

УДК 551.24, 550.34

## СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ЮЖНОЙ ОКОНЕЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО СИХОТЭ-АЛИНСКОГО РАЗЛОМА ПО ДАННЫМ ГНСС-НАБЛЮДЕНИЙ

А. А. Салахутдинова<sup>1</sup>, [0000-0003-4760-8980], Н. В. Шестаков<sup>1,2</sup>, [0000-0003-3901-9684],

Е. А. Лялюшко<sup>1</sup>, [0000-0002-9081-6323], Н. А. Гагарский<sup>1</sup>, [0000-0001-7305-1376]

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ, Россия)

<sup>2</sup>Институт прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМ ДВО РАН, Россия)

### **Аннотация**

Центральный Сихотэ-Алинский разлом (ЦСАР) является одной из крупнейших тектонических структур континентальной части юга Дальнего Востока России. Его современная геодинамическая активность всё ещё остается очень малоизученной, особенно, методами дистанционного зондирования. Имеющиеся геологические оценки движений по ЦСАР достигают нескольких мм/год, однако существующие разрозненные современные геодезические данные позволяют утверждать, что смещений, превышающих первые мм/год в центральной части разлома, не выявлено.

В настоящей работе по данным ГНСС-наблюдений, выполненных в первые две декады XXI века, получены первые количественные оценки вековых (плитных) движений земной коры в окрестностях п. Киевка (Приморский край), расположенного в южной оконечности ЦСАР. Также в районе исследований оценено и выполнено численное моделирование влияния возмущений геосреды (ко- и постсейсмические смещения), инициированных катастрофическим землетрясением Тохоку 11.03.2011 года, Mw 9.1. Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с имеющимися моделями очага землетрясения и моделями постсейсмической вязкоупругой релаксации геосреды.

*Ключевые слова:* ГНСС-измерения, косейсмические и постсейсмические смещения, землетрясение Тохоку 11.03.2011, Дальний Восток России.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Современные движения земной коры (СДЗК) юга Дальнего Востока России, включая Приморский край, до сих пор изучены недостаточно, что связано с малонаселенностью и труднодоступностью большей части изучаемой территории. Практически единственным методом выполнения подобных исследований в Приморье является использование Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Первые значения среднегодовых скоростей СДЗК в этом регионе и сопредельных с ним территориях были получены в работе [1] по данным непрерывных и периодических ГНСС-измерений. Согласно полученным результатам, Приморский край находится в пределах Евроазиатской литосферной плиты. Скорости геодезических пунктов относительно этой плиты малы и не превосходят 5 мм/год. Вопрос о принадлежности региона к предполагаемой Амурской микроплите [2, 7], так же, как и вопрос о самом ее существовании, до сих пор остается открытым, поскольку имеющихся ГНСС-наблюдений пока недостаточно для его разрешения. Дополнительные данные о вековых скоростях земной коры Приморского края получены на профиле, пересекающим крупнейшую тектоническую структуру региона – Центральный Сихотэ-Алинский разлом (ЦСАР), в работах коллег из ИНГГ СО РАН (см., например, [6]). Тем не менее, современная геодинамическая активность ЦСАР остается практически неизученной, особенно, методами дистанционного зондирования.

В настоящей работе по данным ГНСС-наблюдений, выполненных в первые две декады XXI века, получены первые количественные оценки вековых (плитных) движений земной коры в окрестностях южной оконечности ЦСАР. Также в районе исследований оценено и выполнено численное моделирование влияния возмущений геосреды (косейсмические смещения), инициированных катастрофическим землетрясением Тохоку 11.03.2011 года, Mw 9.1.

## **ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ**

Для изучения современных движений земной коры в южной части ЦСАР нами используются кратковременные периодические ГНСС-наблюдения на

---

пункте высокоточной геодезической сети «Киевка» (KIEV), расположенном в 12 километрах от п. Киевка, и непрерывные спутниковые измерения на пункте «Заповедное» (ZAPV), расположенном в п. Заповедное (рис. 1).

С 2015 года на пункте KIEV нами ежегодно в течение трёх последовательных дней проводятся 8-часовые сеансы ГНСС-наблюдений при помощи одного и того же комплекта спутниковой аппаратуры. Начало и окончание сессий соответствуют 00:00 и 08:00 UTC. Для жесткой фиксации положения ГНСС-антенны используется специальная латунная проставка высотой 148 мм, нижний конец которой ввинчивается в отверстие в специальной металлической пластине, замурованной в верхнюю часть геодезического центра, а верхний – в антенну (рис. 2а). Для производства измерений используется двухчастотный мультисистемный GPS/ГЛОНАСС приёмник геодезического класса Topcon GB1000 с антенной Topcon PG\_A1 (рис. 2а).

