

GPS-МОНИТОРИНГ И СЕЙСМИЧНОСТЬ КОЛЛИЗИОННОЙ ЗОНЫ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ЧАСТИ БОЛЬШОГО КAVKAZA

А.Г.Кадыров, С.Т.Агаева, Ф.А.Алиев, С.К.Мамедов, Г.Р.Бабаев, Ф.А.Кадиров

*Институт геологии НАНА,
AZ114 Баку, просп. Г.Джавида, 29А*

На основе данных о компонентах скоростей GPS-пунктов Азербайджана и прилегающих территорий исследуется распределение накопления напряжений вдоль азербайджанской части Главного Кавказского надвига. Проведенный комплексный анализ распределения эпицентров, механизмов очагов землетрясений и выделенной энергии землетрясений, а также GPS-скоростей позволяет выделить четыре зоны с различным уровнем сейсмичности: Балакен-Загатала; Шеки-Габаля; Шамаха-Исмаиллы и Абшерон.

Введение

Территория Азербайджана располагается в зоне активного столкновения (коллизии) двух континентов, Африканского и Евразийского (McKenzie, 1972; Sengor et al., 1985; Philip et al., 1989). Реконструкция тектоники плит указывает на то, что первичная коллизия Аравийской плиты с Евразийской продолжается в интервале времени 10-30 млн. лет вплоть до современного этапа (Robertson, 2000; Allen et al., 2004) и значение скорости движения Аравийской плиты на север относительно Евразии с тех пор как началось столкновение остается более или менее постоянным и приблизительно равно 20 мм/год (McQuarrie et al., 2003; Reilinger et al., 2006). Согласно этим реконструкциям, Аравия продвинулась от своего первоначального местоположения на 200-600 км к месту, где прежде находилась континентальная евразийская литосфера. Это продолжающееся "вторжение" Аравии в Евразию обуславливает сокращение размера литосферы вдоль надвига, простирающегося в направлении В-З. Горизонтальное смещение литосферы из зоны столкновения плит происходит по правостороннему сдвиговому разлому (McKenzie, 1972; Sengor et al., 1985; Jackson, 1992; Kadirov et al., 2008; Reilinger et al., 2006). Эти региональные тектонические процессы вызывают землетрясения, которые исторически зарегистрированы по всей территории Кавказа.

В данной статье исследуется взаимосвязь между сейсмичностью и данными GPS-скоростей с целью выявления участков с различными проявлениями сейсмичности азербайджанской части Большого Кавказа. В работе используют-

ся данные GPS-наблюдений, выполненных в Азербайджане (Kadirov et al., 2008) и на сопредельных территориях (Reilinger et al., 2006), сводный каталог землетрясений за период 1902-2008 гг., составленный на основе каталога ГЦ Российской Академии наук (www.zeus.wdcb.ru), открытая информация международных сейсмологических центров, таких как NEIC, IRIS, CTBT, ANSS и Республиканского Центра Сейсмологической Службы Национальной Академии наук Азербайджана, а также каталог механизмов очагов землетрясений с $M \geq 4$ (www.usgs.gov; www.iris.edu; www.ctbto.org).

GPS-сеть Азербайджана и результаты измерений

GPS-сеть Азербайджана создана Институтом геологии Национальной Академии наук Азербайджана в сотрудничестве с Массачусетским Технологическим Институтом. Сеть состоит из 20 пунктов измерения и непрерывно делающих запись станций GPS, расположенных в Институте геологии, г. Баку и Шекинском Региональном Научном Центре НАНА. Сеть была установлена в 1998-2007 гг., в большинстве пунктов измерения проведены по 3-5 раз (Kadirov et al., 2008).

GPS-данные были обработаны, а ошибки оценены с использованием программного обеспечения GAMIT/GLOBK (King and Bock, 2004; Herring, 2004) по процедуре, описанной в работе Reilinger и др. (2006).

На рис. 1 показана карта скоростей GPS-пунктов в пределах территории Азербайджана в контексте с отобранными GPS-скоростями для сопредельных территорий. Определенные минимизацией скорости GPS-пунк-

тов, которые были распределены на Евроазиатской плите, показаны в рамке Евроазиатской системы координат.

Ошибка определения скорости составляет

в основном менее 0,6 мм/год и позволяет довольно точно оценить конвергенцию плит поперёк Кавказской горной системы (т.е. ошибка составляет 5% от полной скорости конвергенции).

