

**СОВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА И АКТИВНАЯ ТЕКТНИКА ЮЖНОГО СКЛОНА  
БОЛЬШОГО КАВКАЗА В ПРЕДЕЛАХ АЗЕРБАЙДЖАНА  
(МЕЖДУРЕЧЬЕ рр. МАЗЫМЧАЙ И ПИРСААТ)**

**СТАТЬЯ II – АКТИВНАЯ ТЕКТНИКА**

**Кенгерли Т.Н.<sup>1</sup>, Алиев Ф.А.<sup>1</sup>, Алиев А.М.<sup>2</sup>, Казымова С.Э.<sup>3</sup>,  
Сафаров Р.Т.<sup>1</sup>, Вахабов У.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана

AZ1073, г.Баку, просп. Г.Джавида, 119: [tkangarli@gmail.com](mailto:tkangarli@gmail.com)

<sup>2</sup>Геофизическая экспедиция Национальной геологоразведочной службы

Министерства экологии и минеральных ресурсов

AZ1117, г.Баку, ул.Натаван, 16

<sup>3</sup>Республиканский Центр сейсмологической службы НАН Азербайджана

AZ1001, г.Баку, ул.Н.Рафибейли, 25

**CONTEMPORARY STRUCTURE AND ACTIVE TECTONICS OF SOUTHERN SLOPE  
OF THE GREATER CAUCASUS WITHIN AZERBAIJAN (INTERFLUVES OF MAZYMCHAI AND PIRSAAT RIVERS)**

**PART II: ACTIVE TECTONICS**

**Kangarli T.N.<sup>1</sup>, Aliyev F.A.<sup>1</sup>, Aliyev A.M.<sup>2</sup>, Kazimova S.E.<sup>3</sup>, Safarov R.T.<sup>1</sup>, Vahabov U.G.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Geology and Geophysics of ANAS

H. Javid Ave., 119, Baku, Azerbaijan, AZ1143: [tkangarli@gmail.com](mailto:tkangarli@gmail.com)

<sup>2</sup>Geophysical Expedition of National Geological Survey,

Ministry of Ecology and Natural Resources

Natavan Str., 16, Baku, Azerbaijan, AZ1117

<sup>3</sup>Republican Centre of Seismological Survey, ANAS

N. Rafibeyli Str., 25, Baku, Azerbaijan, AZ1001

**Keywords:** *Greater Caucasus, tectonic zoning, Alpine cover, autochthone, allochthon, neo- autochthone, accretionary prism, pseudo-subduction, Pre-Jurassic basement, fault tectonics*

**Summary.** This part of the paper ends dedication to the research of the deep structure and geodynamic activity of the southern slope of the Greater Caucasus within Azerbaijan. It studies active tectonics of the region from the viewpoint of the mechanism of undergoing (pseudo-subduction) within convergence zone of the south and north microplates. We have analysed and interpreted the seismogeological data, as well as GPS monitoring results about contemporary geodynamic activity determining correlations with deep structure peculiarities. Analysis and correlation of historical and recent seismic events (until 2017) show that the earthquake focuses are mainly confined to the intersection nodes of differently striking rupture dislocations, or to the planes of deep tectonic failures and lateral displacements along the unstable contacts of material complexes with different competence. Earthquake focal mechanisms inform about predominantly near-vertical shifts along normal fault planes and normal faults with strike-slip components, but in general earthquake focuses are confined to the intersection nodes of main- and anti-Caucasus rupture dislocations.

© 2018 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

**Введение**

Согласно установившимся представлениям (Ахмедбейли и др., 2002; Геология Азербайджана ..., 2005; Хаин, 1984, 2001; Kangarli, 2012) со-

временная структура Кавказа сформировалась на альпийском этапе тектогенеза в пространственных пределах, охватывающих южный борт Евразийского континента, Малокавказское от-

ветвление Мезотетиса и северный борт Иранского микроконтинента. Характерной чертой строения земной коры является ее тектоническая неоднородность, выраженная в сложном соотношении составляющих ее структурно-формационных единиц с различным литолого-стратиграфическим разрезом, характером деформаций и историей геологического развития.

Зажатость территории Кавказского перешейка в зоне столкновения указанных литосферных плит определяет ее современную геодинамическую и, соответственно, сейсмическую активность. При этом южный склон Большого Кавказа остается одной из наиболее сейсмически активных областей Кавказского перешейка, где периодически происходят крупные сейсмические события, сопровождающиеся спонтанным высвобождением больших объемов энергии земных недр. Сейсмическая активность связана с продолжающейся интенсивной перестройкой структурного плана со значительными амплитудами новейших и современных движений: очаги землетрясений, как правило, приурочены к границам крупных геотектонических элементов земной коры и узлам пересечения разломов различной направленности. Сейсмологические и палеосеймотектонические исследования, сейсмическое и сеймотектоническое районирование, осуществлявшиеся в различных сейсмических регионах Кавказа (включая территорию Азербайджана), подтверждают версию контролируемости очаговых областей землетрясений сетью разломов общекавказского и антикавказского простираний с различными типами смещения. Однако в целом причиной современной сейсмической активности служат горизонтальные подвижки разномасштабных тектонических блоков земной коры, зажатых в полосе коллизионного взаимодействия Афро-Аравийской и Евразийской континентальных плит.

Сопоставительный анализ материалов глубинного картирования, GPS-мониторинга и сейсмологических данных свидетельствует в пользу коррелятивных связей между современной сейсмической активностью, особенностями глубинного строения и современными движениями разномасштабных блоков земной коры региона.

### Методология исследований

Современные горизонтальные скорости движения земной коры определялись согласно записям стационарной геодезической сети GPS с использованием программного пакета GAMIT-GLOBK. Оценка скоростей движения (относительно Евразийской платформы) осуществлялась

в рамках глобальной Международной Наземной Системы Отсчета (ITRF).

Для определения механизмов землетрясений проводился анализ данных их регистрации на нескольких сейсмостанциях, находящихся в разных азимутальных направлениях от эпицентра землетрясения. На сейсмограммах, зарегистрировавших землетрясение, определялась поляризация первых вступлений продольных (Р) волн с последующим выделением нодальных плоскостей (в сопоставлении с реальной геологической обстановкой и данными об имеющихся смещениях на поверхности, если они наблюдались), вдоль которых предположительно произошло смещение во время данного землетрясения.

Механизмы очагов землетрясений были рассчитаны в РЦСС НАНА по программе «FPFIT» системы «Kinematics», используя знаки первых вступлений Р-волн на цифровых станциях, которые расположены в интервале эпицентральных расстояний 15-350 км при достаточно равномерном распределении по азимутам.

### Динамика проявления сейсмической активности

Индикатором продолжающейся псевдосубдукции в пределах южного склона Большого Кавказа является сейсмичность, неравномерно распределяющаяся по глубине (сейсмические уровни -2-6, -8-12, -17-22 и -25-45 км): анализ распределения очагов землетрясений свидетельствует о существовании структурно-динамических взаимоотношений между ними и субвертикальными и субгоризонтальными контактами в земной коре (Кенгерли и Велиев 1988; Aliyev et al., 2018; Kangarli et al., 2016, 2017a; Telesca et al., 2017). Горизонтальная и вертикальная сейсмическая зональность находит объяснение с точки зрения блоковой делимости и тектонической расслоенности земной коры (рис. 1, 2), в структуре которой очаги землетрясений приурочены главным образом к узлам пересечения разрывов различной направленности либо к плоскостям глубинных тектонических срывов и латеральных смещений по неустойчивым контактам вещественных комплексов различной компетентности (Кенгерли и Велиев 1988; Aliyev et al., 2018; Alizadeh et al., 2013; Kangarli et al., 2016, 2017 a, b; Telesca et al., 2017).

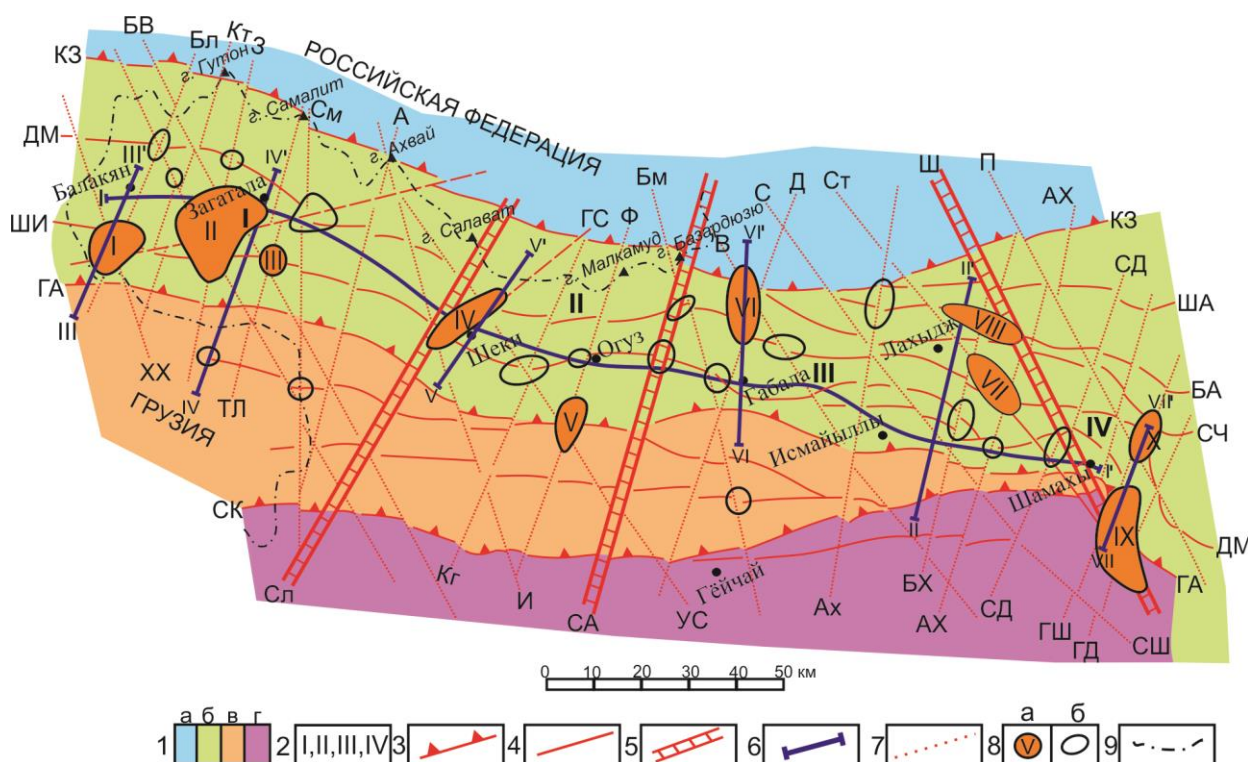
На основании анализа пространственно-временного распределения очагов землетрясений с  $M \geq 3$  за период инструментальных наблюдений с 1902 по 2017 гг. нами прослежена динамика проявления сейсмической активности в зоне южного склона Большого Кавказа (рис. 3). С использованием материалов повторной интерпре-

тации геофизических данных, а также составленной результивной тектономагматической схемы исследуемого региона (Кенгерли и Ахундов, 1988; Kangarli, 2012), с запада на восток можно выделить 4 блока (разделенные антикавказскими разломными зонами) с различной характеристикой сейсмической активности – Загатальский, Шекинский, Габала-Шамахинский и Гобустанский, из которых первые два относятся к восточному, другие два – юго-восточному сегментам Большого Кавказа. Граница между сегментами определяется Самур-Агдашским левосторонним сбросо-сдвигом (см. рис.1).

Первые два блока отличаются меньшей сейсмической активностью за весь период наблюдений (см. рис. 3):

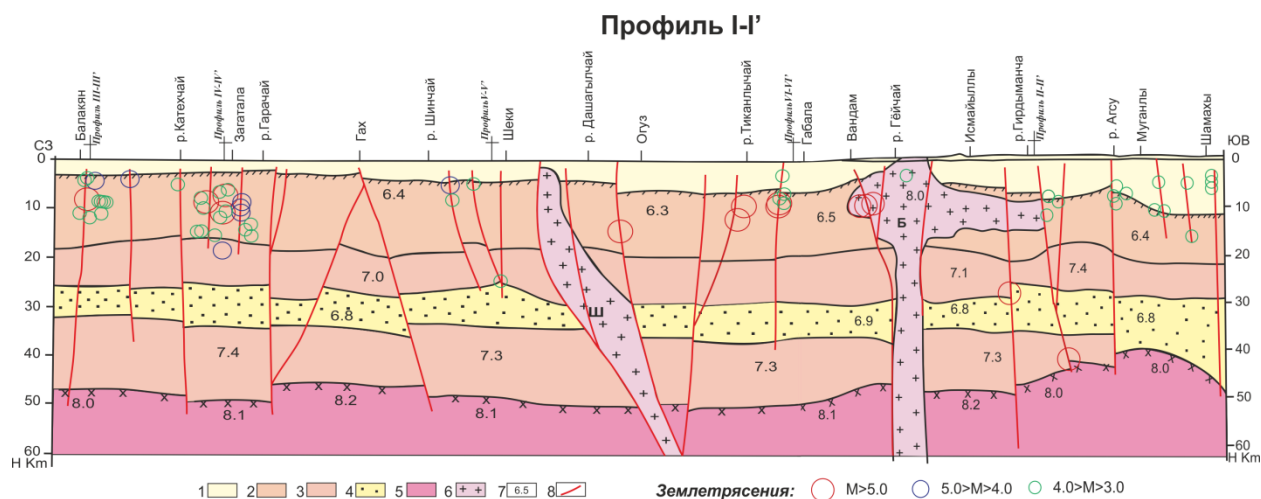
– в период до 1980 года в Загатальском блоке произошло 12 сейсмических событий, приуроченных к верхней части консолидированной коры, очаги абсолютного большинства которых (11) расположены на глубинах 12-30 км; в последующий период количество событий составило 66, из них 9 – в осадочном чехле, 57 – в консолидированной коре на глубинах 5-30 км;

– в Шекинском блоке за период до 1980 года произошло 14 сейсмических событий, из них 3 события (на глубине 3-5 км) приурочены к альпийскому чехлу, остальные – к верхней части консолидированной коры (5-30 км); в период 1981-2017 гг. количество событий возросло до 65, из них 3 – в осадочном чехле, 62 – в консолидированной коре (58 – в верхней части, 3 – нижней части коры и 1 – ниже границы Мохо).