В рамках программы развития геодезической сети Российской Федерации АО «ПриморАГП» в 2003, 2008 и 2014 годах на пункте KIEV выполнены кратковременные ГНСС-наблюдения продолжительностью до нескольких суток разнотипной спутниковой аппаратурой геодезического класса (в основном производства компании Leica), которые также использованы в данной работе.

Специально для проведения непрерывных геодинамических ГНСС-наблюдений в 2015 году в п. Заповедное нами был заложен пункт ZAPV, расположенный на берегу Японского моря в 20 км к югу от пункта ВГС KIEV. С этого же года на нём проводятся непрерывные спутниковые наблюдения при помощи ГНСС-приёмника Trimble NetR9, оснащенного антенной Trimble Zephyr Geodetic 2 с пластиковым полусферическим обтекателем (рис. 2б и 2в). Данные наблюдений в автоматизированном режиме через сеть сотовой связи передаются в информационную систему «Сигнал», созданную и функционирующую на базе Вычислительного центра ДВО РАН [5]. Данные ГНСС-наблюдений хранятся в бинарном формате производителя спутникового оборудования и международном текстовом обменном формате RINEX.

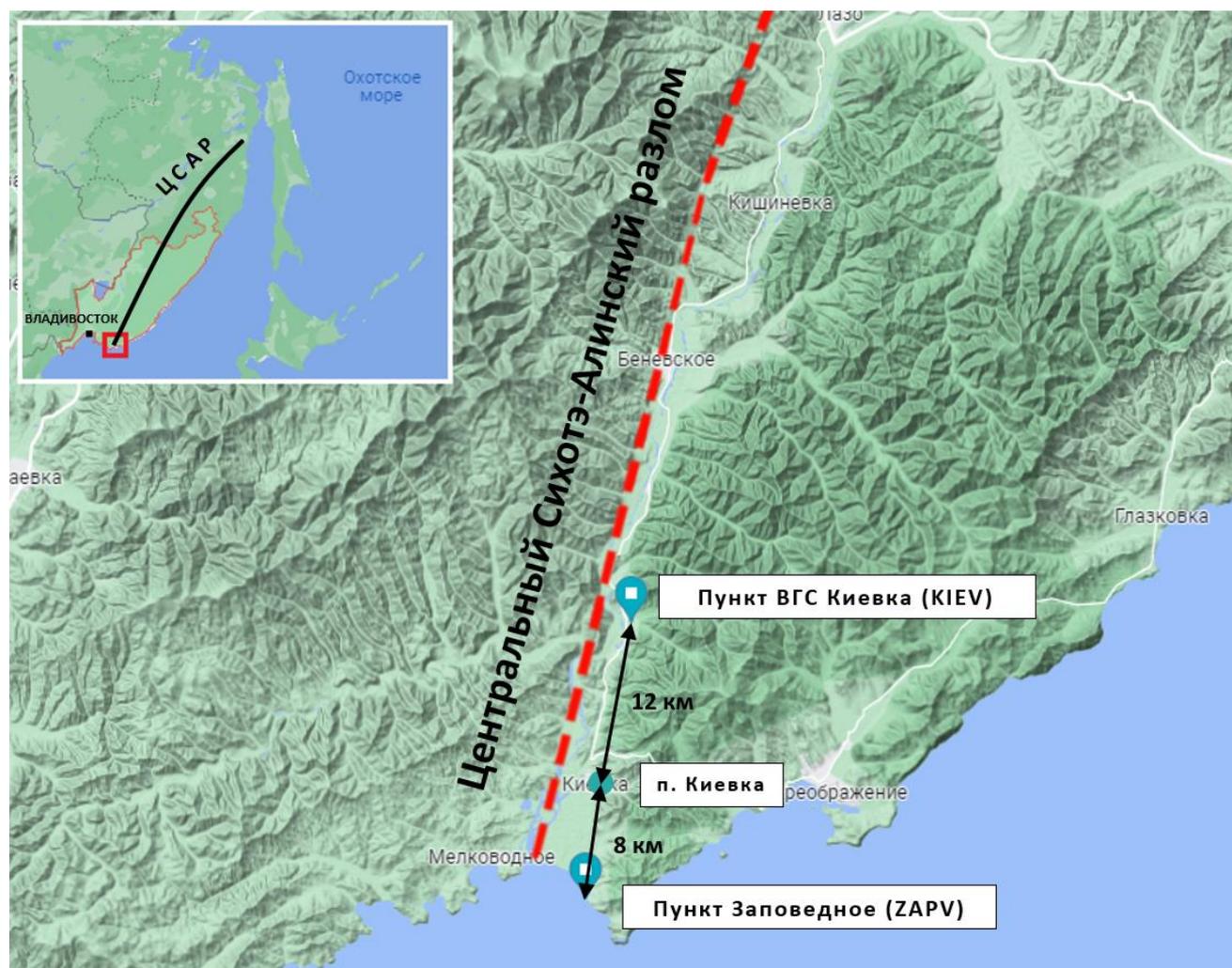


Рисунок 1. Схема расположения пунктов ГНСС-наблюдений. На врезке общее – положение района исследований и ось Центрального Сихотэ-Алинского разлома (ЦСАР).