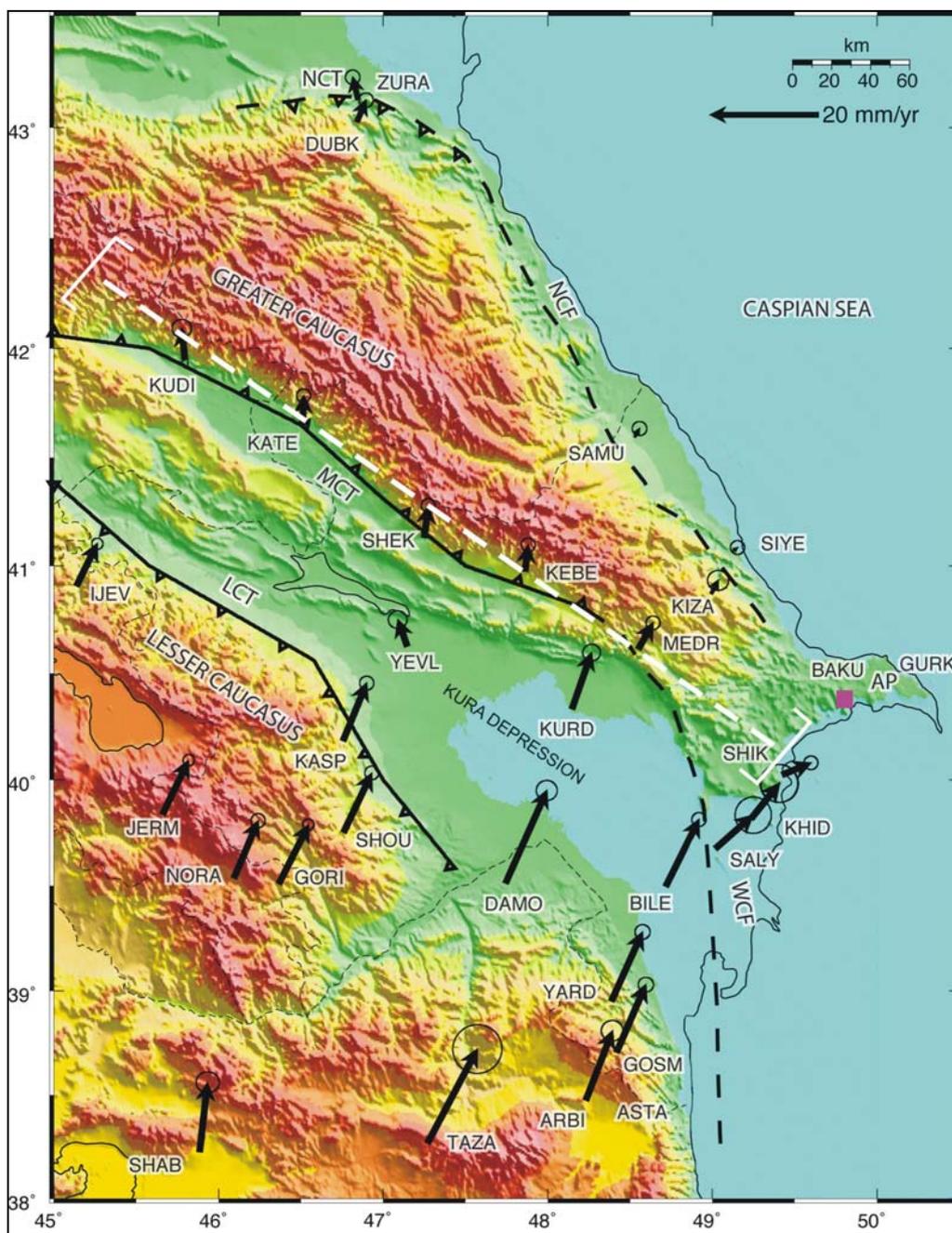


Рис. 1. GPS-горизонтальные скорости и их 95% эллипсы доверительной вероятности для Азербайджана и смежных частей Кавказского региона. Данные о скоростях пунктов, находящихся вне территории Азербайджана, взяты из работы (Reilinger et al., 2006). Здесь также показано местоположение и ширина (скобки) скоростного профиля вдоль Главного Кавказского надвига. Сокращения: NCT – Северокавказский надвиг, MCT – Главнокавказский надвиг, LCT – Малокавказский надвиг, WCF – Западнокаспийский разлом, NCF – Северокаспийский разлом, AP – Абшеронский полуостров. (Кадиров Ф., Кадиров А., Мамедов С., Реиллингер Р. и МкКласки С.)

