



CONTEMPORARY GEODYNAMICS OF THE GAROMAI ACTIVE FAULT (SAKHALIN ISLAND)

N. F. Vasilenko, A. S. Prytkov

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract: In the northern Sakhalin Island, the tectonic activity of the fault zones is a potential threat to the industrial infrastructure of the petroleum fields. Recently, the background seismicity has increased at the Hokkaido-Sakhalin fault that consists of several segments, including the Garomai active fault. In the studies of the regional deformation processes, it is important not only to analyze the seismic activity, but also to quantitatively assess the dynamics of deformation accumulation in the fault zones. In order to study the contemporary geodynamics of the Garomai fault, a local GPS/GLONASS network has been established in the area wherein trunk oil and gas pipelines are installed across the fault zone. Based on the annual periodic measurements taken in 2006–2016, we study the features of surface deformation and calculate the rates of displacements caused by the tectonic activity in the fault zone. During the survey period, no significant displacement of the fault wings was revealed. In the immediate vicinity of the fault zone, multi-directional horizontal displacements occur at a rate up to 1.6 mm/yr, and uplifting of the ground surface takes place at a rate of 3.4 mm/yr. This pattern of displacements is a reflection of local deformation processes in the fault zone. At the western wing of the fault, a maximum deformation rate amounts to $11 \cdot 10^{-6}$ per year. The fault is a boundary mark of a transition from lower deformation rates at the eastern wing to higher ones at the west wing. In contrast to the general regional compression setting that is typical of the northern Sakhalin Island, extension is currently dominant in the Garomai fault zone. The estimated rates of relative deformation in the vicinity of the Garomai fault give grounds to classify it as 'hazardous'.

Key words: geodynamics; active fault; GPS/GLONASS survey; ground surface deformation

SHORT COMMUNICATION

Received: February 1, 2019
Revised: March 29, 2019
Accepted: April 3, 2019

For citation: Vasilenko N.F., Prytkov A.S., 2019. Contemporary geodynamics of the Garomai active fault (Sakhalin Island). *Geodynamics & Tectonophysics* 10 (2), 561–567. doi:10.5800/GT-2019-10-2-0426.

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА ГАРОМАЙСКОГО АКТИВНОГО РАЗЛОМА (ОСТРОВ САХАЛИН)

Н. Ф. Василенко, А. С. Прытков

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Аннотация: Тектоническая активность разломных зон севера о. Сахалин представляет опасность для промышленной инфраструктуры разрабатываемых месторождений углеводородов. Повышенным уровнем фоновой сейсмичности в последние годы характеризуется Хоккайдо-Сахалинский разлом, одним из сегментов которого является Гаромайский активный разлом. При исследовании проявлений региональных деформационных процессов важен не только анализ сейсмической активности, но и количественная оценка динамики накопления деформаций в разломных зонах. Для изучения современной геодинамики Гаромайского разлома в районе его пересечения магистральными нефтегазопроводами создана локальная сеть GPS/ГЛОНАСС наблюдений. Ежегодные периодические измерения 2006–2016 гг. позволили установить характер деформирования земной поверхности и получить количественные оценки скоростей смещений, вызванных тектонической активностью разломной зоны. За период наблюдений значимых смещений крыльев разлома не выявлено. В ближайших окрестностях разломной зоны наблюдаются разнонаправленные горизонтальные смещения со скоростью до 1.6 мм/год и поднятие в виде изгиба земной поверхности со скоростью 3.4 мм/год. Такая картина смещений является отражением локальных деформационных процессов в зоне разлома. Максимальные скорости деформаций $11 \cdot 10^{-6}$ в год приурочены к западному крылу разлома. Разлом разграничивает переход от пониженных скоростей деформаций на восточном крыле к более высоким на западном. В отличие от общей региональной обстановки сжатия, характерной для севера о. Сахалин, зона Гаромайского разлома в настоящее время находится в преобладающих условиях растяжения. Выявленные скорости относительных деформаций в окрестности разлома позволяют отнести его к категории «опасные».