**Рис. 1.** Карта-схема разломной тектоники и распределения очаговых зон землетрясений на уровне поверхности доюрского основания. Составили Т.Н.Кенгерли, Ф.А.Алиев и А.М.Алиев. (Kangarli et al., 2017 a, 2018 b)

1 – продольные блоки (тектонические ступени): а – Туфанский, б – Кахети-Вандам-Гобустанский; в – Чатма-Аджиноурский; г – Средне-Куринский; 2 – поперечные блоки первого порядка: I – Загатальский; II – Шекинский; III – Габала-Шамахинский; IV – Гобустанский; 3 – глубинные разломы 1-го порядка на границах продольных блоков / тектонических ступеней (КЗ – Кбаад-Зангинский; ГА – Ганых-Айричай-Алятский; СК – Северо-Куринский); 4 – прочие продольные разломы, в т.ч.: ДМ – Дашагыл-Мюдрисинский; ШИ – Шамбул-Исмайллинский; СЧ – Салават-Чигилчайский; БА – Бабадаг-Агдаринский; ША – Шахназардаг-Алтыгагачский; 5 – разломы на границах поперечных блоков первого порядка: Сл – Салават-Самухский; СА – Самур-Агдашский; Ш – Шамахинский; 6 – прочие разрывы антикавказского простирания, в т.ч.: ХХ – Химрих-Халаталинский; ТГ – Тиновро-Гандахский; БВ – Буланлыгчай-Верхиянский; Бл – Балакянский; 3 – Загатальский; Кт – Катехский; ТЛ – Талачай-Лалылинский; См – Самалитский; А – Ахвайский; И – Илисуйский; Кг – Кюнгютский; ГС – Гохмуг-Сальяханский; Ф – Фийский; УС – Уджар-Сарыбашский; Бм – Бумчайский; Д – Дамирапаранчайский; В – Вандамский; Ах – Ахочайский; СШ – Сыгырлы-Шахнабадский; Ст – Сулутский; П – Пирсаатский; БХ – Басгал-Хашынский; АХ – Агсу-Халтанский; СД – Сагиян-Дибарский; ГШ – Гейлярдаг-Шыхларский; ГД – Гушчу-Дизаварский; 7 – местоположение профилей, показанных на рис. 2, 3, 11, 13 и 14; 8 – очаговые зоны землетрясений 2012-2018 гг. с  $M \geq 3$ : а – описанные в статье: I – Балакянская; II – Загатальская; III – Гымырская; IV – Шекинская; V – Огузская; VI – Габалинская; VII – Сулутская; VIII – Зарат-Хейбаринская; IX – Гейлярдаг-Гушчинская; XI – Таклинская; б – прочие; 9 – государственная граница



**Рис. 2.** Синтетический сейсмический профиль МОВЗ (I-I' на рис. 1) по трассе Балакян-Шамахи. Составили Т.Н.Кенгерли, А.М.Алиев и Ф.А.Алиев

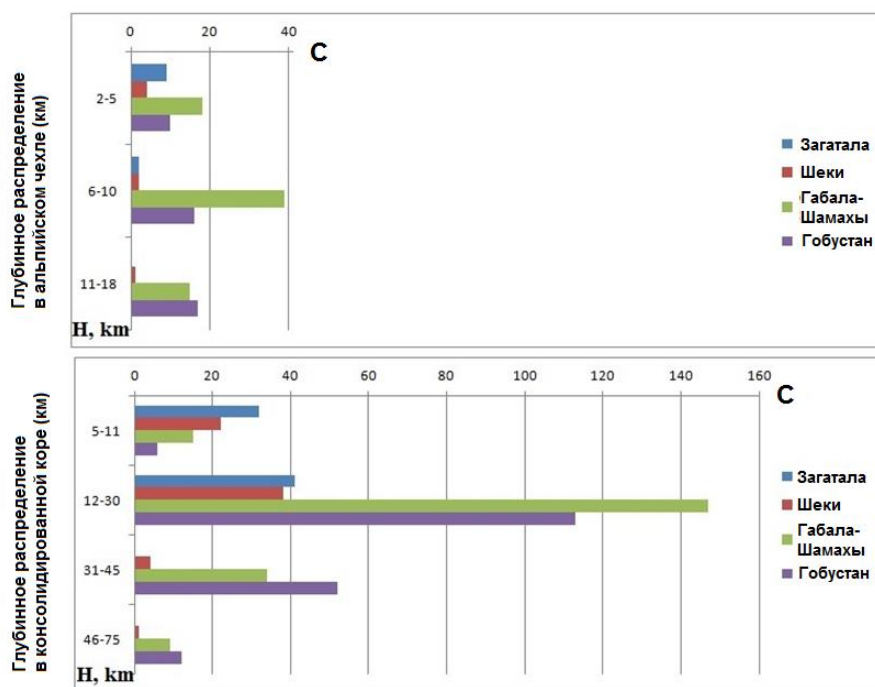
1-3 – слои консолидированной коры: 1 – осадочный; 2 – «гранитный»; 3 – «базальтовый»; 4 – «волновод»; 5 – верхняя мантия; 6 – интрузивы (Ш – Шекинский, Б – Буйнузский); 7 – пластовые скорости сейсмических волн; 8 – разрывные нарушения

Габала-Шамахинский и Гобустанский блоки проявляли более высокую активность за весь период наблюдений, но здесь также наблюдается скачок сейсмической активности в последней четверти XX века (см. рис. 3):

– в период до 1980 года прошлого столетия в Габала-Шамахинском блоке произошло 29 сейсмических событий как в альпийском чехле (14), так и консолидированной коре (14 – на глубинах 5-30 км и 1 – ниже границы Мохо); в последующий период количество событий составило 219, из них 46 – в осадочном чехле, остальные – в

консолидированной коре (141 – на глубинах 5-30 км; 30 – 31-45 км и 8 – ниже границы Мохо);

– в Гобустанском блоке за период до 1980 года произошло 23 сейсмических события, из них 8 событий приурочены к альпийскому чехлу, 11 – к верхней части консолидированной коры (5-30 км) и 4 – к ее нижней части (31-45 км); в период 1981-2017 гг. количество событий возросло до 196, из них 30 произошли в осадочном чехле, 187 – в консолидированной коре (139 – в верхней части, 48 – нижней части коры) и 9 – ниже границы Мохо.



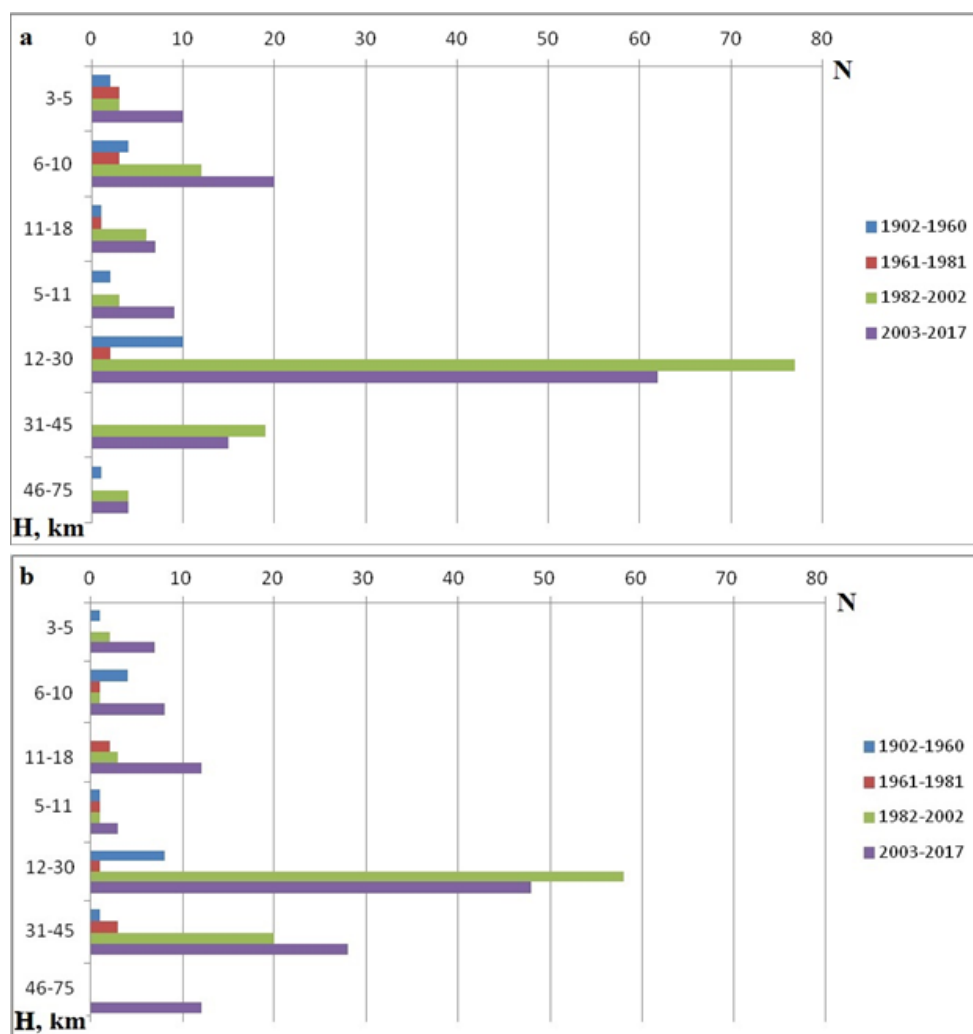
**Рис. 3.** Гистограмма вертикального распределения очагов землетрясений с  $M \geq 3$  по блокам земной коры южного склона Большого Кавказа в пределах Азербайджана (1902-2017 гг.). Составил Ф.А.Алиев

Даже приняв к сведению несовершенство технико-методологического обеспечения регистрации землетрясений за период инструментальных наблюдений первой и начала второй половины XX столетия, можно прийти к заключению, что в целом прослеживается процесс сейсмической активизации в регионе исследований (как и на всем Кавказе и сопредельных областях) с начала 80-х гг. прошлого века (рис. 4). В пределах восточного сегмента сейсмически (Загатальский и Шекинский блоки) активна главным образом верхняя часть консолидированной коры, а в юго-восточном сегменте (Габала-Шамахинский и Гобустанский блоки) сейсмической активностью затронута вся земная кора и даже верхняя мантия. Большинство глубоких очагов расположено в зоне субмеридионального Западно-Каспийского разлома, к востоку от которого наблюдается ступенчатое погружение консолидированной коры в направлении Каспийской котловины.

### Современные геодинамические процессы

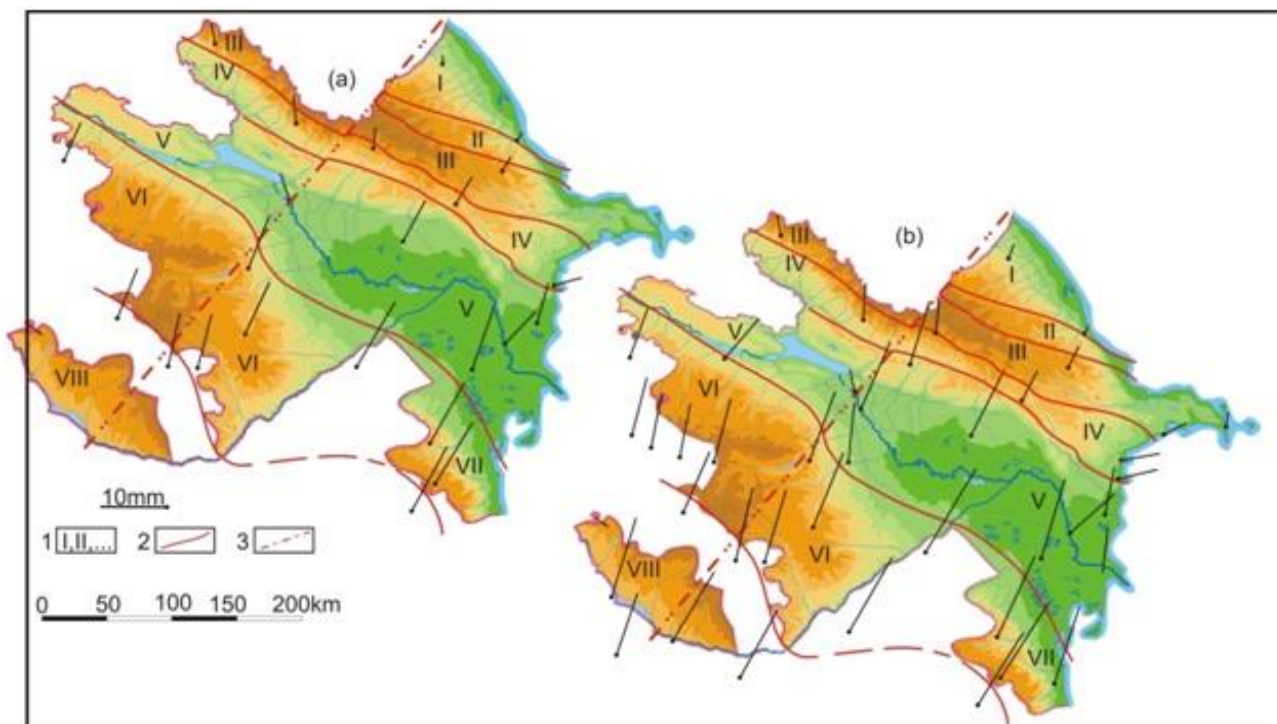
Наблюдаемая активизация сейсмичности в целом согласуется с данными о скоростях горизонтальных смещений за период GPS-наблюдений за современной геодинамикой региона, проводящихся с 1998 года (Кадиров и др., 2009; Кадиров и Сафаров, 2013; Kadirov et al., 2008, 2015, 2018; Telesca et al., 2017). В сравнении с данными за 2004 год скорости горизонтальных смещений на абсолютном большинстве пунктов наблюдения по данным 2017 года возросли на 2-8 мм/год (рис. 5). При этом в распределении скоростей прослеживается поперечная зональность, аналогичная сейсмической: к западу от Самур-Агдашского нарушения скорости в среднем составляют 8-10 мм/год, а к востоку от него превышают 13 мм/год (13-29 мм/год).