### ОБРАБОТКА ГНСС-ДАНЫХ

Обработка данных ГНСС-наблюдений производилась в программном пакете RTKLIV (<https://rtklib.com/>) в режиме PPP-Static (высокоточное точечное позиционирование) в глобальной геоцентрической системе координат ITRF2014 без формирования базовых линий [4]. Также использовались: файлы бортовых эфемерид системы GPS, поправки часов спутников GPS и ГЛОНАСС и файлы точных эфемерид, формируемые европейским центром CODE (<ftp://ftp.aiub.unibe.ch/CODE/>). Координаты пунктов вычисляются в геоцентрической системе координат  $(X, Y, Z)^T$ . Для удобства дальнейших расчётов их разности

относительно начальной эпохи наблюдений преобразуются в локальную топоцентрическую систему координат  $(dN, dE, dU)^T$ , начало которой находится на поверхности Земли в точке наблюдения.



Рисунок 2. Общий вид пунктов наблюдений: а – периодически наблюдаемый пункт ВГС KIEV; б, в – постоянно действующая станция ZAPV. На рис. б показаны ГНСС-приемник и микрокомпьютер для хранения и передачи данных аналитический центр, на рис. в приведен вид геодезического центра и принимающей ГНСС-антенны.

По полученным значениям были построены временные серии изменения пространственного положения пунктов наблюдений в трёх взаимно-перпендикулярных направлениях: север–юг ( $dN$ ), восток–запад ( $dE$ ), зенит–надир ( $dU$ ) (рис. 3). Измерения по высотной компоненте на пункте KIEV за 2003 и 2008 годы были исключены из дальнейших расчётов, так как отсутствуют сведения о корректных высотах антенн в эти эпохи наблюдений.

## УЧЁТ ВЛИЯНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТОХОКУ НА ПОЛОЖЕНИЕ ПУНКТА KIEV

Произошедшее 11 марта 2011 года у восточного побережья Японии катастрофическое землетрясение Тохоку, Mw 9.1, вызвало значимые косейсмические смещения земной коры Приморского края [1]. Для оценки косейсмического смещения на пункте KIEV временные серии его среднесуточных координатных положений по каждой компоненте были разделены на 2 части: до и после 70-го дня 2011 года (дата землетрясения). Однако из-за отсутствия ГНСС-наблюдений в 2011 году данные экстраполировались на дату землетрясения отдельно для каждого фрагмента ряда (рис. 3). Для этого данные каждого фрагмента ряда аппроксимировались линейной регрессией. Её коэффициенты и их среднеквадратические ошибки определялись методом наименьших квадратов. Соответствующие уравнения регрессионных прямых приведены на рис. 3. Результаты экстраполяции подвержены значительному влиянию постсейсмических движений земной коры, которые имели высокую интенсивность в первые 0,5 года после главного толчка [1] и поэтому оказались существенно завышены. Полученные оценки косейсмических смещений равны  $-54,1$  мм и  $54,7$  мм по N и E компоненте, соответственно. Механизм этого явления ясен из рис. 4а, на котором показан ряд непрерывных ГНСС-измерений на пункте NKHD (г. Находка). Для расчёта поправки в результаты наших определений использован полный ряд наблюдений NKHD (рис. 4б и 4в).

Для вычисления поправок в плановые компоненты  $dN'$  и  $dE'$  ряд наблюдений пункта NKHD раздельно (до и после землетрясения Тохоку) аппроксимировался линейной регрессией. С их помощью были получены значения координат пункта до и после косейсмического смещения и вычислены соответствующие поправки (см. рис. 4б и 4в). В силу относительной близости пункта NKHD к станции KIEV значения поправок для них приняты одинаковыми. Скорректированные оценки косейсмических смещений на пункте KIEV равны  $-28,9$  и  $22,2$  мм по N и E компоненте, соответственно. Значения, теоретически вычисленные при помощи модели очага землетрясения [3], получились равными  $-23,2$  и  $41,6$  мм соответственно, что дает удовлетворительное согласие с наблюдениями по северной компоненте и существенно завышенное значение по восточной компоненте. По-

лученные несоответствия могут быть объяснены как неточностью расчета поправки, так и неточностями вычисления косейсмических смещений на основе модели очага землетрясения. Смещение по компоненте dU практически равно нулю.

