

УДК 031.1 (479.24)

DOI: [10.46698/VNC.2020.35.39.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.35.39.003)

Оригинальная статья

Геодинамика Талышского региона по данным механизмов очагов землетрясений и GPS-станций

С. Э. Казымова , И. Э. Казымов 

Национальная Академия Наук Азербайджана, Республиканский Центр
Сейсмологической Службы, Республика Азербайджан, 1001, Баку, ул. Гусейн Джавида,
123, e-mail: sabina.k@mail.ru

Статья поступила: 14.07.2020, доработана: 05.08.2020, одобрена в печать: 07.08.2020

Резюме: Актуальность работы. В статье представлено описание тектонического строения исследуемого региона, а также проанализирована геодинамика Талышского региона по данным механизмов очагов землетрясений. **Целью работы** являлось определить *скорости современных* горизонтальных смещений отдельных тектонических блоков Талышского региона и проанализировать влияние их на сильные землетрясения, произошедшие за 2016 и 2019 гг. **Методы исследования.** На основе метода полярности первых вступлений продольных волн были проанализированы механизмы очагов землетрясений. Анализ показал, что в исследуемом регионе в основном преобладает тип подвижки – взброс и сдвиг. Углы падения для подвижек разных типов превышают 45° , что свидетельствует о достаточно крутом погружении зон разломов. Это согласуется с тем, что в исследуемой зоне большинство поперечных разломов имеет углы падения сместителей $50-90^\circ$, то есть углы, достаточно близкие к вертикали. Основное влияние на сейсмическую активность оказывают Талышский, Предталышский, Ярдymoинский и Астаринские разломы. **Результаты исследования.** На основе полученных результатов была построена схематическая карта ориентации осей сжатия и растяжений исследуемых сильных землетрясений. На основе катакластического анализа механизмов очагов землетрясений с $m_l > 3,0$. Установлено, что большая часть исследуемой территории подвержена сжатию, сдвиги отмечены в районе Лерика и Ярдымлы. Для Талышского региона установлены три основных типа подвижек: взбросы (36%), сдвиги (34%) и сбросы (30%). Анализ скоростей горизонтальных движений по данным GPS-наблюдений показал движение поверхности земной коры в С-СВ направлении относительно Евразии. Отмечено уменьшение скорости в пунктах наблюдений PQLG, XNGG, ZKTG, ATGG, IMLG и GBLG, расположенных перпендикулярно к Главному Кавказкому Надвику. Пункты GPS-наблюдений, расположенные вдоль ГКН, показывают уменьшение скорости в западном направлении. С-СВ движение земной поверхности интерпретируется как одна из причин накопления напряжений на этом надвиге.

Ключевые слова: механизмы очагов землетрясений, горизонтальные движения плит, геодинамика, GPS-станции.

Для цитирования: Казымова С. Э., Казымов И. Э. Геодинамика Талышского региона по данным механизмов очагов землетрясений и GPS-станций. *Геология и геофизика Юга России*. 2020. 10 (3): 40 – 56. DOI: 10.46698/VNC.2020.35.39.003.

GEOPHYSICS

DOI: [10.46698/VNC.2020.35.39.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.35.39.003)

Original paper

Geodynamics of the Talish region according to earthquake source mechanisms and GPS-stations

S. E. Kazimova , I. E. Kazimov 

National Academy of Sciences of Azerbaijan Republican Seismic Survey Center, 123 Guseyn Javid Str., Baku 1001, Azerbaijan, e-mail: sabina.k@mail.ru

Received: 14.07.2020, revised: 05.08.2020, accepted: 07.08.2020

Abstract: Relevance. In addition, the article provides a description of the tectonic structure of the region under study, and also analyzes the geodynamics of the Talish region using data from the mechanisms of earthquake sources. **Aim** of the work was to determine the velocities of modern horizontal displacements of individual tectonic blocks of the Talish region and to analyze their influence on strong earthquakes that occurred in 2016 and 2019. **Methods.** Based on the method of polarity of the first arrivals of longitudinal waves, the mechanisms of earthquake sources were analyzed. The analysis showed that in the studied region the type of movement predominates – reverse faults and strike-slips. The angles of incidence for motions of various types exceed 45°, which indicates a rather steep immersion of fault zones. This is consistent with the fact that in the studied zone the majority of transverse faults have angles of incidence of 50-90°, that is, angles quite close to the vertical. The main influence on seismic activity is exerted by the Talish, Predtalish, Yardimli and Astara faults. **Results.** Based on the results obtained, a schematic map of the orientation of the compression and extension axes of the studied strong earthquakes was constructed. On the basis of a cataclastic analysis of the mechanisms of earthquake sources with $m > 3.0$, it was established that most of the study area is subject to compression, strike-slip faults were noted in the Lerik and Yardimla regions. For the Talish region, three main types of shifts are established: reverse faults (36%), strike-slips (34%) and normal faults (30%). An analysis of horizontal velocities according to GPS observations showed the movement of the surface of the earth's crust in the north-west direction relative to Eurasia. A decrease in speed was noted at the observation points PQLG, XNGG, ZKTG, ATGG, IMLG and GBLG located perpendicular to the Main Caucasian Thrust. GPS observation points located along the Main Caucasian Thrust show a decrease in speed in a westerly direction. C-NE motion of the earth's surface is interpreted as one of the reasons for the accumulation of stresses on this thrust.

Keywords: earthquake source mechanisms, horizontal plate movements, geodynamics, GPS stations.

For citation: Kazimova S. E., Kazimov I. E. Geodynamics of the Talish region according to earthquake source mechanisms and GPS-stations. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2020. 10 (3): 40 – 56. DOI: 10.46698/VNC.2020.35.39.003.

Введение

Данные, полученные по GPS-станциям, на сегодняшний день достигли достаточно хороших показателей точности и являются твердой опорой для современных крупномасштабных геодинамических исследований. Разработанная технология точных GPS-измерений способна фиксировать скорости движений, начинающиеся от первых миллиметров в год, и даже за относительно короткий период времени в несколько лет собрать данные о скоростях и направлениях движения точек на поверхности земли с достаточно малой погрешностью. Таким образом, данные кос-