Одновременно в распределении скоростей горизонтальных движений наблюдается продольная зональность, соотносимая с общекавказской тектонической зональностью территории.



**Рис.4.** Гистограмма, отражающая изменения сейсмической активности (землетрясения с  $M \geq 3$ ) в азербайджанской части южного склона Большого Кавказа в пространстве (по глубине) и во времени за период 1902-2017 гг.: а – Габала-Шамахинский и Гобустанский блоки; б – Загатальский и Шекинский блоки. Составил Ф.А.Алиев





**Рис. 5.** GPS-скорости горизонтальных смещений земной поверхности территории Азербайджана и сопредельных областей в 2004 (а) и 2017 (б) годах. Составил Р.Т.Сафаров

1 – основные структурные зоны (продольные тектонические блоки): I – Гусар-Давачинская; II – Бокового хребта Большого Кавказа; III – Южного склона Большого Кавказа; IV – Кахети-Вандам-Гобустанская; V – Куринская; VI – Артвин-Гарабагская; VII – Талышская; VIII – Аразская; 2 – глубинные разломы на границах структурных зон; 3 – Самур-Агдашский разлом

Рассмотрение данных по распределению векторов скоростей горизонтальных смещений геодезических пунктов GPS на территории Азербайджана и сопредельной области Ирана за период 1998-2017 гг. приводит к выводу о значительной (до 29 мм/год) скорости смещения в север-северо-восточном направлении юго-западного борта и центральной полосы Южно-Кавказской микроплиты, включая территорию юго-восточного сегмента Малого Кавказа, Куринской депрессии и Талыша. В то же время в пределах северо-восточного борта микроплиты, отвечающего Вандам-Гобустанской мегазоне Большого Кавказа, векторы скоростей испытывают сокращение до 6-13 мм/год, а еще севернее, в всячем крыле Кбаад-Зангинского глубинного поддвига, т.е. непосредственно в пределах аккреционной призмы, и вовсе сокращаются до 0-6 мм/год (данные 2010-2014 гг.). В целом тангенциальное сокращение земной коры в регионе оценивается в размере 4-10 мм/год.

Подтверждением сказанному являются наблюдаемые направления и скорости движения земной поверхности территории Азербайджана и смежных регионов по результатам измерений на GPS-пунктах в 2015 г. (рис. 6). Поле скоростей четко иллюстрирует движение земной поверхно-

сти в С-СВ направлении. При этом на представленных графиках четко проявлена особенность скоростного поля – контрастное уменьшение скорости в пунктах наблюдений, расположенных в южном крыле Зангинского надвига, по сравнению со скоростями, фиксируемыми в пределах Куринской и более южных зон (см. рис. 5, 6).

Данное явление отражает процесс последовательного накопления упругих деформаций в зоне псевдосубдукционного взаимодействия структур северного борта Южно-Кавказской микроплиты (Вандам-Гобустанская мегазона) с аккреционной призмой Большого Кавказа.

#### **Пространственное распределение и факальные механизмы очагов землетрясений**

Пространственно-временной анализ распределения очагов сильных землетрясений в пределах азербайджанской части Большого Кавказа приводит к выводу, что на современном этапе тектогенеза максимально сейсмически активны структуры северного крыла Южно-Кавказской микроплиты (как северные, погребенные под аккреционной призмой, так и выступающие на поверхность в центральной полосе или покрытые четвертичным чехлом в южной части Кахети-Вандам-Гобустанской зоны) на двух участках:

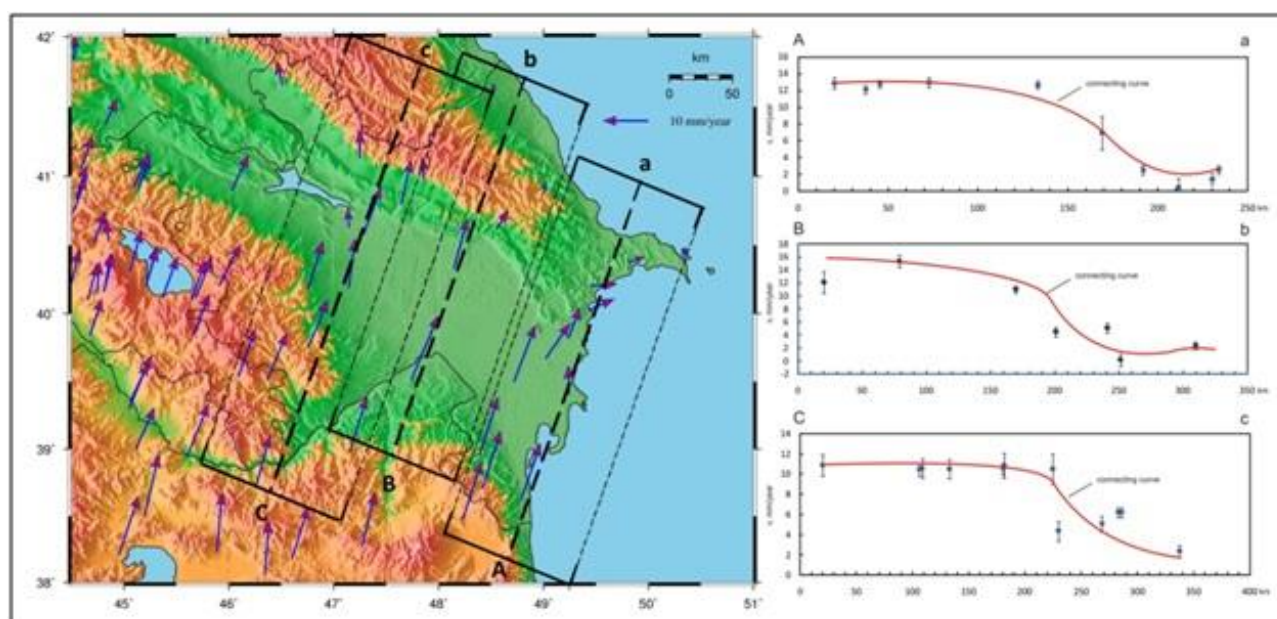


Рис. 6. Скорости GPS горизонтальных движений в Азербайджане и сопредельных областях (2015 г.) и графики параллельных составляющих скоростей GPS по сечениям А-а, В-в и С-с (Kadirov et al., 2015, 2018)

– зона, контролируемая погружающимся на север Ганых-Айричай-Алятским глубинным надвигом «общекавказского» простирания (отвечает границе Вандам-Гобустанской и Средне-Куринской тектонических зон) в полосе Ордубад-Балакян-Моздокской антикавказской сейсмотектонической зоны на западе азербайджанской части Большого Кавказа;

– расположенный в пределах Талыш-Самур-Махачкалинской субмеридиональной сейсмотектонической зоны сложный тектонический узел на востоке описываемой области, отвечающий пересечению двух разломных зон: Западно-Каспийской северо-западного направления (ограничена с северо-востока Пирсаатским и с юго-запада Сыгырлы-Шахнабадским элементарными правыми сдвигами глубокого заложения) и Гирдыманчай-Гонагкендской северо-восточного простирания (представлена Басгал-Хашынским, Агсу-Халтанским, Сагиян-Дибрарским, Гейлярдаг-Шыхларским и др. нарушениями).

В условиях бокового сжатия мелкомасштабные блоки, на которые разбита земная кора региона, служат причиной формирования транспрессивного типа деформаций, сочетающего сдвиговые смещения по поперечным нарушениям, ограничивающим эти блоки, со структурами сжатия, к каковым относятся разрывы общекавказского простирания. При таком режиме формируются многочисленные зоны концентрации упругих напряжений, приуроченные к указанным дислокациям и узлам их сочленения. Именно превышение накопившимися упругими деформациями предела прочности пород приводит

к разрядке энергии и хрупким разрушениям (по механизму stick-slip) в этих тектонически ослабленных зонах южного склона азербайджанской части Большого Кавказа (см.рис.1).

На существование в регионе тангенциальных напряжений в реальном времени указывают также фокальные механизмы землетрясений с  $M \geq 3$ , произошедших в период 2003-2017 гг. (рис. 7). Анализ распределения осей сжатия и расширения свидетельствует о преобладании латерального сжатия, ориентированного в субмеридиональном и СВ-ЮЗ направлениях. Типы фокальных механизмов в целом соответствуют представлениям о геодинамике конвергентных границ микроплит, где отмечается весь набор этих механизмов (рис. 8) – от сбросового до взбросового (Рзаев и др., 2013; Aliyev et al., 2018; Alizadeh et al., 2013; Kangarli et al., 2016, 2017a,b; Yetirmishli et al., 2014, 2016).

Свидетельством сказанному, в частности, являются сейсмические события, наблюдавшиеся в Северо-Западном Азербайджане в период с 2012 по первую половину 2018 гг. В качестве примера приводятся условия и факторы, обусловившие в данный период ощутимую сейсмическую активность в Загатальской, Балакянской, Гымырской, Шекинской, Огузской, Исмайллинской и Габалинской очаговых зонах.

**Загатальская очаговая зона** проявила себя сейсмической активизацией в период 2012-2014 гг. (рис. 9). Основные сейсмические события произошли в мае-июле 2012 г., когда были зафиксированы 3 толчка с  $M = 5,27-5,69$  (07.05.2012 г.), 1 толчок с  $M = 5,02$  (20.06.2012 г.) и большое количество афтершоков с  $M=3,0-4,4$ .



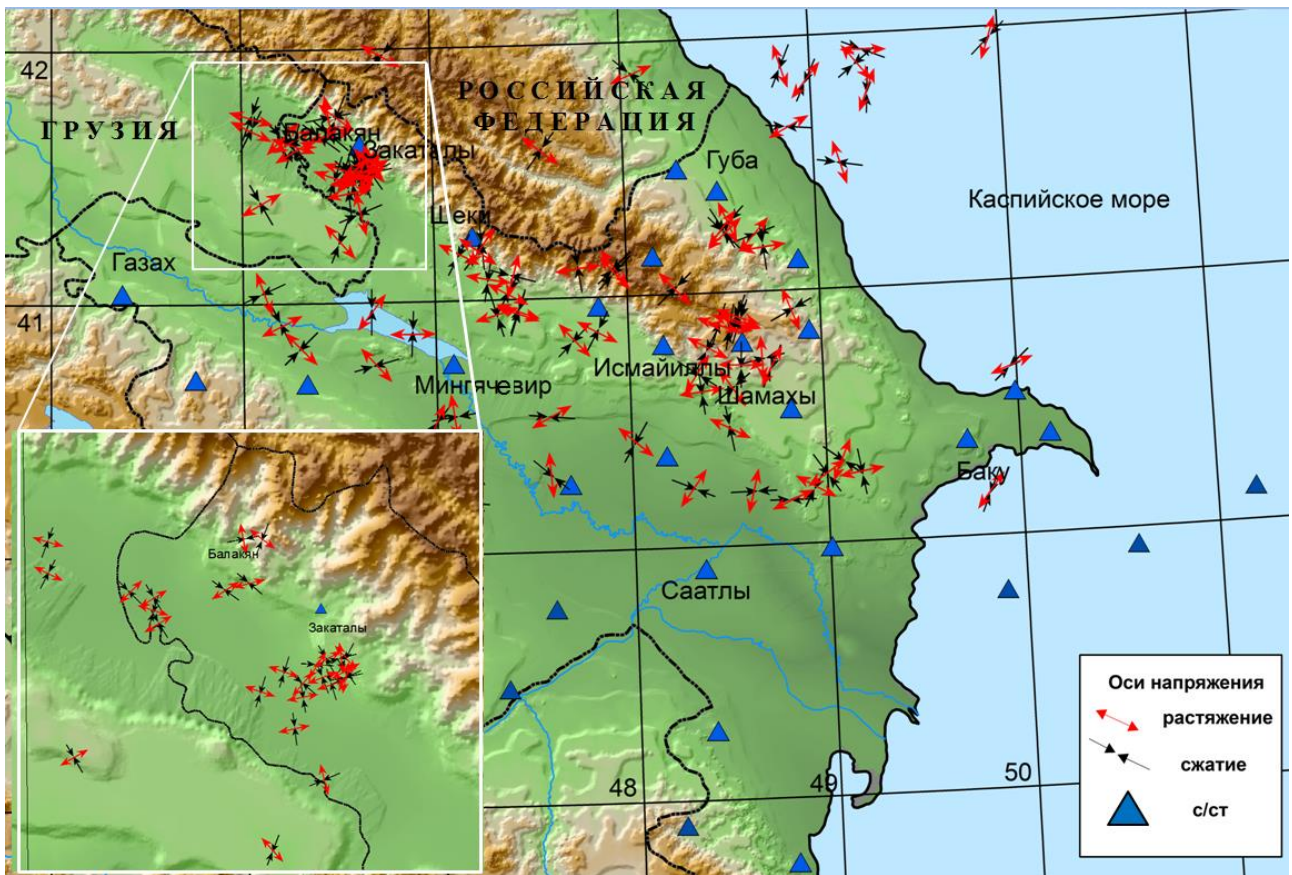


Рис. 7. Схема распределения тектонических напряжений по механизмам очагов землетрясений с  $M \geq 3$  за 2003-2017 гг. Составила С.Э.Казымова