Оценки косейсмических подвижек были получены только для пункта KIEV, так как на пункте ZAPV наблюдения начались с 2015 года.

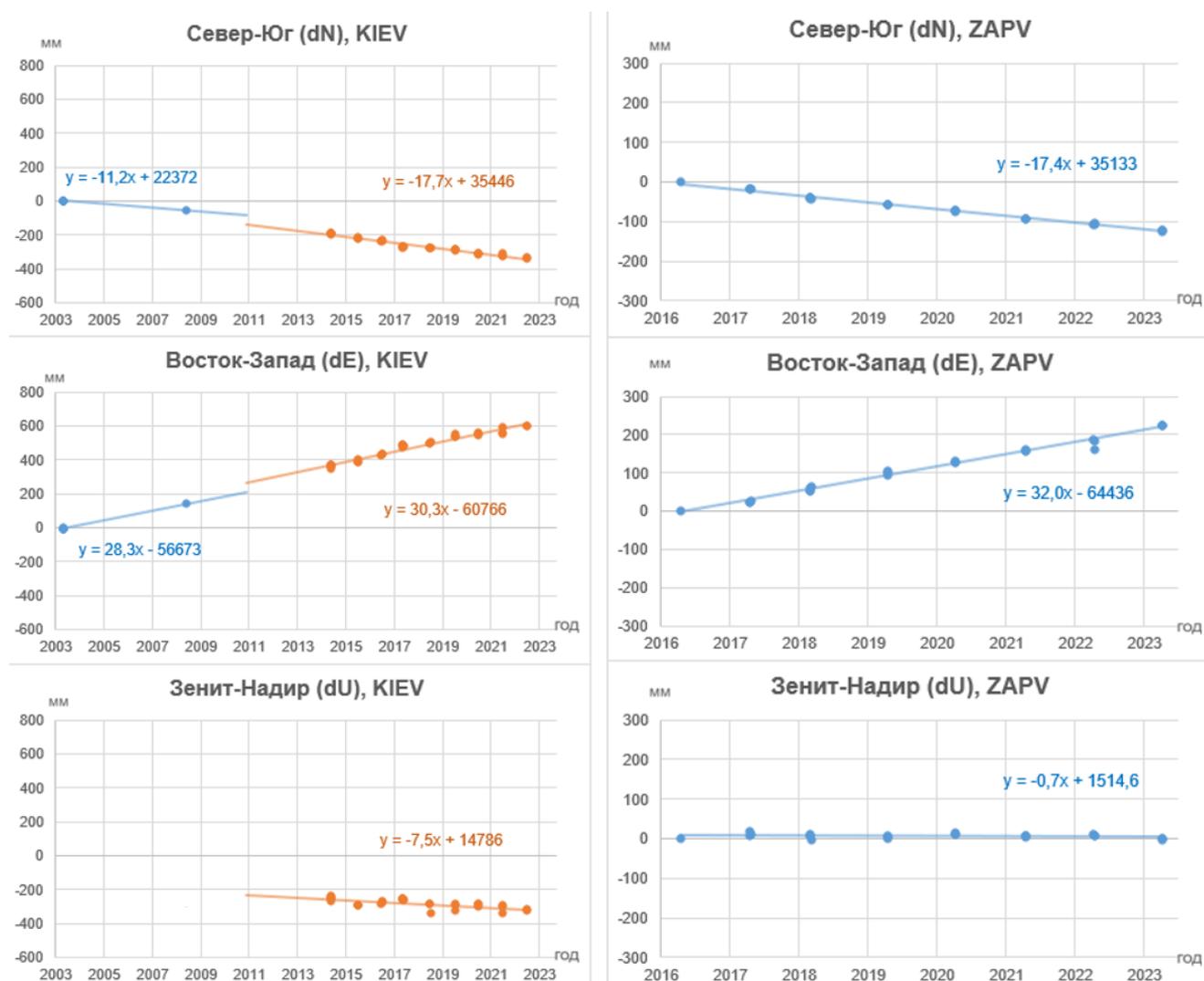


Рисунок 3. Временные серии изменения пространственного положения пунктов ГНСС-наблюдений KIEV и ZAPV. Оранжевым цветом на пункте KIEV показан ряд после землетрясения Тохоку 11.03.2022г.

