movement of Anapa and Gelendzhik GPS station in 2020–2021. 1–4 – motion paths: 1 – daily horizontal displacements, 2 – daily vertical displacements, 3 – smoothed trajectory, 4 – average long-term trend; 5 – earthquake time. The asterisk marks the GPS observation point on the day of the accident on the CPC pipeline on the 7th of August 2021.

носятся, как правило, колебательный характер. Горизонтальные тектонические движения являются направленными и необратимыми, достигая величины 40 мм/год в зонах активных разломов. Деформации земной коры мозаичны и неоднородны, они приурочены к сейсмическим и техногенно-активным областям. При подготовке сильных землетрясений ($M > 5$) одним из механизмов их подготовки может быть также упругий изгиб сейсмогенного слоя земной коры (верхние 10–25 км) [5]. Измерение деформационного предвестника непосредственно на земной поверхности дает возможность установить однозначно местоположение зреющего очага землетрясения и его размеры. Остальные предвестники (аномалии сейсмических и геофизических полей, гидрогеохимические, гидрологические и другие факторы) определяют традиционными геофизическими методами. Эти методы можно отнести к классу обратных некорректно поставленных задач, они выявляют косвенные проявления деформационного процесса подготовки землетрясения. Поэтому измерения, использующие вторичные признаки, по информативности и достоверности уступают прямым геодезическим измерениям первичного деформационного предвестника землетрясения [5]. Создатель первой научно обоснованной программы прогноза землетрясений академик АН СССР Г.А. Гамбурцев предложил деформационную модель подготовки очага корового землетрясения, из которой следует, что осуществление точных прогнозов места и максимальной силы очага готовящегося землетрясения вполне реально и может быть

реализовано с помощью геодезических прогнозных систем [6].

За рубежом спутниковый геодезический метод исследования деформаций земной коры в целях прогноза землетрясений получил широкое применение. Например, сеть GPS-пунктов (933 пункта) действует в Китае [7]. Все острова Японии покрыты сплошной сетью GPS-пунктов GEONET со сторонами порядка 15–25 км [8]. Плотная сеть GPS-пунктов построена в Турции и Греции [9]. На территории Азербайджана развернута сеть из 22 GPS-пунктов [10]. В результате сотрудничества ученых США, России, Кыргызстана и Казахстана к 2002 г. была создана центральноазиатская сеть из 518 GPS-пунктов. Максимальная плотность GPS-сети приходится на территорию Северного Тянь-Шаня [11]. В России на Камчатке в 1997 г. развернута региональная сеть GPS Камчатского филиала РАН КАМNET (17 GPS-пунктов) [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Горизонтальное и вертикальное движение пункта Геленджик, расположенного в 40 км к востоку от места аварии, представлено на рисунках 2*в*, 2*г*.

Расположение пунктов GPS и сейсмичность в районе Черноморского побережья Краснодарского края в 2021 г. представлена на рисунке 3.

На графике горизонтального движения пункта GPS Анапа с июля 2020 г. наблюдается устойчивая геодинамическая аномалия, выраженная в смещении траектории движения в юго-восточном направлении. В начале апреля 2021 г. произошла задержка движения, и траектория приобрела петлеобразный характер вплоть до момента аварии в начале августа 2021 г. (рис. 2*а*). Накопление напряжений в этот период подтверждается землетрясениями в Черном море 18.04.2021 г. ($M = 3,3$) и 28.04.2021 г. ($M = 3,4$). Землетрясение магнитудой 3,7 произошло 17.09.2021 г., после аварии, на расстоянии 7 км от побережья у пос. Южная Озереевка (рис. 3). На графике вертикального движения сглаженное значение геодинамической аномалии начало проявляться с 20.06.2021 г. в виде бухтообразного проседания земной поверхности (рис. 2*б*). Геодинамическая аномалия на пункте Геленджик стала заметна в январе – феврале 2021 г. После сейсмособытия 17.09.2021 г. горизонтальная траектория этого пункта вновь приблизилась к тренду (рис. 2*в*). На графике вертикального движения так же, как и на пункте Анапа, наблюдался спад высоты (рис. 2*г*).



Рис. 3. Схема аварии на трубопроводе КТК 07.08.2021 г., пункты GPS и сейсмическая активность в районе Черноморского побережья Краснодарского края в 2021 г.

