

Структурный анализ поля скоростей горизонтальных движений территории Азербайджана по данным GPS-измерений

Э. В. Ахмедова, 2020

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Поступила 12 ноября 2019 г.

Сучасна кінематика території Азербайджану визначається переміщенням на північ Аравійської плити щодо Євразії. «Вторгнення» Аравійської плити в Євразію, що триває, будучи причиною деформації земної кори Кавказького блока, викликає землетруси, зареєстровані на всій території країни. Для дослідження геодинамічних процесів і внутрішньоплитових деформацій використовують методи глобального позиціонування (GPS). GPS-мережа Азербайджану була заснована в 1998 р. За період 1998—2016 рр. у більшості пунктів вимірювання проведено від 3 до 6 разів. Досліджено структуру розподілу полів GPS-швидкостей горизонтальних рухів внутрішньоплитових зон (доменів) для території Азербайджану. Проведено порівняльний аналіз закономірностей розподілу сейсмічних явищ і векторів швидкостей горизонтальних рухів та деформацій, отриманих за результатами моніторингу на GPS-мережі Азербайджану. Розподіл деформацій для досліджуваної території обчислено за даними Шена з використанням горизонтальних компонент GPS-швидкостей. Для порівняльного аналізу швидкостей GPS і сейсмічності використано карту розподілу кількості землетрусів Азербайджану з магнітудою $M \geq 3$ за період 2003—2017 рр. В результаті визначені такі «доменні» зони — складчаста система Великого Кавказу, складчаста система Малого Кавказу, Середня Кура, Талиш, Гусар-Шабранський крайовий прогин і Гобустан-Абшеронська зона. При цьому встановлено, що зони високої сейсмічності знаходяться в зонах високого градієнта GPS-швидкостей, причому зони високої сейсмічності збігаються переважно із зонами високої швидкості деформації стиснення. Виявлено, що Гобустан-Абшеронська зона високих швидкостей деформацій не є високосейсмічною. Можливо, це спричинено пластичністю геологічного середовища.

Ключові слова: GPS-швидкості, доменні зони, Кавказ, колізія, сейсмічна активність, швидкість деформації, структурний аналіз.

Введение. Территория Азербайджана располагается в зоне активного столкновения (коллизии) Афро-Арабской и Евразийской литосферных плит [McKenzie, 1972]. Главными структурными элементами Азербайджана являются складчатые системы Большого и Малого Кавказа (восточные окончания) и разделяющий их Куринский межгорный прогиб (рис. 1). Эти структуры, погружаясь, уходят под новейшие отложения меридиональной депрессии Каспия. Вдоль

северо-восточного крыла азербайджанской части складчатой системы Большого Кавказа выделяется Гусар-Шабранский наложенный прогиб. Непосредственным продолжением Малого Кавказа на юго-востоке является поднятие горного Талыша (складчатая система Альборза). Горно-складчатая система Малого Кавказа с юго-запада ограничена складчатой системой Нахичевана.