Скоростное поле GPS-наблюдений довольно четко иллюстрирует движение Аравийской плиты ССВ направления в Азербайджане и в смежных регионах Малого Кавказа относительно Евразии южнее Главнокавказского надвига (ГКН). Наиболее существенная особенность скоростного поля – уменьшение скорости в пунктах наблюдений, расположенных перпендикулярно к ГКН (то есть между KURD и MEDR, а также BILE и SHIK).

Сокращения размеров земной коры поперёк восточного сегмента ГКН (долгота 48°), определенные по разности скоростей между пунктами наблюдений Кюрдамир (KURD) и Сиазань (SIYE), составляют 10 ± 1 мм/год.

В западном Азербайджане сокращение размеров земной коры на Большом Кавказе происходит между ГКН и южным крылом Северо-Кавказского надвига (СКН), расположенного вдоль северного края горной цепи в Дагестане. Данные скоростей пунктов GPS-наблюдений Зурамакент (ZURA) и Дубки (DUBK) в Дагестане указывают на существование движений в северном направлении со скоростью 4 ± 1 мм/год. Учитывая значения скоростей GPS-пунктов наблюдений Малого Кавказа (8 ± 1 мм/год), скорость сокращения размеров земной коры в зоне между ГКН и СКН на 46° восточной долготы оценена в 4 ± 1 мм/год.

На пунктах, расположенных на Малом Кавказе и в Куринской впадине в пределах восточного Азербайджана (GOSM, YARD, BILE) и пункте SHIK, находящемся в береговой зоне Каспийского моря немного южнее Абшеронского полуострова, наблю-

дается резкое уменьшение скоростей движения Аравийской плиты в пунктах и вращения векторов скоростей в направлении часовой стрелки. Резкое уменьшение скорости и вращение векторов происходит восточнее долготы 48° в.д. вдоль Западнокаспийского разлома (ЗКР-WCF), а на Западнокаспийском разломе происходит правостороннее сдвиговое движение со скоростью 11 ± 1 мм/год (Kadirov et al, 2008).

Существующее распределение скоростей и их градиентов вызывает накопление напряжений вдоль ГКН различной величины, что, возможно, сказывается на сейсмическом режиме исследуемой территории.

С целью исследования взаимосвязи GPS-скоростей с сейсмичностью Большого Кавказа был выбран профиль с координатами 42.2776° с.ш. 45.3255° в.д.; 39.7028° с.ш. 50.1590° в.д., параллельный ГКН, который показан белой пунктирной линией на рис. 1.

На рис. 2а показана северная компонента (V_N) скоростей GPS-пунктов вдоль скоростного профиля. По характеру V_N компоненты можно выделить приблизительно четыре зоны с различными значениями накопления напряжений: участок профиля, расположенный между 45.0° - 46.3° в.д. (KUDI), с характерной скоростью $V_N = 7.56$ мм/год; участок профиля, расположенный между 46.3° - 48° в.д. (KATE-SHEK-KEBE), с характерными скоростями $V_N = 4.83$ - 5.86 мм/год; участок профиля между 48° - 49° в.д. (MEDR) с $V_N = 4.78$ мм/год; и участок профиля 49° - 50° в.д. (SHIK) со значениями скорости $V_N = 2.17$ мм/год.