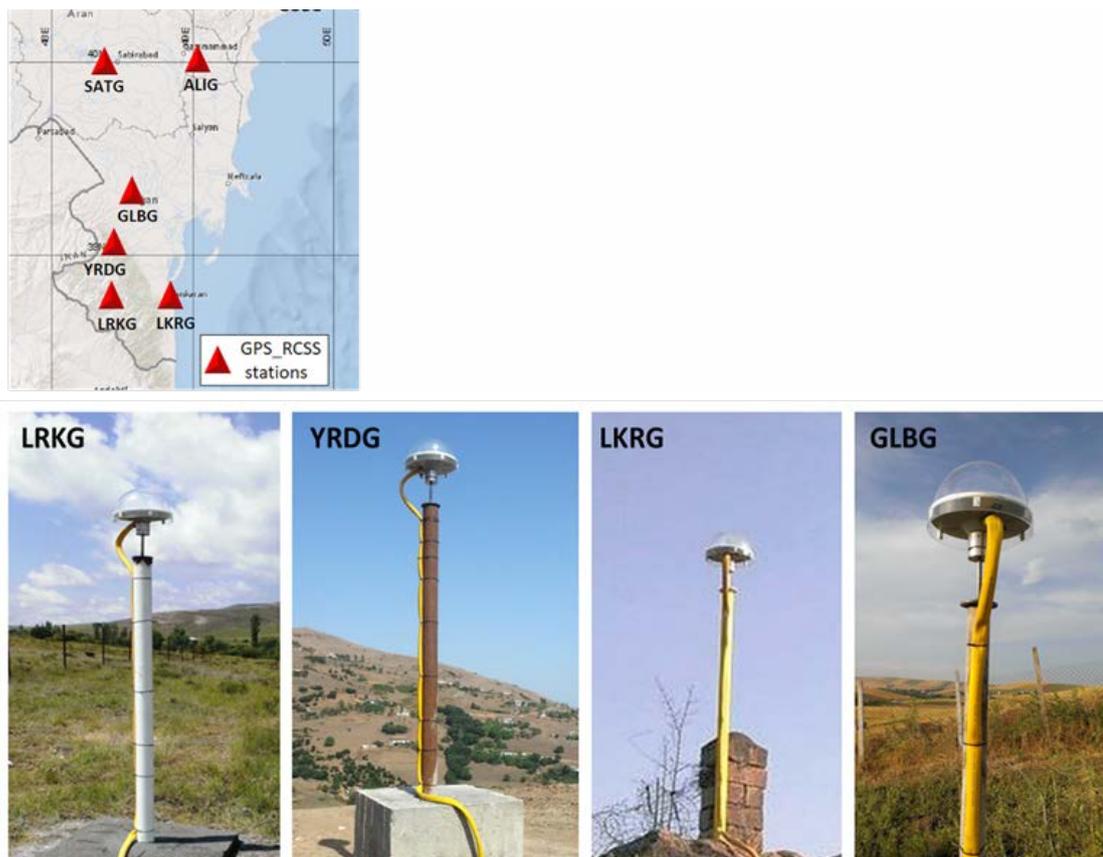


Рис. 1. GPS-станции TrimbleNetR9 и GNSS антенна ZephyrGeodeticModel, расположенные на территории Талышского региона. /
Fig. 1. GPS-stations Trimble NetR9 and GNSS antenna ZephyrGeodeticModel located in the Talysh region.

мической геодезии можно считать наиболее достоверными для исследования блоковой динамики.

В настоящее время по всему миру действует уже достаточно большое количество сетей GPS-измерений, и масштабы использования данной технологии, как хорошо себя зарекомендовавшей, будут с течением времени увеличиваться. В настоящее время на территории Азербайджана функционируют 24 GPS-станции геодезического класса фирмы «Trimble» (США). С целью исследования региона были использованы данные 4-х базовых GPS-станций, расположенных на территории Талышского региона (рис. 1, табл. 1).

Цель работы

Целью наших исследований являлось рассчитать скорости современных горизонтальных смещений отдельных тектонических блоков Талышского региона и проанализировать механизмы очагов землетрясений, произошедших за 2016 и 2019 гг.

Тектоника

Данный район имеет сложное геологическое строение и хорошо подходит для попытки выделения и изучения кинематики однородных блоков. Талышская складчатая мегазона располагается на северном борту Малокавказско-Эльбурской

Таблица 1. / Table 1.

**Основные параметры GPS-станций, расположенных на территории
Талышского региона. / The main parameters of the GPS-station
located in the Talysch region.**

N	Место / Place	GPS- стан- ции / GPS- station	Широта (DMS) / Latitude (DMS)			Долгота (DMS) / Longitude (DMS)			Эллипсои- дальный / Ellipsoidal	Получено / Derived Above
									Высота (м) / Height (m)	Высота геои- да (м) / Geoid Height (m)
1	Джалилабад / Jalilabad	GLBG	39	14	32.97715	48	23	35.70606	132.644	127.658
2	Ленкорань / Lankaran	LKRG	38	42	35.38228	48	46	44.50897	41.85	37.568
3	Лерик / Lerik	LRKG	38	38	35.30915	48	20	26.41819	1583.49	1572.143
4	Ярдымлы / Yardimli	YRDG	38	54	53.46976	48	14	31.74117	908.915	898.921

складчатой системы, отделяясь от структур Малого Кавказа поперечным Нижне-Аразским прогибом. В пределах Азербайджанской Республики мегазона представлена своим северо-восточным крылом, а юго-западная часть входит в состав Гарадагской зоны Северного Ирана, где вулканогенно-осадочные образования палеогена перекрываются мио-плиоценовыми вулканогенными комплексами Саваланского вулкана [Хаин и др., 2005].

В тектоническом отношении Талышский хребет представляет крупный антиклинорий первого порядка, состоящий из Астаринской, Лерик-Ярдымлинской, Буроварской, Джалилабадской и Южно-Муганской складок. Названные крупные структурные единицы имеют в свою очередь сложное блоковое строение, обусловленное развитием системы разноориентированных разрывных дислокаций. Талышской складчатой области свойственны системы субпараллельных разломов глубокого заложения между отдельными продольными блоками общекавказского простираения. Поперечные разломы ориентированы вкрест простираения основных структурных элементов Талыша и определяют в сочетании с продольными разломами их блоково-глыбовое строение (рис. 2) [Хаин и др., 2005].

Территория Азербайджана располагается в зоне активного столкновения (коллизии) двух плит, Аравийской и Евразийской. Реконструкция тектоники плит указывает на то, что коллизия Аравийской плиты с Евразийской продолжается 10-30 млн лет, вплоть до современного этапа. Одним из важнейших следствий столкновения Аравийской плиты с расколотой на микроплиты южной окраиной Евразии явилось мощное проявление наземного вулканизма, создавшего лавовые поля щелочных базальтоидов и крупные стратовулканы известково-щелочной магмы не только в восточной Анатолии, но и в центральной и южной частях Малого Кавказа в южной Грузии, Армении, юго-западном Азербайджане, а также Иранском Азербайджане. Вулканы эти возвышаются над лавовыми плоскогорьями, лежащими на уровне

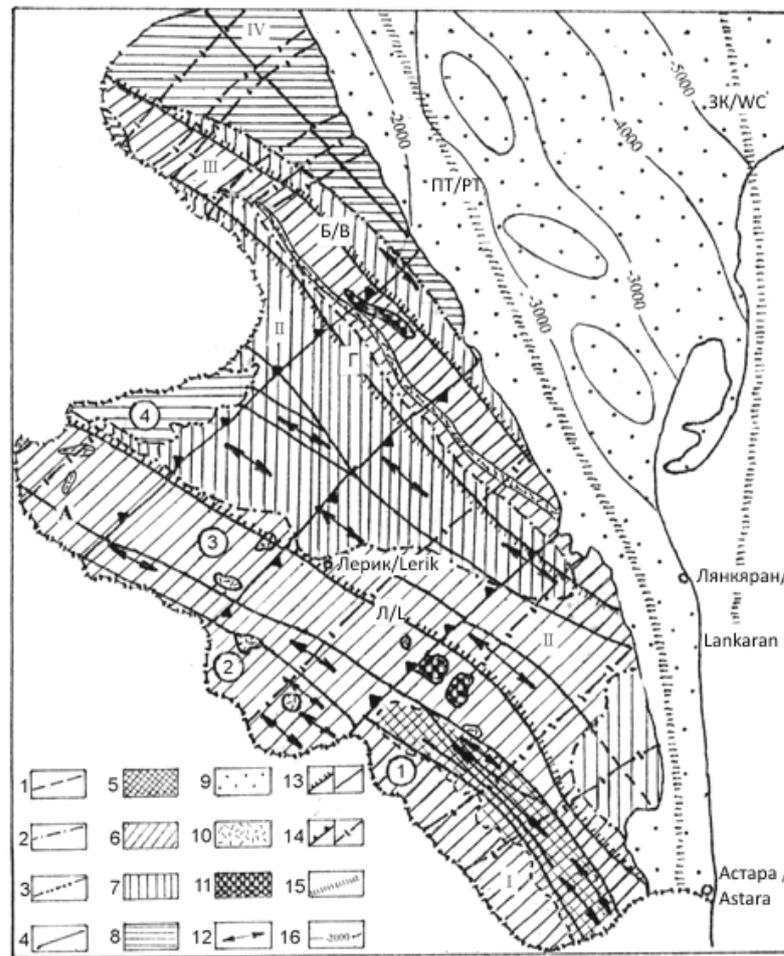


Рис. 2. Тектоническая схема Талыша. (Составил А. Д. Исмаил-заде) [Хаин и др., 2005].

