

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА**

© А.Г.Рзаев, К.Дж.Етирмишли, С.Э.Казымова, 2013

**ОТРАЖЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ВАРИАЦИЯХ  
НАПРЯЖЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ  
(на примере южного склона Большого Кавказа)****А.Г.Рзаев, К.Дж.Етирмишли, С.Э.Казымова***Республиканский Центр Сейсмологической Службы  
при Национальной Академии наук Азербайджана  
AZ1001, Баку, ул.Нигяр Рафибейли, 9*

На основе совместного анализа механизмов очагов землетрясений и разломно-блоковой тектоники дана модель геодинамического режима южного склона и юго-восточного погружения Большого Кавказа. Показано, что результатом распределения напряжений и соответствующих правосторонних и левосторонних подвижек по системе взбросов и сбросов общекавказского простирания и поперечных сдвигов ЮЗ-СВ простирания являются кручение отдельных блоков по часовой и против часовой стрелки, отодвигание отдельных блоков на восток, а также подвиг блоков Куринской впадины на север под структуру Б.Кавказа и надвиг поверхностных структур Б.Кавказа на юг по системе общекавказских взбросов-надвигов. Описанные особенности геодинамической модели находят свое отражение как в локальных аномалиях напряженности геомагнитного поля, которые предваряют сеймотектонические подвижки (землетрясения) с соответствующим механизмом, так и в пространственно-временных приращениях напряженности геомагнитного поля, которые характеризуют напряженно-деформированное состояние геологической среды исследуемой области.

**Введение**

В более ранних работах нами были изучены свойства сейсмамагнитного эффекта (СМЭ), который предваряет сеймотектонические подвижки. Были установлены его форма и характер проявления, физические свойства и доказана сейсмотектоническая обусловленность (Рзаев, 1990; 2005; 2006; 2010).

Однако сейсмамагнитный эффект является не только предвестниковым фактором. Он также несет информацию о геодинамическом режиме той среды, в которой формировался очаг землетрясения. В этой связи целью настоящей работы являлась попытка интерпретации СМЭ с позиций геодинамического режима на текущем этапе его развития в пределах исследуемой области – южного склона и юго-восточного погружения Большого Кавказа.

В связи с этим решались две задачи:

1. Составление схематической модели геодинамического режима исследуемой области на основании новых данных о механизмах очагов землетрясений, произошедших здесь за последние 10 лет.

2. Отражение особенностей геодинамического режима в локальных аномалиях и пространственно-временных приращениях напряженности геомагнитного поля.

**Геолого-геофизическая характеристика района**

Область исследования охватывает район мегантиклинория Б.Кавказа и его южного и юго-восточного погружения. Сложена с поверхности породами мезокайнозоя, представленными как осадочными, так и вулканогенно-осадочными образованиями, характеризующимися низкой намагниченностью (до  $100 \times 10^{-3}$  а/м). В строении области принимают также участие вулканогенные и интрузивные породы мезозойского возраста, прорывающие местами породы доальпийского основания. Эти магнитоактивные магматические тела, возмущающие постоянное магнитное поле, характеризуются намагниченностью от  $250 \times 10^{-3}$  до  $1400 \times 10^{-3}$  а/м. Принимая во внимание, что намагниченные тела имеют крупные размеры, а также тот факт, что они сохраняют намагниченность до значитель-

ной глубины, на которой залегают изотермическая поверхность Кюри  $\sim 550^{\circ}\text{C}$  (22-32 км), следует ожидать ощутимый сейсмомагнитный эффект при подготовке сеймотектонических подвижек в пределах всей изучаемой области.

**Основные сейсмогенные разломы, их геодинамика и геодинамическая обстановка региона.** На основании работ (Шихалибейли и др., 1978; Керимов, Шихалибейли, 1992; Metaxas et al., 1999; Кенгерли, 2007; Ахмедбейли и др., 2010) составлена схема основных элементов разрывной тектоники изучаемого региона (рис. 1).

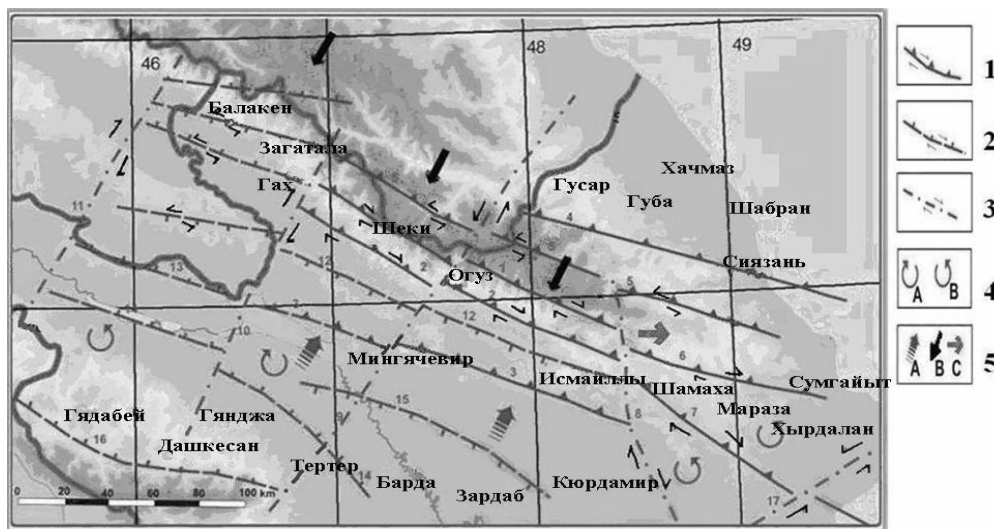
На основе совместного анализа основных элементов сейсмогенной разрывной тектоники изучаемого региона и механизмов очагов землетрясений за период 2003-2013 гг. (рис. 2) сделана попытка формирования модели геодинамического режима Б.Кавказа и его юго-восточного погружения.

### Обсуждение результатов

Особенности геодинамического режима Б.Кавказа и его южного и юго-восточного погружения определяются в основном распределением деформации напряжений по сети продольных (сбросов и взбросов) и поперечных

(сдвигов) разломов вследствие соответствующих подвижек по этим разломам блоков земной коры, причем основную роль здесь играют поперечные сдвиги – реликты герцинской структуры, движение по которым возобновилось, по всей вероятности, после формирования современной структуры Б.Кавказа, начиная с конца позднего миоцена (Зоненшайн и др., 1990; Рзаев, Метакса, 2012).

Картина геодинамического режима изучаемого региона может быть описана следующим образом. Геодинамика западной части региона, так называемой Шамкир-Загатальской поперечной аномальной зоны, с высоко поднятой поверхностью доальпийского основания определяется действием пары правосторонних поперечных сдвигов – Газах-Сигнахского и Гянджачай-Алазаньского (Рзаев, Метакса, 2012) с кручением соответствующего блока против часовой стрелки и сопровождается формированием левосдвиговых деформаций по сбросам общекавказского простирания. Это находится в соответствии с механизмами очаговых зон землетрясений в пределах данной области, а также с геодинамикой пары правосторонних сдвигов, экспериментально полученных и описанных Хардингом и Ридингом (Harding, 1974; Reading, 1980).