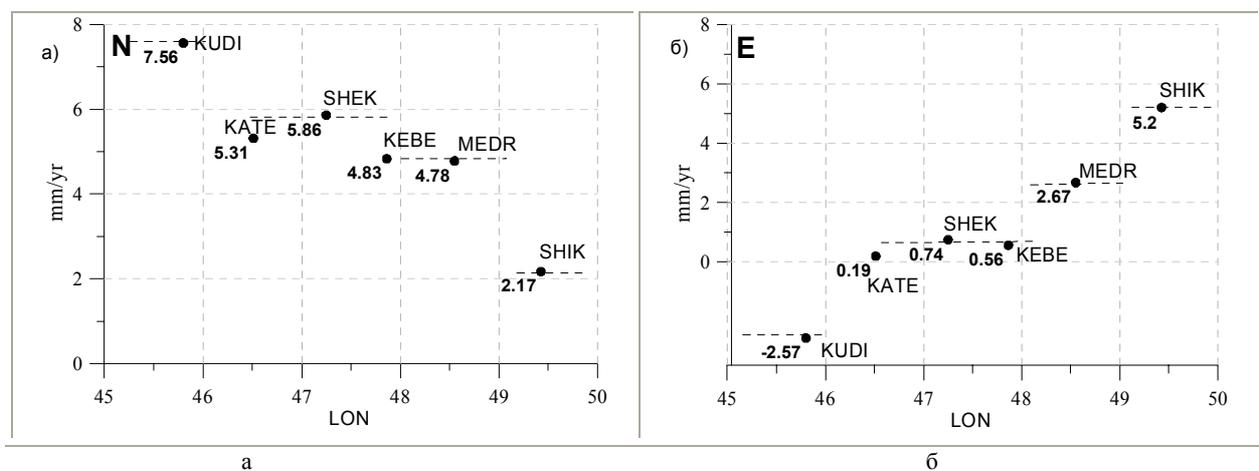


Рис. 2. Компоненты скоростей горизонтальных движений пунктов GPS-наблюдений: а – северная компонента V_N , б – восточная компонента V_E

На рис. 2б показана восточная компонента (V_E) скоростей GPS-пунктов. Здесь также выделяются те же четыре зоны. В этих зонах характерные V_E скорости соответственно равны: $V_E = -2,57; 0,56; 2,67; 5,20$ мм/год.

Как видно, по обоим компонентам скоростей выделяются четыре зоны, с различной интенсивностью накопления напряжений.

Распределение эпицентров землетрясений

На рис.3 представлена карта распределения эпицентров землетрясений, произошедших в Азербайджане и на прилегающих территориях за период 1902-2008 гг.

Для сопоставления сейсмичности Боль-

шого Кавказа с GPS-измерениями были выбраны землетрясения, расположенные в полосе шириной 1° , проходящей вдоль выбранного профиля. Эпицентры землетрясений, попадающие в эту полосу, приводятся на рис.4. Для исследуемой территории количество сейсмических событий составляет $N = 305$.

По распределению эпицентров землетрясений выделяются также четыре зоны: I зона – Балакен-Загатала; II зона – Шеки-Габаля; III зона – Шамаха-Исмаиллы и IV зона – Абшерон.

На рис.4 они выделены белыми прямоугольниками. Зоны с более высокой плотностью распределения эпицентров землетрясений (I и III) чередуются зонами с относительно низкой плотностью (II и IV).