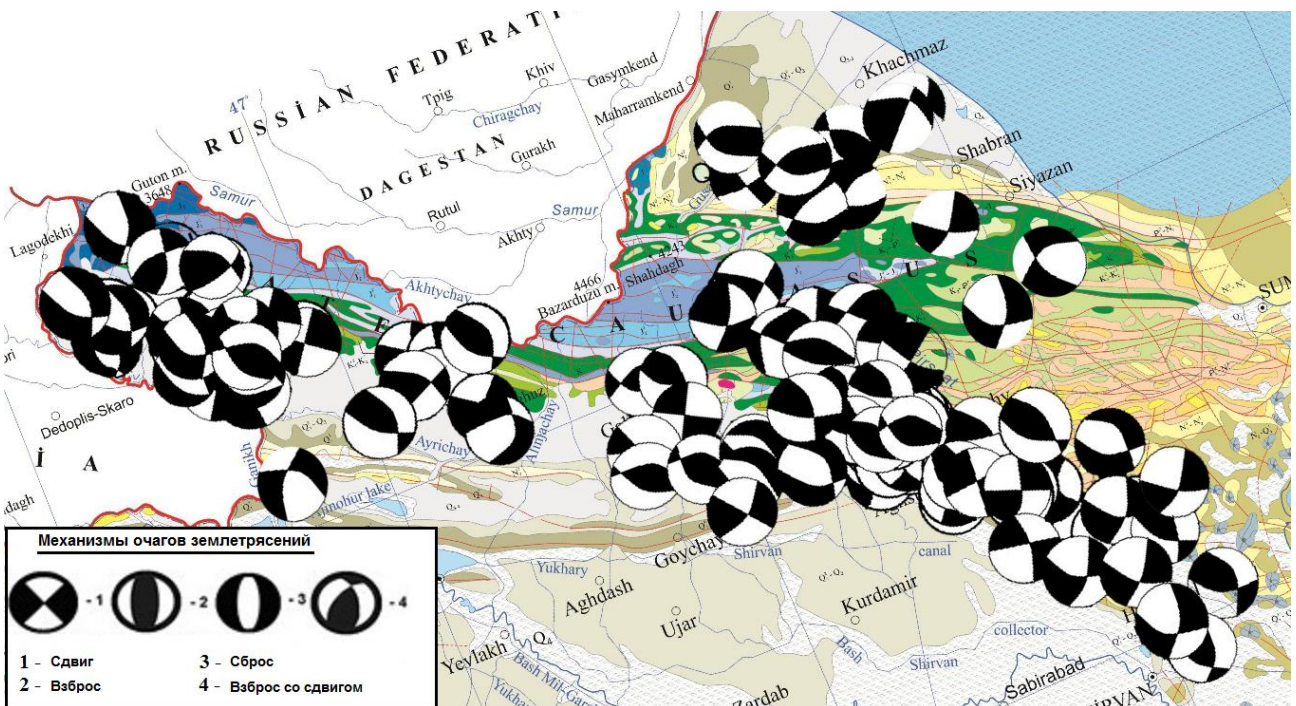


Рис. 8. Механизмы очагов землетрясений с  $M \geq 3$  за период 2003-2017 гг. Составила С.Э.Казымова



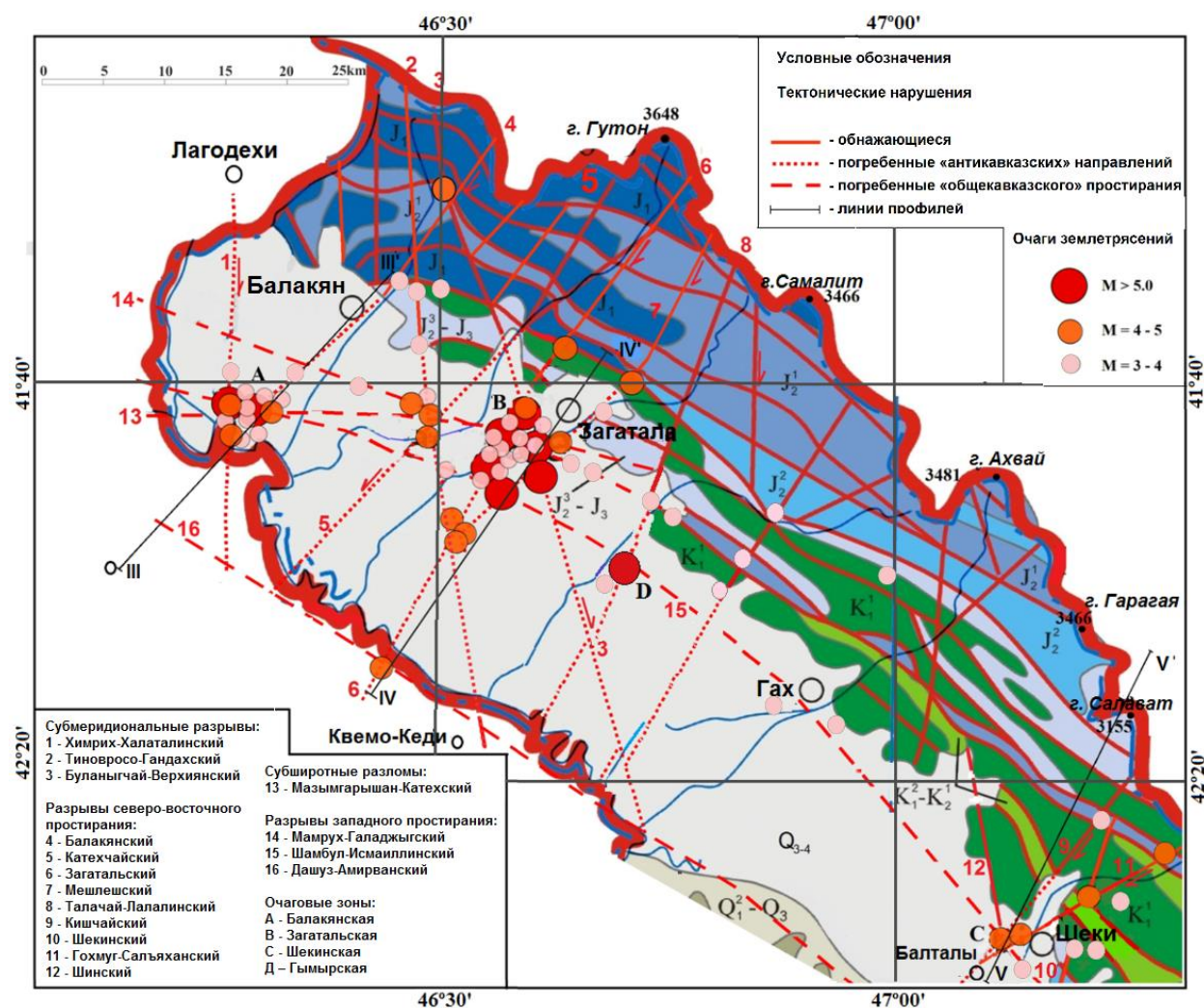


Рис. 9. Соотношение разрывных дислокаций и эпицентров землетрясений с  $M \geq 3$  за период 2012-2014 гг. Составили Т.Н.Кенгерли, Ф.А.Алиев и А.М.Алиев (Kangarli et al., 2017a, 2018b)

Абсолютное большинство гипоцентров расположено в доюрском фундаменте фронтальной части Кахети-Вандам-Гобустанской зоны в интервале глубин 5-20 км (рис.10, пр.III-III'). Исключением является афтершок ( $M = 4.4$ ,  $H = 5$  км) в альпийском чехле (07.05.2012 г., 05 час 40.30 сек), случившийся вне очаговой зоны (к юго-востоку от нее в районе с.Квемо-Кеди, Грузия) и приуроченный к полого погружающейся в северных румбах плоскости Ганых-Айричай-Алятского надвига в узле его пересечения с Загатайским сбросо-сдвигом северо-восточного простираения. В целом очаговая зона представляет собой сложный дизъюнктивный узел в верхней части доюрского фундамента, состоящий из элементарных узлов пересечения тектонических нарушений различного простираения, к которым приурочены гипоцентры землетрясений (см. рис. 1, 9). Ориентировочный объем горной массы, в котором укладываются гипоцентры всех основных землетрясений и афтершоков с  $M \geq 3$ , достигает 3400 км<sup>3</sup>. Сейсмические события связаны главным образом с активи-

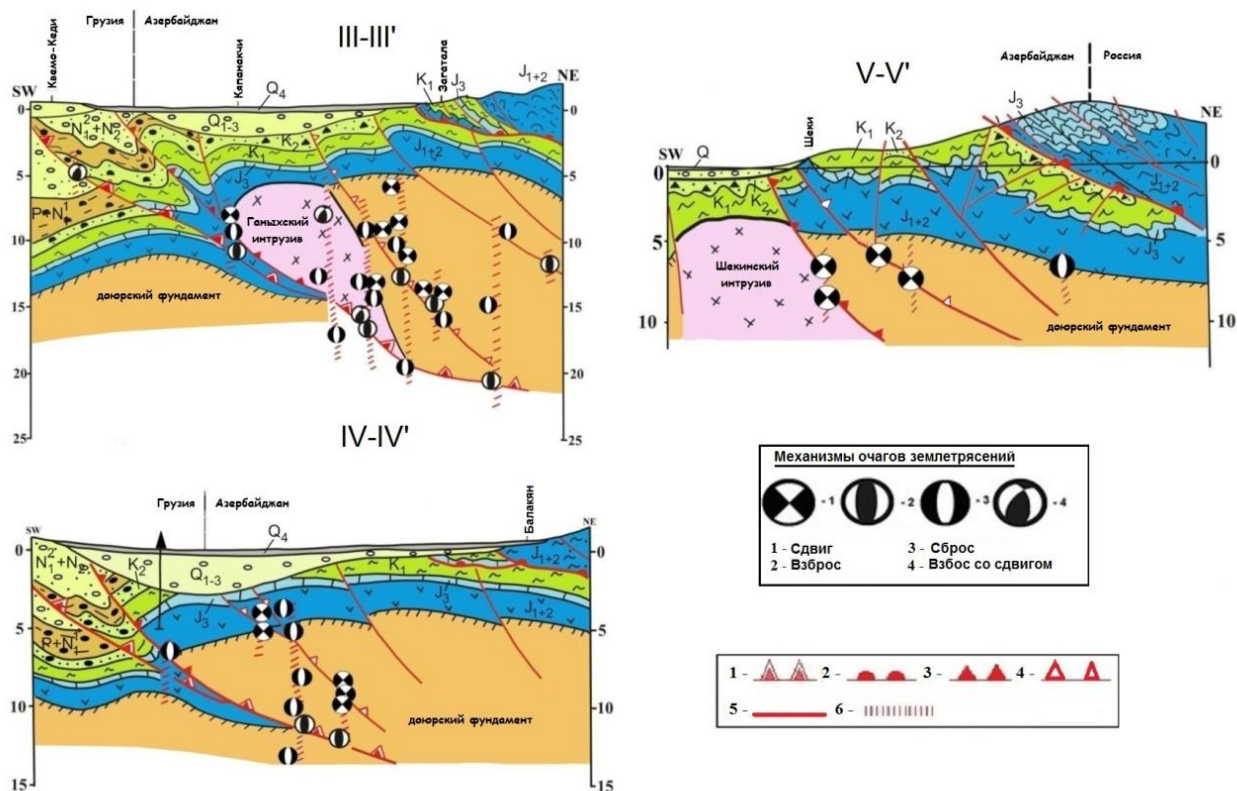
зацией Загатайского поперечного разрыва, что в свою очередь привело к активизации сопряженных с ним нарушений общекавказского и антикавказского направлений.