Современная кинематика района исследований определяется перемещением на

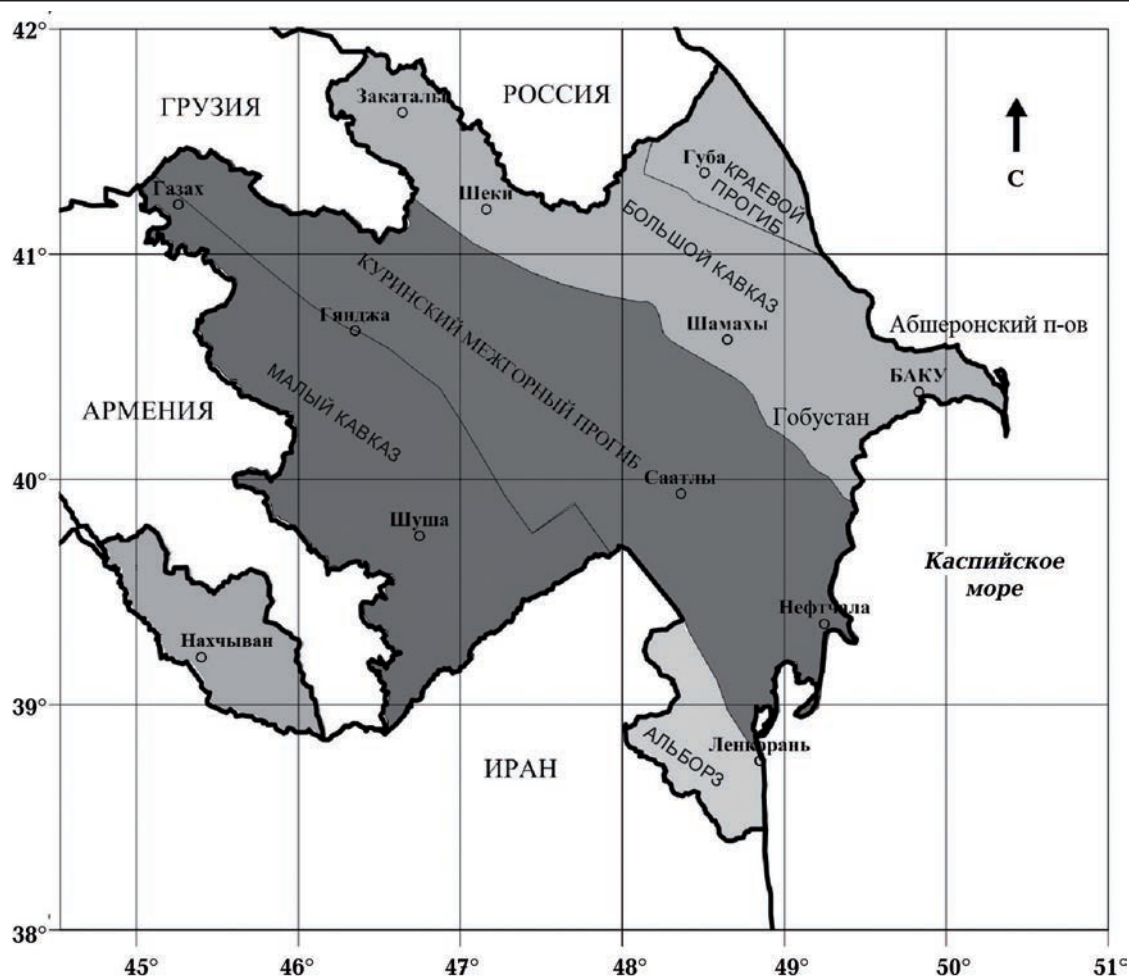


Рис. 1. Схема тектонического районирования территории Республики Азербайджан, упрощено по карте, представленной в работе [Исмаиладзе и др., 2008].

Fig. 1. Schematic map of tectonic zoning the territory of Azerbaijan Republic, simplified from [Ismailzade et al., 2008].

север Аравийской плиты относительно Евразии с более или менее постоянной скоростью, которая равна приблизительно 20 мм/год [McQuarrie et al., 2003; Reilinger et al., 2006]. Это продолжающееся «вторжение» Аравийской плиты в Евразию, являясь причиной деформации земной коры, вызывает землетрясения, которые зарегистрированы на всей территории Кавказа. Исследование современных движений и деформаций земной коры имеет огромное значение для объяснения характера геологических процессов (землетрясений, извержений грязевых вулканов, оползней и т. д.). Одной из актуальных проблем является выявление небольших внутриплитовых зон (доме-

нов), ведущих себя подобно жестким блокам, которые характеризуются своими индивидуальными особенностями распределения GPS-скоростей.

Настоящая статья посвящена выделению внутриплитовых зон (доменов) в поле горизонтальных скоростей GPS для территории Азербайджана. Для выявления таких зон был проведен сравнительный анализ распределения сейсмичности по площади с распределением векторов горизонтальных скоростей и деформаций, полученных по результатам мониторинга на GPS-сети Азербайджана.

GPS-сеть Азербайджана и результаты наблюдений. GPS-сеть Азербайджана была основана в 1998 г. Институтом геологии

и геофизики при участии Массачусетского технологического института. За период 1998—2016 гг. в большинстве пунктов измерения были проведены по 3—6 раз [Reilinger et al., 2006; Kadirov et al., 2008, 2012, 2015]. В результате мониторинга, проводимого на GPS-сети с 1998 г. до наших дней, создана база данных GPS-скоростей для территории Азербайджана [Reilinger et al., 2006; Kadirov et al., 2012, 2015] и проведена оценка их точности с использованием программного обеспечения GAMIT / GLOBK Массачусетского технологического института [King, Bosk, 2004; Herring, 2004].

На рис. 2 показана карта скоростей GPS-пунктов для Азербайджана и сопредельных территорий, которая использована для рас-

чета двумерных деформаций. Стрелки на рисунке показывают направление векторов скоростей, а значения скоростей характеризуются длиной стрелок согласно масштабу, который приведен в нижнем правом углу карты. Расположение GPS-пунктов показано в Евроазиатской системе координат. В целом поле GPS-скоростей четко иллюстрирует движение поверхности земной коры в юго-юго-западном—северо-северо-восточном направлении на территории Азербайджана и смежных регионов Малого Кавказа относительно Евразии.

Деформационное состояние исследуемой территории. Распределения деформаций для исследуемой территории вычислено по методике Шена [Shen et al., 1996;