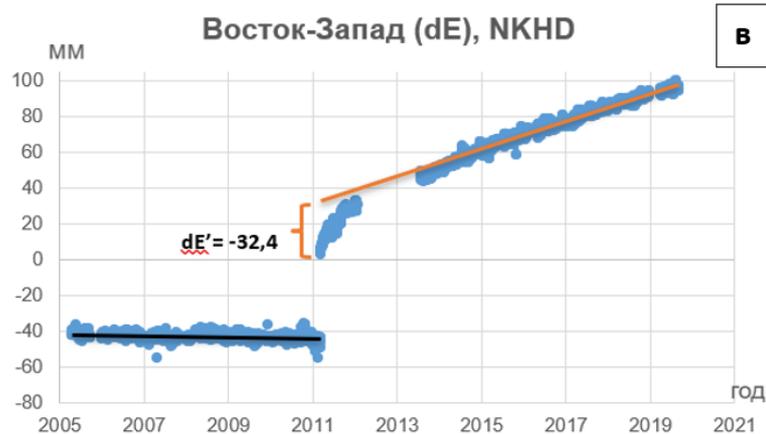
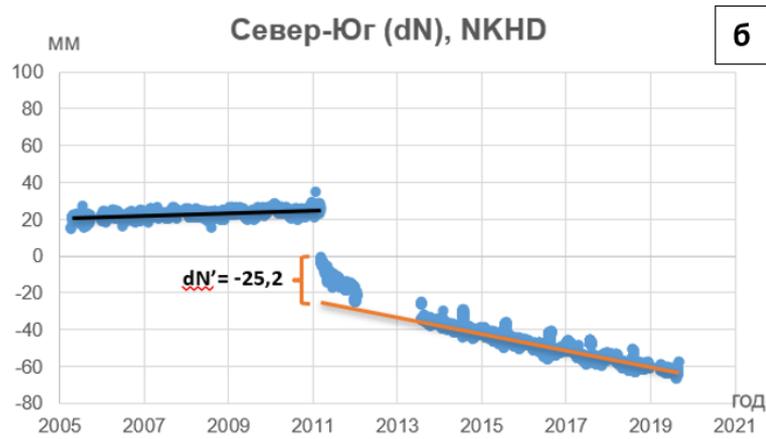
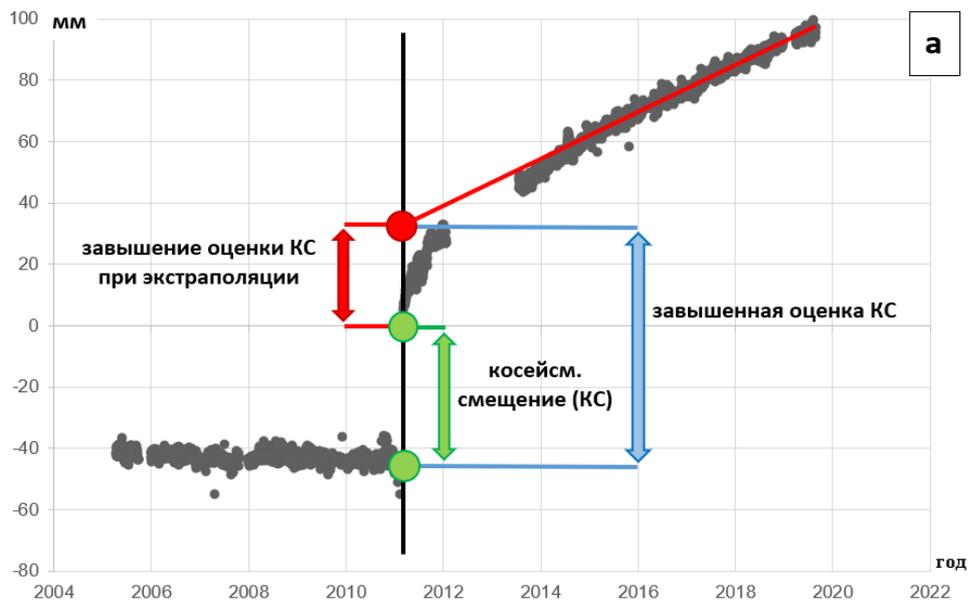


Рисунок 4. Методика вычисления поправок в плановые компоненты косейсмического смещения (рис. 4а). На рис. 4б и 4в показаны величины и схема вычисления поправок за постсейсмические движения на пункте НКНД (г. Находка).

## СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПУНКТОВ

После обработки ГНСС-данных на пунктах наблюдений и формирования временных серий изменения их пространственных положений, были получены скорости перемещения каждого пункта относительно друг друга и Евроазиатской литосферной плиты.