**Рис. 1.** Схема разломной структуры и особенностей геодинамического режима южного склона и юго-восточного погружения Большого Кавказа

Основные сейсмогенные разломы, определяющие особенности геодинамического режима земной коры: 1 – взбросы, 2 – сбросы, 3 – сдвиги (стрелками указано направление горизонтальных движений). Элементы геодинамики: 4 – кручение блоков: А – по часовой стрелке, В – против часовой стрелки. 5 – горизонтальные подвижки: А – поддвижение, В – надвижение, С – отодвижение. **Взбросы:** 1 – Дашгиль-Мудресинский, 2 – Вандамский, 3 – Гейчайский, 4 – Сиязаньский, 5 – Занги-Гозлучайский, 6 – Гермианский, 7 – Аджичай-Алятский. **Сдвиги:** 8 – Западно-Каспийский, 9 – Арпа-Самусский, 10 – Гянджачай-Алазаньский, 11 – Газах-Сигнахский. **Сбросы:** 12 – Северо-Аджиноурский, 13 – Йорский, 14 – Куринский, 15 – Мингячевир-Саатлинский, 16 – Башлыбельский, 17 – Пальмиро-Абшеронский

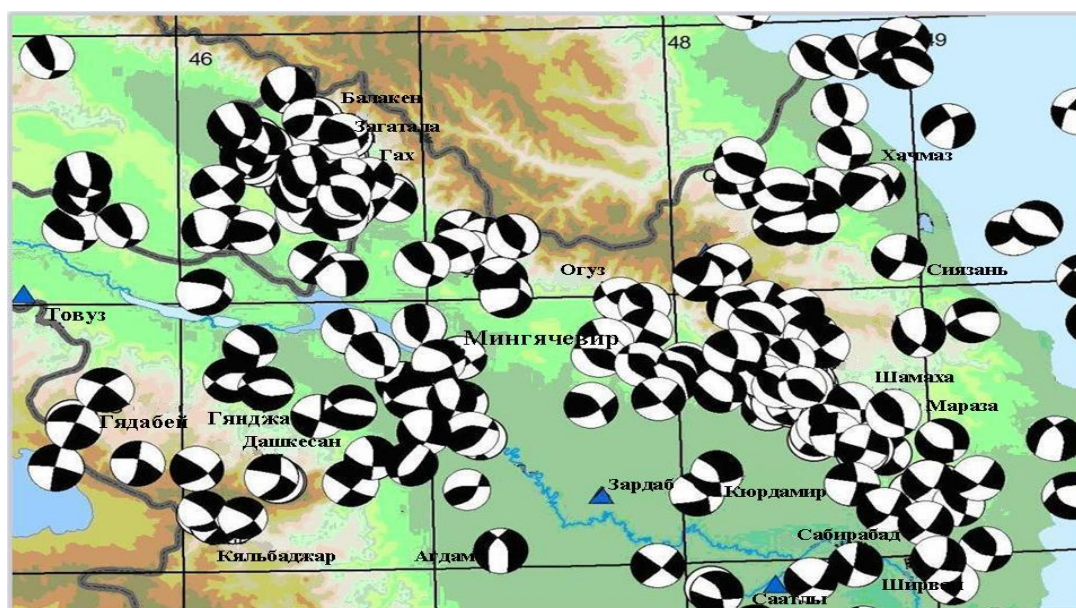


Рис. 2. Механизмы очагов землетрясений Большого Кавказа, его южного склона и юго-восточного погружения за период 2003-2013 гг. (составили Г.Д.Етирмишли, С.Э.Казымова)

Блоки земной коры, находящиеся между Гянджачай-Алазаньским правосторонним и Арпа-Самусским левосторонним поперечными сдвигами, характеризуются сложной геодинамикой. В соответствии с направлением движения по разломам имеет место надвигание блоков Б.Кавказа на юг и формирование соответствующей деформации сжатия. Одновременно наблюдаются элементы поддвигания блоков Куринской впадины на север под структуру Б.Кавказа, доказательством чего может служить формирование в Куринской впадине Гейчайского надвига. Это молодая структура образовалась на пост-альпийском этапе тектоногенеза за счет надвигания структур Б.Кавказа на юг и поддвигания блоков Куринской впадины на север. Более того, за счет большей активности Арпа-Самусского сдвига по отношению к Гянджачай-Алазаньскому, наблюдается кручение блоков по часовой стрелке, которое сопровождается формированием правосдвиговой деформации по общекавказским надвигам.

Приблизительно такая же геодинамическая ситуация наблюдается между Арпа-Самусским и Западно-Каспийским сдвигами. Здесь формируется деформация сжатия, обусловленная, по всей вероятности, поддвигом Куринской впадины под структуру Б.Кавказа за счет поступательного движения на север

блока между Арпа-Самусским левосторонним и Западно-Каспийским правосторонним сдвигами. При этом блок имеет клинообразную форму, сужающуюся к северу. Такая геометрия сопряженных по разломам блоков создает дополнительные условия для развития и накопления мощной деформации сжатия. Интересно отметить, что Гейчайский надвиг наблюдается только в пределах двух описанных блоков – за их пределами структура отличается, и проявления надвига не отмечаются.

Подвиг блоков Куринской впадины под структуру Б.Кавказа сопровождается в верхней части земной коры соответствующим надвиганием структуры Б.Кавказа на юг по серии общекавказских надвигов, что усиливает деформацию сжатия и определяет сейсмичность данного района. Легкая правосторонняя сдвиговая компонента, наблюдаемая по механизмам очага для Дашгиль-Мудресинского и Вандамского надвигов, может быть объяснена несколько большей активностью Западно-Каспийского разлома. Легкая левосторонняя сдвиговая компонента по Занги-Гозлучайскому надвигу обусловлена ослаблением влияния Западно-Каспийского разлома на зону надвига вследствие его вероятного затухания к северу (севернее Занги-Гозлучайского надвига зона Западно-Каспийского разлома не прослеживается по геолого-геофизическим данным).

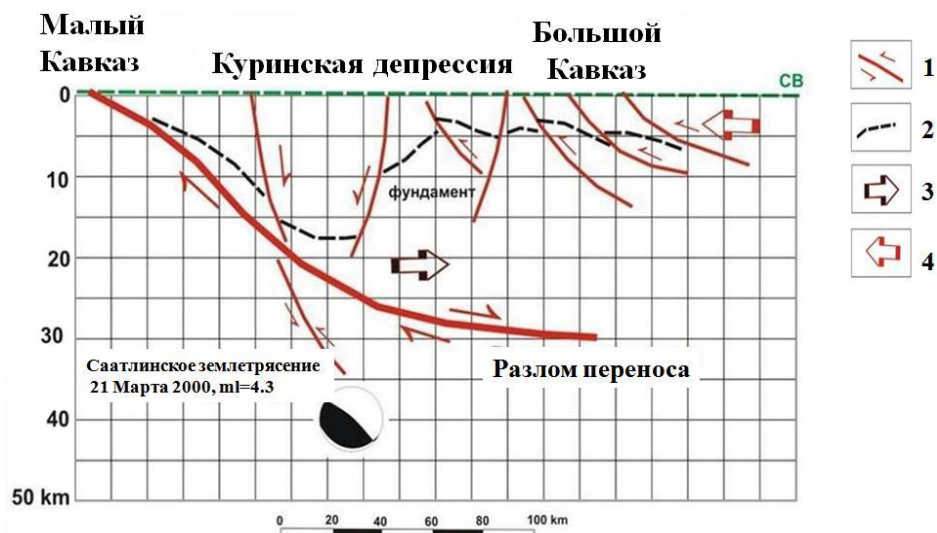
Левосторонняя сдвиговая компонента по Занги-Гозлучайскому надвигу подтверждается механизмами приуроченных к нему Пиркулинских (2006 г.) землетрясений, о чём будет сказано ниже.