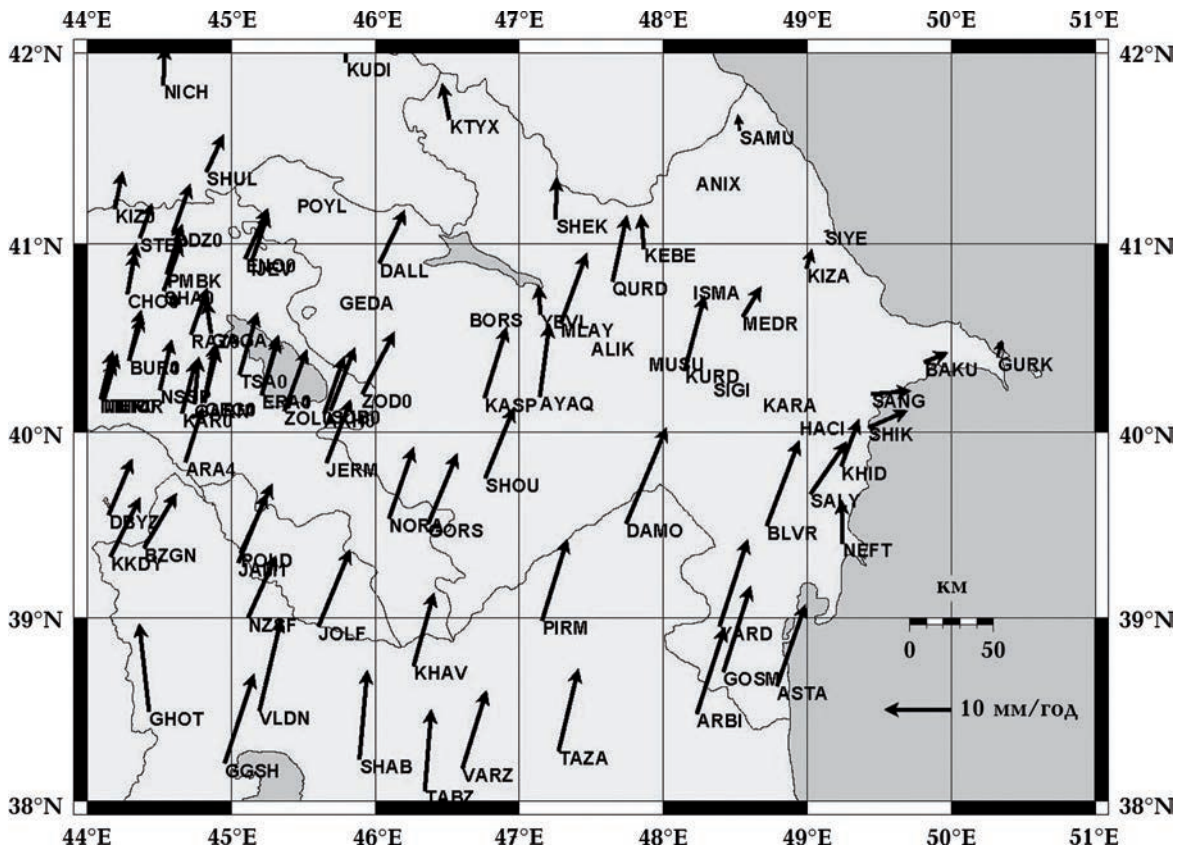


Рис. 2. Карта GPS-скоростей исследуемой территории. Данные о скоростях пунктов, находящихся вне территории Азербайджана, взяты из работ [Nilforoushan et al., 2003; Masson et al., 2006; Reilinger et al., 2006; Kadirov et al., 2015].

Fig. 2. Map of GPS velocities of the study territory. The data on velocities outside Azerbaijan are from [Nilforoushan et al., 2003; Masson et al., 2006; Reilinger et al., 2006; Kadirov et al., 2015].

Sagiya et al., 2000] с использованием горизонтальных компонент GPS-скоростей. Полученные результаты приведены на рис. 3. Сплошные черные линии показывают направления оси сжатия, а белые — растяжения. Из анализа рисунка следует, что хотя доминирующим режимом является сжатие, деформация земной коры территории Азербайджана распределена неравномерно [Кадилов, Сафаров, 2013; Кадилов и др., 2014]. Сжатие наблюдается на Большом Кавказе, в Гобустане, Куринской впадине, Нахичеванской складчатой области и приграничных с Ираном районах. Оси сжатия показывают, что сокращение земной коры в регионе Большого Кавказа происходит в направлении юго-юго-запад—северо-северо-восток. Максимальное значение скорости деформации (порядка 400×10^{-9} в год) наблюдается в районе между пунктами КНІД (Хыдырлы) и ШНІК (Шыхлар). Здесь оси сжатия резко изменяют направление и ориентируются в юго-западном—северо-восточном направлении (на юге Гобустанской структурной зоны). В районе Сальян (SALY), Биласувар (BLVR) и Нефтчала (NEFT) ось сжатия также резко изменяет направление.

Из рис. 3 видно, что в деформационном поле наряду с областями сжатия проявились зоны, где деформации практически отсутствуют (величина скорости дилатации меньше 5×10^{-9} в год). К таким зонам относятся Прикаспийско-Губинский район (ANIX, SAMU) и северная часть Гобустана (или восточная часть Загатала-Говдагской структурной зоны). В этих зонах растяжение почти компенсируется сжатием.

Зоны растяжения наблюдаются на Малом Кавказе: в Гядабейском (GEDA), Шущинском (SHOU) районах и в зоне, расположенной между пунктами DAMO и PIRM (Иран). В этих зонах величина скорости дилатации достигает значений до 100×10^{-9} в год. Выявленный неоднородный характер деформационного поля региона позволяет сделать вывод, что блочная модель строения региона удовлетворительно описывает реальную ситуацию. Аналогичный вывод о блочном строении получен также для других регионов [Костюк и др., 2010].

Сейсмичность региона. Кавказский регион характеризуется высоким уровнем сейсмичности, распределение которой характеризует активный современный сеймотектонический процесс [Reilinger et al., 2006; Kadirov et al., 2012, 2015]. Большое количество (800—1000) слабых, сильных и средней силы землетрясений, ежегодно регистрируемых на территории республики, распределены крайне неравномерно. На рис. 4 приведена карта сейсмических событий за период 2003—2018 гг. для территории Азербайджана и сопредельных территорий по данным каталога Республиканского Центра сейсмологической службы НАН Азербайджана. Для сопредельных территорий были использованы региональные каталоги геофизических служб Российской академии наук, Ирана, Грузии, Европейского Средиземноморского сейсмологического центра (EMSC).