1-4 – границы структурных этажей по подошве: 1 – эоцена; 2 – раннего олигоцена; 3 – среднего миоцена; 4 – квартера; 5-9 – формации и субформации: 5 – осадочно-туфогенная верхнего мела-палеоцена; 6 – вулканогенная (щелочная базальтоидная) эоцена; 7 – морская молассовая олигоцена-раннего миоцена; 8 – лагунно-морская среднего миоцена; 9 – континентально-морская четвертая; 10 – субвулканические тела; 11 – щелочные ультраосновные интрузивы; 12 – антиклинальные складки; 13-15 – разрывные нарушения: 13 – продольные разломы (надвиги, взбросы) первого (а) и второго (б) порядков (в т. ч. А – Астаринский, L – Лярикский, Г – Гафтонинский, Б – Буроварский); 14 – поперечные разломы первого (а) и второго (б) порядков; 15 – глубинные разломы по геофизическим данным (ПТ – Предталышский, ЗК – Западно-Каспийский); 16 – изолинии по поверхности верхнего мела. Структурные зоны: I – Астаринская; II – Лярик-Ярдымлинская; III – Буроварская; IV – Джалилабадская; V – Муганская. Поперечные блоки (цифры в кружках): 1 – Гамаратский (горст); 2 – Космальянский (грабен); 3 – Масаллинский (горст); 4 – Дыманский (грабен). /

Fig. 2. Tectonic scheme of Talysh. (Compiled by A. D. Ismail-zade) [Khain et al., 2005]. 1-4 – boundaries of structural floors along the base: 1 – Eocene; 2 – Early Oligocene; 3 – Middle Miocene; 4 – quarters; 5-9-formations and subformations: 5 – sedimentary-tuffaceous of the Upper Cretaceous-Paleocene; 6 – volcanic (alkaline basaltoid) Eocene; 7 – marine molasse of the Oligocene-Early Miocene; 8 – lagoon-marine Middle Miocene; 9 – continental-sea quarter; 10 – subvolcanic bodies; 11 – alkaline ultrabasic intrusions; 12 – anticlinal folds; 13-15 – fractures: 13 – longitudinal faults (thrusts, reverse faults) of the first (a) and second (b) orders (including A – Astara, L-Lyarik, G – Gafton, B – Burovar); 14 transverse faults of the first (a) and second (b) orders; 15 – deep faults according to geophysical data (PT – Predtalysh, WC – West Caspian); 16 – isolines along the surface of the Upper Cretaceous. Structural zones: I – Astara; II-Lyarik-Yardimlin; III – Burovar; IV – Jalilabad; V – Mugan. Transverse blocks (numbers in circles): 1 – Gamarat (horst); 2 – Cosmalian (graben); 3 – Masalli (horst); 4 – Dyman (graben).

1,5-2,5 км, и достигают четырехкилометровой отметки (Нимруд, Арарат, Арагац, Савалан, Сахенд и др.) [Кадыров и др., 2015; Mahmoud S. et al., 2005; Mahmoud Y. Et al., 2005].

Таким образом, современный и новейший структурный план Анатолийско-Кавказского сегмента Альпийского складчатого пояса сформировался в результате закрытия бассейнов с корой океанического типа, принадлежавших мезозойскому океану Тетис в условиях конвергенции Африкано-Аравийской и Евразийской литосферных плит в связи с открытием Атлантики. В настоящее время он определяется взаимодействием трех главных литосферных плит: Евразийской, Африканской и Аравийской, происходящим в условиях заключительной, «жесткой» стадии коллизии. Все массивы с корой континентального типа и разделявшие их подвижные зоны, испытав складчатость, надвиго- и покровообразование, к этому времени уже были спаяны в единое целое. На этой стадии земная кора или, по крайней мере, ее верхняя часть реагирует на сжатие уже как единое хрупкое целое с формированием современной сети разрывных нарушений разной ориентировки и характера. Вдоль последних и реализуется основная часть деформаций территории Азербайджана, вызванных конвергенцией плит [Masson et al., 2007; McClusky et al., 2000, 2003].

Методы исследования

Геодинамика Талышского региона по данным механизмов очагов землетрясений.

Механизмы очагов землетрясений, наряду с геодезическими и другими данными служат источником информации о напряженно-деформированном состоянии земной коры. Задачи оценки тектонического режима и скорости деформирования особенно актуальны для внутриплитных областей, характеризующихся высоким уровнем сейсмичности. Данный регион исследования является одной из таких областей, на территории которого известны землетрясения с $M=6,0$.

Данные о решениях механизма очагов землетрясений были получены при использовании метода полярности первых вступлений продольных волн. Данный метод широко применялся для умеренной силы землетрясений по всей территории Азербайджана, что обусловлено более плотным покрытием этого региона сейсмостанциями.

Известно, что поле напряжений Талышского региона характеризуется СВ близгоризонтальным сжатием. Однако учитывая тот факт, что на данном регионе происходят не только сильные, но и слабые землетрясения, было принято решение рассмотреть механизмы очага более сильных и относительно слабых землетрясений в отдельности.

В ходе исследования рассматривался каталог локальных землетрясений, зарегистрированных сетью телеметрических станций за 2016-2019 гг., взятый в «Бюро исследований землетрясений» РЦСС при НАНА. Таким образом, на основе выше сказанного были построены и проанализированы механизмы очагов землетрясений, произошедших с магнитудой выше 3,0 и установлены характерные особенности сеймотектонической деформации в отдельных сейсмогенных зонах Талышского региона (рис. 3). Сопоставление данных механизмов очага с тектонической картой показало, что основное влияние на сейсмическую активность оказывают Талышский, Предталышский, Ярдымоинский и Астаринские разломы.

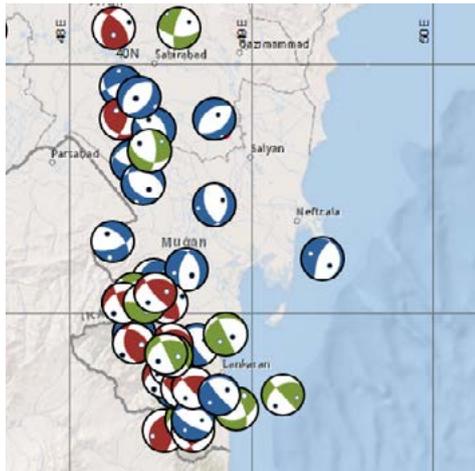


Рис. 3. Механизмы очагов землетрясений произошедших в Талышском регионе в 2016-2019 гг. с магнитудой выше $m_l > 3,0$. / Fig. 3. Focal mechanisms of earthquakes that occurred in the Talysh region in 2016-2019. with a magnitude above $m_l > 3.0$.