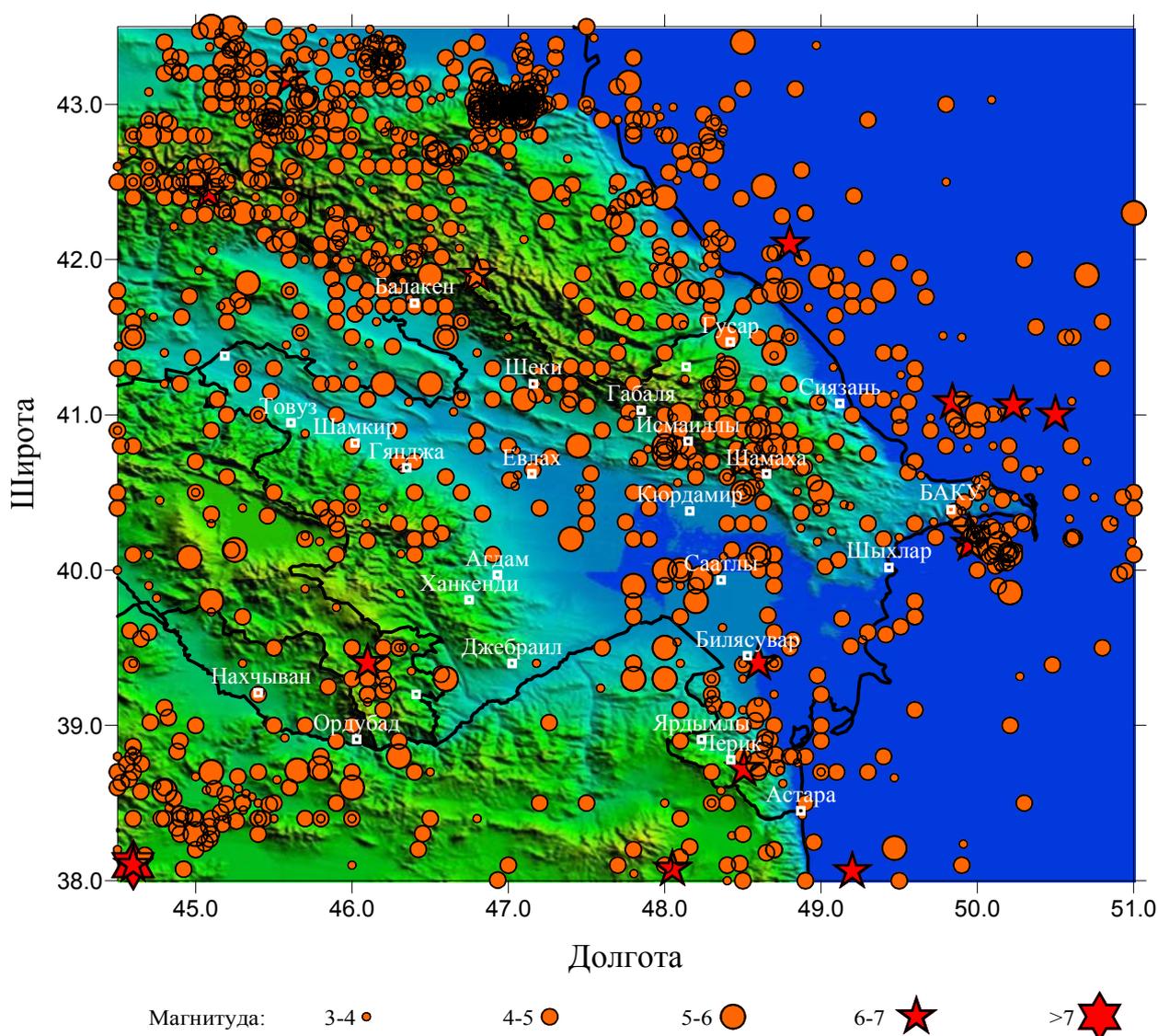


Рис.3. Распределение эпицентров землетрясений, произошедших в 1902-2008 гг.