Геодинамика блоков земной коры к востоку определяется в основном зоной геодинамического влияния Западно-Каспийского правостороннего сбросо-сдвига. В указанной части изучаемого региона наблюдаются кручения против часовой стрелки блоков, ограниченных с севера Гермианским и Аджичай-Алятским надвигами, а также отодвигание к востоку блока между Занги-Гозлучайским и Гермианским надвигами, что и определяет, по-видимому, особенности юго-восточного погружения мегантиклинория Б. Кавказа.

Описанный выше подвиг блоков Куринской впадины под структуру Б.Кавказа может быть проинтерпретирован как результат действия крупного корового разлома – сброса СЗ-ЮВ (общекавказского) направления, выполаживающегося к нижней части земной коры и отслаивающего эту структуру (разлом откалывания, отслоения и переноса (detachment fault), формирующийся в режиме интенсивного растяжения). Поверхностное проявление этого разлома следует ожидать в пределах структуры Малого Кавказа, по всей вероятности в зоне Башлыбельского разлома.

Результатом отрыва и передвижения на север крупных блоков в нижней части земной коры является формирование взбросовых деформаций по сопряженным с главным разломом более крутопадающим разрывным дислокациям, а в верхней части земной коры за счет обратного (на юг) движения приповерхностных блоков Б.Кавказа по основной границе раздела земной коры – поверхности доальпийского основания.

О наличии подобной геодинамической обстановки в пределах Куринской впадины свидетельствуют наблюдаемые по механизмам очагов взбросовые деформации на больших глубинах, которые могут быть связаны с обратным движением по старым сбросам. Наиболее характерной из них является взбросовая деформация (вероятно, по плоскости Куринского разлома-сброса, ответственного за формирование Куринской впадины, начиная с мезозоя) на глубине 39 км, приведшая к Саатлинскому (2000 г.,  $m_l=4,3$ ) землетрясению. Более того, в пользу данной ситуации свидетельствуют наличие здесь Гейчайского надвига, а также большие скорости горизонтальных движений на Малом Кавказе и в Куринской впадине и значительное их уменьшение в районе южного склона Б.Кавказа (Кадиров и др., 2009). Ниже (рис. 3) приводится схематическая геодинамическая модель, иллюстрирующая подобную обстановку.



**Рис. 3.** Схематическая геодинамическая модель, иллюстрирующая ситуацию вероятного подвига блоков Куринской впадины под структуру Б.Кавказа по плоскости пологого разлома переноса.

1 – плоскости разломов; стрелки указывают направление движения, 2 – поверхность доальпийского основания, 3 – направление подвига Куринской впадины под Б.Кавказ, 4 – направление надвига структуры.

Необходимо отметить, что представленная модель, хотя и объясняет некоторые элементы структуры и геодинамики исследуемого региона, однако требует значительной доработки с привлечением гравимагнитных данных и определенного комплекса геологических материалов как по Малому и Большому Кавказу, так и по Куринской впадине.

### Сейсмомагнитный эффект

Работы по изучению аномальных (сейсмомагнитных) эффектов в вариациях геомагнитного поля с 1981 г. проводятся в РЦСС НАНА на площади Шеки-Шамахинского прогностического полигона, охватывающего зону юго-восточного погружения мегантиклинория Б. Кавказа (рис.4).

Полигон охватывает режимными прогностическими наблюдениями несколько зон очагов землетрясений: Шамахинскую, Исмаиллинскую, Огузскую, Шекинскую, Загатальскую, Агдашскую.

Магнитометрические исследования по выявлению сейсмомагнитного эффекта и оценке напряженно-деформированного со-

стояния сейсмогенных зон проводятся в двух направлениях (Рзаев, 2010):

1. Мониторинг круглосуточных вариаций напряженности полного вектора геомагнитного поля  $\Delta T$  на базе 5 стационарных магнитовариационных станций.  $\Delta T \sim f(t)$ .

2. Мониторинг пространственно-временных изменений напряженности полного вектора геомагнитного поля  $\Delta T$  по площади полигона на базе 63 закрепленных реперов с ежемесячным опросом каждого репера.

Было установлено, что СМЭ проявляется перед землетрясениями с магнитудой  $M \geq 4,5$  в виде бухтообразных изменений на фоне нормированной на суточные вариации напряженности магнитного поля (разностное поле между станцией наблюдения и базовой станцией). Продолжительность бухтообразных (длиннопериодных) аномалий – 120-360 часов, амплитуда СМЭ достигает 20-40 нТ. Радиус зоны проявления СМЭ находится в пределах  $R = 10^{0,5M-1,27}$ . Для краткосрочных (пиковых) аномалий, характерных для землетрясений с магнитудой  $< 4,0$ , продолжительность составляет от нескольких часов до полусуток (Рзаев, 2010).



Рис. 4. Сеть магнито-вариационных станций и магнитных опорных пунктов многократного посещения на прогностических полигонах РЦСС НАНА

Методическая работа по разложению вектора напряженности геомагнитного поля на регулярную и импульсную компоненты с помощью линейной трансформации и корреляции компонент с сейсмичностью показала, что именно локальная часть импульсной компоненты связана с изменениями в постоянной части напряженности геомагнитного поля, вызванными сеймотектоническими процессами вблизи эпицентральных зон (Метакса и др., 1990).

Знак аномалии сейсмомагнитного эффекта зависит от характера напряженного состояния земной коры в процессе его формирования. Так, минимуму магнитного поля отвечает формирование деформации растяжения, максимуму – формирование деформации сжатия (Рзаев, 2010). При этом, однако, необходимо учитывать характерное для территории Азербайджана косое намагничение (Метакса, 1979), которое выражается в появлении сопряженных с севера минимумов при наблюдаемом максимуме магнитного поля.

Отсюда следует, что наблюдаемые к северу от магнитного максимума сопряженные минимумы не могут интерпретироваться как накопление деформации растяжения. Последнее наиболее важно на этапе интерпретации аномалий магнитного поля, зафиксированных в результате режимных (повторных) геомагнитных наблюдений на полигоне.