Было установлено, что почти у 50% толчков осей растяжения и осей сжатия отклонения в PL не превышают 30° . У оставшейся части землетрясений отклонения в PL осей растяжения превышают отклонение осей сжатия до 20° . Данное свидетельствует о том, что в исследуемом регионе в основном преобладает тип подвижки – взброс и сдвиг. Углы падения для подвижек разных типов превышают 45° , что свидетельствует о достаточно крутом погружении зон разломов. Это согласуется с тем, что в исследуемой зоне большинство поперечных разломов имеет углы падения сместителей $50-90^\circ$, то есть углы, достаточно близкие к вертикали. Анализ углов погружения SLIP показал, что для первой нодальной плоскости 60% меняется в положительную и 40% в отрицательную сторону. Для второй нодальной плоскости равное количество очагов меняется в двух пределах $\pm 100^\circ - 180^\circ$ и $\pm 10^\circ - 60^\circ$. Вариации углов погружения осей главных напряжений в совокупности со значительными стандартными отклонениями свидетельствуют о существенной пространственной неоднородности литосферы.

Нужно отметить, что разломы Талышских гор имеют в плане форму Z-образного пучка, в центре которого разломы сближены и простираются почти меридионально вдоль Каспийского побережья, а на севере и юге отклоняются на северо-запад и юго-восток, постепенно удаляясь один от другого. На севере разломы пучка образуют фронт дуги и сопрягаются с Араксской зоной, а на юге сочленяются с активными разломами Западного Эльбруса [Reilinger et al., 2016]. Вдоль разломов Талыша выявлены в основном молодые взбросовые и надвиговые смещения, с право-сдвиговой компонентой. Как правило, подняты западные крылья.

На основе полученных результатов была построена схематическая карта ориентации осей сжатия и растяжения исследуемых сильных землетрясений. Анализ показал, что ориентация осей растяжения в основном доминирует в ЗСЗ-ВЮВ и ЮЗ-СВ направлении, однако для осей сжатия выявляется ориентация в ЮЮЗ-ССВ направлении (57%) и в ЗСЗ-ВЮВ направлении (43%).

Установлено, что большая часть исследуемой территории подвержена сжатию, сдвиги отмечены в районе Лерика и Ярдымлы. Для Талышского региона установлены три основных типа подвижек: Взбросы (36%), сдвиги (34%) и сбросы (30%). Анализ осей сжатия более сильных землетрясений показал преобладание северо-восточной ориентации, а более слабых СВ-ЮЗ ориентацию. Правосторонняя сдвиговая подвижка приурочена к зоне Западно-Каспийского разлома. Видно, что поле

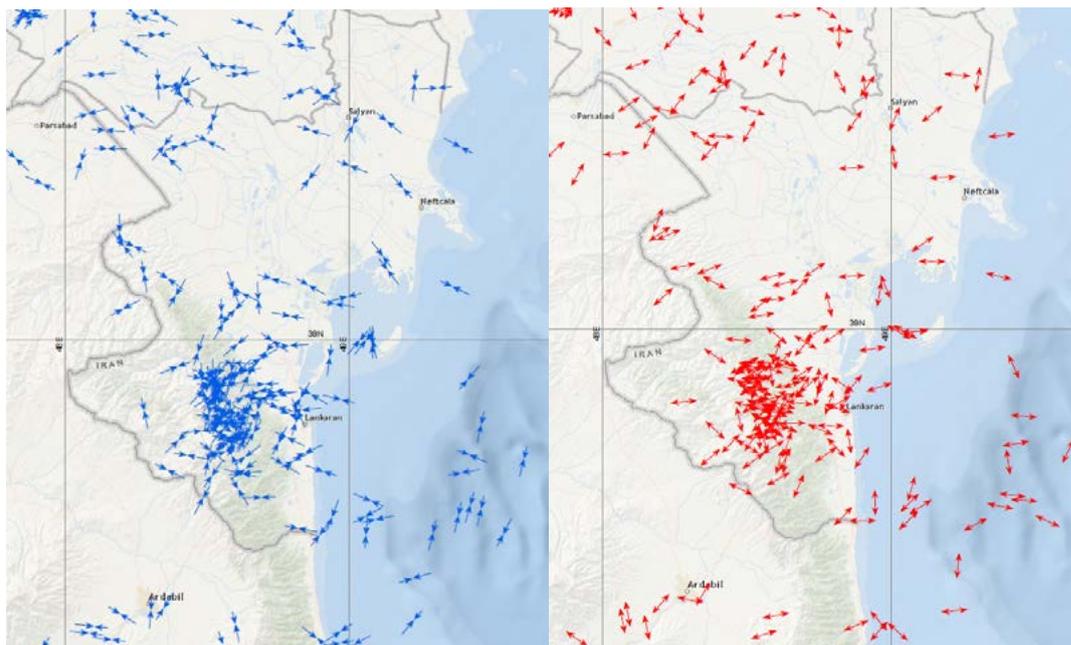


Рис. 4. Схема распределения осей сжатия и растяжения механизмов очагов землетрясений Талышского региона на глубине 0–10 км. /

Fig. 4. The distribution diagram of the compression and extension axes of the focal mechanisms of earthquake in the Talysh region at a depth of 0–10 km.

напряжений представляет собой сложную картину – то прорисовываются сдвиговые подвижки, то наблюдается преобладание взбросов взбросо-надвигов. Преобладающим направлением для азимутов осей сжатия фокальных механизмов является северо-северо-восточное направление, а для осей растяжения – восток-юго-восток, а также юго-запад (рис. 4).

Нужно отметить, что совпадение углов падения DP , модулей $SLIP$ и азимутов простираения STK взбросов и сдвигов не исключает возможности подвижек таких типов по плоскостям одних разломов. Все землетрясения находятся в схожих сейсмотектонических условиях. В геологическом строении этих зон принимают участие структурные элементы Астаринского антиклинория, Ярдымлинского синклинория, Буроварского антиклинория, Астраханбазарского синклинория.

Эти структуры общекавказского направления отделены друг от друга глубинными субширотными разломами [Шихалибейли, 1996]. Результаты анализа распределений очагов сильных землетрясений позволили сделать вывод о том, что на территории Талышского региона все сильные землетрясения ($M \geq 5,0$) приурочены к зоне поверхности кристаллического фундамента.

По данным ориентации главных осей напряжений, на основе метода катакластического анализа, мы рассчитали коэффициент Лоде-Надаи и определили тип напряженного состояния (геодинамический режим) (рис. 5).

Обобщение данных о механизмах очагов разномасштабных землетрясений, оценка сейсмотектонического деформирования земной коры и детальное изучение пространственно-временных вариаций напряженно-деформированного состояния среды позволяют, в совокупности с методами геолого-геофизического мониторинга выяснить современный режим геодинамического развития земной коры и литосферы региона [Rebetsky, 2012].