Механизмы сейсмических толчков свидетельствуют о преобладании сдвиговых и сбросовых подвижек при подчиненной роли сбросо-сдвиговых и взбросовых перемещений в очаговой зоне. Примером служит землетрясение 7 мая 2012 г., которое выразилось двумя достаточно сильными толчками и роем афтершоков (рис. 11, I и II). Первый толчок с  $M=5.61$  и  $H = 9$  км характеризовался близгоризонтальными ( $PL_P=10^\circ$ ) сжимающими и растягивающими ( $PL_T=14^\circ$ ) напряжениями. Тип движения по обеим крутым ( $DP_1=87^\circ$ ,  $DP_2=72^\circ$ ) плоскостям – правосторонний сдвиг. Плоскость  $NP1$  имеет юго-восточное ( $STK_1=125^\circ$ ), а плоскость  $NP2$  – юго-западное ( $STK_2=216^\circ$ ) простираения. Сопоставление простираения нодальных плоскостей с линиями разломов показывает их согласие с Шамбул-

Исмайллинским взбросом (тыльной чешуей Ганых-Айричай-Алятского надвига) общекавказского простирания ( $NP1$ ) и Загатальским антикавказского направления ( $NP2$ ) нарушением. Второй толчок с  $M=5,7$  и  $H=12$  км произошел под действием близгоризонтальных растягивающих напряжений ( $PL_T=1^\circ$ ). Тип движения по обеим относительно пологим ( $DP_1=48^\circ$ ,  $DP_2=50^\circ$ ) плоскостям – сброс. Простирание плоскостей  $NP1$  юго-восточное ( $STK_1=130^\circ$ ),  $NP2$  – северо-западное ( $STK_2=340^\circ$ ). Простирание нодальных плоскостей коррелируется с направлениями Шамбул-Исмайллинского общекавказского ( $NP1$ ) и Буланыгчай-Верхиянского антикавказского ( $NP2$ ) тектонических нарушений. Анализ материалов позволяет считать основной действующей составляющей именно плоскость  $NP1$ .

Механизмы большинства афтершоков указывают на сбросовые и сдвиговые смещения в очаговой зоне при подчиненном количестве (5 событий) взбросовых перемещений, приуроченных к плоскости Ганых-Айричайского надвига и его тыльных чешуй.

**Балакянская очаговая зона** была активна в 2012, 2013 и 2016 гг. Сейсмические события октября-ноября 2012 г. проявили себя серией толчков с максимальной  $M = 5,60$  (14.10.2012 г.). События последующих лет отличались относительно невысокой силой с  $M = 3,14-4,37$ . Как и в первом случае, очаговая зона приурочена к сложному узлу пересечения разломов различного простирания, большинство гипоцентров размещено в верхней части доюрского фундамента, а также приурочено к его поверхности и нижней части альпийского чехла Вандамского поднятия, интервал глубин 4-13 км (рис.10, пр.IV-IV'). Ориентировочный объем горной массы, в котором укладываются гипоцентры всех основных землетрясений и афтершоков с  $M \geq 3$ , достигает 500 км<sup>3</sup>. Сейсмические события связаны главным образом с активизацией Химрих-Халаталинского (2012 г.) и Балакянского (2013 и 2016 гг.) разломов антикавказского простирания. При этом разрядка сейсмической энергии происходила в наиболее раздробленных зонах, отвечающих узлам пересечения этих нарушений между собой и разломами общекавказского простирания.



**Рис. 10.** Геолого-геофизические разрезы через Загатальскую (III-III' на рис. 1 и 9), Балакянскую (IV-IV' на рис. 1 и 9) и Шекинскую (V-V' на рис. 1 и 9) очаговые зоны. Составили Т.Н.Кенгерли, Ф.А.Алиев и А.М.Алиев (Kangarli et al., 2017a, 2018b) 1-5 – разрывы общекавказского простирания: 1 – Ганых-Айричай-Алятский; 2 – Мамрух-Галаджыгский (фронтальная чешуя Кбаад-Зангинского разлома); 3 – Шамбул-Исмайллинский; 4 – Дашагыл-Мюдрисинский; 5 – прочие; 6 – разрывы антикавказского простирания



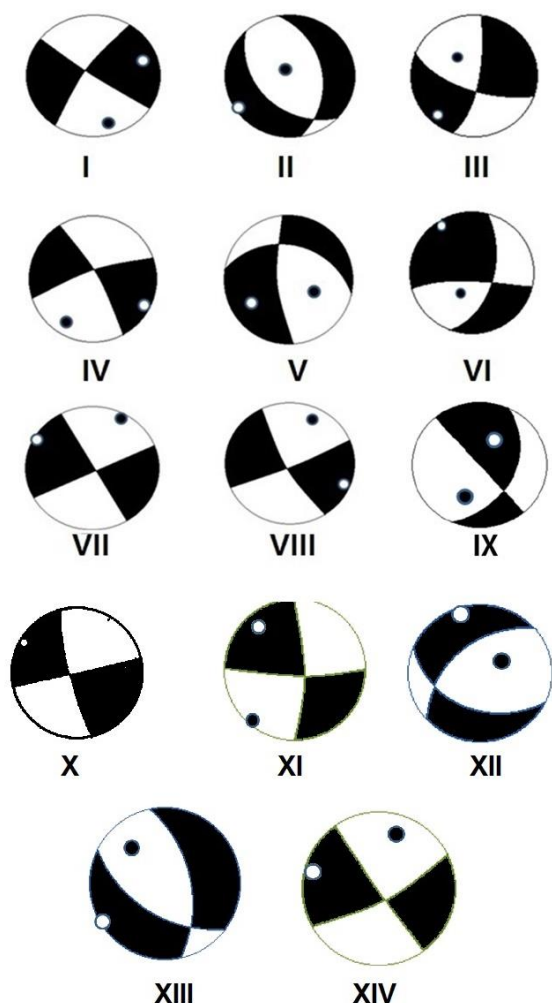


Рис. 11. Механизмы Загатайского (I, II), Балакянского (III), Шекинского (IV), Тирджанского (V), Габалинского (VI), Огузского (VII, VIII), Гымырского (IX), Зарат-Хейбаринского (X), Сулутского (XI), Гейляр-Дагского (XII) и Таклинского (XIII, XIV) землетрясений. Составила С.Э.Казымова

Механизмы землетрясений в очаговой зоне указывают на преобладание сбросовых и сдвиговых подвижек при подчиненной роли смещений взбросового типа. В частности, землетрясение 14 октября 2012 г. с  $M=5,6$  и  $H=8$  км характеризовалось горизонтальными ( $PL_p=0^\circ$ ) растягивающими юго-западной ориентации и близвертикальными сжимающими ( $PL_t=48^\circ$ ) северо-западной ориентации напряжениями (рис. 11, III). Тип движения по обеим ( $DP=57^\circ$ ) плоскостям – сдвиг. Плоскость  $NP1$  имеет юго-восточное простирание ( $STK_1=115^\circ$ ),  $NP2$  – северное ( $STK_2=2^\circ$ ). Сопоставление простирания нодальных плоскостей с линиями разломов показывает согласие первой из них ( $NP1$ ) с Шамбул-Исмайыллинским продольным разломом и второй ( $NP2$ ) – с Химрих-Халаталинским диагональным нарушением.

**Гымырская очаговая зона** (см. рис. 1, 9), расположенная в 8-10 км к юго-востоку от предыдущей зоны концентрации очагов сейсми-

ческой активности 2012-2014 гг., проявила себя событиями мая 2012 г. ( $M=3,12$ ,  $H=12,45$  км) и июня 2018 г. (ощутимый толчок с  $M=5,5$  и  $H=10$  км, а также более 70 афтершоков с  $M \leq 2,7$  на глубинах 8-16 км). Очаговая зона локализована в верхней части доюрского фундамента в узле пересечения Шамбул-Исмайыллинского взбросо-надвига общекавказского простирания со сбросо-сдвиговыми нарушениями северо-восточного (Талачай-Лалялинским) и северо-западного (Буланлыгчай-Верхиянским) направлений. Значительный разброс глубин распределения гипоцентров (8-16 км) указывает на их преобладающую приуроченность к крутому нарушению антикавказского направления. Об этом свидетельствует механизм основного сейсмического толчка с доминированием сдвиговых и сбросовых подвижек (рис. 11, IX). Очаг характеризовался действием близгоризонтальных сжимающих и растягивающих напряжений. Тип движения по первой плоскости ( $DP=58^\circ$ ) – левосторонний сдвиг с элементами взброса, по второй плоскости ( $DP=78^\circ$ ) – правосторонний сдвиг. Плоскость  $NP1$  имеет северо-западное простирание ( $STK_1=295^\circ$ ), плоскость  $NP2$  – северо-восточное ( $STK_2=19^\circ$ ). Сопоставление простирания нодальных плоскостей с линиями разломов показывает согласие первой из них ( $NP1$ ) с Шамбул-Исмайыллинским продольным взбросо-надвигом и второй ( $NP2$ ) – с Талачай-Лалялинским поперечным нарушением.

**Шекинская очаговая зона** проявила себя относительно слабой сейсмической активностью ( $M=3,00-4,07$ ) в 2012-2013 гг. Гипоцентры землетрясений расположены в верхней части доюрского фундамента фронтальной части Кахети-Вандам-Гобустанской зоны в интервале глубин 5-9 км (рис.10, пр.V-V'). Очаговая зона приурочена к Гохмуг-Сальяханскому поперечному нарушению северо-восточного простирания. При этом разрядка сейсмической энергии происходила попеременно в узлах его пересечения с прочими разрывными дислокациями антикавказского простирания (см. рис. 1, 9).

Механизмы землетрясений исследуемого периода указывают на доминирование сдвиговых подвижек. Примером тому является землетрясение 14 мая 2012 г. с  $M=4,1$  и  $H=6$  км, которое характеризовалось субгоризонтальными растягивающими ( $PL_p=7^\circ$ ) юго-восточной ориентации и сжимающими ( $PL_t=14^\circ$ ) юго-западной ориентации напряжениями (рис. 11, IV). Тип движения по обеим крутым ( $DP=85-74^\circ$ ) плоскостям – сдвиг. Плоскость  $NP1$  имеет северо-западное ( $STK_1=342^\circ$ ), а  $NP2$  – северо-восточное ( $STK_2=251^\circ$ ) простирание. Сопоставление простирания нодальных плоскостей



с линиями картируемых геолого-геофизическими методами разломов показывает их согласие с Уджар-Сарыбашским (Шинским), а второй ( $NP2$ ) – с Гохмуг-Салъяханским разрывными дислокациями антикавказского направления. Анализ и сопоставление геолого-геофизических материалов указывает на приуроченность сейсмического события к сложному узлу тройственного сочленения Шанбул-Исмайллинского разрыва общекавказского направления с Уджар-Сарыбашским и Гохмуг-Салъяханским антикавказскими нарушениями в тектонически осложненном экзоконтакте Шекинского интрузивного массива.

**Огузская очаговая зона** проявила себя двумя ощутимыми (а также несколькими менее значительными с  $M \leq 3,3$ ) толчками в сентябре ( $M=5,9$ ) и октябре ( $M=4,0$ ) 2015 г. Зона приурочена к сложному узлу пересечения Фийского северо-восточного и Уджар-Сарыбашского северо-западного поперечных разрывов с Ганых-Айричай-Алятским нарушением общекавказского простирания на южной границе Кахети-Вандам-Гобустанской зоны (см. рис. 1). Землетрясения 4 сентября и 13 октября произошли под действием близких по величине растягивающих и сжимающих напряжений в одном и том же очаге на глубине 16 км, т.е. в верхней части доюрского фундамента. При этом напряжения сжатия в очаге землетрясения были ориентированы в северо-восточном направлении и действовали близгоризонтально ( $PL_p=0-7^\circ$ ), а горизонтальные растягивающие усилия ( $PL_T=0-2^\circ$ ) ориентированы в запад-северо-западном направлении (рис. 11, VII и VIII). Тип движений по обеим субвертикальным плоскостям смещения ( $DP_1=86-90^\circ$ ,  $DP_2=83-90^\circ$ ) – сдвиг с левосторонней горизонтальной компонентой. Первая нодальная плоскость  $NP1$  простирается на юго-восток ( $STK_1=153^\circ$ ) с падением на юго-запад, вторая нодальная плоскость  $NP2$  имеет северо-восточное простирание ( $STK_2=33^\circ$ ) с падением на юго-восток. Сопоставление простирания нодальных плоскостей с разрывной тектоникой региона показывает их согласие с Уджар-Сарыбашским ( $NP1$ ) и Фийским ( $NP2$ ) разрывными дислокациями антикавказского простирания.

**Габалинская очаговая зона**, активизировавшаяся в конце сентября – начале октября 2014 г., проявила себя двумя ощутимыми толчками с  $M = 5,0-5,5$  и роем слабых афтершоков. Зона проявила активность также в феврале-апреле 2015 г., когда произошло 5 землетрясений с  $M = 3,0-3,7$ . Очаговая зона контролируется Дамирапаранчайским право-сдвиговым нарушением северо-восточного простирания, который осложня-

ет здесь полосу поддвигового сочленения Кахети-Вандам-Гобустанской зоны и аккреционной призмы Большого Кавказа (рис. 12). Очаговая зона характеризуется главным образом сдвиговыми смещениями по плоскости разрыва. В качестве примера можно указать на событие 29.09.2014 г., когда произошло землетрясение с  $M=5,5$  на глубине 13 км, т.е. в доюрском основании Кахети-Вандам-Гобустанской зоны. В очаге землетрясения преобладали близвертикальные ( $PL_p=48^\circ$ ) сжимающие напряжения, ориентированные в субширотном и субмеридиональном направлениях (рис. 11, VI). Тип движения по обеим крутым ( $DP_1=64^\circ$ ,  $DP_2=53^\circ$ ) плоскостям – сдвиг. Плоскость  $NP1$  субширотна ( $STK_1=265^\circ$ ) и сопоставляется с Дашагыл-Мюдрисинским взбросо-надвигом общекавказского простирания, а плоскость  $NP2$  северо-восточного простирания ( $STK_2=17^\circ$ ) отвечает непосредственно Дамирапаранчайскому нарушению.