Ключевые слова: геодинамика; активный разлом; GPS/ГЛОНАСС наблюдения; деформация земной поверхности

1. ВВЕДЕНИЕ

Разработка нефтегазовых месторождений сопряжена с вопросами обеспечения промышленной и экологической безопасности. Тектоническая активность разломных зон севера о. Сахалин, которые обладают высоким сейсмическим потенциалом, представляет опасность для промышленной инфраструктуры разрабатываемых месторождений углеводородов. Повышенным уровнем фоновой сейсмичности в последние годы характеризуется Хоккайдо-Сахалинский разлом, сегментами которого являются Пильтунский, Верхне-Пильтунский (Нефтегорский сейсморазрыв 1995 г.), Гаромайский активные разрывы, а также Гаргыланьинский разлом [Konovalov et al., 2016]. Активность разломов выражена в наличии смещений земной поверхности в голоценовый период (в течение последних ~11.7 тыс. лет). При сильных землетрясениях происходят горизонтальные и вертикальные подвижки крыльев разлома, которые могут достигать нескольких метров. Кроме того, динамика разломов обусловлена воздействием регионально-го поля тектонических напряжений, которое в зоне разломов может приводить к смещениям земной

поверхности до нескольких сантиметров в год, поэтому при исследовании деформационных процессов, происходящих в зонах разломов на современном этапе, важен не только пространственно-временной анализ сейсмичности, но и количественная оценка смещений и накопления деформаций.

Для выявления и оценки современной динамики деформаций геологической среды, вызванных тектонической активностью Гаромайского разлома, в окрестности его пересечения магистральными трубопроводами (в 3 км от берегового комплекса подготовки нефти в рамках проекта «Сахалин-1») в 2006 г. создана локальная сеть GPS/ГЛОНАСС наблюдений.

2. КИНЕМАТИКА ГАРОМАЙСКОГО РАЗЛОМА

Гаромайский разлом является сегментом субмеридиональной Хоккайдо-Сахалинской разломной системы (рис. 1). Он начинается к югу от Пильтунского разлома и протягивается на ~25 км до побережья залива Чайво [Bulgakov et al., 2002]. Оба разлома имеют одинаковое простирание. Они могут