Fig. 3. Accident diagram on the 7th of August 2021 Caspian Pipeline Consortium pipeline, GPS stations and seismic activity in the Black Sea coast of Krasnodar Region in 2021.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Последние исследования в области контактных задач с деформируемым штампом, выполненные в работах [13; 14], не исключают возможности резонансного воздействия литосферной плиты на поверхностные объекты водной акватории. На основании проведенных исследований изложим кратко возможные ситуации, следующие из строгих математических результатов, опубликованных в высококорейтинговых журналах.

Строение земной коры в зоне морской акватории имеет блочную структуру, в которой гранитная литосферная плита лежит либо на границе Конрада базальтового основания, либо на границе астеносферы. В обоих случаях это контактная задача с деформируемым штампом. Литосферная плита представляет деформируемый штамп, лежащий на одном из перечисленных оснований. Этот класс задач в механике слабо изучен, и первые математические работы по аналитическому их решению появились недавно. Численные подходы мало что дают, об этом сказано в работе [14]. Для аналитического решения этих задач был разработан новый универсальный метод моделирования [15]. Он представляет собой обобщение теории фракталов, ранее построенной американским математиком Б. Мандельбротом, которому не удалось ее полностью реализовать в математике в связи с отсутствием в то время теории блочного элемента. Именно упакованные блочные элементы, впервые введенные в работах российских ученых [15], являются фракталами в этом подходе математического моделирования. По ним может быть разложено большинство объектов и процессов реального мира. Углубленный качественный анализ задач с деформируемым штампом впервые был выполнен академиком И.И. Воровичем [16; 17]. Им было показано, что наличие деформируемого штампа, в отличие от абсолютно твердого, при колебаниях может приводить к возникновению дискретных резонансных частот, способных провоцировать землетрясения. В работах [13; 14] впервые построены уравнения, описывающие эти частоты для случая полосовой формы деформируемого штампа или литосферной плиты. Не вдаваясь в детали, приведем вид этого уравнения, вывод которого детально описан в статьях [13; 14]. Взяв обозначения из указанных работ, уравнение для резонансных частот можно записать в виде:

$$\Delta_B = D_{11}(k)D_{22}(-k) - C_{13}(k)C_{23}(-k) = 0, \\ k = c\omega.$$

Здесь ω – частота колебания плиты, вызванная приливными или иными причинами; c – постоянная масштабная величина.

Изучение геометрии форм фрагментов литосферной плиты, разделенных разломами, на территории юга России, Краснодарского края [14], показало, что большинство из них имеет клиновидную форму. Для охвата подобных литосферных плит проведено исследование задачи, когда литосферная плита имеет форму первого квадранта. Для этого случая уравнения резонансных частот состоят из трех соотношений, которые имеют вид:

$$1 - B(\alpha_{1+}, \alpha_2) = 0, 1 - B(\alpha_1, \alpha_{2+}) = \\ = 0, 1 - B(\alpha_{1+}, \alpha_{2+}) = 0.$$

Входящие в это соотношение функции сложны и здесь опущены. Таким образом, с учетом наличия вертикальных колебаний литосферных плит, зафиксированных высокоточными приемниками GPS/ГЛОНАСС (рис. 2б, з), можно предположить, что могло быть резонансное воздействие, в том числе систематическое, на поверхностный объект снизу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ сейсмогеодинамической обстановки не дает основания связать геодинамическую аномалию движения ближайших GPS-пунктов Анапа и Геленджик с выходом из строя оборудования на причальном устройстве КТК, не имеющем жесткой связи с земной поверхностью (рис. 4). Это подтверждается сообщениями о повреждениях и остановке еще двух причальных устройств после сильного шторма [19]. Можно предположить воз-



Рис. 4. Причальное устройство КТК для перекачки нефти.
Fig. 4. Caspian Pipeline Consortium mooring facility for oil transfer.

можное воздействие геодинамических движений на подводный участок трубопровода с жестким креплением на морском дне, что описано в последнем пункте статьи.

2. При проектировании системы трубопровода КТК по результатам инженерно-геологических изысканий государственного унитарного предприятия «Кубаньгеология» были даны рекомендации по ведению геодинамического мониторинга на территории прохождения нефтепровода в горной части Западного Кавказа, в резервуарном парке и в районе портовых сооружений.