**Зарат-Хейбаринская очаговая зона** за исследуемый и предыдущие периоды характеризовалась постоянной, но относительно слабой ( $M \leq 4,7$ ) сейсмической активностью. Эпицентральная область вытянута в субширотном направлении, будучи приурочена к рубцовой зоне Говдаг-Сумгайытского покровного комплекса, пересекаемой здесь активными нарушениями антикавказского направления. Землетрясения мелкофокусные, их гипоцентры сосредоточены в вулканогенно-осадочном чехле Вандам-Гобустанского автохтона, погребенного под Говдаг-Сумгайытским аллохтонным комплексом, что, очевидно, связано с наличием высоких геодинамических напряжений в раздробленном разнонаправленными поперечными дизъюнктивами седиментационном комплексе автохтонного блока, пододвигаемого под аккреционную призму Южного склона (рис. 13). В глубинной структуре (см. рис. 1) – это сложный узел пересечения проникающих в доюрское основание разломов общекавказского простирания (Салават-Чигилчайский и Бабадаг-Агдаринский) с поперечными разрывами северо-восточной (Басгал-Хашынский, Агсу-Халтанский), субмеридиональной (Шамахинский) и северо-западной (Сулутский) направленности. Механизмы происходящих в данном дизъюнктивном узле сейсмических событий свидетельствуют о преимуществе сбросово-сдвиговых смещений, контролирующей сейсмическую активность. Примером может служить землетрясение 30 марта 2015 г., выраженный двумя последовательными толчками (с разницей 28 минут) с  $M=4,2$  и  $4,1$  соответственно и глубиной гипоцентра 6,3 и 6,1 км соответственно.

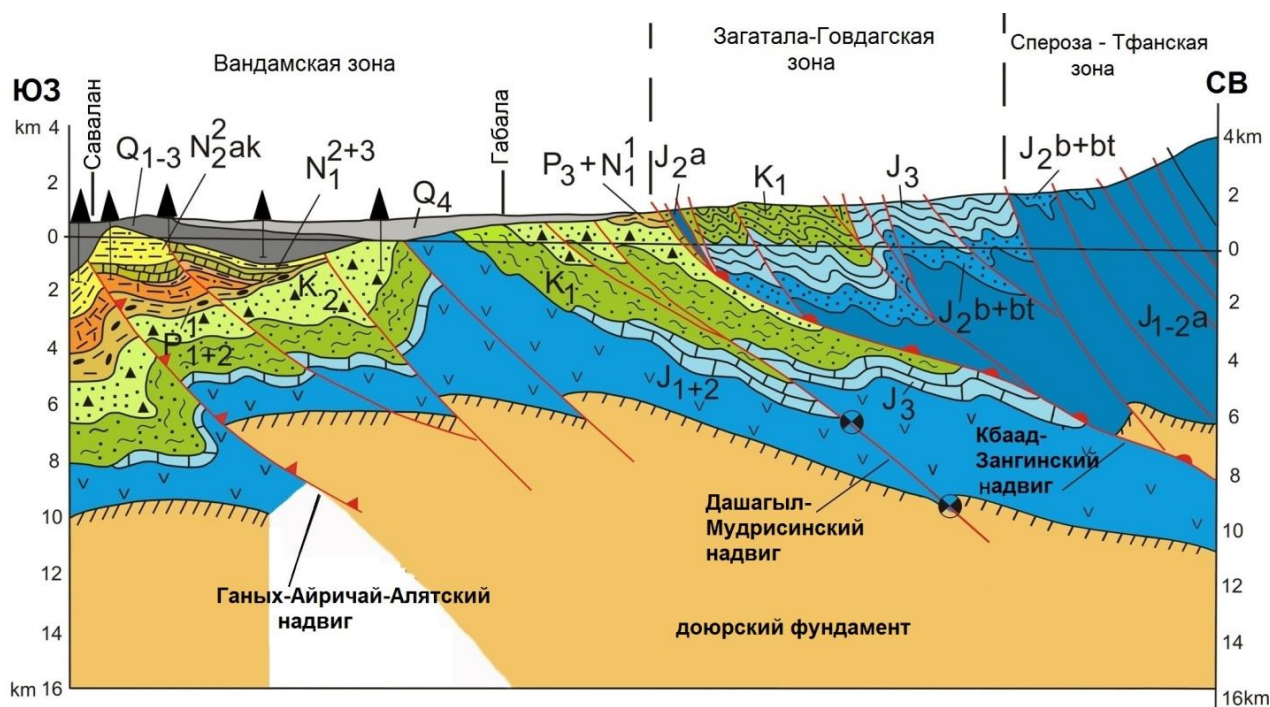


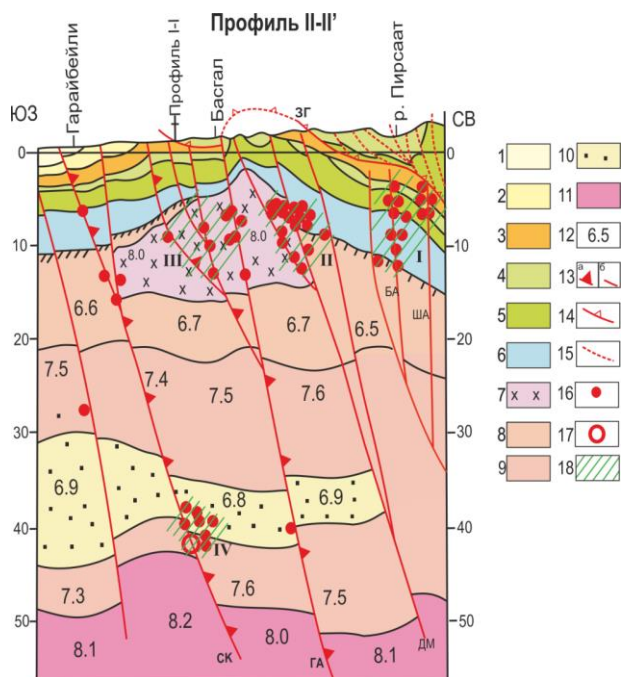
Рис. 12. Геолого-геофизические разрезы через Габалинскую очаговую зону (VI-VI на рис. 16). Составили Т.Н.Кенгерли, Ф.А.Алиев и А.М.Алиев (Kangarli et al., 2017a)

Землетрясение характеризовалось близгоризонтальными растягивающими ( $PL_P=0^\circ-2^\circ$ ) север-северо-западной ориентации и сжимающими ( $PL_T=0^\circ-8^\circ$ ) северо-восточной ориентации напряжениями (рис. 11, X). Тип движения по обеим крутым плоскостям ( $DP=83-90^\circ$ ) – сдвиг. Плоскость  $NP1$  имеет юго-восточное простирание ( $STK_1=123^\circ$ ),  $NP2$  – северное ( $STK_2=63^\circ$ ). Сопоставление простирания нодальных плоскостей с линиями разломов показывает согласие первой из них ( $NP1$ ) с Салават-Чигилчайским продольным и второй ( $NP2$ ) – с Басгал-Хашынским поперечным нарушениями.

**Сулутская очаговая зона** характеризовалась за исследуемый период периодической относительно слабой ( $M \leq 4,5$ ) активностью. Большинство гипоцентров размещено в верхней части доюрского фундамента, а также приурочено к его поверхности. При этом очаговая зона вытянута в северо-западном направлении и в глубинной структуре четко приурочена к одноименному право-сдвиговому нарушению того же простирания в узле его пересечения с Дашагыл-Мудрисинским общекавказского простирания и Агсу-Халтанским северо-восточного простирания разломами (см.рис. 1 и 13). Анализ фактического материала за истекший период приводит к выводу, что сейсмические события связаны главным образом со смещениями по Сулутскому дизъюнктиву. В качестве примера остановимся на событии 11 августа 2018 г., когда произошло

землетрясение с  $M=3,8$ , приуроченное к поверхности фундамента на глубине 9 км. В сейсмическом очаге были установлены близгоризонтальные напряжения сжатия ( $PL_P=0^\circ-11^\circ$ ) юго-западной и растяжения ( $PL_T=0^\circ-4^\circ$ ) северо-западной ориентировки (рис. 11, XI). Тип движения по обеим крутым плоскостям ( $DP=82^\circ$ ) – сдвиг. Плоскость  $NP1$  (левосторонний сдвиг с элементами взброса) имеет субширотное простирание ( $STK_1=95^\circ$ ),  $NP2$  (правый сдвиг) – северо-западное ( $STK_2=345^\circ$ ). Сопоставление простирания нодальных плоскостей с линиями разрывных нарушений показывает согласие первой из них ( $NP1$ ) с Дашагыл-Мудрисинским продольным разломом и второй ( $NP2$ ) – с Сулутским северо-западного простирания нарушением.

Со спонтанной активизацией геодинамических напряжений в данном тектоническом узле связано разрушительное землетрясение, случившееся 5 февраля текущего года и проявившее себя серией толчков с максимальной  $M=5,2$  на глубинах 8-11 км, т.е. в верхней части доюрского фундамента. Повторные ощутимые толчки с  $M \leq 4$  наблюдались 6-11 февраля. Анализ пространственного распределения гипоцентров указывает на их миграцию вдоль Сулутского правого сдвига в юго-восточном направлении, определяя таким образом его роль как основного структурного элемента, контролирующего сейсмическую активность в очаговой зоне.



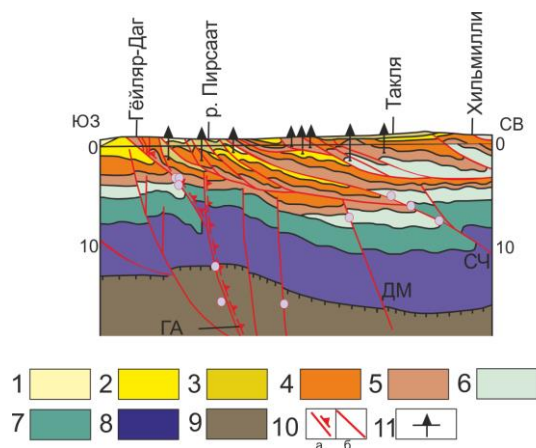
**Рис.13.** Сейсмический профиль МОВЗ (II-II' на рис.1) по траверсу Гарайбейли-Лакхидж. Составили Т.Н.Кенгерли, А.М.Алиев и Ф.А.Алиев.

1-7 – вещественные комплексы альпийского чехла: 1 – плейстоцен-голоцен; 2 – миоцен; 3 – палеоген; 4 – верхний мел; 5 – верхняя юра и нижний мел; 6 – нижняя и средняя юра; 7 – Буйнузский интрузив; 8-9 – слои консолидированной коры: 8 – «гранитный»; 9 – «базальтовый»; 10 – «волновод»; 11 – верхняя мантия; 12 – пластовые скорости сейсмических волн; 13 – глубинные разломы: а – 1-го порядка на границах структурных зон (ГА – Ганых-Айричай-Алятский; НК – Северо-Курунский); б – прочие (в т.ч. ДМ – Дашагыл-Мюдрисинский; БА – Бабадаг-Агдаринский; ША – Шахназардаг-Алтыгагачский); 14 – Занги-Гараджузлинский надвиг (ЗГ); 15 – разрывные нарушения в структуре Говдаг-Сумгайытского покровного комплекса; 16 – очаги землетрясений с  $M \geq 3$ ; 17 – очаг Тирджанского (Исмайллинского) землетрясения с  $M = 5,27$  (07 октября 2012); 18 – очаговые зоны землетрясений: I – Зарат-Хейбарская; II – Сулутская; III – Басгальская; IV – Тирджанская

**Гейлярдаг-Гушчинская очаговая зона** также за исследуемый период проявляла периодическую относительно слабую ( $M \leq 4,0$ ) активность. Эпицентральная область имеет эллипсоидальную форму, согласную простиранию Лянгябизской гряды. Землетрясения мелкофокусные с гипоцентрами, сосредоточенными преимущественно в осадочном чехле или приуроченными к поверхности и верхней части доюрского фундамента (рис. 14). При этом очаговая зона расположена в сложном узле пересечения разнонаправленных разрывных нарушений – Сулутского северо-западного, Шамахинского субмеридионального, Ганых-Айричай-Алятского общекавказского, а также Гейлярдаг-Шыхларского и Гушчу-Дизаварского северо-восточного простираний, но в целом контролируется первым из названных нарушений. Механизм землетрясений данной зоны рассматривается на

примере сейсмического события, происшедшего 16 октября 2018 г. на глубине 4 км с  $M=3,4$ . Сейсмическое событие характеризовалось близгоризонтальными ( $PL_p=7^\circ$ ) растягивающими северо-западной ориентации и близвертикальными ( $PL_t=52^\circ$ ) северо-восточной ориентации напряжениями (рис. 11, XII). Тип движения по обеим крутым ( $DP=83-90^\circ$ ) плоскостям – сброс с элементами сдвига. Плоскость  $NP1$  имеет юго-западное простирание ( $STK_1=228^\circ$ ), согласуясь с простиранием  $NP2$  – юго-восточным ( $STK_2=111^\circ$ ). Сопоставление простирания нодальных плоскостей с линиями разломов показывает согласие первой из них ( $NP1$ ) с Гейлярдаг-Шыхларским поперечным и второй ( $NP2$ ) – с Ганых-Айричай-Алятским продольным глубинными разломами.