Как известно, в геодинамическом режиме С-Ю сжатия по З-В надвигам формируется взбросо-надвиговая деформация и в большинстве случаев – сдвиговая деформация по близким к С-Ю направлению сдвигам. В режиме С-Ю растяжения формируются сбросовая деформация по З-В сбросам и в отдельных случаях, если угол оси растяжения расположен под прямым или близким к нему углом к сдвигу, – сдвиговая деформация по сдвигам. Вышеизложенные выводы и рассуждения положены в основу интерпретации вариаций напряженности магнитного поля, как отражения геодинамики сейсмогенных разломов, ответственных за землетрясение с конкретным механизмом очага.

### **Отражение особенностей геодинамического режима в вариациях напряженности геомагнитного поля**

**Шекинское землетрясение 2012 г.** Механизм очага землетрясения связан с Вандамским взбросо-надвигом, плоскость которого падает на север. Может быть проинтерпретирован геодинамически как кручение по часовой стрелке Шеки-Гахского блока, ограниченного Гянджачай-Алазаньским правосторонним и Арпа-Самусским левосторонним поперечными сдвигами, причем, судя по сейсмичности, подвижки по Арпа-Самусскому сдвигу более интенсивные, что и создает на текущем этапе геодинамического развития региона правостороннее кручение блока и формирование выраженной правосторонней сдвиговой деформации по линии разлома, при сохранении компоненты взбросовой подвижки, характерной для Вандамского надвига-взброса.

Четко выраженная предвестниковая аномалия-максимум с двумя пиками на кривой магнитного поля соответствует сочетанию сдвиговой и взбросовой деформаций, формировавшихся в условиях сжатия за счет правостороннего кручения и легкого поступательного движения на юг Шеки-Гахского блока и свидетельствует о последовательном формировании деформации напряжения по плоскости разлома и ее высвобождении в виде сдвига (рис. 5).

**Пиркулинские землетрясения 2006 г.** Механизм очага первого и второго землетрясения – взброс СЗ-ЮВ направления с легкой левосторонней сдвиговой компонентой, что позволяет связать землетрясения с Занги-Гозлучайским взбросо-надвигом.

Геодинамическая ситуация формирования очагов этих землетрясений может быть проинтерпретирована как взбросо-надвиг структуры Б.Кавказа по Занги-Гозлучайскому разлому с легкой компонентой левостороннего сдвига за счет геодинамического влияния Западно-Каспийского правостороннего сдвига-сброса.

Предвестниковая аномалия-максимум на кривой магнитного поля свидетельствует о формировании деформации сжатия и ее высвобождении за счет главного события Пиркулинского землетрясения и его афтершока (рис. 6).

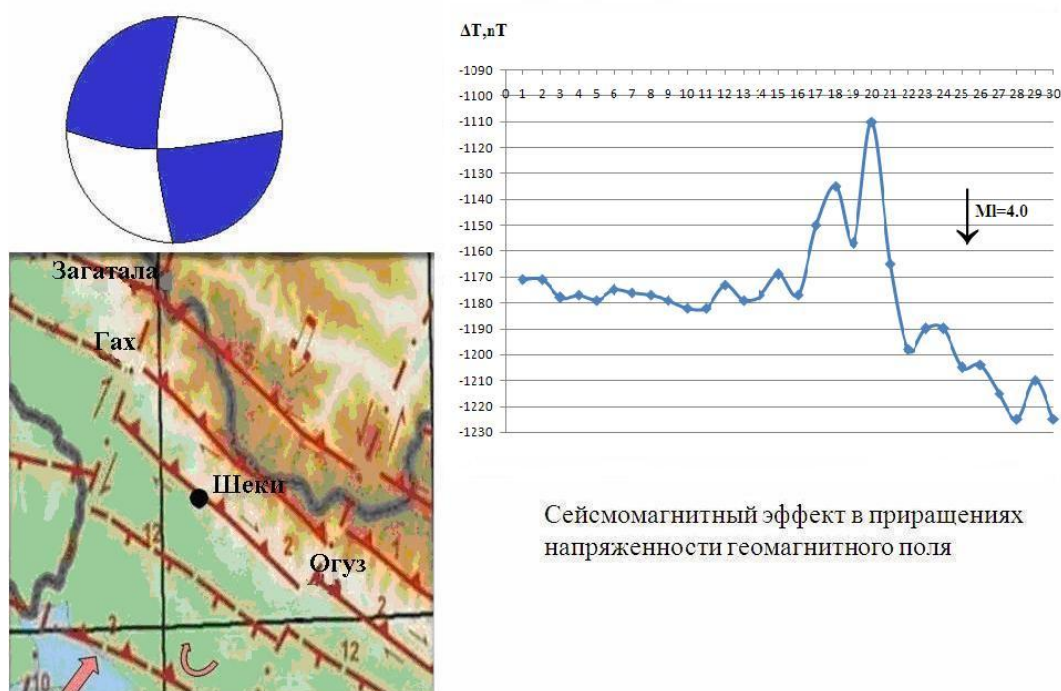


Рис. 5. Шекинское землетрясение 2012 г. 14 мая в 09:58 (ml=4,1), H=6,0 км

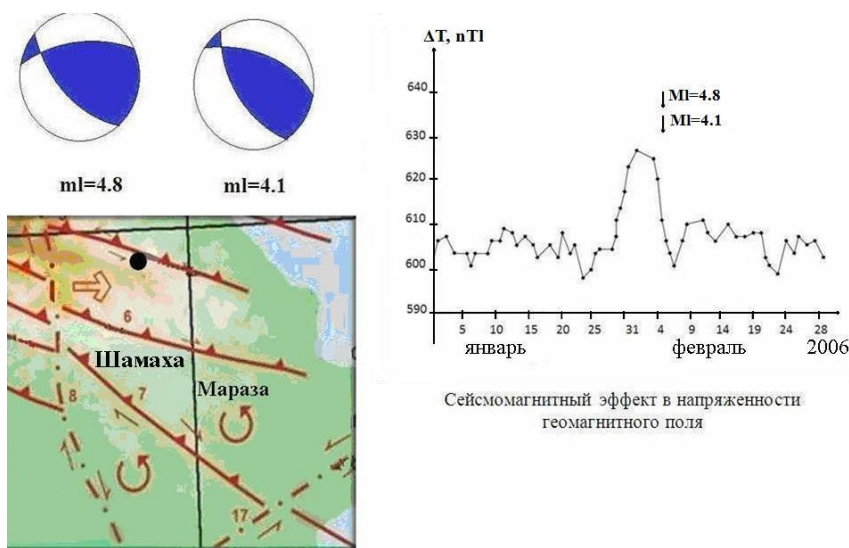


Рис. 6. Пиркулинские землетрясения 2006 г.: 4 февраля 01:49 (ml=4,8) и 01:54 (ml=4,1 – афтершок), H=25 и 21 км соответственно

**Агдашское землетрясение 1999 г.** Механизм очага – чисто левосторонний сдвиговый, подвижки ЮЗ-СВ направления. Геодинамическая ситуация формирования очага этого землетрясения может быть проинтерпретирована как сдвиговая деформация в зоне геодинамического влияния левостороннего Арпа-Самусского разлома.

Предвестниковая аномалия-максимум с двумя пиками на кривой магнитного поля, наблюдаемая за сутки до землетрясения соответствует сочетанию сдвиговой и сбросовой деформаций и свидетельствует о последовательном формировании деформации напряжения по плоскости разлома и ее высвобождению в виде сдвига (рис. 7).