Большая часть этих землетрясений происходит на южном склоне восточной части Большого Кавказа и в Каспийском море. Значительная часть землетрясений с магнитудой $M > 3,0$ формирует цепочку эпицентров вдоль горных хребтов [Kadirov et al., 2012, 2015; Babayev, 2009; Кадилов и др., 2009, 2013; Telesca et al., 2013; Yetirmishli et al., 2013], хотя отдельные землетрясения происходят и в коре межгорных впадин (см. рис. 4). Большинство землетрясений на территории Азербайджана имеют очаги на глубинах порядка 5—15 км. Меньшая часть землетрясений зарождается в очагах на глубине 45—55 км.

Сравнительный анализ поля GPS-скоростей. С целью проведения сравнительного анализа скоростей GPS и сейсмичности была подготовлена и использована карта распределения количества землетрясений для Азербайджана и смежных территорий [Yetirmishli et al., 2013; Yetirmishli, Kazimova, 2017]. Распределение количества землетрясений было рассчитано для землетрясений с магнитудой $M \geq 3$ за период 2003—2017 гг. на основании следующей методики: исследуемая территория была разделена на квадратные ячейки размером 5×5 км, и в каждом квадрате рассчитано

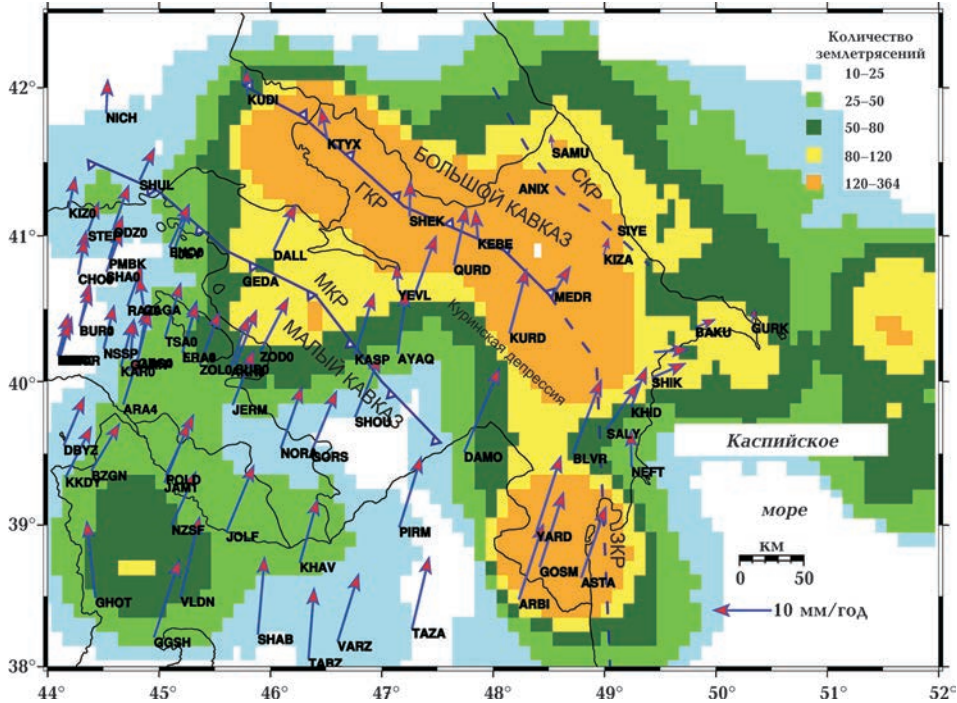


Рис. 5. Карта распределения количества землетрясений и GPS-скоростей для Азербайджана и соседних территорий [Safarov, Ahmadova, 2018]: СКР — Северо-Кавказский надвиг, ГКР — Главный Кавказский надвиг, МКР — Малокавказский надвиг, ЗКР — Западно-Каспийский разлом.

Fig. 5. A map of distribution of earthquakes number and GPS velocities for Azerbaijan and adjacent territories [Safarov, Ahmadova, 2018]: NCN — North-Caucasus Thrust, MCT — Main Caucasus Thrust, MrCT — Minor Caucasian Thrust, WCF — West-Caspian Fault.