На основании графиков смещения координат пунктов KIEV и ZAPV (рис. 3), а также с учётом косейсмического смещения были получены скорости перемещения пунктов в системе координат ITRF2014, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Скорости перемещения пунктов в системе координат ITRF2014.

Пункт	Период наблюдений	Скорость, мм/год		
		dN	dE	dU
ZAPV	2015–2022 гг.	$-17,4 \pm 0,2$	$32,0 \pm 0,7$	$-0,7 \pm 0,6$
KIEV	2003–2008 гг.	$-11,2 \pm 0,3$	$28,3 \pm 0,7$	-
	2014–2022 гг.	$-17,7 \pm 0,6$	$30,3 \pm 1,0$	$-7,5 \pm 1,4$

Из таблицы видно, что до землетрясения вековая скорость пункта KIEV составляла 30,4 мм/год, а после землетрясения станция ZAPV перемещается к юго-востоку со скоростью 36,4 мм в год, в то время как пункт KIEV движется сонаправленно со скоростью 35,1 мм в год. Столь высокие скорости перемещения после землетрясения, очевидно, обусловлены продолжающимися постсейсмическими процессами.

Основываясь на полученных выше компонентах скоростей перемещений каждого пункта, становится возможным вычислить взаимные перемещения в топоцентрической системе координат по формуле

$$V_{\text{отн}} = V_{\text{KIEV}} - V_{\text{ZAPV}}.$$

По этой формуле были получены скорости перемещения пункта KIEV после 2011 года относительно пункта ZAPV, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2. Таблица скоростей перемещения пункта KIEV относительно пункта ZAPV.

	Относительная скорость, мм/год
$V_{dN}$	$-0,3 \pm 0,3$
$V_{dE}$	$-1,6 \pm 1,3$
$V_{dU}$	$-6,7 \pm 1,5$

Для расчета скорости перемещения пунктов относительно Евразийской литосферной плиты мы использовали модель её «жесткого» вращения ITRF2014 [8]. Сначала было вычислено модельное движение плиты в данном регионе, которое составило  $-13,2$  и  $24,3$  мм/год по северной и восточной компонентам соответственно. Движение пунктов относительно Евразийской литосферной плиты находилось как разности между вычисленными по результатам обработки ГНСС-наблюдений и модельными значениями скоростей. Результаты расчётов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Движение пунктов относительно Евразийской литосферной плиты.

	Полученная скорость			Модельное значение (ITRF2014)	Движение пунктов относительно Евразийской литосферной плиты		
	KIEV в период 2003–2008 гг.	KIEV в период 2014–2022 гг.	ZAPV в период 2015–2022 гг.		KIEV в период 2003–2008 гг.	KIEV в период 2014–2022 гг.	ZAPV в период 2015–2022 гг.
$V_N$	$-11,2$	$-17,7$	$-17,4$	$-13,2$	$-2,1$	$-4,5$	$-4,2$
$V_E$	$28,3$	$30,3$	$32,0$	$24,3$	$4,0$	$6,0$	$7,7$

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Оценки косейсмических смещений на пункте KIEV составили  $-28,9$  мм по северной и  $22,2$  мм по восточной компонентам и показывают удовлетворительную сходимость со значениями для юга Приморья из статьи [1].

2. Скорость пункта KIEV до землетрясения Тохоку 2011 года составляла  $30$  мм/год. Это значение на  $4,5$  мм/год отличается от модельного значения, вычисленного с использованием модели движения плит ITRF2014. Это может говорить о том, что исследуемый район находится на блоке, который имеет элементы вращения, отличные от вмещающей его плиты. Либо же эта разница обусловлена неточностями модели ITRF2014, так как в нашем регионе практически нет пунктов, которые использовались для построения модели.

3. Скорости после землетрясения Тохоку 2011 года отличаются от скоростей до него. Станция KIEV в период 2014–2022 гг. двигается к юго-востоку со скоростью  $35$  мм/год, а пункт ZAPV – к юго-востоку со скоростью  $36$  мм/год. Увеличение скоростей, наиболее вероятно, связано с продолжающейся постсейсмической релаксацией – типичным явлением для мощных коровых землетрясений.

4. Сколько-нибудь значительные взаимные движения пункта KIEV и ZAPV нами не обнаружены.

5. Наблюдается систематическое опускание пункта KIEV со скоростью  $-6,7$  мм в год. Вероятнее всего, это локальное явление, связанное с особенностями закладки геодезического центра в надпойменной террасе реки Киевка.