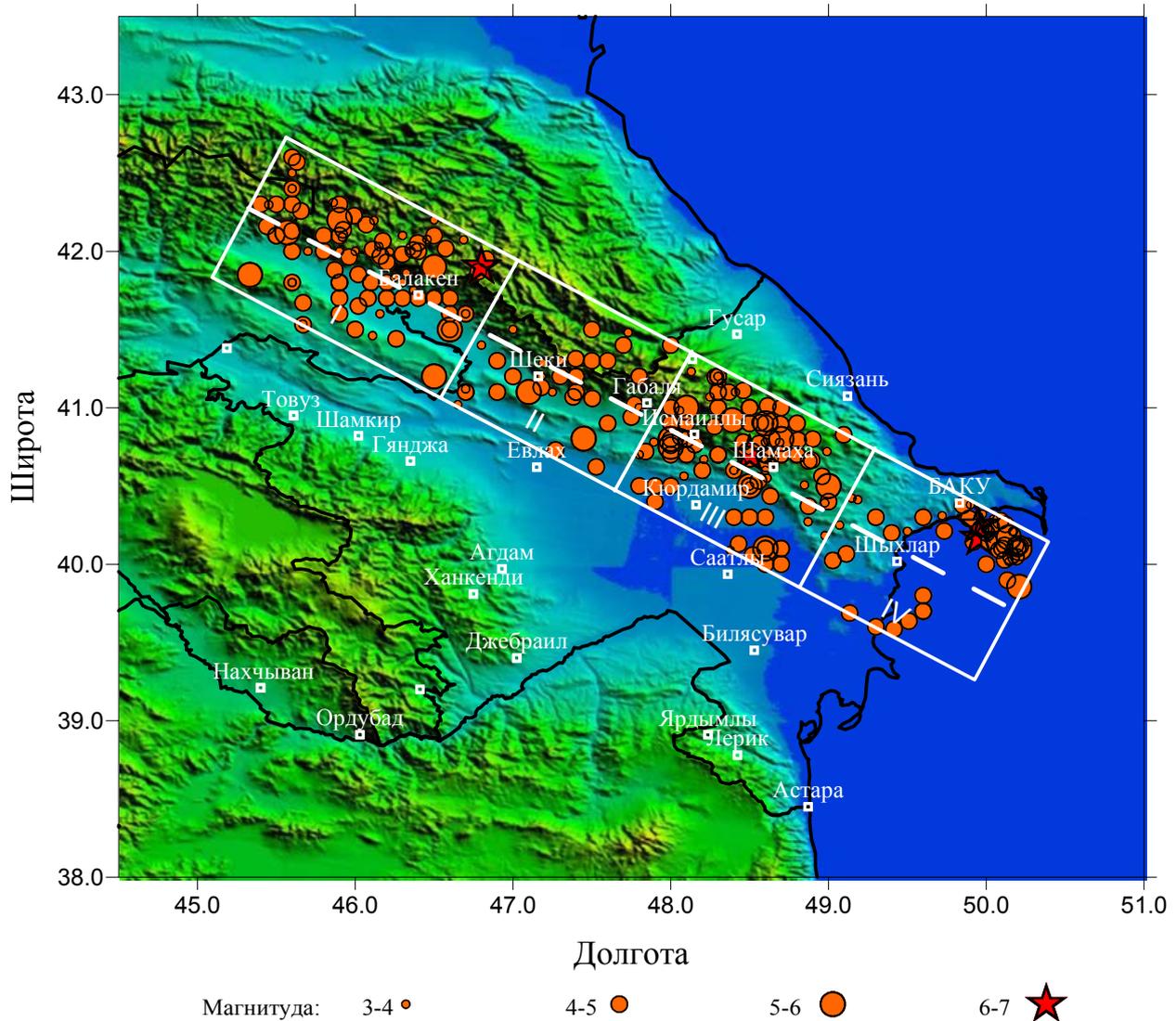


Рис. 4. Распределение эпицентров землетрясений, произошедших в 1902-2008 гг., в полосе шириной 1°

На рис.5 представлена гистограмма суммарной энергии, выделившейся в результате землетрясений, по этим зонам. Максимальное количество выделившейся энергии наблюдается в IV, Абшеронской, сейсмоактивной зоне. Далее по количеству выделившейся энергии следует зона III, соответствующая Шамаха-Исмаиллинской сейсмоактивной зоне. Третьей по количеству выделившейся энергии является зона I (сейсмическая зона Балакен-Загатала). Наименьшее количество выделившейся энергии наблюдается во II зоне, которая соответствует Шеки-Габалинской сейсмической зоне.

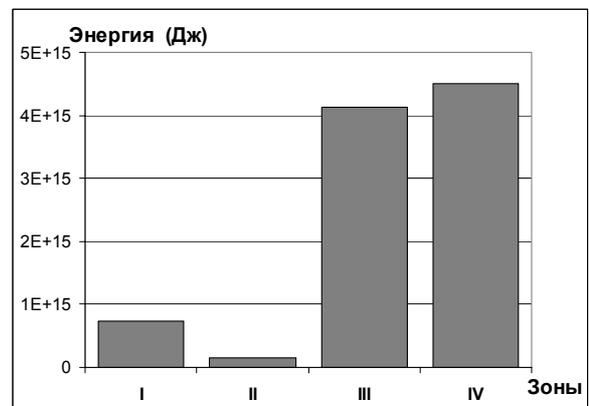


Рис. 5. Распределение суммарной энергии, выделенной в результате землетрясений, по зонам

Напряженное состояние земной коры

Для оценки современного напряженно-состояния земной коры территории Азербайджана была использована база данных Карты Мировых Напряжений (WSM), включающая в себя глобальную базу данных о механизмах очагов из различных баз данных, в том числе СМТ каталога Гарвардского университета, базы данных Национального Информационного Центра землетрясений USGS, (www.world-stress-map.org; Müller et al., 2005). В рамках проекта построения Всемирной Карты Напряжений база данных была уточнена, дополнена данными о механизмах очагов С.Т. Агаевой (Агаева, 2006) и построена модифицированная карта механизмов очагов по методике CASMO (Vabayev, 2008) (рис. 6).