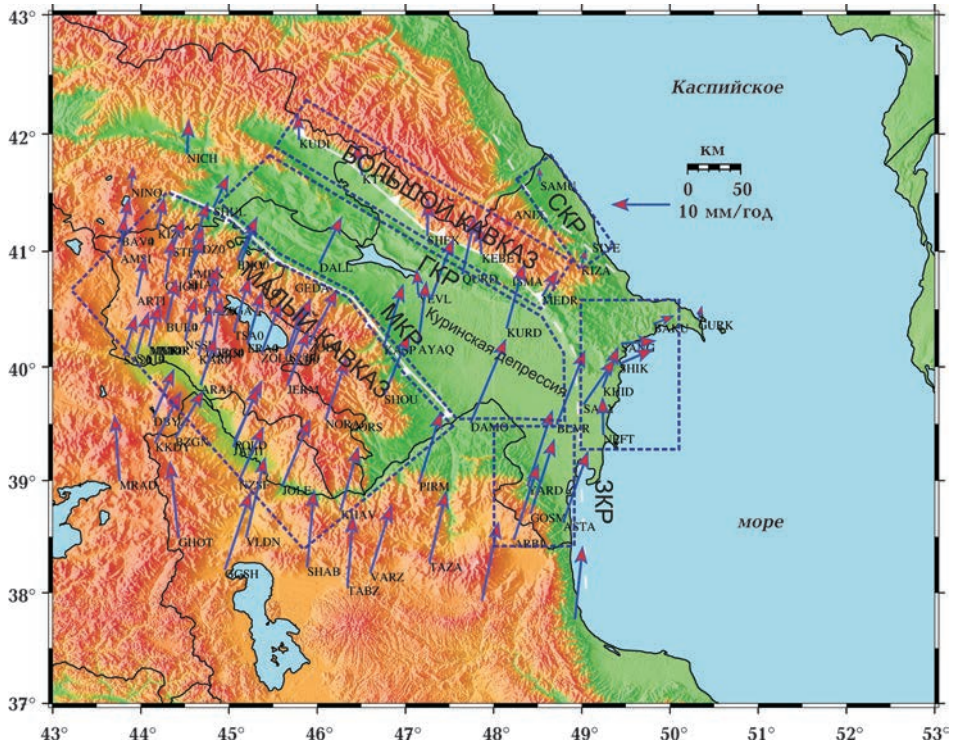


Рис. 6. «Доменные» зоны с разными характеристиками в поле GPS-скоростей.
 Fig. 6. «Domain» zones with different characteristics in the field of GPS velocities.

количество землетрясений, которое было отнесено к его центру. С использованием программы Generic Mapping Tools (GMT) была построена карта распределения количества землетрясений для Азербайджана и прилегающих регионов (рис. 5).

Как видно из рис. 5, зона, насчитывающая 120 и более землетрясений, располагается в зоне разлома, простирающегося вдоль структуры южного склона Большого Кавказа. Эта зона охватывает регионы Загатала (КТУХ), Шеки (ШЕК), Габала (КЕВЕ) и Шамахи (MEDR), где наблюдаются уменьшения в значениях GPS-скоростей. Активная сейсмическая область на южном склоне Большого Кавказа характеризуется интенсивным сжатием земной коры и высокими значениями градиента скорости горизонтальных движений [Кадиров и др., 2014; Бабаев и др., 2017]. Для этой зоны оси сжатия имеют юго-юго-западное—северо-северо-восточное направление. Скорость дилатации 120—150 нанострейн/год. Сравнение плотности распределения эпицентров землетрясений, направления осей сжатия и скорости дилатации показывает, что этот регион отличается от соседних зон. Его можно классифицировать как «доменная» зона Большого Кавказа в поле горизонтальных скоростей GPS.

Как видно из рисунка, в поле высоких горизонтальных скоростей структурной зоны Малого Кавказа наблюдается слабая сейсмическая активность. Хотя значение векторов скорости GPS здесь высокое, количество сейсмических событий низкое. Оси сжатия на Малом Кавказе резко изменяются и имеют восточно-юго-восточное западно-северо-западное направление. Скорость дилатации по данным GPS низкая (± 20 нанострейн/год). Эта территория может быть определена как «доменная» Малого Кавказа в поле горизонтальных скоростей GPS.

В Талышской зоне также наблюдаются высокие значения векторов горизонтальных скоростей на GPS-пунктах ASTA, GOSM и YARD. Скорости на соседних GPS-пунктах NEFT и BLVR уменьшаются. Из рис. 4 видно, что количество сейсмических собы-

тий здесь относительно высокое. Векторы сжатия в этой зоне также имеют направления восточно-юго-восточное—западно-северо-западное и малую скорость дилатации. Кроме того, Талышская зона отделяется от Малого Кавказа областью растяжения. Поэтому мы выделяем Талышскую «доменную» зону в поле горизонтальных скоростей GPS.

Слабое изменение в направлении и значении векторов скорости GPS наблюдается в зоне Куринской депрессии. Количество сейсмических событий здесь больше, чем в «доменной» зоне Малого Кавказа, и меньше, чем в «доменной» зоне Большого Кавказа. Векторы сжатия в средней части Куринской депрессии в основном имеют субмеридиональное направление. Эту зону можно рассматривать как Среднекуруинскую «доменную» зону в поле горизонтальных скоростей GPS.

Наблюдается резкое изменение направления векторов скоростей пунктов GPS территории Азербайджана, начиная с находящегося на востоке Западно-Каспийского разлома пунктов GPS Нефтчала (NEFT), Сальян (SALY), Хыдырлы (KHID), Шыхлар (SHIK), Сангачал (SANG) и Баку (BAKU). В этих пунктах по направлению к северу значение скоростей уменьшается. В зоне, включающей в себя Куринскую низменность и часть Гобустана, продолжает наблюдаться умеренное количество сейсмических событий. В Куринской низменности векторы сжатия резко изменяют направления и ориентируются в направлении западно-юго-западном—восточно-северо-восточном. Скорость—200 нанострейн/год. В поле скоростей GPS территории Азербайджана эта зона может быть рассмотрена как домен Нижне-Куринской впадины.

В районе Гобустан—Абшерон (зона, охватывающая Абшеронский полуостров и восточную часть г. Баку) наблюдается относительно малое количество землетрясений. Здесь векторы сжатия имеют западно-юго-западное—восточно-северо-восточное направления. Для района Гобустан—Абшерон характерно также растяжение, имеющее юго-восточное—северо-

западное направление. Эта область с отличительными свойствами относительно других зон в поле GPS названа «доменной» зоной Гобустан—Абшерон.

Так как поле скоростей GPS в Гусар-Шабранском краевом прогибе отличается минимальным значением скорости дилатации, эта зона может быть охарактеризована как отдельная «доменная» зона. Однако Гобустан-Абшеронская зона, имея высокие значения скоростей деформации, характеризуется относительно невысокой сейсмичностью. Возможно, причиной этого является пластичность геологической среды, что подтверждается многочисленными грязевыми вулканами [Якубов и др., 1971, Кадиров и др., 2014].