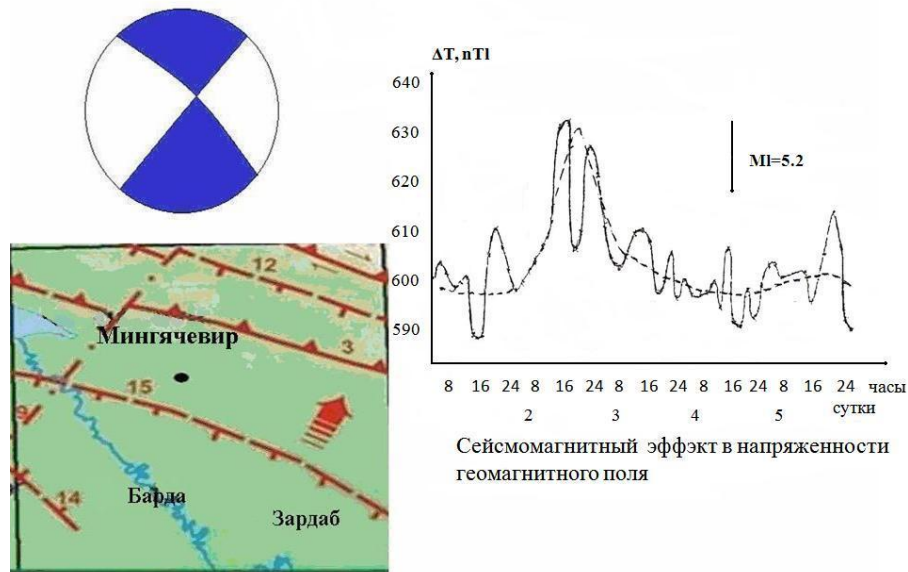


Рис. 7. Агдашское землетрясение 1999 г. 4 июня 09:12 ( $m=5,2$ ),  $H=16$  км

#### Шамахинское землетрясение 2001 г.

Механизм очага имеет взбросовый тип подвижки с легкой правосторонней сдвиговой компонентой. Очаг, судя по координатам эпицентра, локализуется несколько западнее Западно-Каспийского разлома в блоке, назовем который Исмаиллинским (между Арпа-Самусским левосторонним сдвигом и Западно-Каспийским правосторонним сдвиго-сбросом). Следовательно, название «Шамахинское землетрясение» для этого сейсмического события не совсем точное.

Геодинамическая ситуация может быть проинтерпретирована как подвиг в северном направлении структуры Среднекуриной впадины в пределах Исмаиллинского блока под структуру Большого Кавказа, вследствие чего формируется взбросовая подвижка по Вандамскому надвигу. Характерно, что в данном случае кручение блока, по всей видимости, практически отсутствует вследствие приблизительно одинаковой сейсмической активности, наблюдаемой по Арпа-Самусскому и Западно-Каспийскому разломам на современном этапе их развития. Легкая правосторонняя сдвиговая компонента может быть объяснена непосредственным влиянием зоны Западно-Каспийского разлома, вследствие чего в пределах этой зоны динамического влияния формируется легкая деформация кручения соответствующих блоков против часовой стрелки.

Наличие магнитного минимума, сменяющегося максимумом магнитного поля, на предвестниковой кривой перед землетрясением также может свидетельствовать о формировании очага землетрясения в зоне геодинамического влияния Западно-Каспийского разлома, т.е. деформация растяжения, характерная для геодинамики Западно-Каспийского сбросо-сдвига, начавшаяся формироваться 28 октября 2001 года в зоне геодинамического влияния Западно-Каспийского разлома (и нашедшая свое отражение на кривой магнитного поля), ускорила процесс высвобождения в виде землетрясения накопившейся к тому времени деформации сжатия по Вандамскому надвигу (рис. 8).

**Огузское и Саатлинское землетрясения 2000 г.** Эпицентр Огузского землетрясения приурочен к Арпа-Самусскому разлому, и событие может быть проинтерпретировано как левосторонняя сдвиговая деформация в зоне геодинамического влияния левостороннего Арпа-Самусского разлома (идентичная Агдашскому землетрясению 1999 г.). Предвестниковая аномалия в магнитном поле, по всей вероятности, отражает наложение сейсмомагнитных эффектов – Огузского и Саатлинского землетрясений, т.е. сочетание чисто сдвиговой деформации со взбросовой, характерной для Саатлинского очага (рис. 9).



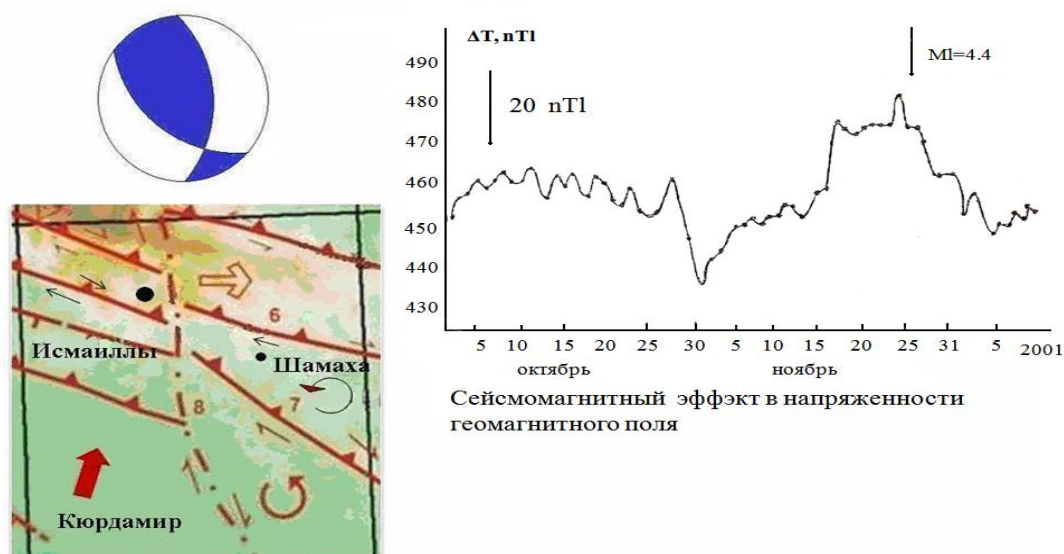


Рис. 8. Шамахинское землетрясение 26 ноября 2001 г. в 05:24 ( $m_l=4,4$ ),  $H=19$  км