Напряженное состояние земной коры

Большого Кавказа характеризуется близгоризонтальным сжатием, ориентированным преимущественно вкрест простирания региональных геологических структур. По данной карте напряжений в исследуемом регионе расположен надвиговый разлом горизонтального сжатия север – северо-восточного направления, расположенный в западной части южного Кавказа, и восток – северо-восточного направления, расположенный в восточной части Большого Кавказа. В западной части Азербайджана сжатие наблюдается между Главнокавказским надвиговым разломом и прогибанием южного простирания вдоль северного края горной цепи. Кроме того, наблюдается очевидный переход от левостороннего сдвига по простиранию на преимущественно правосторонний сдвиг к югу от горного хребта Большого Кавказа.

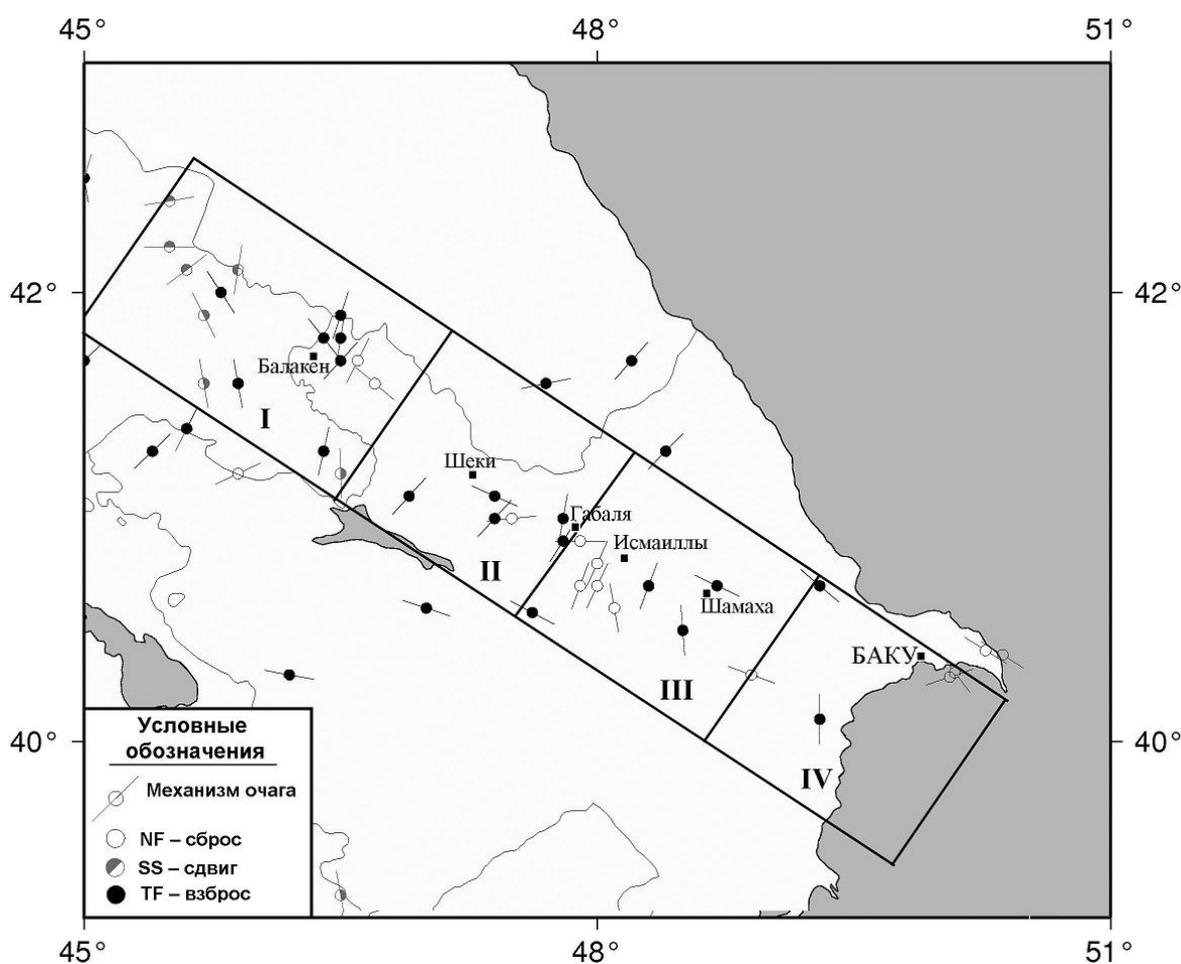


Рис. 6. Карта напряженного состояния земной коры азербайджанской части коллизионной зоны Большого Кавказа