3. Представляется целесообразным установить несколько GPS-пунктов вдоль трассы горного участка трубопровода, в резервуарном парке и в районе порта с целью мониторинга геодинамической активности разломных структур. При создании такой системы мониторинга может быть использован

опыт создания и эксплуатации сети GPS-пунктов Южным научным центром Российской академии наук, акционерным обществом «Южморгеология» и Кубанским государственным университетом на Таманском полуострове и в районе Туапсинско-Сочинской сейсмоактивной зоны.

4. Метод спутниковой геодинамики (1–2 пункта GPS) может быть эффективно использован на территории заповедника «Утриш» с целью ведения наблюдений за различными элементами геологической среды и разными явлениями и процессами – производными геодинамической активности.

Отдельные фрагменты работы выполнены в рамках реализации госзадания на 2023 г. ЮНЦ РАН, тема 01201354241-0, и Минобрнауки для КубГУ, проект FZEN-2023-0006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касьянова Н.А. 2003. *Экологические риски и геодинамика*. М., Научный мир: 332 с.
2. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S. 2018. GAMIT Reference Manual Release 10.7. URL: http://geoweb.mit.edu/gg/GAMIT_Ref.pdf.
3. Reid H.F. 1910. *The California Earthquake of April 18, 1906. Report of the State Earthquake Investigation Commission in two volumes and atlas. Volume II. The mechanics of the earthquake*. Washington D.C., Carnegie Institution of Washington: 192 p.
4. *Руководство по геодинамическим наблюдениям и исследованиям для объектов топливо-энергетического комплекса*. 1997. М., ЦСГНЭО – филиал АО «Институт Гидропроект»: 127 с.
5. Певнев А.К. 2003. *Пути к практическому прогнозу землетрясений*. М., ГЕОС: 154 с.
6. Гамбурцев Г.А. 1982. Перспективный план исследований по проблеме «Изыскание и развитие прогноза землетрясений». В кн.: *Развитие идей Г.А. Гамбурцева в геофизике*. М., Наука: 304–311.
7. Chen X. 2007. Present-day horizontal deformation status of continental China and its driving mechanism. *Science in China Series D: Earth Sciences*. 50(11): 1663–1673. doi: 10.1007/s11430-007-0108-7
8. Анализ данных GPS в Японии за период наблюдений с 30 января 2011 г. по 26 марта 2011 г. URL: https://www.gcras.ru/doc/news/Japan_GPS_Tohoku_next_Nankai.pdf.
9. McClusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S., Georgiev I., Gurkan O., Hamburger M., Hurst K., Kahle H., Kastens K., Kekelidze G., King R., Kotzev V., Lenk O., Mahmoud S., Mishin A., Nadariya M., Ouzounis A., Paradissis D., Peter Y., Prilepin M., Reilinger R., Sanli I., Seeger H., Tealeb A., Toksöz M.N., Veis G. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*. 105(B3): 5695–5719. doi: 10.1029/1999JB900351
10. Кадиров Ф.А., Сафаров Р.Т. 2013. Деформация земной коры Азербайджана и сопредельных территорий по данным GPS-измерений. *Известия Национальной академии наук Азербайджана. Серия Науки о Земле*. 1: 47–55.
11. Костюк А.Д. 2008. Деформационные изменения земной коры Северного Тянь-Шаня по данным космической геодезии. *Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета*. 8(3): 140–144.
12. Лаборатория геодинамических исследований. *Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН»*. URL: <http://www.emsd.ru/geodin/regkamnet> (дата обращения: 14.05.2022).
13. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. 2022. О контактных задачах с деформируемым штампом. *Проблемы прочности и пластичности*. 84(1): 25–34. doi: 10.32326/1814-9146-2022-84-1-25-34
14. Евдокимова О.В., Бабешко В.А., Павлова А.В., Евдокимов В.С., Бабешко О.М. 2022. Об одном новом предвестнике повышенной сейсмичности. *Геология и геофизика Юга России*. 12(4): 47–58. doi: 10.46698/VNC.2022.80.98.004
15. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. 2021. Фрактальные свойства блочных элементов и новый универсальный метод моделирования. *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки*. 499(1): 30–35. doi: 10.31857/S2686740021040039
16. Ворович И.И. 1979. Спектральные свойства краевой задачи теории упругости для неоднородной полосы. *Доклады АН СССР*. 245(4): 817–820.
17. Ворович И.И. 1979. Резонансные свойства упругой неоднородной полосы. *Доклады АН СССР*. 245(5): 1076–1079.
18. Эксперты: Авария на КТК создаёт угрозу идеального шторма на нефтяном рынке. 2022. *@Новости*. URL: <https://news.mail.ru/incident/50555252/?frommail=1>.