**Таклинская очаговая зона** проявила себя в сентябре 2018 г. относительно слабой ( $M = 3,3-3,9$ ) сейсмической активностью (см. рис.14). Эпицентральная область имеет овальную форму, при этом сама очаговая зона приурочена к узлу пересечения погребенного под Говдаг-Сумгайытским аллохтонным комплексом Дашагыл-Мюдрисинского взбросо-надвига с Гейлярдаг-Шыхларским северо-восточного и Пирсаатским северо-западного простирания сдвиго-сбросами. Как и в случае с Зарат-Хейбаринской и Гейлярдаг-Гушчинской очаговыми зонами, гипоцентры землетрясений приурочены здесь к автохтонному вулканогенно-осадочному чехлу, скрытому под Говдаг-Сумгайытским аллохтоном.



**Рис. 14.** Сейсмический профиль МОВЗ (VII-VII' на рис.1) по траверсу Гейлярдаг-Хильмилли. Составили Т.Н.Кенгерли, А.М.Алиев и Ф.А.Алиев

1 – верхний плиоцен – эоплейстоцен (акчагыльский и абшеронский регионалы); 2 – средний миоцен – нижний плиоцен; 3 – средний – верхний миоцен; 4 – олигоцен – нижний миоцен; 5 – палеоцен-эоцен; 6 – верхний мел; 7 – верхняя юра и нижний мел; 8 – нижняя и средняя юра; 9 – доюрский фундамент; 10 – разрывы: а – Ганых-Айричай-Алятский; б – прочие, в т.ч. ДМ – Дашагыл-Мюдрисинский, СЧ – Салават-Чигилчайский; 11 – скважины



Имеющиеся данные по механизмам землетрясений позволяют проследить последовательность активизации разнонаправленных нарушений в одном и том же очаге с суточным интервалом в реализации сейсмических событий. Установлено, что землетрясения 18 и 19 сентября 2018 года магнитудой соответственно 3,4 и 3,9 произошли под действием различных по величине и направлению растягивающих и сжимающих напряжений на глубинах соответственно 5 и 7 км.

Первый толчок с  $M=3,4$  характеризовался близгоризонтальными ( $PL_P=0^\circ$ ) растягивающими юго-западной ориентации и близвертикальными ( $PL_T=61^\circ$ ) северо-западной ориентации напряжениями (рис. 11, XIII). Тип движения по обеим крутым плоскостям ( $DP=83-90^\circ$ ) – сброс с элементами сдвига. Плоскость  $NP1$  имеет юго-восточное ( $STK_1=120^\circ$ ),  $NP2$  – северо-западное ( $STK_2=351^\circ$ ) простирание. При сопоставлении простирания нодальных плоскостей с линиями разломов показывает согласие первой из них ( $NP1$ ) с Дашагыл-Мюдрисинским продольным, а второго ( $NP2$ ) – с Пирсаатским поперечным нарушениями.

Второй толчок с  $M=3,9$  характеризовался близгоризонтальными напряжениями растяжения ( $PL_P=8^\circ-2^\circ$ ) северо-западной ориентации и сжатия ( $PL_T=0^\circ-4^\circ$ ) северо-восточной ориентации (рис. 11, XIV). Тип движения по первой крутой плоскости  $NP1$  ( $DP=86^\circ$ ) – правосторонний, а по второй крутой плоскости  $NP2$  ( $DP=83^\circ$ ) – левосторонний сдвиги. Плоскость  $NP1$  имеет юго-восточное ( $STK_1=153^\circ$ ),  $NP2$  – северо-восточное ( $STK_2=62^\circ$ ) простирание. Сопоставление простирания нодальных плоскостей с линиями разломов приводит к выводу, что первая из них ( $NP1$ ) соответствует простиранию Пирсаатской, а вторая ( $NP2$ ) – Гейларда-Шыхларской разрывных дислокаций.

**Тирджанская (Исмайллинская) очаговая зона** – единственная из имеющих глубокое заложение ( $H = 39-42$  км) на описываемой площади, проявившая себя за исследуемый период; она была активна в октябре-ноябре 2012 г. при магнитуде основного толчка 5,27 (07.10.2012 г.) и повторных толчков с  $M = 3,0-3,5$  (02-12.11.2012 г.). Зона приурочена к сложному узлу пересечения Сыгырлинского северо-западного и Басгал-Хашынского северо-восточного поперечных разрывов с Северо-Куринским нарушением общекавказского простирания на границе Средне-Куринской и Чатма-Аджиноурской структурных зон (см. рис. 13). Что касается механизмов землетрясений данной зоны, то они указывают на сбросо-сдвиговую и сдвиговую компоненты подвижек по этим разломам, характеризуя их высокую сейсмическую активность и глубину про-

никновения. Расчет механизма землетрясения с  $M=5,27$  и  $H=41$  км (глубина, отвечающая положению границы Мохо) свидетельствует о возникновении в очаге близгоризонтальных растягивающих ( $PL_T=21^\circ$ ) юго-западной ориентации и близвертикальных сжимающих ( $PL_P=46^\circ$ ) юго-восточной ориентации напряжений (рис. 11, V). Тип движения по обеим ( $DP=75-40^\circ$ ) плоскостям – сброс с элементами сдвига. Плоскость  $NP1$  имеет юг-юго-восточное простирание ( $STK_1=160^\circ$ ), а  $NP2$  – запад-северо-западное ( $STK_2=280^\circ$ ). Сопоставление нодальных плоскостей с простиранием разломов показывает их согласие с Сыгырлинским ( $NP1$ ) и Северо-Куринским ( $NP2$ ) разрывными дислокациями глубокого заложения.

За исследуемый период стабильной сейсмической активностью характеризовались также Заррабская, Гамарванская, Вандамская, Басгал-Лахыджская, Муганлинская, Ахмедлинская, Шамахинская (Чарханская) и прочие очаговые зоны (см. рис. 1). Однако имеющийся в наличии фактический материал, а также требования редакции к объему представляемых к публикации работ не позволяют осуществить сейсмотектоническую оценку этих зон в данной статье.

### Обсуждение

Исследование и корреляция пространственно-временной роевой последовательности сейсмических толчков различной магнитуды в каждой сейсмофокальной зоне Северо-Западного Азербайджана в период 2012-2018 гг. приводит к следующим выводам:

- пространственное распределение эпицентров демонстрирует, что события указанного периода приурочены к поперечным (северо-западного, северо-восточного и субмеридионального простираний) дизъюнктивным дислокациям, но эпицентральные зоны в целом имеют «общекавказскую» вытянутость, будучи расположены вдоль и к северу от Ганых-Айричай-Алятского глубинного надвига в пределах Кахети-Вандам-Гобустанского продольного структурного блока. Поперечные нарушения (как и продольные) откартированы здесь комплексом сейсмо- и электроразведочных методов и, как правило, являются естественным южным продолжением дизъюнктивных зон сбросового и сбросо-сдвигового типа, обнажающихся в горной зоне, т.е. в полосе выходов на поверхность структурно-вещественных комплексов аккреционной призмы и ее паравтохтонной подстилки;
- осложненность этих комплексов указанными «антикавказскими» дислокациями свидетель-

ствует о достаточно молодом возрасте последних и их образовании (либо реанимации) как минимум на построданском этапе тектогенеза, что является одним из факторов, определяющих современную активность этих нарушений;

– фокальные механизмы толчков в отдельных группах обнаруживают разнообразные, преимущественно близвертикальные, плоскости подвижек сбросового, сдвигового и сбросо-сдвигового характера в очагах; лишь в четырех случаях были установлены подвижки с сугубо взбросовой и взбросо-надвиговой составляющей;

– в пределах Загатайского, Шекинского, частично Габала-Шамахинского (его западной части) блоков гипоцентры основных сейсмических толчков ( $M = 4,5-5,7$ ), а также абсолютного большинства роя афтершоков приурочены к поверхности доюрского основания либо сосредоточены в его верхней части на глубинах до 20 км. Для значительной части гипоцентров в этих роях последовательностей была установлена их приуроченность к погружающейся в северных румбах наклонной полосе, идентифицируемой с зоной Ганых-Айричай-Алятского глубинного надвига и его тыльными чешуями (Шамбул-Исмайллинской, Дашагыл-Мюдрисинской и др.). В целом сейсмическая активизация указанного периода объясняется накоплением напряжений бокового сжатия и их последующей разрядкой в полосе поддвигового сочленения Средне-Куринской и Вандамской тектонических зон по Ганых-Айричай-Алятскому надвику

на юге и аналогичного взаимодействия Вандамской зоны со структурами аккреционной призмы Южного склона на севере;

– в пределах Габала-Шамахинского (восточная часть) и Гобустанского блоков большинство гипоцентров сосредоточено в автохтонном альпийском чехле Вандамской и Шамахи-Гобустанской тектонических зон, находящемся под воздействием интенсивных геодинамических напряжений в сложном тектоническом узле пересечения Западно-Каспийской и Гирдыманчай-Гонагкендской разломных зон. В целом за исследуемый период сейсмическая активность на данной территории контролируется Сулутским, Шамахинским и Пирсаатским правыми сдвигами – основными структурными элементами Западно-Каспийской разломной зоны;

– усилия бокового сжатия в первую очередь способствовали возникновению транспрессионных срывов по плоскостям смещения разнонаправленных поперечных нарушений и разрядке энергии в наиболее раздробленных и ослабленных участках, отвечающих узлам пересечения этих нарушений между собой, а также с указанным надвигом и опирающимися его с севера тыльными чешуями;

– активизация сейсмической активности объясняется возросшей скоростью горизонтальных движений северной направленности, обусловленных поддвиговым взаимодействием Южно- и Северо-Кавказского континентальных блоков под давлением Аравийского индентора.

## ЛИТЕРАТУРА

- Ахмедбейли Ф.С., Исмаил-заде А.Д., Кенгерли Т.Н. Геодинамика Восточного Кавказа в альпийском тектономагматическом цикле (Азербайджан). Труды Института Геологии НАН Азербайджана. № 30, 2002, с. 36-48.
- Геология Азербайджана. Т.IV. Тектоника (ред. В.Е.Хаина и Ак.А.Ализаде). Nafta-Press. Баку, 2005, 506 с.
- Кадиров Ф.А., Кадыров А.Г., Алиев Ф.А., Мамедов С.К., Сафаров Р.Т. GPS-мониторинг и сейсмичность коллизионной зоны азербайджанской части Большого Кавказа. Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле, № 3, 2009, с. 12-18.
- Кадиров Ф.А., Сафаров Р.Т. Деформация земной коры Азербайджана и сопредельных территорий по данным GPS-измерений. Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле, № 1, 2013, с. 47-55.
- Кенгерли Т.Н., Ахундов А.Б. Поверхностные и глубинные структуры южного склона Большого Кавказа. Советская геология, № 10, 1988, с. 42-52.
- Кенгерли Т.Н., Велиев Г.О. Направление и результаты исследований Исмаиллы-Шемахинского полигона в связи с сеймопрогнозом. Прогноз землетрясений, № 10, ДОНИШ. Душанбе-Москва, 1988, с. 172-185.
- Рзаев А.Г., Етирмишли Г.Д., Казымова С.Э. Отражение геодинамического режима в вариациях напряженности геомагнитного поля (на примере южного склона Большого Кавказа). Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле, № 4, 2013, с. 3-15.

## REFERENCES

- Akhmadbeili F.S., Ismail-zade A.J., Kengerli T.N. Geodynamics of East Caucasus in Alpine tectonic-magmatic cycle (Azerbaijan). Proceedings of Geology Institute ANAS, № 30, 2002, pp. 36-48 (in Russian).
- Aliyev F., Kangarli T., Aliyev A., Vahabov U. Recent geodynamics and seismicity of the Greater Caucasus (within Azerbaijan borders). Proceedings of the 36th National and the 3rd International Geosciences Congress. 2018. <http://36nigc.conference.gsi.ir/en>
- Alizadeh Ak.A., Kangarli T.N., Aliyev F.A. Tectonic stratification and seismicity of the accretionary prism of the Azerbaijani part of Greater Caucasus. Proceeding of European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 2013. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-445-1.pdf>
- Geology of Azerbaijan, V. IV. Tectonics (editors V.Y. Khain and Ak.A. Alizadeh). Nafta-Press. Baku, 2005, 506 p. (in Russian).
- Kadirov F., Mammadov S., Reilinger R., McClusky S. Some new data on modern tectonic deformation and active faulting in Azerbaijan (according to Global Positioning System Measurements). Proceedings of ANAS. The Sciences of Earth, № 1, 2008, pp. 82-88.
- Kadirov F., Safarov R., Mammadov S. Crustal deformation of the Caucasus region derived from GPS measurements. Proceedings of the 36th National and the 3rd International Geosciences Congress, 2018. <http://36nigc.conference.gsi.ir/en>

- Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Альпийский Средиземноморский пояс. Недра. Москва, 1984, 344 с.
- Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). Научный мир. Москва, 2001, 606 с.
- Aliyev F., Kangarli T., Aliyev A., Vahabov U. Recent geodynamics and seismicity of the Greater Caucasus (within Azerbaijan borders). Proceedings of the 36th National and the 3rd International Geosciences Congress. 2018. <http://36nigc.conference.gsi.ir/en>
- Alizadeh Ak.A., Kangarli T.N., Aliyev F.A. Tectonic stratification and seismicity of the accretionary prism of the Azerbaijani part of Greater Caucasus. Proceeding of European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2013. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-445-1.pdf>
- Kadirov F., Mammadov S., Reilinger R., McClusky S. Some new data on modern tectonic deformation and active faulting in Azerbaijan (according to Global Positioning System Measurements). Proceedings of Azerbaijan National Academy of Sciences. The Sciences of Earth, № 1, 2008, pp. 82-88.
- Kadirov F.A., Floyd M., Reilinger R., Alizadeh Ak.A., Guliyev I.S., Mammadov S.G., Safarov R.T. Active geodynamics of the Caucasus region: implications for earthquake hazards in Azerbaijan. Proceedings of Azerbaijan National Academy of Sciences. The Sciences of Earth, № 3, 2015, pp. 3-17.
- Kadirov F., Safarov R., Mammadov S. Crustal deformation of the Caucasus region derived from GPS measurements. Proceedings of the 36th National and the 3rd International Geosciences Congress. 2018. <http://36nigc.conference.gsi.ir/en>
- Kangarli T.N. Mass overthrust within the structure of Greater Caucasus (Azerbaijan). In: The modern problems of geology and geophysics of Eastern Caucasus and the South Caspian depression. Nafta-Press. Baku, 2012, pp.163-201.
- Kangarli T.N., Aliyev F.A., Rahimov F.M., Murtuzov Z.M. Tectonics, recent geodynamics and seismicity of Azerbaijan part of the Greater Caucasus. Proceeding of European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 2016. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-385-1.pdf>
- Kangarli T.N., Aliyev A.M., Aliyev F.A., Rahimov F.M. Seismotectonic zoning of Azerbaijan territory. Proceeding of European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 2017a. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-12778.pdf>
- Kangarli T.N., Aliyev F.A., Aliyev A.M., Vahabov U.G. Active tectonics and focal mechanisms of earthquakes in the pseudosubduction active zone of the North- and South-Caucasus microplates (within Azerbaijan). Geophysical journal, Institute of Geophysics of Ukrainian NAS, № 4, V. 39, 2017b., pp. 101-104.
- Kangarli T., Aliyev F., Aliyev A., Rashidov T. Geodynamics and active faults of the pseudosubduction zone in Greater Caucasus on the basis of seismological data (within Azerbaijan). European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 2018b. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-6713.pdf>
- Telesca L., Kadirov F., Yetirmishli G., Safarov R., Babayev G., Ismaylova S. Statistical analysis of the 2003-2016 seismicity of Azerbaijan and surrounding areas. Journal of Seismology, 2017, pp. 1467-1485. DOI 10.1007/s10950-017-9677-x.
- Yetirmishli G.J., Kazimova S.E., Ismailova S.S. Focal parameters of the Zagatala earthquake on May 7, 2012. Catalogue of seismoforecasting research carried out in Azerbaijan Territory in 2012. V. 11, № 1, 2014, pp. 14-18.
- Yetirmishli G.J., Kazimova S.E., Ismailova S.S., Garaveliyev E.S. Dynamic and kinematic characteristics of earthquakes of Sheki-Oguz region. Proceedings Azerbaijan National Academy of Sciences. The Sciences of Earth, № 3-4, 2016, pp.28-36.
- Kadirov F.A., Safarov R.T. Deformation of Earth crust of Azerbaijan and adjacent territories according to data of GPS-measurements. Proceedings of ANAS, The sciences of Earth, № 1, 2013, pp. 47-55 (in Russian).
- Kadirov F.A., Floyd M., Reilinger R., Alizadeh Ak.A., Guliyev I.S., Mammadov S.G., Safarov R.T. Active geodynamics of the Caucasus region: implications for earthquake hazards in Azerbaijan. Proceedings of ANAS. The Sciences of Earth, № 3, 2015, pp. 3-17.
- Kadirov F.A., Kadirov A.G., Aliyev F.A., Mammadov S.K., Safarov R.T. GPS-monitoring and seismicity of collision zone of Azerbaijan area of the Greater Caucasus. Proceedings of ANAS. The sciences of Earth, № 3, 2009, pp. 12-18 (in Russian).
- Kangarli T.N. Mass overthrust within the structure of Greater Caucasus (Azerbaijan). In: The modern problems of geology and geophysics of Eastern Caucasus and the South Caspian depression. Nafta-Press. Baku, 2012, pp.163-201.
- Kangarli T., Aliyev F., Aliyev A., Rashidov T. Geodynamics and active faults of the pseudosubduction zone in Greater Caucasus on the basis of seismological data (within Azerbaijan). European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 2018. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-6713.pdf>
- Kangarli T.N., Aliyev A.M., Aliyev F.A., Rahimov F.M. Seismotectonic zoning of Azerbaijan territory. Proceeding of European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 2017a. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-12778.pdf>
- Kangarli T.N., Aliyev F.A., Aliyev A.M., Vahabov U.G. Active tectonics and focal mechanisms of earthquakes in the pseudosubduction active zone of the North- and South-Caucasus microplates (within Azerbaijan). Geophysical journal, Institute of Geophysics of Ukrainian NAS, V. 39, № 4, 2017b, pp. 101-104.
- Kangarli T.N., Aliyev F.A., Rahimov F.M., Murtuzov Z.M. Tectonics, recent geodynamics and seismicity of Azerbaijan part of the Greater Caucasus. Proceeding of European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 2016. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-385-1.pdf>
- Kangarli T.N., Akhundov A.B. Surface and deep structure of south slope of the Greater Caucasus. Soviet Geology, № 10, 1988, pp. 42-52 (in Russian).
- Kangerli T.N., Veliyev G.O. Directions and results obtained from Ismaily-Shamakha test site research according to earthquake forecast. Earthquakes prediction, № 10, DON-ISH, Dushanbe-Moscow, 1988, pp. 172-185 (in Russian).
- Khain V.Y. Regional geotectonics. Alpine Mediterranean belt. Nedra. Moscow, 1984, 344 p. (in Russian).
- Khain V.Y. Tectonics of continents and oceans (2000). Nauchniy mir. Moscow, 2001, 606 p. (in Russian).
- Rzayev A.G., Yetirmishli G.D., Kazimova S.E. Reflection of geodynamic regime of variational tension of geomagnetic field (southern slope of the Greater Caucasus as a case study). Proceedings of ANAS. The sciences of Earth, № 4, 2013, pp. 3-15 (in Russian).
- Telesca L., Kadirov F., Yetirmishli G., Safarov R., Babayev G., Ismaylova S. Statistical analysis of the 2003-2016 seismicity of Azerbaijan and surrounding areas. Journal of Seismology, 2017, pp. 1467-1485. DOI 10.1007/s10950-017-9677-x
- Yetirmishli G.J., Kazimova S.E., Ismailova S.S. Focal parameters of the Zagatala earthquake on May 7, 2012. Catalogue of Seismoforecasting research carried out in Azerbaijan territory in 2012. V.11, № 1, 2014, pp. 14-18.
- Yetirmishli G.J., Kazimova S.E., Ismailova S.S., Garaveliyev E.S. Dynamic and kinematic characteristics of earthquakes of Sheki-Oguz region. Proceedings of ANAS. The Sciences of Earth, № 3-4, 2016, pp. 28-36.



СОВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА И АКТИВНАЯ ТЕКТОНИКА ЮЖНОГО СКЛОНА БОЛЬШОГО КАВКАЗА  
В ПРЕДЕЛАХ АЗЕРБАЙДЖАНА (МЕЖДУРЕЧЬЕ рр. МАЗЫМЧАЙ И ПИРСААТ)

СТАТЬЯ II – АКТИВНАЯ ТЕКТОНИКА

Кенгерли Т.Н.<sup>1</sup>, Алиев Ф.А.<sup>1</sup>, Алиев А.М.<sup>2</sup>, Казымова С.Э.<sup>3</sup>, Сафаров Р.Т.<sup>1</sup>, Вахабов У.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана

AZ1073, г.Баку, просп. Г.Джавида, 119: tkangarli@gmail.com

<sup>2</sup>Геофизическая экспедиция Национальной геологоразведочной службы

Министерства экологии и минеральных ресурсов

AZ1117, г.Баку, ул.Натаван, 16

<sup>3</sup>Республиканский Центр сейсмологической службы НАН Азербайджана,

AZ1001, г.Баку, ул.Н.Рафибейли, 25

**Резюме.** Данная статья является завершающей в освещении черт глубинного строения и геодинамической активности южного склона Большого Кавказа в пределах Азербайджана. В ней рассмотрена активная тектоника региона в контексте действия поддвигового (псевдосубдукционного) механизма в полосе сочленения Южно- и Северо-Кавказской микроплит. В статье, исходя из особенностей поверхностной и глубинной структуры региона, осуществлены анализ и интерпретация сейсмологических данных, а также результатов GPS-мониторинга современной геодинамической активности с выявлением их коррелятивных связей с особенностями глубинного строения. Анализ и корреляция исторических и недавних сейсмических событий (вплоть до 2017 г.) указывает на приуроченность очагов землетрясений главным образом к узлам пересечения активных разрывов различного простираения либо к плоскостям глубинных тектонических срывов и латеральных смещений по неустойчивым контактам вещественных комплексов различной компетентности. Фокальные механизмы сейсмических событий обнаруживают разнообразные, преимущественно близвертикальные, плоскости подвижек сбросового и сбросо-сдвигового характера, но в целом очаги землетрясений приурочены к узлам пересечения разрывных нарушений общекавказской и антикавказской направленности.

**Ключевые слова:** Большой Кавказ, альпийский чехол, доюрский фундамент, земная кора, активный разлом, современная геодинамика, землетрясение, фокальный механизм, напряженное состояние, дизъюнктивный узел

AZƏRBAYCANIN HÜDUDLARINDA BÖYÜK QAFQAZIN CƏNUB YAMACININ MÜASİR STRUKTURU  
VƏ AKTİV TEKTONİKASI (MAZIMÇAY-PIRSAAT ÇAYARASI)

MƏQALƏ II – AKTİV TEKTONİKA

Kəngərli T.N.<sup>1</sup>, Əliyev F.A.<sup>1</sup>, Əliyev A.M.<sup>2</sup>, Kazımova S.E.<sup>3</sup>, Səfərov R.T.<sup>1</sup>, Vahabov Ü.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Geologiya və Geofizika İnstitutu

AZ1143, Bakı şəh., Hüseyn Cavid pros., 119: tkangarli@gmail.com

<sup>2</sup>Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi Milli Geoloji-Kəşfiyyat Xidmətinin Geofiziki Ekspedisiyası

AZ 1117, Azərbaycan, Bakı şəh., Natavan küç., 16

<sup>3</sup>AMEA Seysmoloji Xidmətinin Respublika Mərkəzi

AZ 1117, Azərbaycan, Bakı şəh., N.Rəfibeyli küç., 25

**Xülasə.** Təqdim edilən material Böyük Qafqazın cənub yamacının dərinlik quruluşu və geodinamik aktivliyinin Azərbaycan hüduqlarında xüsusiyyətlərinin işıqlandırılmasına həsr edilmiş yekun məqalədir. Məqalədə Cənubi və Şimali Qafqaz mikroplitalərinin qovuşma zolağında altaçəkilmə (pseudosubduksiya) mexanizminin fəaliyyəti baxımından regionun aktiv tektonikasına baxılır.

Tektogenezin hazırkı mərhələsində Ərəbistan və Avrasiya qitələrinin kollizion yaxınlaşması təsirindən regionda baş verən yan sıxılma yüksək seysmik və geodinamik aktivliyə səbəb olur. Təqdim edilən məqalədə seysmoloji məlumatların, həmçinin müasir geodinamik aktivliyin GPS-monitorinq nəticələrinin təhlili və təfsiri aparılmış və bunların dərinlik quruluşunun xüsusiyyətləri ilə korrelyativ əlaqələri müəyyən edilmişdir. GPS-monitorinqin məlumatları Cənubi Qafqaz mikroplitasinin şimala doğru intensiv hərəkəti ni sübuta yetirir. Tarixən və yaxınlarda (2017-ci ilədək) baş vermiş seysmik hadisələrin təhlili və korrelyasiyası zəlzələ ocaqlarının əsasən müxtəlif istiqamətli aktiv yarılmaların kəsişmə düyünlərinə və yaxud dərinlik tektonik qopardılma səthləri və müxtəlif kompetentliyə malik maddi komplekslərin dayanıqsız təmasları üzrə lateral yerdəyişmə zonalarına uyğun olduğunu göstərir. Seysmik hadisələrin fokal mexanizmləri müxtəlif, əksərən subşaquli, fay və fay-yerdəyişmə xüsusiyyətli hərəkət müstəvilərinin mövcudluğunu göstərir, lakin ümumilikdə zəlzələ ocaqları “ümumqafqaz” və “antiqafqaz” istiqamətli yarılmaların kəsişmə düyünlərinə təsadüf edir. 2012-2017-ci illərin seysmik hadisələri, akkresiya prizmasının altına çəkilən Cənubi Qafqaz mikroplitasinin şimal kənar strukturlarının tektogenezin müasir dövründə maksimal seysmik aktivliyinə dəlalət edir. Tədqiqatların nəticələri Böyük Qafqaz və Alp-Himalay qırıqlıq zolağının həmsərhəd əyalətlərinin real zamanda geodinamik və seysmik aktivlik səbəblərinin tədqiqi nöqtəyi-nəzəridən istifadəsi baxımından maraqlı doğurur.

**Açar sözlər:** Böyük Qafqaz, Alp örtüyü, Yurayaqədər təməl, Yer qabığı, aktiv yarıлма, müasir geodinamika, zəlzələ, fokal mexanizm, gərginlik vəziyyəti, dizyunktiv düyün