Вдоль ГКН преобладают взбросовые движения в С-СВ направлении, что приводит к сжатию земной коры вдоль ГКН. Этот фактор хорошо сочетается с полученными в GPS-пунктах данными о современных движениях земной коры. Выделение по распределению плотности эпицентров землетрясений и по данным GPS-наблюдений 4 зон с различными значениями накопления напряжений находит свое подтверждение также в результатах определения фокального механизма землетрясений. Происходит чередование видов ориентации главных напряжений и дифференциация типов подвижек по разломам. Первая (Балакен-Загатала) и третья (Шамаха-Исмаиллы) зоны характеризуются преобладанием близгоризонтального растяжения, подвижки по разлому – сбросы, сбросо-сдвиги; вторая (Шеки-Габала), четвертая (Абшерон) зоны характеризуются преобладанием близгоризонтального сжатия, подвижки по разлому – надвиги, взбросы.

Заклучение

- По распределению горизонтальных компонентов GPS-скоростей выделены четыре зоны с различными значениями накопления напряжения.

- Подобные зоны выделяются также по распределениям эпицентров землетрясений и выделенной сейсмической энергии.

- Эти данные позволяют в азербайджанской части Большого Кавказа выделить следующие сейсмические зоны: Балакен-Загатала; Шеки-Габала; Шамаха-Исмаиллы и Абшерон.

- Выделение четырех зон с различными значениями накопления напряжений находит свое подтверждение также в результатах определения фокального механизма землетрясений. Происходит чередование видов ориентации главных напряжений и дифференциация типов подвижек по разломам.

ЛИТЕРАТУРА

АГАМИРЗОВЕВ, Р.А. 1987. Сейсмоструктура Азербайджанской части Большого Кавказа. Баку. Элм. 124.
 ГАСАНОВ, А.Г. 2003. Ощутимые землетрясения Азербайджана 1983-2002 гг. Элм. Баку. 129.
 СУЛТАНОВА, З.З. 1986. Ощутимые землетрясения Азербайджана 1966-1982 гг. Элм. Баку. 96.
 АГАЙЕВА, С. 2006. Stress state of the Earth's crust in Azerbaijan. *Recent geodynamics, georisk and sustain-*

able development in the Black Sea to Caspian Sea region Conference proceedings of American Institute of Physics, 825, Melville, New York, USA, 97-102.
 ALLEN, M., JACKSON, J., WALKER, R. 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. *Tectonics*, 23, doi: 10.1029/2003TC001530.
 ANSS (Advanced National Seismic System) earthquake catalog of USA (www.ncedc.org/anss/catalog-search.html).
 BABAYEV, G. R. 2008. Numerical modeling of topography-induced stress pattern of the Greater and Lesser Caucasus. *AMEA Gənc alimlərin əsərləri*, 1, Bakı.
 HERRING, T.A. 2004. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program version 4.1. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA.
 JACKSON, J. 1992. Partitioning of strike-slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in eastern Turkey. *J. Geophys. Res.*, 97, 12471–12479
 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 Azerbaijan National Academy of Sciences. 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.
 McKENZIE, D.P. 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 30, 239-243.
 McQUARRIE, N., STOCK, J., VERDEL C., WERNICKE, B.P. 2003. Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 30(20), 2036, doi:10.1029/2003GL017992.
 MUELLER, B. HEIDBACH, O., TINGA, M. 2005. The World Stress Map – a freely accessible tool for geohazard assessment. *Proceedings of the international workshop on recent geodynamics, georisk and sustainable development in the Black Sea to Caspian Sea region*. Baku. Azerbaijan. 3-6 July.
 PHILIP, H., CISTERNAS, A., GVISIANI, A., GORSHKOV, A. 1989. The Caucasus: An actual example of the initial stages of continental collision. *Tectonophysics*, 161, 1–21.
 REILINGER, R., and 22 others, 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.*, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
 ROBERTSON, A.H.F. 2000. Mesozoic-Tertiary tectonic evolution of a south Tethyan ocean basin and its margins in southern Turkey. In: *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. Geol. Soc. Spec. Pub. London. 173, 97-138.
 SENGOR, A.M.C., GORUR, N., AND SAROGLU, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: *Strike-slip Faulting and Basin Formation*, Society of Econ. Paleont. Min. Sec. Pub., 37, 227-264.
www.usgs.gov
www.iris.edu
www.ctbto.org
www.zeus.wdcb.ru
www.world-stress-map.org