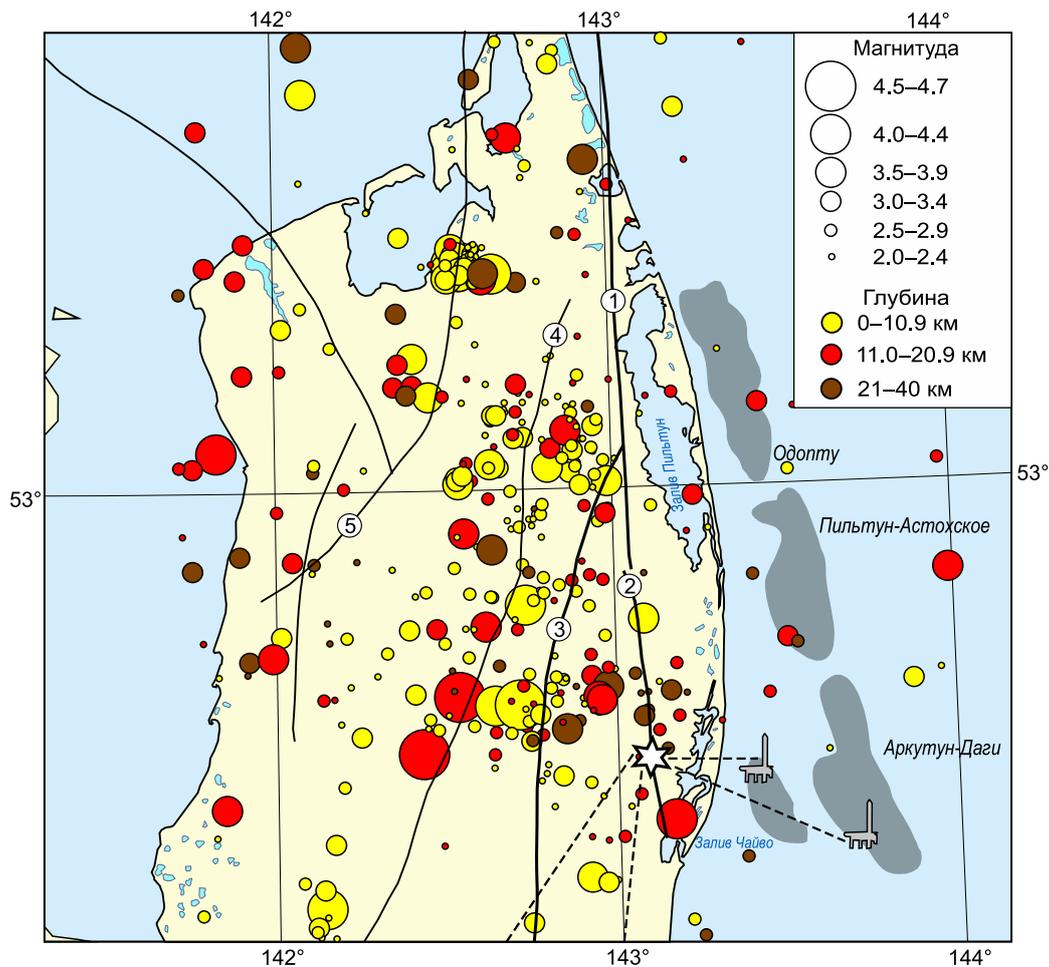


Рис. 1. Сейсмичность северной части о. Сахалин за период 2006–2016 гг.

1–4 – сегменты Хоккайдо-Сахалинского разлома [Kharakhinov, 2010]: 1 – Пильтунский, 2 – Гаромайский, 3 – Верхне-Пильтунский, 4 – Гыргыланьинский; 5 – Восточно-Байкальский разлом. Темным цветом на шельфе острова показаны контуры месторождений углеводородов. Пунктирная линия – расположение магистральных трубопроводов шельфовых месторождений. Звездочкой отмечен район GPS/ГЛОНАСС наблюдений.

Fig. 1. Seismicity of the northern Sakhalin Island in 2006–2016.

1–4 – segments of the Hokkaido-Sakhalin fault [Kharakhinov, 2010]: 1 – Piltun, 2 – Garomai, 3 – Verkhne-Piltun, 4 – Gyrgylan; 5 – East Baikal rift. The contours of hydrocarbon fields are shown in dark colour on the island offshore area. Dashed lines – main pipelines in the offshore fields. Asterisk – GPS/GLONASS survey area.

как быть активными сегментами единого разлома протяженностью более 100 км, так и кулисно подставляя друг друга. В модели зон возможных очагов землетрясений, разработанной в ИМГиГ ДВО РАН, Пильтунский и Гаромайский разломы объединены в единый линейный элемент, который способен генерировать сейсмические события $M_{\max}=7.5$ с периодом повторяемости ~ 950 лет.

В рельефе Гаромайский разлом выражен в виде невысокого уступа с поднятым западным крылом. Крутое падение плоскости разлома на запад (до $70-80^\circ$) свидетельствует о взбросовом типе сейсмических подвижек по нему. Палеосейсмологические исследования в зоне разлома показали, что последняя сейсмическая подвижка произошла

примерно 5 тыс. лет назад, предпоследняя – 9 тыс. лет назад [Bulgakov et al., 2002]. Другая оценка получена с помощью высокоразрешающей малоглубинной сейсморазведки методом преломленных волн: аномальное понижение скоростей в окрестности разлома указывает на то, что последнее сейсмическое событие имело место несколько сотен лет назад [Patrikeev, Lomtev, 2016]. В отличие от других разломов Северного Сахалина, свидетельств горизонтальных смещений в голоценовый период на Гаромайском разломе не выявлено.