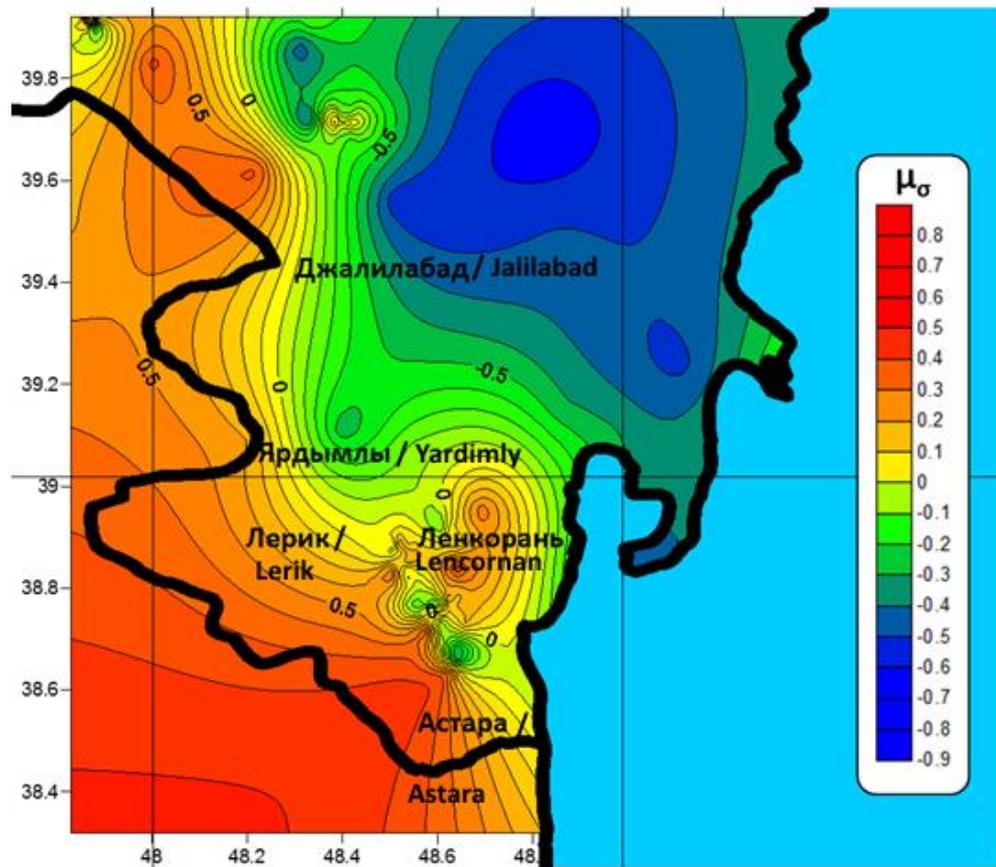


Рис. 5. Карта распределения коэффициента Лодэ-Надаи в пространстве на территории Талышского региона. /

Fig. 5. Map of the distribution of the Lode-Nadai coefficient in space on the territory of the Talysh region.

В данной статье рассматриваются и анализируются особенности реконструкции ориентации главных осей напряжений, а также параметры, определяющие тип напряженного состояния (геодинамический режим), коэффициент Лодэ-Надаи. Коэффициент Лодэ-Надаи (μ_{σ}), определяющий вид тензора напряжений или вид его эллипсоида (изменяется от -1 до $+1$), тип напряженного состояния показывает взаимосвязь между направлением вектора на зенит и ориентацией главных осей напряжений [Rebetsky, 2012]. Значения коэффициента Лодэ – Надаи изменяющиеся в пределах от $-0,2$ до $0,2$, рассчитанные для центральной части Талышского района, соответствуют тензору напряжений чистого сдвига, отражая геодинамическую обстановку Астара-Дербендского разлома. Юго-западная часть Талышского района характеризуется значениями коэффициента Лодэ – Надаи $+0,4$ - ($+0,8$), что соответствует зоне сжатия. Данный вывод подтверждается и данными GPS-измерений скоростей горизонтальных движений, согласно которым Талыш в горизонтальном движении как единая плита смещается по вязкой астеносфере в направлении с юга на север под воздействием северного дрейфа Аравийской плиты. Северо-восточная часть исследуемого региона отражает геодинамическую обстановку Нижнекуринской впадины и характеризуется зоной растяжения.

Таблица 2. / Table 2.

**AUSPOS, Австралия (интернет-служба GPS-обработки). /
AUSPOS, Australia (online GPS-Processing Service).**

Дата / Date	Используемая станция RCSS / Used station RCSS	Базовые станции IGS / Base stations	Тип Системы / System type
2013/05/1500:00:00	GLBG LKRГ LRKG YRDG	ANKR ARTU BUCU CRAO DRAG GLSV ISTA MDVJ NICO POL2 POLV SOFI TEHN YIBL	IGS

Результаты исследований

Анализ данных GPS-станций

Анализ данных GPS станций был проведен с использованием программного обеспечения GAMIT/GLOBK версия 10.71 [Herring et al., 2018]. В основу оценки скоростей положен анализ временных рядов координат GPS станций, вычисляемых из первичных данных, которые представляют собой наборы фазовых и кодовых измерений на двух частотах продолжительностью 24 часа с интервалом регистрации 15 с. Для оценки скоростей определяемых станций необходимо наличие в сети хотя бы одного опорного пункта, а желательно нескольких [Казымов, 2015; Казымов и др., 2017; Kazimov, Kazimova, 2019]. Мы включили в этот анализ 11 близко-

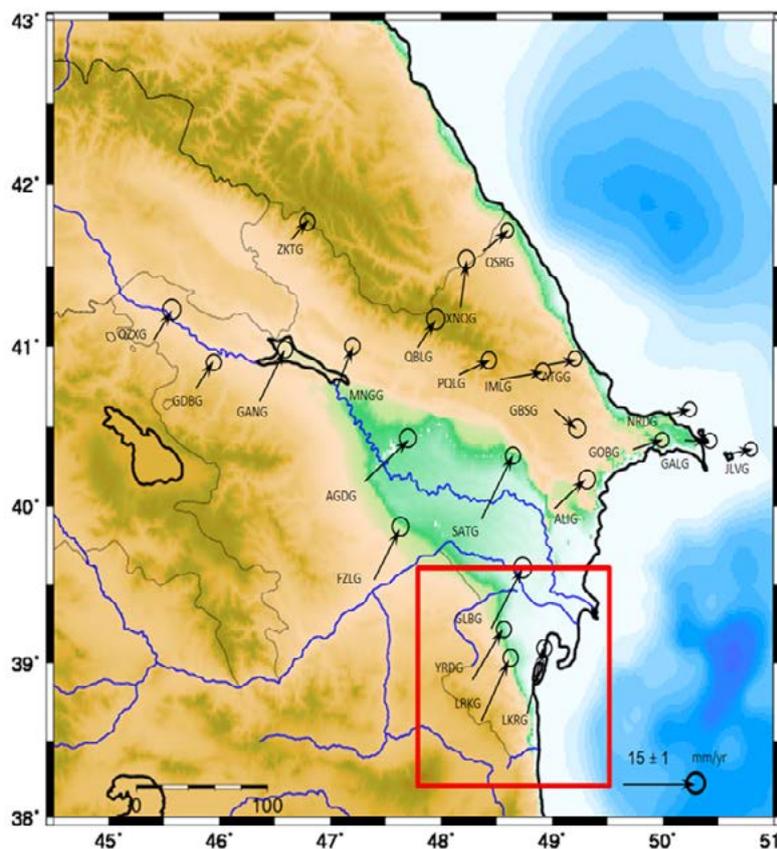


Рис. 6. Осредненная карта распределения векторов горизонтальных движений GPS-станций за 2016-2019 гг. /
Fig. 6. Averaged map of the distribution of horizontal movement vectors of GPS stations for 2016-2019.

расположенных опорных станций сети IGS: ARTU (Арти, Россия), CRAO (Симеиз, Украина), ТЕНН (Тегеран, Иран) POLV (Полтава, Украина), MDVJ (Менделеево, Россия) ANKR (Анкара, Турция) NICO (Никосия, Кипр) DRAG) POL2 (Бишкек, Кыргызстан) YIBL (Ибал, Оман) BZGN (Базерган, Иран) [AUSPOS – Online GPS Processing Service¹.] с позициями и скоростями, как связующие звенья с глобальной системой отсчета (табл. 2).

Выбранные опорные станции с указанной кодировкой входят в реализацию международной земной отсчетной основы ITRF2008.