Для более точного выявления доменных зон и их границ необходимо увеличение числа станций GPS-наблюдений.

На рис. 6 (см. с. 70) показаны выделенные по сравнительному анализу «доменные» зоны с разными характеристиками в поле скоростей GPS.

Из разработанной структурной и кинематической

схемы-карты (см. рис. 6) видно, что на Азербайджанской части Аравийско-Евразийской зоны коллизии современное поле деформации может быть представлено неоднородными «доменными» зонами.

Выводы. В результате структурного анализа горизонтальных скоростей GPS земной коры на территории Азербайджана совместно с сейсмичностью и распределением параметров деформации земной коры определены следующие «доменные» зоны: складчатая система Большого и Малого Кавказа, Средняя Кура, Талыш, Гусар-Шабранский краевой прогиб и Гобустан-Абшеронская зона. При этом установлено, что области высокой сейсмичности находятся в зонах высокого градиента GPS-скоростей, причем области высокой сейсмичности совпадают преимущественно с областями высокой скорости деформации сжатия. Однако Гобустан-Абшеронская зона высоких скоростей деформаций не имеет высокую сейсмичность. Возможно, причиной этого является пластичность геологической среды.

Список литературы

- Бабаев Г. Р., Ахмедова Э. В., Кадиров Ф. А. Анализ напряженно-деформированного состояния Кавказского региона (Азербайджан) по векторам максимальных горизонтальных напряжений с использованием программ проекта «World Stress Map». *Геофиз. журн.* 2017. Т. 39. № 3. С. 26—39. <http://dx.doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i3.2017.104026>.
- Исмаилзаде А. С., Кенгерли Т. Н., Коробанов В. В., Мустафаев Г. В., Нариманов А. А., Рустамов М. И. Геологическая карта Азербайджана. Объяснительная записка. 2008.
- Кадиров А. Г., Агаева С. Т., Алиев Ф. А., Мамедов С. К., Бабаев Г. Р., Кадиров Ф. А. GPS-мониторинг и сейсмичность коллизийной зоны Азербайджанской части Большого Кавказа. *Изв. НАН Азербайджана. Сер. науки о Земле.* 2009. № 3. С. 12—18.
- Кадиров Ф. А., Гулиев И. С., Фейзуллаев А. А., Сафаров Р. Т., Маммадов С. К., Бабаев Г. Р., Рашидов Т. М. Деформации земной коры Азербайджане по GPS-данным и их влияния на сейсмичность и грязевой вулканизм. *Физика Земли.* 2014. № 6. С. 1—10.
- Кадиров Ф. А., Кадиров А. Г., Бабаев Г. Р., Агаева С. Т., Мамедов С. К., Гарегезова Н. Р., Сафаров Р. Т. Сейсмическое районирование южного склона Большого Кавказа по фрактальным особенностям землетрясений, напряженному состоянию и по данным GPS-скоростей. *Физика Земли.* 2013. № 4. С. 111—119.
- Кадиров Ф. А., Сафаров Р. Т. Деформация земной коры Азербайджана и сопредельных территорий по данным GPS-измерений. *Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле.* 2013. № 1. С. 47—55.
- Костюк А. Д., Сычева Н. А., Юнга С. Л., Богомолов Л. М., Яги Ю. Деформация земной коры северного Тянь-Шаня по данным очагов землетрясений и космической геодезии. *Физика Земли.* 2010. № 3. С. 52—65.