REFERENCES

1. Kas'yanova N.A. 2003. *Ekologicheskie riski i geodinamika*. [Environmental risks and geodynamics]. Moscow, Nauchnyy mir: 332 p. (In Russian).
2. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S. 2018. GAMIT Reference Manual Release 10.7. Available at: http://geoweb.mit.edu/gg/GAMIT_Ref.pdf.
3. Reid H.F. 1910. *The California Earthquake of April 18, 1906. Report of the State Earthquake Investigation Commission in two volumes and atlas. Volume II. The mechanics of the earthquake*. Washington D.C., Carnegie Institution of Washington: 192 p.
4. *Rukovodstvo po geodinamicheskim nablyudeniya m i issledovaniya m dlya ob"ektov toplivo-energeticheskogo kompleksa*. [Guidelines for geodynamic observations and studies for fuel and energy facilities]. 1997. Moscow, Center for Geodynamic Observation Service in the Energy Industry – Branch of the Joint Stock Company "Institute Hydroproject": 127 p. (In Russian).
5. Pevnev A.K. 2003. *Puti k prakticheskomu prognozu zemletryaseniy*. [Paths to practical earthquake forecasting]. Moscow, GEOS: 154 p. (In Russian).
6. Gamburtsev G.A. 1982. [Prospective plan of research on the problem "Exploration and development of earthquake forecast"]. In: *Razvitie idey G.A. Gamburtseva v geofizike*. [Development of G.A. Gamburtsev's ideas in geophysics]. Moscow, Nauka: 304–311. (In Russian).
7. Chen X. 2007. Present-day horizontal deformation status of continental China and its driving mechanism. *Science in China Series D: Earth Sciences*. 50(11): 1663–1673. doi: 10.1007/s11430-007-0108-7
8. [Analysis of GPS data in Japan for the observation period from January 30, 2011 to March 26, 2011]. Available at: https://www.gcras.ru/doc/news/Japan_GPS_Tohoku_next_Nankai.pdf. (In Russian).
9. McClusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S., Georgiev I., Gurkan O., Hamburger M., Hurst K., Kahle H., Kastens K., Kekelidze G., King R., Kotzev V., Lenk O., Mahmoud S., Mishin A., Nadariya M., Ouzounis A., Paradissis D., Peter Y., Prilepin M., Reilinger R., Sanli I., Seeger H., Tealeb A., Toksöz M.N., Veis G. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*. 105(B3): 5695–5719. doi: 10.1029/1999JB900351
10. Kadirov F.A., Safarov R.T. 2013. [Deformation of the Earth's crust of Azerbaijan and adjacent territories according to GPS measurements]. *Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri. Yer Elmləri*. 1: 47–55. (In Russian).
11. Kostyuk A.D. 2008. [Deformation changes of the Earth's crust of the Northern Tien Shan according to space geodesy]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo universiteta*. 8(3): 140–144. (In Russian).
12. [Geodynamic Research Laboratory]. *Kamchatskiy filial Federal'nogo issledovatel'skogo tsentra "Edinaya geofizicheskaya sluzhba RAN"*. Available at: <http://www.emsd.ru/geodin/regkamnet> (accessed 14 May 2022).
13. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. 2022. [On contact problems with a deformable stamp]. *Problemy prochnosti i plastichnosti*. 84(1): 25–34. (In Russian). doi: 10.32326/1814-9146-2022-84-1-25-34
14. Evdokimova O.V., Babeshko V.A., Pavlova A.V., Evdokimov V.S., Babeshko O.M. 2022. [About one new precursor of increased seismicity]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*. 12(4): 47–58. (In Russian). doi: 10.46698/VNC.2022.80.98.004
15. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. 2021. Fractal properties of block elements and a new universal modeling method. *Doklady Physics*. 66(8): 218–222. doi: 10.1134/S1028335821080012
16. Vorovich I.I. 1979. [Spectral properties of the elastic theory boundary problem for an inhomogeneous band]. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 245(4): 817–820. (In Russian).
17. Vorovich I.I. 1979. [Resonance properties of elastic nonuniform strip]. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 245(5): 1076–1079. (In Russian).
18. [Experts: CPC accident poses a threat of a perfect storm in the oil market]. 2022. @Novosti. Available at: <https://news.mail.ru/incident/50555252/?frommail=1>.

Поступила 30.01.2023