Таблица 3. / Table 3.

Основные значения, полученные по данным GPS наблюдений на станциях Лерик, Лянкяран, Джалилабад и Ярдымлы за период 2016-2019 гг. / Basic value obtained from GPS observations at Lerik, Lankaran, Jalilabad and Yardimly stations for the period 2016-2019.

GPS	Год (гг) / Year	VE, мм/г / VE, mm/g	VN, мм/г / VN, mm/g	E±, мм/г / E±, mm/g	N±, мм/г / N±, mm/g	RHO	Н высота, мм/г / Hheight, mm/g	±	AZM°	Vскор., мм/г / Vspeed, mm/g
L K R G	2016	7,14	10,92	0,38	0,39	-0,02	-3,91	1,16	33,2	13,0
	2017	7,16	13,01	0,63	0,65	-0,036	12,77	2,03	28,8	14,9
	2018	5,79	9,83	0,15	0,16	-0,018	-2,03	0,48	34,5	11,4
	2019	4,15	13,23	0,68	0,7	-0,031	21,17	2,31	17	13,9
	2016-2019	5,79	10,83	0,15	0,16	-0,018	-2,03	0,48	20,1	12,2
L R K G	2016	8,82	12,96	0,44	0,46	-0,02	-2,11	1,49	34,2	15,7
	2017	6,09	14	0,67	0,7	-0,042	1,88	2,29	23,5	15,3
	2018	7,1	11,12	0,48	0,55	0,084	8,29	1,57	36,1	13,2
	2019	6,16	13,36	0,71	0,73	-0,035	12,98	2,49	25	14,7
	2015-2019	5,58	12,42	0,06	0,07	0,044	-3,1	0,2	24,5	13,6
Y R D G	2016	7,41	9,61	0,41	0,44	-0,05	2,17	1,40	37,6	12,1
	2017	5,74	11,66	0,68	0,73	-0,067	5,05	2,4	26,2	13,0
	2018	5,11	11,08	0,16	0,18	0,049	-0,46	0,57	24,8	12,2
	2019	7,18	11,49	0,73	0,77	-0,053	9,26	2,64	32	13,5
	2016-2019	3,6	11,85	0,06	0,07	0,02	-2,05	0,21	16,9	12,4
G L B G	2016	6,67	10,11	0,52	0,35	-0,02	-2,46	1,42	32,2	12,3
	2017	9,07	17,36	0,76	0,82	-0,047	0,63	2,7	29,1	19,8
	2018	5,53	8,72	0,47	0,52	-0,022	-10,86	1,83	30,4	10,3
	2019	-1,97	5,01	0,86	0,92	-0,031	17,93	3,18	21	10,2
	2016-2019	3,98	11,79	0,47	0,52	-0,022	-12,86	1,83	29,1	11,3

¹ AUSPOS – Online GPS Processing Service. <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>

На рисунке 6 показана осредненная карта распределения векторов горизонтальных движений за 2016-2019 гг. Стрелки на рисунке показывают направление векторов скорости, а значения скоростей характеризуются длиной стрелок согласно масштабу, который приведен в нижнем правом углу карты. Цифровые значения полученных результатов показаны в таблице 3.

В таблице 3 представлена совокупность станций GPS-наблюдений, каждой из которых соответствует собственное название в виде аббревиатуры, широта и долгота ее расположения, измеренные локальные северные и восточные компоненты скорости, а также их погрешности. Информация о вертикальных компонентах движений не является важной при проведении данного анализа и в массиве исходных данных отсутствует.

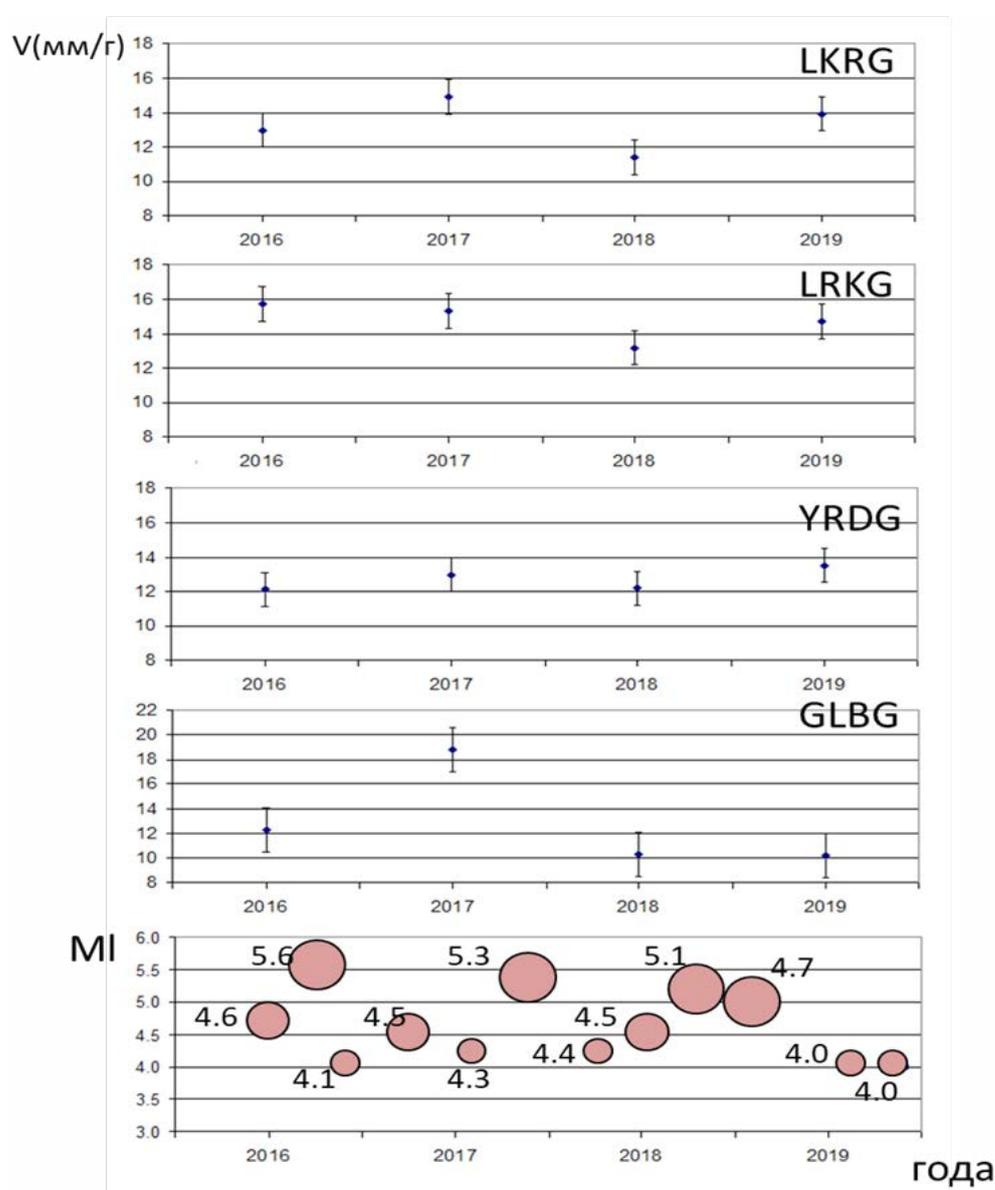


Рис. 7. Динамика изменения значения среднегодовых значений скоростей горизонтальных движений по 4-ом GPS-станциям. /

Fig. 7. Changes dynamics in the value of the average annual values of the horizontal movement speeds using 4 GPS-stations.