- Якубов А. А., Ализаде А. А., Зейналов М. М. Грязевые вулканы Азербайджанской ССР. Баку: Элм, 1971. 257 с.
- Babayev, G.R. (2009). Analysis of earthquake focal mechanisms for Greater and Lesser Caucasus applying the method of World Stress Map. In *Catalogue of Azerbaijan Republican Seismological Center Azerbaijan National Academy of Science* (pp. 67—74).
- Herring, T.A. (2004). *GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program version 4.1*, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA.
- Kadirov, F., Floyd, M., Alizadeh, A., Guliev, I., Reilinger, R. E., Kuleli, S., King, R., & Toksoz, M. N. (2012). Kinematics of the eastern Caucasus near Baku, Azerbaijan. *Natural Hazards*, 63(2), 997—1006. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0199-0>.
- Kadirov, F. A., Floyd, M., Reilinger, R., Alizadeh, A., Guliyev, I. S., Mammadov, S. G., & Safarov, R. T. (2015). Active Geodynamics of the Caucasus Region: Implications for Earthquake Hazards in Azerbaijan. *Proceedings of Azerbaijan National Academy of Sciences. The Sciences of Earth*, (3), 3—17.
- Kadirov, F., Mammadov, S., Reilinger, R., & McClusky, S. (2008). Some new data on modern tectonic deformation and active faulting in Azerbaijan (according to global positioning system measurements). *Proceedings ANAS. The Sciences of Earth*, (1), 82—88.
- King, R. W., & Bock, Y. (2004). *Documentation of the MIT GPS analysis software: GAMIT*, Mass. Inst. of Technol., Cambridge.
- Masson, F., Djamour, Y., Van Gorp, S., Chery, J., Tatar, M., Tavakoli, F., Nankali, H., & Vernant, P. (2006). Extension in NW Iran driven by the motion of the South Caspian Basin. *Earth and Planetary Science Letters*, 252(1-2), 180—188. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.09.038>.
- McKenzie, D.P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109—185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x>.
- McQuarrie, N., Stock, J., Verdel, C., & Wernicke, B.P. (2003). Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophysical Research Letters*, 30(20), 2036. doi: 10.1029/2003GL017992.
- Nilforoushan, F., Masson, F., Vernant, P., Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., Nankali, H., Hatzfeld, D., Bayer, R., Tavakoli, F., Ashtiani, A., Doerflinger, E., Daignières, M., Collard, P., & Chéry, J. (2003). GPS network monitors the Arabia Eurasia collision deformation in Iran. *Journal of Geodesy*, 77(7-8), 411—422. <https://doi.org/10.1007/s00190-003-0326-5>.
- 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., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., & Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa Arabia Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 111(B5), B05411. doi:10.1029/2005JB004051.
- Safarov, R., & Ahmadova, E. (2018). Modern geodynamic conditions of Azerbaijan: based on GPS and seismic data. *Geophysics News in Azerbaijan*, (2), 47—53 (in Azerbaijani).
- Shen, Z., Jackson, D.D., & Ge, B.X. (1996). Crustal deformation across and beyond the Los Angeles Basin from geodetic measurements. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 101(B12), 27957—27980. <http://dx.doi.org/10.1029/96JB02544>.
- Sagiya, T., Miyazaki, S., & Tada, T. (2000). Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan. *Pure and applied Geophysics*, 157(11-12), 2303—2322. <https://doi.org/10.1007/PL00022507>.
- Telesca, L., Lovallo, M., Babayev, G., & Kadirov, F. (2013). Spectral and informational analysis of seismicity: An application to the 1996—2012 seismicity of the Northern Caucasus—Azerbaijan part of the greater Caucasus—Kopet Dag region. *Physica-A Statistical Mechanics and Its Applications*, 392, 6064—6078. doi:10.1016/j.physa.2013.07.031.
- Yetirmishli, G.J., & Kazimova, S.E. (2017). Types of tectonic movements of seismogenic regions of Azerbaijan by mechanisms of earthquake foci. In *Geological-geophysical studies of the deep structure of the Caucasus: geology and geophysics of Caucasus* (pp. 20—25). Vladikavkaz.
- Yetirmishli, G.J., Mammadli, T.Y., & Kazimova, S.E. (2013). Features of seismicity of Azerbaijan part of the greater Caucasus. *Journal of Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth*, 16, 55—60.

Structural analysis of Azerbaijan territory horizontal velocity movement based on GPS-measurements

E. V. Akhmedova, 2020

The contemporary kinematics of Azerbaijan is generated by the northward movement of Arabian plate relative to Eurasian one. This continuous «intervention» of Arabian plate into Eurasian one is the reason of the deformation of the Earth's crust of the Caucasian block causing earthquakes which are registered throughout the territory. For the research of geodynamic processes and intraplate deformations it is applied the methods of global positioning (GPS). GPS-network in Azerbaijan was founded in 1998. For the period between 1998 and 2016, in many GPS-points, the measurements were done 3—6 times. The present paper deals with the research of structure distribution of GPS horizontal velocity field of intraplate zones (domains) for Azerbaijan. The comparative analysis of interrelation of seismic events with distribution of horizontal velocity vectors and deformation obtained from Azerbaijan GPS-network monitoring was done aiming to reveal those zones. Deformation distribution throughout the research area was calculated with the formula and approach of Shen with the use of horizontal components of GPS-velocities. Aiming to conduct the comparative analysis of GPS-velocities with seismicity, a map of distribution of earthquake numbers for Azerbaijan during the period of 2003—2017 with magnitude $M \geq 3$ was utilized. As a result, the following domain zones were defined, such as the fold system of the Greater Caucasus, the fold system of the Lesser Caucasus, the Middle Kur, Talysh, Gusar-Shabran depression and Gobustan-Absheron zone. It was determined that the areas of high seismicity were located in the zones of high gradients of GPS-velocities, while the areas of high seismicity coincide predominantly with the areas of high velocity compression. However, Gobustan-Absheron zone with high velocity deformation is not characterized by high seismicity. Probably, the reason of this is due to the elasticity of geological environment.

Key words: GPS (Global Positioning System), domain zone, Caucasus, collision, seismic activity, strain rate, structural analysis.

References

- Babaev, G. R., Akhmedova, E. V., & Kadirov, F. A. (2017). Analysis of the stress-strain state of the Caucasus region (Azerbaijan) by vectors of maximum horizontal stresses using the programs of the World Stress Map project. *Geofizicheskiy zhurnal*, 39(3), 26—39. <http://dx.doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i3.2017.104026> (in Russian).
- Ismailzade, A. C., Kengerli, T. N., Korobanov, V. V., Mustafaev, G. V., Narimanov, A. A., & Rustamov, M. I. (2008). *Geological map of Azerbaijan. Explanatory letter* (in Russian).
- Kadirov, A. G., Agayeva, S. T., Aliev, F. A., Mamedov, S. K., Babayev, G. R., & Kadirov, F. A. (2009). GPS monitoring and seismicity of the collision zone of the Azerbaijan part of the Greater Caucasus. *Izvestiya NAN Azerbaydzhana. Ser. nauki o Zemle*, (3), 12—18 (in Russian).
- Kadirov, F. A., Guliev, I. S., Feizullaev, A. A., Safarov, R. T., Mammadov, S. K., Babaev, G. R., & Rashidov, T. M. (2014). GPS based crustal deformations in Azerbaijan and their influence on seismicity and mud volcanism. *Fizika Zemli*, (6), 1—10 (in Russian).
- Kadirov, F. A., Kadirov, A. G., Babayev, G. R., Agayeva, S. T., Mamedov, S. K., Garagezova, N. R., & Safarov, R. T. (2013). Seismic zoning of the southern slope of Greater Caucasus from the fractal parameters of the earthquakes, stress state and GPS velocities. *Fizika Zemli*, (4), 111—119 (in Russian).
- Kadirov, F. A., & Safarov, R. T. (2013). Deformation of the Earth's crust in Azerbaijan and adjacent territories according to GPS measurements. *Izvestiya NAN Azerbaydzhana. Nauki o Zemle*, (1), 47—55 (in Russian).
- Kostyuk, A. D., Sycheva, N. A., Yunga, S. L., Bogomolov, L. M., & Yagi, Yu. (2010). Deformation of the Earth's crust of the Northern Tien Shan according to the sources of earthquakes and space geodesy. *Fizika Zemli*, (3), 52—65 (in Russian).