*Благодарности:* авторы выражают глубокую благодарность всем коллегам, на протяжении многих лет участвовавшим в проведении ГНСС-наблюдений. Работа выполнена при поддержке гранта ДВФУ № 22-07-01-007, государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации 075-00771-22-00 (НИОКТР ИПМ ДВО РАН № АААА-А20-120120390006-0), а также с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных ДВО РАН», финансируемого Минобрнауки России по соглашению №075-15-2021-663.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шестаков Н.В., Герасименко М.Д., Охзоно Мако. Движения и деформации земной коры Дальнего Востока Российской Федерации, вызванные землетрясением Тохоку 11.03.2011 г., и их влияние на результаты GNSS-наблюдений // Геодезия и картография. 2011. №8. С. 35–43.
2. Ashurkov S.V., Sankov V.A., Serov M.A., Lukyanov P.Yu., Grib N.N., Bordoniskii G.S., Dembelov M.G. Evaluation of present-day deformations in the Amurian Plate and its surroundings, based on GPS data // Russian Geology and Geophysics. 2016. Vol. 57. P. 1626–1634. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.10.008>.
3. Bletery Q., Sladen A., Delouis B., Vallée M., Nocquet J.-M., Rolland L., Jiang J. A detailed source model for the Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake reconciling geodesy, seismology, and tsunami records // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2014. Vol. 119. <https://doi.org/10.1002/2014JB011261>.
4. RTKLIB ver. 2.4.2 Manual // RTKLIB: An Open-Source Program Package for GNSS Positioning. URL: <http://rtklib.com/> (дата обращения: 22.03.2022).
5. Sorokin A.A., Makogonov S.V., Korolev S.P. The Information Infrastructure for Collective Scientific Work in the Far East of Russia // Scientific and Technical Information Processing. 2017. Vol. 44, No. 4. P. 302–304.
6. Timofeev V.Yu., Gornov P.Yu., Ardyukov D.G., Malyshev Yu.F., Boiko E.V. GPS Measurements (2003–2006) in the Sikhote Alin Network, the Far East // Russian Journal of Pacific Geology. 2008. Vol. 2, No. 4. P. 314–324. <https://doi.org/10.1134/S1819714008040040>
7. Zonenshain L.P., Savostin L.A. Geodynamics of the Baikal rift zone and plate tectonics of Asia // Tectonophysics. 1981. No. 76. P. 1–45. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90251-1](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90251-1).
8. Zuheir Altamimi, Laurent Metivier, Paul Rebischung, Helene Rouby and Xavier Collilieux ITRF2014 Plate Motion Model // Geophysical Journal International. 2017. No. 209. P. 1906–1919. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx136>.

## CONTEMPORARY CRUSTAL MOVEMENT AT THE SOUTHERN EDGE OF CENTRAL SIKHOTE-ALIN FAULT ACCORDING TO GNSS-OBSERVATIONS

A. A. Salakhutdinova<sup>1</sup>, [0000-0003-4760-8980], N. V. Shestakov<sup>1, 2</sup>, [0000-0003-3901-9684],

E. A. Lyalushko<sup>1</sup>, [0000-0002-9081-6323], N. A. Gagarsky<sup>1</sup>, [0000-0001-7305-1376]

<sup>1</sup>Far Eastern Federal University (FEFU, Russia)

<sup>2</sup>Institute of Applied Mathematics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IPM FEB RAS, Russia)

### **Abstract**

The Central Sikhote-Alin Fault (CSAF) is one of the largest tectonic structures in the continental part of the south of the Russian Far East. Its modern geodynamic activity is still very poorly understood, especially by remote sensing methods. The available geological estimates of movements along the CSAR reach several mm/year, however, the available scattered modern geodetic data allow us to state that no displacements exceeding a few mm/year have been detected in the central part of the fault.

In the present work, based on the data of GNSS observations carried out in the first two decades of the 21st century, the first quantitative estimates of the secular (plate) movements of the Earth's crust in the vicinity of the village of Kievka (Primorsky Krai), located at the southern end of the CSAR, are obtained. Also, in the study area, numerical modeling of the effect of geoenvironment disturbances (co- and postseismic displacements) initiated by the catastrophic Tohoku earthquake on March 11, 2011, Mw 9.1, was evaluated and performed. The results obtained are in good agreement with the available models of the earthquake source and models of postseismic viscoelastic relaxation of the geoenvironment.

This work was supported by the FEFU research grant no. 22-07-01-007, research theme AAAA-A20-120120390006-0 of IAM FEB RAS, and use resources of "Center for processing and storage of scientific data of FEB RAS", funded by the Ministry of Education and Science of Russia under agreement No. 075-15-2021-663 and 075-00771-22-00.