По данным региональных GPS/ГЛОНАСС наблюдений, проведенных в 2003–2013 гг., современный характер деформирования земной поверхности Северного Сахалина определяется сжатием

островной суши в субширотном направлении со скоростью до 3.9 мм/год [Vasilenko, Prytkov, 2012; Prytkov, Vasilenko, 2018]. Максимальные скорости горизонтальных деформаций отмечаются на востоке района, где они достигают значений $13 \cdot 10^{-8}$ в год. В окрестности Верхне-Пильтунского разлома наряду со сжатием проявляется правостороннее смещение со скоростью до 3.5 мм/год. В районе Пильтунского и северной части Гаромайского разлома величины скоростей укорочения и удлинения практически сопоставимы (скорость дилатации составляет $-3 \dots -4 \cdot 10^{-8}$ в год), что свидетельствует о наличии деформаций правостороннего сдвига.

За инструментальный период сейсмологических наблюдений с 1905 г. Гаромайский разлом не проявлял высокой сейсмической активности: в окрестности разлома не зафиксировано сейсмических событий с магнитудой $M \geq 5.5$ [Poplavskaya et al., 2006; Konovalov et al., 2016]. В последнее десятилетие умеренная сейсмичность с $M \leq 4.0$ регистрируется в основном в его южной части (см. рис. 1).

3. ДАННЫЕ GPS/ГЛОНАСС НАБЛЮДЕНИЙ

Для изучения современной геодинамической активности Гаромайского разлома в 2006 г. в окрестности его пересечения магистральными трубопроводами создана локальная сеть GPS/ГЛОНАСС наблюдений. Сеть общей протяженностью около 3.5 км состоит из шести пунктов, по три на каждом борту разлома. Пункты наблюдений выполнены в виде металлических пилонов, заложенных на глубину около трех метров. Высота пилонов над земной поверхностью 1.2–1.5 м.

Периодические измерения сети выполнялись двухчастотными многоканальными GPS/ГЛОНАСС приемниками один раз в год продолжительностью 3–4 суток на каждом пункте наблюдений. Регистрация данных осуществлялась с 30-секундной дискретностью и маской возвышения спутников от 5° . Для исключения возможных систематических ошибок на всех пунктах использовались одни и те же антенны. Для минимизации сезонного влияния на точность позиционирования полевые наблюдения ежегодно проводились в осенний период. В 2016 г. выполнена 11-я эпоха измерений.

Обработка данных осуществлялась с использованием специализированных пакетов программного обеспечения GAMIT [King, Bock., 2006] по общепринятой для геодинамических наблюдений методике. Высокая точность достигалась после учета различных поправок в процессе обработки измерений. Скорости пунктов и их среднеквадратические ошибки вычислены с использованием фильтра Калмана [Herring, 2002], что позволило получить

достоверную оценку точности с учетом корреляции ошибок. В качестве опорного для всех эпох наблюдений использовался пункт GR01.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ годовой повторяемости измерений показал, что за период 2006–2016 гг. в зоне Гаромайского разлома в основном прослеживаются однонаправленные тектонические движения пунктов. Знакопеременные движения (предположительно с периодом 7–8 лет) проявляются на некоторых пунктах только для северной и вертикальной компонент смещений. Их амплитуды достигают 5 мм для северной и 10 мм для вертикальной компоненты. С 2006 по 2011 г. в окрестности разлома наблюдалось достаточно интенсивное поднятие земной поверхности со средней скоростью ~ 6 мм/год, которое к 2016 г. сменилось незначительным опусканием. Результаты измерений представлены в виде скоростей смещений пунктов за весь период наблюдений (рис. 2, таблица).