- Yakubov, A. A., Alizade, A. A., & Zeynalov, M. M. (1971). *Mud volcanoes of the Azerbaijan SSR*. Baku: Elm, 257 p. (in Russian).
- Babayev, G.R. (2009). Analysis of earthquake focal mechanisms for Greater and Lesser Caucasus applying the method of World Stress Map. In *Catalogue of Azerbaijan Republican Seismological Center Azerbaijan National Academy of Science* (pp. 67—74).
- Herring, T.A. (2004). *GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program version 4.1*, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA.
- Kadirov, F., Floyd, M., Alizadeh, A., Guliev, I., Reilinger, R. E., Kuleli, S., King, R., & Toksoz, M. N. (2012). Kinematics of the eastern Caucasus near Baku, Azerbaijan. *Natural Hazards*, 63(2), 997—1006. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0199-0>.
- Kadirov, F. A., Floyd, M., Reilinger, R., Alizadeh, A., Guliyev, I. S., Mammadov, S. G., & Safarov, R. T. (2015). Active Geodynamics of the Caucasus Region: Implications for Earthquake Hazards in Azerbaijan. *Proceedings of Azerbaijan National Academy of Sciences. The Sciences of Earth*, (3), 3—17.
- Kadirov, F., Mammadov, S., Reilinger, R., & McClusky, S. (2008). Some new data on modern tectonic deformation and active faulting in Azerbaijan (according to global positioning system measurements). *Proceedings ANAS, the sciences of Earth*, (1), 82—88.
- King, R. W., & Bock, Y. (2004). *Documentation of the MIT GPS analysis software: GAMIT*, Mass. Inst. of Technol., Cambridge.
- Masson, F., Djamour, Y., Van Gorp, S., Chery, J., Tatar, M., Tavakoli, F., Nankali, H., & Vernant, P. (2006). Extension in NW Iran driven by the motion of the South Caspian Basin. *Earth and Planetary Science Letters*, 252(1-2), 180—188. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.09.038>.
- McKenzie, D.P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109—185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x>.
- McQuarrie, N., Stock, J., Verdel, C., & Wernicke, B.P. (2003). Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophysical Research Letters*, 30(20), 2036. doi: 10.1029/2003GL017992.
- Nilforoushan, F., Masson, F., Vernant, P., Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., Nankali, H., Hatzfeld, D., Bayer, R., Tavakoli, F., Ashtiani, A., Doerflinger, E., Daignières, M., Collard, P., & Chéry, J. (2003). GPS network monitors the Arabia Eurasia collision deformation in Iran. *Journal of Geodesy*, 77(7-8), 411—422. <https://doi.org/10.1007/s00190-003-0326-5>.
- 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., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., & Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa Arabia Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 111(B5), B05411. doi:10.1029/2005JB004051.
- Safarov, R., & Ahmadova, E. (2018). Modern geodynamic conditions of Azerbaijan: based on GPS and seismic data. *Geophysics News in Azerbaijan*, (2), 47—53 (in Azerbaijani).
- Shen, Z., Jackson, D.D., & Ge, B.X. (1996). Crustal deformation across and beyond the Los Angeles Basin from geodetic measurements. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 101(B12), 27957—27980. <http://dx.doi.org/10.1029/96JB02544>.
- Sagiya, T., Miyazaki, S., & Tada, T. (2000). Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan. *Pure and applied Geophysics*, 157(11-12), 2303—2322. <https://doi.org/10.1007/PL00022507>.
- Telesca, L., Lovallo, M., Babayev, G., & Kadirov, F. (2013). Spectral and informational analysis of seismicity: An application to the 1996—2012 seismicity of the Northern Caucasus—Azerbaijan part of the greater Caucasus—Kopet Dag region. *Physica-A Statistical Mechanics and Its Applications*, 392, 6064—6078. doi:10.1016/j.physa.2013.07.031.
- Yetirmishli, G.J., & Kazimova, S.E. (2017). Types of tectonic movements of seismogenic regions of Azerbaijan by mechanisms of earthquake foci. In *Geological-geophysical studies of the deep structure of the Caucasus: geology and geophysics of Caucasus* (pp. 20—25). Vladikavkaz.
- Yetirmishli, G.J., Mammadli, T.Y., & Kazimova, S.E. (2013). Features of seismicity of Azerbaijan part of the greater Caucasus. *Journal of Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth*, 16, 55—60.