**Keywords:** GNSS measurements, coseismic and postseismic displacements, 2011 Tohoku earthquake, Russian Far East.

## REFERENCES

1. *Shestakov N.V., Gerasimenko M.D., Ohzono Mako.* Dvizheniya i deformacii zemnoj kory Dal'nego Vostoka Rossijskoj Federacii, vyzvannye zemletryase-niem Tohoku 11.03.2011 g., i ih vliyanie na rezul'taty GNSS-nablyudenij // *Geodeziya i kartografiya.* 2011. №8. P. 35–43.
2. *Ashurkov S.V., Sankov V.A., Serov M.A., Lukyanov P.Yu., Grib N.N., Bordonskii G.S., Dembelov M.G.* Evaluation of present-day deformations in the Amurian Plate and its surroundings, based on GPS data // *Russian Geology and Geophysics.* 2016. Vol. 57. P. 1626–1634. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.10.008>.
3. *Bletery Q., Sladen A., Delouis B., Vallée M., Nocquet J.-M., Rolland L., Jiang J.* A detailed source model for the Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake reconciling geodesy, seismology, and tsunami records // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth.* 2014. Vol. 119. <https://doi.org/10.1002/2014JB011261>.
4. RTKLIB ver. 2.4.2 Manual // RTKLIB: An Open-Source Program Package for GNSS Positioning. URL: <http://rtklib.com/> (date of access: 03/22/2022).
5. *Sorokin A.A., Makogonov S.V., Korolev S.P.* The Information Infrastructure for Collective Scientific Work in the Far East of Russia // *Scientific and Technical Information Processing.* 2017. Vol. 44, No. 4. P. 302–304.
6. *Timofeev V.Yu., Gornov P.Yu., Ardyukov D.G., Malyshev Yu.F., and Boiko E.V.* GPS Measurements (2003–2006) in the Sikhote Alin Network, the Far East // *Russian Journal of Pacific Geology.* 2008. Vol. 2, No. 4. P. 314–324. <https://doi.org/10.1134/S1819714008040040>
7. *Zonenshain L.P., Savostin L.A.* Geodynamics of the Baikal rift zone and plate tectonics of Asia // *Tectonophysics.* 1981. No. 76. P. 1–45. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90251-1](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90251-1).
8. *Zuheir Altamimi, Laurent Metivier, Paul Rebischung, Helene Rouby and Xavier Collilieux* ITRF2014 Plate Motion Model // *Geophysical Journal International.* 2017. No. 209. P. 1906–1919. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx136>.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**САЛАХУТДИНОВА Алина Альбертовна**, студентка 4-го курса направления «Прикладная геодезия» Департамента мониторинга и освоения георесурсов Политехнического института ДВФУ, г. Владивосток.

**Alina SALAKHUTDINOVA**, 4th year student in the direction of "Engineering Geodesy" of the Department of Monitoring and Development of Georesources Polytechnical Institute FEFU, Vladivostok.

e-mail: salakhutdinova.aa@students.dvfu.ru

ORCID ID: 0000-0003-4760-8980



**ШЕСТАКОВ Николай Владимирович**, кандидат технических наук, профессор Департамента мониторинга и освоения георесурсов Политехнического института ДВФУ/научный сотрудник Института прикладной математики ДВО РАН, г. Владивосток.

**Nikolai SHESTAKOV**, PhD, professor of the Department of Monitoring and Development of Georesources Polytechnical Institute FEFU/ Researcher of Institute for Applied Mathematics FEB RAS, Vladivostok.

e-mail: shestakov.nv@dvfu.ru

ORCID ID: 0000-0003-3901-9684



**ЛЯЛЮШКО Евгений Андреевич**, заведующий лаборатории ГНСС-технологий мониторинга геосфер, ассистент Департамента мониторинга и освоения георесурсов Политехнического института ДВФУ, г. Владивосток.

**Evgeniy LYALYUSHKO**, head of the laboratory of GNSS technologies for monitoring the geospheres, assistant of the Department of Monitoring and Development of Georesources Polytechnic Institute FEFU, Vladivostok.

e-mail: lialiushko.ea@dvfu.ru

ORCID ID: 0000-0002-9081-6323



**ГАГАРСКИЙ Николай Анатольевич**, старший преподаватель департамента мониторинга и освоения георесурсов Политехнического института ДВФУ, Заслуженный работник геодезии и картографии Российской Федерации, г. Владивосток.

**Nikolai GAGARSKY**, senior lecturer of the Department of Monitoring and Development of Georesources of the Polytechnic Institute FEFU, Honored worker of geodesy and cartography of the Russian Federation, Vladivostok.

e-mail: nagagarsky@mail.ru

ORCID ID: 0000-0001-7305-1376

*Материал поступил в редакцию 9 ноября 2022 года*