Относительно опорного пункта GR01 в зоне разлома проявляется поднятие в виде изгиба земной поверхности со скоростью до 3.4 мм/год. Значимых вертикальных смещений крыльев разлома не выявлено.

Горизонтальные скорости пунктов локальной сети не превышают 1.2 мм/год. В зоне разлома и к западу от него наблюдаются разнонаправленные смещения пунктов GR03, GR04 и GR05. На разломе происходит незначительное сжатие земной поверхности с преобладанием правосдвиговой компоненты смещения со скоростью 1.5 мм/год. К западу от него характер смещений изменяется на левосторонний сдвиг со скоростью 1.6 мм/год. К этому же району приурочен максимальный градиент вертикальных скоростей. Такая картина смещений земной поверхности, по-видимому, является отражением локальных деформационных процессов в разломной зоне и ее ближайших окрестностях.

На основе скоростей смещений пунктов оценены среднегодовые скорости деформаций земной поверхности. Расчет деформаций осуществлялся по методике [Teza et al., 2008], которая реализует подход модифицированного метода наименьших квадратов. Скорости вертикальных деформаций земной поверхности достигают $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ в год. Их максимальные значения приурочены к участку сети между пунктами GR04 и GR05. Пространственное распределение горизонтальных деформаций свидетельствует о неоднородном характере деформирования зоны разлома (рис. 2). Район исследований, в целом, характеризуется преобладанием

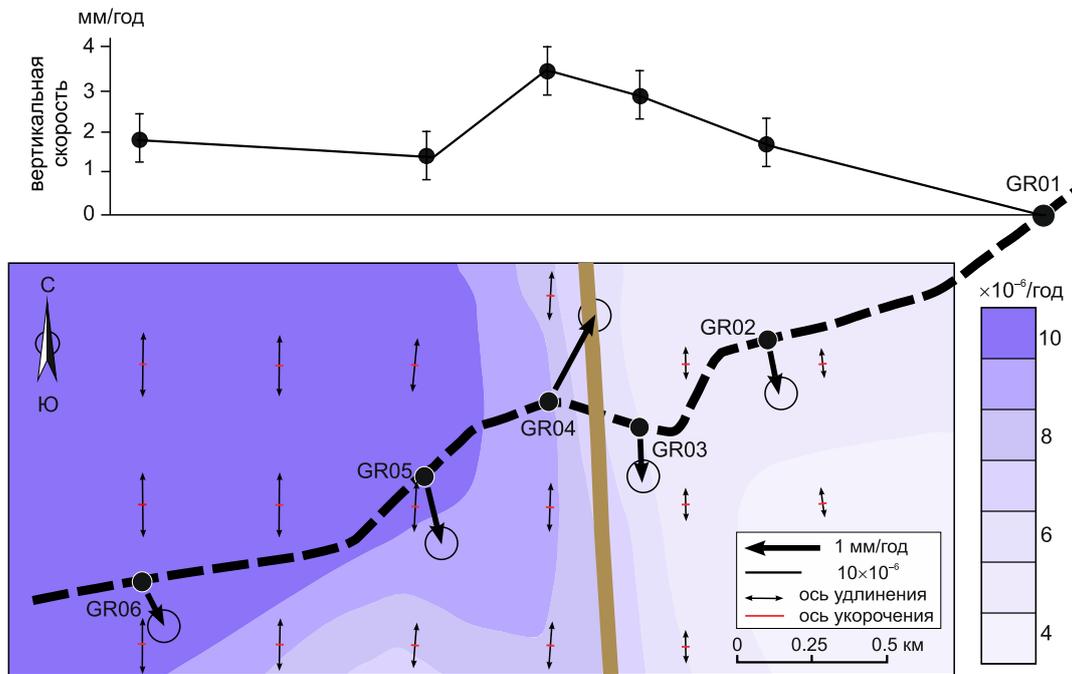


Рис. 2. Схема вертикальных и горизонтальных скоростей пунктов сети Гаромайского разлома относительно пункта GR01 за период 2006–2016 гг. и скорости главных горизонтальных деформаций земной поверхности. Скорость дилатации представлена в цветовой градации. Трасса трубопровода показана пунктирной, разлом – сплошной линией. Среднеквадратические ошибки (1σ) горизонтальных скоростей показаны эллипсами, вертикальных скоростей – линиями вверх-вниз.