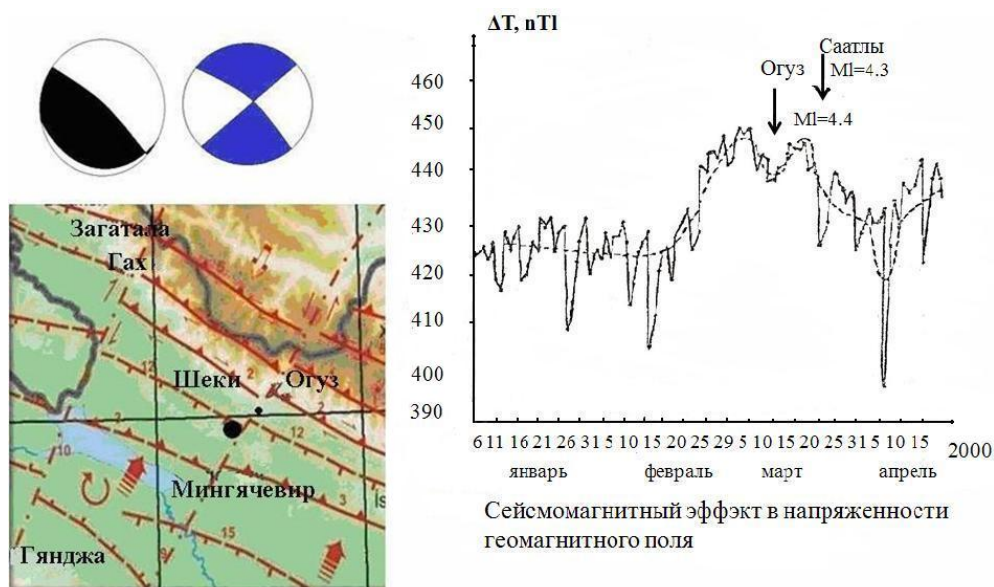


Рис. 9. Огузское землетрясение 9 марта 2000 г. в 14:29 ( $m_l=4,4$ ),  $H=14$  км. Саатлинское землетрясение 21 марта 2000 г. в 14:07 ( $m_l=4,3$ ),  $H=39$  км

**Загатальские землетрясения 2012 г.**  
 Эпицентры землетрясений приурочены к крутопадающим разломам, ограничивающим приподнятые блоки магнитоактивных магматических пород. Механизм очага первого землетрясения – сдвиго-сброс, второго – сбросо-сдвиг с левосторонней горизонтальной компонентой, что определяется геодинамикой пары правосторонних сдвигов – Газах-Сигнахского и Гянджачай-Алазаньского (Рзаев, Метакса, 2012).

Классическая бухтообразная аномалия сейсмомангнитного эффекта начала формироваться с 25-26 апреля 2012 г. в виде длиннопериодного пологого минимума магнитного поля, который, начиная с 4-5 мая, сменился интенсивным короткопериодным магнитным максимумом, пик которого приходится на 7-8 мая. Амплитуда предвестниковой аномалии – порядка 40 нТ, при этом амплитуды минимума и максимума приблизительно одинаковые. Длительность аномалии наблюдаемого

сейсмомагнитного эффекта составляет порядка 13 дней, или 312 часов, что находится в рамках наблюдаемых ранее результатов выделения предвестниковых аномалий сейсмомагнитного эффекта (Рзаев, 2010). Модель геодинамической пары правосторонних сдвигов позволила также объяснить особенности бухтообразной аномалии сейсмомагнитного эффекта, зафиксированной перед Загатальскими землетрясениями на стационарной магнитовариационной станции Шеки, – длиннопериодный минимум магнитного поля за счет общего режима растяжения антикавказского направления согласно механизму очагов и короткопериодный максимум магнитного поля за счет накопления сжатия и реализации сдвиговой деформации на сейсмогенном разломе кавказского направления (рис. 10).

#### Напряженно-деформационное состояние сейсмогенных зон по градиенту приращения напряженности геомагнитного поля

Оценивая динамику приращения градиента напряженности геомагнитного поля по результатам площадных режимных наблюдений, можно обрисовать картину напряженно-деформационного состояния сейсмогенной зоны (Рзаев, 2010). Работы по оценке напряженно-деформационного состояния сейсмогенных зон (ЗНДС) на площади Шеки-Шамахинского полигона позволили оконтурить основные ЗНДС – Шамаха-Исмаиллинскую (которая в принципе подразделяется на

Шамахинскую и Исмаиллинскую зоны с несколько отличной тектоникой и геодинамикой), Шекинскую, Загатальскую и Айдынбулаг-Агдашскую. Рассматривая трехмерные модели геомагнитного поля по площади исследования, можно выделить в относительно спокойные с точки зрения сейсмичности периоды (отсутствие сильных землетрясений) характерные особенности напряженно-деформированного состояния зоны и соответствующего ему распределения геомагнитного поля. В качестве примера рассмотрим данные за февраль и апрель 2013 года. Интерпретация результатов режимных магнитометрических наблюдений дается в соответствии с предложенной выше моделью геодинамического режима исследуемой области.

Как показывает опыт исследований сейсмомагнитного эффекта, распределение геомагнитного поля, представленное на рис.11, является характерным для отмеченных выше ЗНДС. Релаксация Загатальской ЗНДС после сильных землетрясений мая 2012 года и соответствующее падение напряжений характеризуются практически невозмущенным магнитным полем со слабыми минимумами. Деформация сжатия в Шекинской ЗНДС выражается формированием положительных аномалий магнитного поля, а деформация растяжения, характерная для формирования сдвиговой деформации по зоне активного Арпа-Самусского сдвига – формированием относительных минимумов.

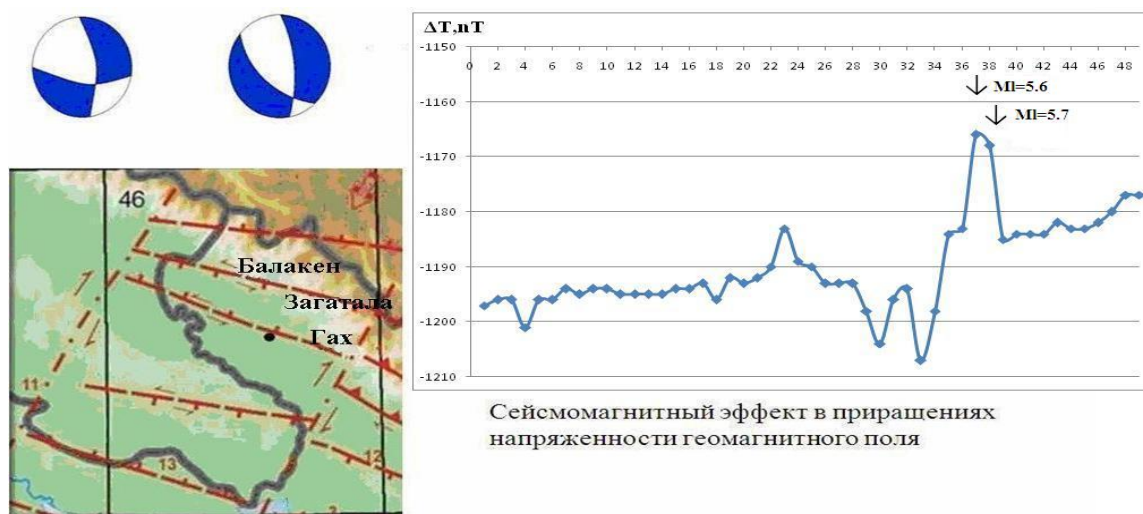


Рис. 10. Загатальские землетрясения 7 мая 2012 г. (GMT 4:40, ml=5,6, GMT 14:15, ml=5,7)

Область Исмаиллинской ЗНДС характеризуется возмущенным геомагнитным полем, что характерно для накопления мощной деформации в соответствующем блоке за счет подвига Куринской впадины на север и надвига структуры Б.Кавказа на юг. При этом по надвигам формируются, как и следовало ожидать, положительные аномалии магнитного поля, а по зоне Северо-Аджиноурского сброса – сопряженная деформация растяжения и минимумы напряженности магнитного поля в полном соответствии с представленной геодинамической моделью (рис.3). Резкое понижение напряженности магнитного поля между Исмаиллинской и Шамахинской ЗНДС может быть объяснено постоянным формированием сдвиго-

вой деформации по Западно-Каспийскому разлому, разделяющему эти зоны. Относительное понижение напряженности магнитного поля в районе г. Шамаха и восточнее и повышение ее к западу может быть объяснено сочетанием деформации сжатия и сопутствующей деформации растяжения по Гермианскому и Аджидай-Алятскому надвигам, что не противоречит модели подвижек по взбросо-надвигам под названием «Формирование деформации сжатия в висячем крыле надвига и сопряженная деформация растяжения ниже его плоскости».

Ниже (рис.12) рассмотрим несколько особенностей трехмерных моделей геомагнитного поля в периоды подготовки и реализации сильных Загатальских землетрясений в мае 2012 г.

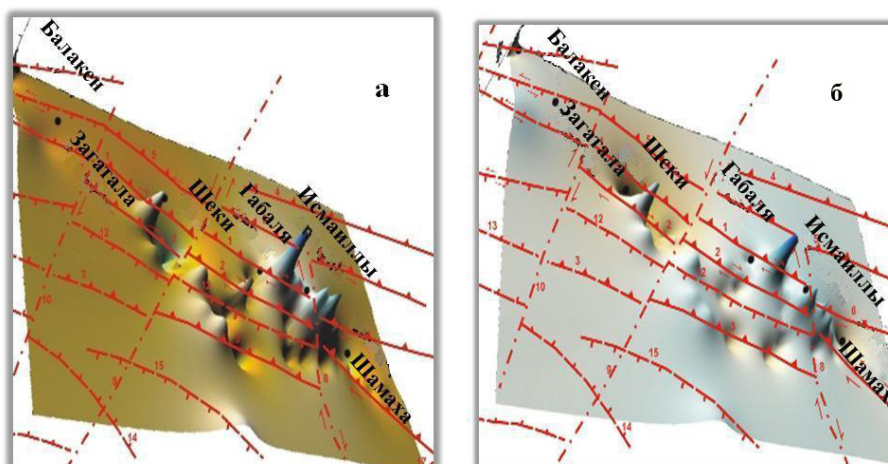


Рис. 11. Трехмерные модели геомагнитного поля в сопоставлении с сейсмогенными разломами за февраль (а) и апрель (б) 2013 года

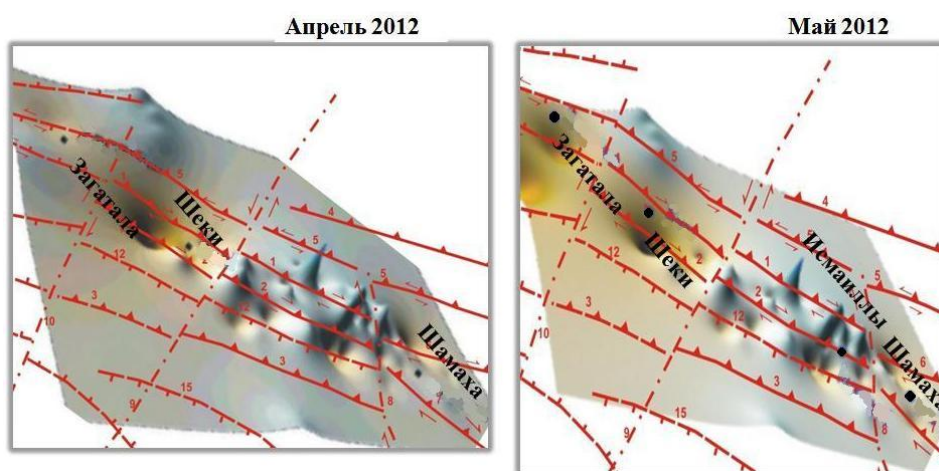


Рис. 12. Трехмерные модели геомагнитного поля в сопоставлении с сейсмогенными разломами за апрель и май 2012 года

Анализируя пространственно-временные изменения напряженности импульсной составляющей полного вектора геомагнитного поля  $\Delta T$ , можно прийти к следующим заключениям.

В апреле 2012 года в районе очага будущих Загатальских землетрясений продолжалось накопление деформации без значительных изменений напряженности геомагнитного поля, при этом минимум геомагнитного поля, локализующийся к ЮВ от г.Загатала (ближе к г.Шеки), отражает, по всей вероятности, перераспределение напряжений растяжения в зоне динамического влияния Гянджачай-Алазаньского разлома, распространяющегося также на Шеки-Гахский блок (к сожалению, зона Газах-Сигнахского разлома не была охвачена наблюдениями). Максимум магнитного поля, наблюдаемый к СВ от г.Загатала, связан, по всей вероятности, с накоплением сдвиговой деформации по разлому по южной периферии Гутонского блока (сжатие, обратное растяжению в зоне Гянджачай-Алазаньского разлома, согласно приведенной выше модели геодинамической пары).

В мае 2012 года сразу после землетрясений минимумы магнитного поля, наблюдаемые в Загатальской ЗНДС к югу от г.Загатала, характеризуют продолжающееся распределение остаточной деформации растяжения в зоне очагов произошедших землетрясений, которая в июле 2012 года полностью компенсируется (исчезает). При этом деформация сжатия (максимум магнитного поля и сопряженный с севера в соответствии с косым намагничением минимум к югу от г.Шеки) перераспределяется в область Шекинской ЗНДС, в зону Вандамского разлома, где и происходят Шекинские землетрясения 14 мая и 25 июня 2012 года, характеризующиеся сочетанием сдвиговой и взбросовой деформаций.

В июле 2012 года деформация сжатия в Шекинской ЗНДС еще полностью не компенсирована (максимумы магнитного поля к югу от г.Шеки в зоне Вандамского разлома и слабоинтенсивные минимумы с севера за счет косого намагничения), что характерно для активизировавшегося взброса.

Отметим также, что после Загатальских землетрясений в мае 2012 года не наблюдает-

ся видимой геодинамической активности Гянджачай-Алазаньского разлома, что также свидетельствует о перераспределении деформации на восток.

В июле в Шекинской ЗНДС наблюдается продолжение накопления деформации сжатия (рис.13), о чем свидетельствуют повышение интенсивности магнитного максимума и наличие сопряженного за счет косого намагничения минимума с севера. Этот эффект, а также усиление деформации сжатия в зоне Вандамского разлома, по всей вероятности, связаны с поступательным движением на юг блока между правосторонним Гянджачай-Алазаньским и левосторонним Арпа-Самусским сдвигами.

Большой интерес представляет довольно мощная (если судить по характеру магнитного поля к западу от г.Шамаха) деформация сжатия, проявляющаяся на всех картах за различные периоды наблюдений в Исмаиллинской ЗНДС.