Поле скорости GPS-наблюдений четко иллюстрирует движение поверхности земной коры в С-СВ направлении на территории Азербайджана относительно Евразии. Самая явно проявленная особенность скоростного поля – уменьшение скорости в пунктах наблюдений, расположенных перпендикулярно к Главному Кавказскому Надвику (ГКН) (то есть на станциях PQLG, XNGG, ZKTG, ATGG, IMLG и GBLG). Пункты GPS-наблюдений, расположенные вдоль ГКН, показывают уменьшение скорости в западном направлении. С-СВ движение земной поверхности интерпретируется как одна из причин накопления напряжений на этом надвиге. Кроме того, здесь имеется тенденция горизонтального движения в пределах Куринской депрессии и Малого Кавказа, где увеличивается скорость с запада на восток вдоль простираения горной цепи.

На рисунке 7 показана динамика изменения значения среднегодовых значений скоростей горизонтальных движений для каждой рассматриваемой станции.

Обнаруженное увеличение скоростей с 2016 по 2017 гг., а затем уменьшение скорости в 2018 г. на станциях Лерик, Лянкяран, Джалилабад и Ярдымлы является наиболее существенной особенностью скоростного поля в регионе исследования. Анализ сейсмичности данного региона показал, что на протяжении данного периода, исследуемый регион характеризовался повышенной сейсмичностью. За данный период произошло три сильных ощутимых землетрясения с магнитудой $m_l > 5,0$. Отметим, что максимальное воздействие на сейсмичность данного региона оказывает Центрально-Иранский блок, протягивающийся от зоны, расположенной между Северно-Табризским разломом (на схеме NTF) и западной частью главной системы разломов Загроса (MRF), до Найбандского разлома на юго-востоке (на схеме Nay). Это хорошо соотносится с результатами, полученными путем сейсмологических

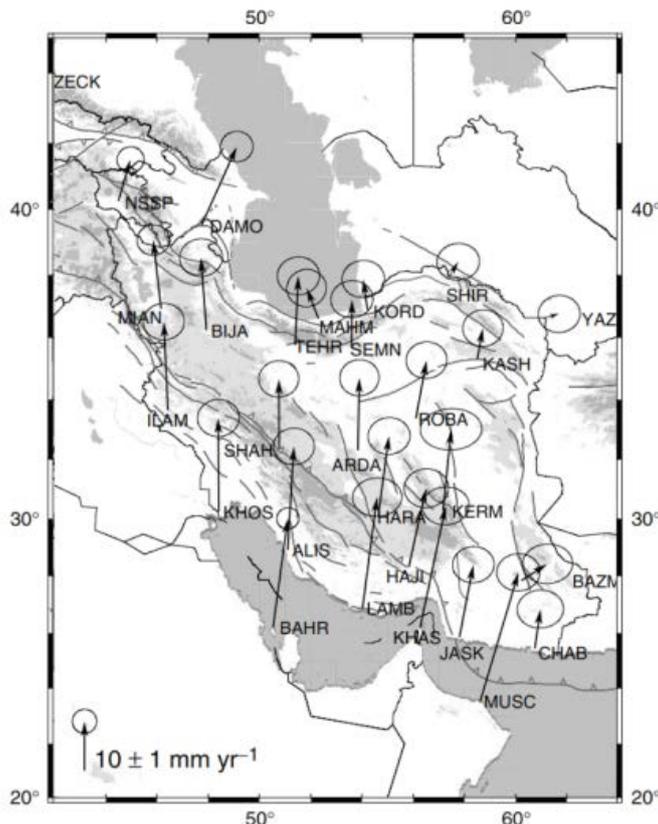


Рис. 8. Скорости горизонтальных GPS движений по данным Ф. Вернанта за 1999-2001 годы [Vernant et al., 2004]. /

Fig. 8. Velocities of horizontal GPS movements according to F. Vernant data for 1999-2001 [Vernant et al., 2004].

наблюдений Джексона и Маккензи [McKenzie, 1970, 1972, 1978; Reilinger et al., 1997, 2006], которые в своей работе использовал [Vernant et al., 2004]. Ф. Вернант опубликовал в своей работе данные по сети из 27 GPS-станций, которая была расположена в Иране и северном Омане (рис. 8). Ее целью служило обнаружение подвижек данной части Альпийско-Гималайского горного пояса. Измерения производились с сентября 1999 года до октября 2001 года.

Выводы

Исследуемый регион располагается в зоне активного столкновения (коллизии) двух плит, Аравийской и Евразийской, продолжающегося 10-30 млн. лет, вплоть до современного этапа, причиной которого явилось мощное проявление наземного вулканизма, создавшего лавовые поля щелочных базальтоидов и крупные стратовулканы известково-щелочной магмы не только в восточной Анатолии, но и в центральной и южной частях Малого Кавказа в южной Грузии, а также Иранском Азербайджане.

Были построены и проанализированы механизмы очагов землетрясений, произошедших на территории Талышского района за 2016-2019 гг. с магнитудой выше 3,0 и установлено, что почти у 50% толчков осей растяжения и осей сжатия отклонения в PL не превышают 30° . У оставшейся части землетрясений отклонения в PL осей растяжения превышают отклонение осей сжатия до 20° .

Вариации углов погружения осей главных напряжений в совокупности со значительными стандартными отклонениями свидетельствуют о существенной пространственной неоднородности литосферы. Сопоставление данных механизмов очага с тектонической картой показал, что основное влияние на сейсмическую активность оказывают Талышский, Предталышский, Ярдymoинский и Астаринские разломы.

Установлено, что ориентация осей растяжения в основном доминирует в ЗСЗ-ВЮВ и ЮЗ-СВ направлении, однако для осей сжатия выявляется ориентация в ЮЮЗ-ССВ направлении (57%) и в ЗСЗ-ВЮВ направлении (43%). Большая часть исследуемой территории подвержена сжатию, сдвиги отмечены в районе Лерика и Ярдымлы. Для Талышского региона установлены три основных типа подвижек: взбросы (36%), сдвиги (34%) и сбросы (30%). Анализ осей сжатия более сильных землетрясений показал преобладание северо-восточной ориентации, а более слабых СВ-ЮЗ ориентацию. Правосторонняя сдвиговая подвижка приурочена к зоне Западно-Каспийского разлома.

Анализ поля скорости GPS-наблюдений показал С-СВ направлении на территории Азербайджана относительно Евразии. Наблюдается уменьшение скорости в пунктах наблюдений, расположенных перпендикулярно к Главному Кавказскому Надвику (ГКН) (то есть на станциях PQLG, XNGG, ZKTG, ATGG, IMLG и GBLG). Кроме того, имеется тенденция горизонтального движения в пределах Куринской депрессии и Малого Кавказа, где увеличивается скорость с запада на восток вдоль простирания горной цепи.

Установлено увеличение скоростей с 2016 по 2017 гг., а затем уменьшение скорости в 2018 г. на станциях Лерик, Лянкяран, Джалилабад и Ярдымлы. Анализ сейсмичности данного региона показал, что на протяжении данного периода, произошло три сильных ощутимых землетрясения с магнитудой $m_l > 5,0$.