Fig. 2. Diagrams of the vertical and horizontal displacement rates of the observation points in the Garomai fault zone relative to Point GR01 in 2006–2016, and the rates of the major horizontal ground surface deformation. Dilatation rates are given in colour codes. Dashed line – pipeline; solid line – fault. Ellipses – RMS errors (1σ) of horizontal rates; up-down lines – RMS errors (1σ) of vertical rates.

условий растяжения меридионального направления, максимальные скорости удлинения составляют $11 \cdot 10^{-6}$ в год. Оси укорочения ориентированы в субширотном направлении (в крест простирания разлома) и не превышают значений $2.3 \cdot 10^{-6}$. Наиболее интенсивное деформирование проявляется на западном крыле разлома, где скорость дилатации изменяется от $7 \cdot 10^{-6}$ до $9 \cdot 10^{-6}$ в год. Разлом разграничивает переход от пониженных скоростей деформаций на восточном крыле к более высоким на западном.

Скорости горизонтальных деформаций в окрестности Гаромайского активного разлома на два порядка больше региональных скоростей деформаций северо-восточной части о. Сахалин, которые не превышают $13 \cdot 10^{-8}$ в год. При этом, в отличие от общей тектонической обстановки сжатия, в целом характерной для севера острова [Prytkov, Vasilenko, 2018], зона разлома в настоящее время находится в условиях растяжения, что свидетельствует о явно выраженном автономном характере его напряженно-деформированного состояния.

Скорости смещений пунктов локальной сети Гаромайского разлома за период 2006–2016 гг.

Displacement rates according to the data from the local GPS/GLONASS network in the Garomai fault zone in 2006–2016

Пункт	V_N , мм/год	V_E , мм/год	V_H , мм/год
GR01	фиксированный		
GR02	-0.6 ± 0.2	-0.1 ± 0.2	1.6 ± 0.7
GR03	-0.6 ± 0.2	0.0 ± 0.2	2.7 ± 0.7
GR04	0.9 ± 0.2	0.7 ± 0.2	3.4 ± 0.7
GR05	-0.7 ± 0.2	0.2 ± 0.2	1.3 ± 0.7
GR06	-0.4 ± 0.2	0.3 ± 0.2	1.7 ± 0.6

Выполненные исследования, с одной стороны, не охватывают всю ширину зоны возможного влияния разлома, которая может достигать десятка километров. С другой стороны, активные и аномальные деформационные процессы локализуются именно в узких областях разломных зон, ширина которых в диапазоне длин разломов $L=10-100$ км может составлять порядка $L \cdot 10^{-2}$ [Kocharyan et al., 2011]. В таком случае протяженность геодинамической сети (~ 3.5 км) можно считать оптимальной для изучения локальных деформационных процессов.

Деформации земной поверхности в окрестности разлома в настоящее время не представляют угрозы для промышленной эксплуатации трубопроводов. При строительстве перехода (протяженностью около 2 км) через зону разлома заложены проектные решения, позволяющие конструкции трубопроводов компенсировать смещения до 5.5 м [Ivantsov, 2010]. Подвижка такой величины соответствует сейсмическому событию с магнитудой $M_w=6.9-7.1$ [Kuzmin et al., 2006]. Однако, согласно определению Ю.О. Кузьмина [Kuzmin, 2016], Гаромайский разлом следует квалифицировать как «опасный» разлом, относительные скорости деформирования которого достигают значений, близких к 10^{-5} в год.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2006 г. в окрестности пересечения нефтегазовыми трубопроводами Гаромайского активного разлома создана локальная сеть геодеформационных GPS/ГЛОНАСС наблюдений. Ежегодные периодические измерения позволили установить современный характер деформирования земной поверхности, вызванного тектонической активностью разлома, и получить количественные оценки скоростей деформаций в его ближайших окрестностях.

7. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Bulgakov R.F., Ivashchenko A.I., Kim Ch.U., Sergeev K.F., Strel'tsov M.I., Kozhurin A.I., Besstrashnov V.M., Strom A.L., Suzuki Y., Tsutsumi H., Watanabe M., Ueki T., Shimamoto T., Okumura K., Goto H., Kariya Y., 2002. Active faults in Northeastern Sakhalin. *Geotectonics* 36 (3), 227–246.
- Herring T.A., 2002. GLOBK, Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program, Version 10.0. Massachusetts Institute of Technology (MIT), 94 p.
- Ivantsov O.M., 2010. Scientific and technical problems of oil and gas pipelines construction in Sakhalin Island. *Tekhnologii Nefti i Gaza (Oil and Gas Technologies)* (5), 49–55 (in Russian) [Иванцов О.М. Научные и технические проблемы сооружения нефтегазопроводных систем на о. Сахалин // *Технологии нефти и газа*. 2010. № 5. С. 49–55].
- Kharakhin V.V., 2010. Oil-Gas Geology of the Sakhalin Region. Nauchnyy Mir, Moscow, 276 p. (in Russian) [Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Научный мир, 2010. 276 с.].
- King R.W., Bock Y., 2006. Documentation for the GAMIT GPS Software Analysis Version 10.3. Massachusetts Institute of Technology (MIT), 182 p.
- Kocharyan G.G., Kishkina S.B., Ostapchuk A.A., 2011. Seismogenic width of a fault zone. *Doklady Earth Sciences* 437 (1), 412–415. <https://doi.org/10.1134/s1028334x11030147>.

За период наблюдений 2006–2016 гг. значимых смещений крыльев разлома не выявлено. Относительно опорного пункта GR01 в зоне разлома происходит поднятие в виде изгиба земной поверхности со скоростью до 3.4 мм/год. В ближайших окрестностях разломной зоны наблюдаются разнонаправленные горизонтальные смещения со скоростью до 1.6 мм/год. Такая картина смещений земной поверхности является отражением локальных деформационных процессов в зоне разлома.

Гаромайский разлом разграничивает переход от пониженных на восточном крыле к более высоким скоростям деформаций на западном, где максимальные горизонтальные деформации достигают величины $11 \cdot 10^{-6}$ в год. В отличие от общей региональной обстановки сжатия, характерной для севера о. Сахалин, зона разлома в настоящее время находится в преобладающих условиях растяжения. Выявленные смещения и скорости относительных деформаций позволяют отнести разлом к категории «опасные».

6. БЛАГОДАРНОСТИ

Инструментальные геодинамические наблюдения в районе пересечения Гаромайского разлома магистральными трубопроводами проводятся ИМГиГ ДВО РАН по программе геодеформационного мониторинга компании «Эксон Нефтегаз Лимитед» – оператора проекта «Сахалин-1». Авторы благодарны компании за предоставленную возможность опубликовать результаты наблюдений.

Анализ результатов выполнен в рамках государственного задания ИМГиГ ДВО РАН и (частично) Комплексной программы фундаментальных научных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (проект № 18-5-024).