Эта деформация обусловлена, по всей вероятности, поступательным движением на север блока между Арпа-Самусским левосторонним и Западно-Каспийским правосторонним сдвигами.

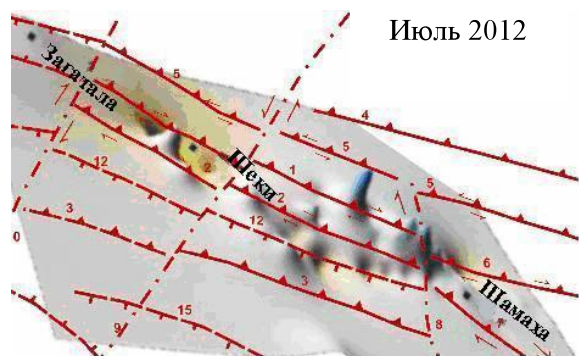


Рис. 13. Трехмерные модели геомагнитного поля в сопоставлении с сейсмогенными разломами за июль 2012 года

### Заключение

1. На основе совместного анализа механизмов очагов землетрясений, зарегистрированных на территории Большого Кавказа и его южного и юго-восточного погружения, и разломно-блоковой структуры составлена геодинамическая модель изучаемого региона. Представляется, что современные особенности геодинамики района определяются совместным

действием взбросов и сбросов общекавказского простирания и поперечных сдвигов ЮЗ-СВ простирания, активизировавшихся на постальпийском этапе тектогенеза. Результатом распределения напряжений и соответствующих подвижек по системе упомянутых разломов является кручение отдельных блоков по часовой и против часовой стрелки, а также горизонтальные движения блоков Куринской впадины на север (поддвиг) и блоков поверхностной структуры Б. Кавказа на юг (надвиг).

2. Вследствие формирования и развития в Куринской впадине крупного корового разлома-сброса общекавказского направления (разлом отрыва и переноса) наблюдается поддвиг структуры Куринской впадины под структуру Б.Кавказа, что усиливает конвергенцию (схождение) Малого и Большого Кавказа.

3. Описанные особенности геодинамической модели изучаемого региона находят свое отражение в вариациях напряженности геомагнитного поля. Выделяются характерные предвестниковые аномалии в вариациях магнитного поля, отображающие конкретные особенности геодинамического режима очаговой области в процессе подготовки и реализации сильного землетрясения с определенным механизмом очага. Эти результаты находятся в полном соответствии с представленной геодинамической моделью региона.

4. Анализ площадных магнитных наблюдений позволил, с одной стороны, выделить долговременные зоны напряженно-деформированного состояния земной коры региона, дать их геодинамическую и геомагнитную характеристику, а также проследить характерные изменения напряженности геомагнитного поля по площади в этих зонах в период подготовки и реализации сильных землетрясений.

#### ЛИТЕРАТУРА

- АХМЕДБЕЙЛИ, Ф.С., ИСАЕВА, М.И., КАДИРОВ, Ф.А., КОРОБАНОВ, В.В. 2010. Геодинамика неотектонического этапа Кавказского сегмента Альпийско-Гималайского орогенного пояса. Баку. 212с.
- ЗОНЕНШАЙН, Л.П., КУЗЬМИН, М.И., НАТАНОВ, Л.М. 1990. Тектоника литосферных плит территории СССР. Недр. Москва. Кн.1 – 328с. Кн.2 – 334с.
- КАДИРОВ, Ф.А., КАДЫРОВ, А.Г., АЛИЕВ, Ф.А., МАМЕДОВ, С.К., САФАРОВ, Р.Т. 2009. Взаимосвязь между скоростями горизонтальных движений, определенных по GPS измерениям в Азербайджане, и сейсмичностью Большого Кавказа. Каталог сейсмопрогностических исследований, выполненных на территории Азербайджана в 2008 году. Баку. 121-126.
- КЕНГЕРЛИ, Т.Н. 2007. Особенности геолого-тектонического строения юго-восточного Кавказа и вопросы нефтегазоносности. *Elmi eserler*, Гос.Нефт. Компания Респ. Азербайджан, 3-12.
- КЕРИМОВ, К.М., ШИХАЛИБЕЙЛИ, Э.Ш. 1992. Карта глубинного строения Черноморско-Южно-Каспийской области регионального прогиба. М 1:1000000. Баку.
- МЕТАКСА, Х.П. 1979. Методика и результаты интерпретации материалов магниторазведки при изучении мезозойского этажа Среднекуринской впадины. Диссертация на соискание ученой степени к.г.-м.н. Институт Геофизики АН Груз.ССР. Тбилиси.
- МЕТАКСА, Х., РЗАЕВ, А., ЦОНИФ, Б., ГАСАН-ЗАДЕ, А. 1990. Об информативности импульсной компоненты напряженности геомагнитного поля в качестве индикатора процесса подготовки землетрясения. *Изв. АН Азербайджана. Науки о Земле*, 1, 110-115.
- РЗАЕВ, А.Г. 2010. Исследования тектономагнитных эффектов в зонах с высокой геодинамической активностью. *Проблемы сейсмологии в Узбекистане*, 7, 1, Ташкент.
- РЗАЕВ, А.Г. 1990. Об информативности импульсной компоненты напряженности геомагнитного поля в качестве индикатора процесса подготовки землетрясения. *Изв. АН Азерб. ССР. Науки о Земле*, 1.
- РЗАЕВ, А.Г., МАМЕДЛИ, Т.Я. 2005. Геомагнитные предвестники землетрясений и их сеймотектоническая обусловленность. *Bilgi. Texnika*, 1, Баку.
- РЗАЕВ, А.Г. 2006. Связь аномальных изменений в напряженности геомагнитного поля с сеймотектоническими процессами в литосфере Земли. *Изв.НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 3, 58-63.
- РЗАЕВ, А.Г., МЕТАКСА, Х.П. 2012. Загатайские землетрясения 7 мая 2012 года: Загадки геодинамического режима и сейсмомагнитный эффект. В: *Azərbaycan ərazisində seysmoproqnoz müşahidələr*. Баку.
- ШИХАЛИБЕЙЛИ, Э.Ш., ТАГИЕВ, Р.Э., МЕТАКСА, Х.П. 1978. Поперечные разрывы Западного Азербайджана. *Изв. АН Аз.ССР, серия наук о Земле*, 5, 35-41.
- HARDING, T.P. 1974. Petroleum traps associated with wrench faults. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 58, 1290-1304.
- METAXAS, CH., PAPANIKOLAOU, D., GASSANOV, A. 1999. Major strike-slip faults of Black Sea-Caspian Sea segment of the Alpine-Himalayan belt and their geodynamic significance. Abstracts of International Conference: *Geodynamics of Black Sea – Caspian Sea segment of the Alpine folded belt and prospects of search for economic minerals*. Baku, Azerbaijan, June 9-10, 169-170.
- READING, H. 1980. Characteristics and recognition of strike-slip fault systems. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.* 4, 7-26.

*Рецензент: член-корреспондент НАН Азербайджана Ф.А.Кадиров*