Литература

1. Кадыров Ф. А., Мамедов С. К., Сафаров Р. Т. Исследование современной геодинамической ситуации и опасности землетрясений деформации земной коры территории Азербайджана по 5-тилетним GPS-данным. // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных*. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 156-162.
2. Казымов И. Э. Геодинамика Абшеронского полуострова. // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных*. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 163-166.
3. Казымов И. Э., Рахимли З. С., Юзбашиева С. С. Общие принципы обработки спутниковых измерений сети GPS-станций Азербайджана. // *Геология и Геофизика Юга России*. – 2017. – № 1. – С. 100-114.
4. Хаин В. Е., Ализаде Ак. А. Геология Азербайджана. // Том IV. Тектоника. – Баку: Изд-во Nafta-Press, 2005. – С. 214-234.
5. Шихалибейли Э. Ш. Некоторые проблемные вопросы геологического строения и тектоники Азербайджана. – Баку: Элм, 1996. – 215 с.
6. Herring T. A., King R. W., Floyd M. A., McClusky S. C. GAMIT. Reference Manual Reference Manual GPS Analysis at MIT Release 10.7. // Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. – 2008. http://geoweb.mit.edu/gg/GAMIT_Ref.pdf
7. Kazimov I. E., Kazimova A. F. Modern geodynamics of Azerbaijan on GPS station data for 2017-2018 years. // *Seismoprognoisobservations in the territory of Azerbaijan*. – 2019. – Vol. 16. No. 1. – pp. 35-42.
8. Mahmoud S., Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Tealeb A. GPS evidence for northward motion of the Sinai Block: implications for E. Mediterranean tectonics. // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 2005. – Vol. 238. – pp. 217-224.
9. Mahmoud Y., Masson F., Meghraoui M., Cakir Z., Alchalbi A., Yavasoglu H., Yonlu O., Daoud M., Ergintav S., Inan S. Kinematic study at the junction of the East Anatolian fault and the Dead Sea fault from GPS measurements. // *J. Geodyn.* – 2013. – Vol. 67. – pp. 30-39.
10. Masson F., Anvari M., Djamour Y., Walpersdorf A., Tavakoli F., Daignières M., Nankali H., Van Gorp S. Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: new insight for the present-day deformation pattern within NE Iran. *Geophys. // J. Int.* – 2007. Vol. 170. – pp. 436-440.
11. McClusky S., Balassanian S., Barka A., et al. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. // *J. Geophys. Res. Solid Earth*. – 2000. – Vol. 105. – pp. 5695-5719.
12. McClusky S., Reilinger R., Mahmoud S., Ben Sari D., Tealeb, A. GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophys. // J. Int.* – 2003. – Vol. 155. – pp. 126-138.
13. McKenzie D. P. Plate tectonics of the Mediterranean region. // *Nature*. – 1970. – Vol. 226. – pp. 239-243.
14. McKenzie D. Active tectonics of the Mediterranean region. // *Geophys. J. Int.* – 1972. – Vol. 30. – pp. 109-185.
15. McKenzie D. Active tectonics of the Alpine – Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. // *Geophys. J. Int.* – 1978. – Vol. 55. – pp. 217-254.
16. Reilinger R. E., McClusky S. C., Oral M. B., King R. W., Toksoz M. N., Barka A. A., Kinik I., Lenk O., Sanli I. Global Positioning System measurements of presentday crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. // *J. Geophys. Res. Solid Earth*. – 1997. – Vol. 102. – pp. 9983-9999.
17. Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K., Ar-Rajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitrotsa A., Filikov S. V., Gomez F., Al-Ghazzi R., GebranKaram. GPS constraints on continental deformation in the

Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. // *J. Geophys. Res.* – 2006. – Vol. 111. Is. B05411.

18. Rebetsky Yu.L., Kuchai O.A., Sycheva C., Tatevossian R. Development of inversion methods on fault slip data. Stress state on in orogenes of the Central Asia. // *Tectonophysics.* – 2012. – 18 p. [http://dx. doi. org/10.1016/j. tecto. 2012.09.027](http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.09.027).

19. Vernant Ph. et al. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. // *Geophysical Journal International.* – 2004. – Vol. 157. – pp. 381-398.

References

1. Kadyrov F.A., Mamedov S.K., Safarov R.T. The study of the current geodynamic situation and the danger of earthquakes deformation of the earth's crust in Azerbaijan using 5-year GPS data. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Obninsk, GS RAS, 2015. pp. 156-162. (In Russ.)

2. Kazymov I.E. Geodynamics of the Absheron Peninsula. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Obninsk, GS RAS, 2015. pp. 163-166. (In Russ.)

3. Kazymov I.E., Rakhimli Z.S., Yuzbashieva S.S. General principles of processing satellite measurements of the network of GPS stations in Azerbaijan. *Geology and Geophysics of Russian South.* 2017. No. 1. pp. 100-114. (In Russ.)

4. Khain V.E., Alizadeh Ak.A. *Geology of Azerbaijan. Volume IV. Tectonics.* Baku, Publishing house Nafta-Press. 2005. pp. 214-234. (In Russ.)

5. Shikhalibeyli E. Sh. Some problematic issues of the geological structure and tectonics of Azerbaijan. Baku, Elm. 1996. 215 p.

6. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. GAMIT. Reference Manual Reference Manual GPS Analysis at MIT Release 10.7. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. 2008. [http://geoweb. mit. edu/gg/ GAMIT_ Ref. pdf](http://geoweb.mit.edu/gg/GAMIT_Ref.pdf)

7. Kazimov I.E., Kazimova A.F. Modern geodynamics of Azerbaijan on GPS station data for 2017-2018 years. Seismoprognois observations in the territory of Azerbaijan. 2019. Vol. 16. No. 1. pp. 35-42.

8. Mahmoud S., Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Tealeb A. GPS evidence for northward motion of the Sinai Block: implications for E. Mediterranean tectonics. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2005. Vol. 238. pp. 217-224.

9. Mahmoud Y., Masson F., Meghraoui M., Cakir Z., Alchalbi A., Yavasoglu H., Yonlu O., Daoud M., Ergintav S., Inan S. Kinematic study at the junction of the East Anatolian fault and the Dead Sea fault from GPS measurements. *J. Geodyn.* 2013. Vol. 67. pp. 30-39.

10. Masson F., Anvari M., Djamour Y., Walpersdorf A., Tavakoli F., Daignières M., Nankali H., Van Gorp S. Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: new insight for the present-day deformation pattern within NE Iran. *Geophys. J. Int.* 2007. Vol. 170. pp. 436-440.

11. McClusky S., Balassanian S., Barka A. et al. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *J. Geophys. Res. Solid Earth.* 2000. Vol. 105. pp. 5695-5719.

12. McClusky S., Reilinger R., Mahmoud S., Ben Sari D., Tealeb, A. GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophys. J. Int.* 2003. Vol. 155. pp. 126-138.

13. McKenzie D.P. Plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature.* 1970. Vol. 226. pp. 239-243.

14. McKenzie D. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. Int.* 1972. Vol. 30. pp. 109-185.

15. McKenzie D. Active tectonics of the Alpine – Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J. Int.* 1978. Vol. 55. pp. 217-254.

16. Reilinger R. E., McClusky S. C., Oral M. B., King R. W., Toksoz M. N., Barka A. A., Kinik I., Lenk O., Sanli I. Global Positioning System measurements of presentday crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. *J. Geophys. Res. Solid Earth*. 1997. Vol. 102. pp. 9983-9999.

17. Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K., Ar-Rajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitrotsa A., Filikov S. V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Gebran Karam. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.* 2006. Vol. 111. Issue B05411.

18. Rebetsky Yu. L., Kuchai O. A., Sycheva C., Tatevossian R. Development of inversion methods on fault slip data. Stress state on in orogenes of the Central Asia. *Tectonophysics*. 2012. 18 p. [http://dx. doi. org/10.1016/j. tecto. 2012.09.027](http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.09.027).

19. Vernant Ph. et al. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophysical Journal International*. 2004. Vol. 157. pp. 381-398.