- Kononov A.V., Stepnov A.A., Gavrilov A.V., Manaychev K.A., Sychov A.S., Klachkov V.A., Saburov M.S., 2016. Regional seismicity behavior in the Northern Sakhalin in connection to offshore oil and gas fields production. *Istoriya Nauki i Tekhniki (History of Science and Engineering)* (6), 63–71 (in Russian) [Кононов А.В., Степнов А.А., Гаврилов А.В., Манайчев К.А., Сычев А.С., Клачков В.А., Сабуров М.С. Особенности региональной сейсмичности на севере о. Сахалин в связи с промышленным освоением месторождений нефти и газа на шельфе // *История науки и техники*. 2016. № 6. С. 63–71].
- Kuzmin Yu.O. 2016. Recent geodynamics of dangerous faults. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 52 (5), 709–722. <https://doi.org/10.1134/s1069351316050074>.
- Kuzmin Yu.O., Nikonov A.I., Shumeyko M.V., 2006. Monitoring of recent geodynamics processes while ensuring industrial safety of Sakhalin-1 and Sakhalin-2 facilities». *Interexpo GEO-Siberia* 3 (2), 205–210 (in Russian) [Кузьмин Ю.О., Никонов А.И., Шумейко М.В. Мониторинг современных геодинамических процессов при обеспечении промышленной безопасности объектов «Сахалин-1» и «Сахалин-2» // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2006. Т. 3. № 2. С. 205–210].
- Patrikeev V.N., Lomtev V.L., 2016. Faults of Northern Sakhalin: structural features and seismic hazard. *Geology and Mineral Resources of World Ocean* (3), 44–58. (in Russian) [Патрикеев В.Н., Ломтев В.Л. Разломы Северного Сахалина: особенности строения и сейсмическая опасность // *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2016. № 3. С. 44–58].
- Poplavskaya L.N., Ivashchenko A.I., Oskorbin L.S., Nagornykh T.V., Permikin Yu.Yu., Poplavsky A.A., Fokina T.A., Kim Ch.U., Kraeva N.V., Rudik M.I., Safonov D.A., Doroshkevich E.N., Parshina I.A., Zherdeva O.A., 2006. Regional Catalog of Sakhalin Earthquakes 1905–2005. IMGG FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, 103 p. (in Russian) [Поплавская Л.Н., Иващенко А.И., Оскорбин Л.С., Нагорных Т.В., Пермикин Ю.Ю., Поплавский А.А., Фокина Т.А., Ким Ч.У., Краева Н.В., Рудик М.И., Сафонов Д.А., Дорошкевич Е.Н., Паршина И.А., Жердева О.А. Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005 гг. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. 103 с.].
- Prytkov A.S., Vasilenko N.F., 2018. Earth surface deformation of the Sakhalin Island from GPS data. *Geodynamics & Tectonophysics* 9 (2), 503–514 (in Russian) [Прытков А.С., Василенко Н.Ф. Деформации земной поверхности о. Сахалин по данным GPS наблюдений // *Геодинамика и тектонофизика*. 2018. Т. 9. № 2. С. 503–514]. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-2-0358>.
- Teza G., Pesci A., Galgaro A., 2008. Grid_strain and grid_strain3: Software packages for strain field computation in 2D and 3D environments. *Computers & Geosciences* 34 (9), 1142–1153. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.006>.
- Vasilenko N.F., Prytkov A.S., 2012. GPS-based modeling of the interaction between the lithospheric plates in Sakhalin. *Russian Journal of Pacific Geology* 6 (1), 35–41. <https://doi.org/10.1134/s1819714012010137>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT AUTHORS

Николай Федорович Василенко

канд. техн. наук, в.н.с.

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россия✉ e-mail: n.vasilenko@imgg.ru <https://orcid.org/0000-0003-1591-9071>**Nikolai F. Vasilenko**

Candidate of Technical Sciences, Lead Researcher

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS
1B Nauka street, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia**Александр Сергеевич Прытков**

канд. физ.-мат. наук, в.н.с.

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россияe-mail: a.prytkov@imgg.ru <https://orcid.org/0000-0003-4488-1682>**Aleksander S. Prytkov**

Candidate of Physics and Mathematics, Lead Researcher

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of RAS
1B Nauka street, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia