

© Г.Д.Етирмишли, М.И.Исаева, А.Г.Рзаев, 2008

ОТРАЖЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СЕЙСМОГЕННЫХ ЗОН В ГЕОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Г.Д.Етирмишли¹, М.И.Исаева², А.Г.Рзаев¹

1 – Республиканский Центр Сейсмологической Службы НАН Азербайджана
AZ1001, Баку, ул. Н.Рафибейли, 9

2 – Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143 Баку, просп. Г.Джавида, 29А

Рассматриваются аспекты оценки напряженного состояния сейсмогенных зон и выявления краткосрочных предвестников землетрясений по параметрам аномальных изменений напряженности геомагнитного поля. Корреляционный анализ параметров геомагнитного поля и сейсмичности позволил выявить краткосрочный сейсмамагнитный эффект перед землетрясением $M=4,6$. Доказано присутствие литосферной составляющей, обуславливающей формирование сейсмамагнитного эффекта. Дается оценка энергетического состояния сейсмогенных зон Шеки-Шамахинского полигона по характеру приращения градиента напряженности геомагнитного поля. Предполагается «геосолитоновая» природа волнового распределения приращения градиента напряженности геомагнитного поля на площади полигона.

Введение

Мониторинг изменения напряженности геомагнитного поля вблизи эпицентральных (сейсмогенных) зон даёт возможность проследить сложные процессы трансформации земной коры, связанные с перераспределением и накоплением избыточных упругих напряжений внутри этих зон в период подготовки землетрясений.

Эта проблема уже много лет не теряет своей актуальности как прикладного, так и теоретического характера в общей задаче выявления предвестников землетрясений и выработки методики подачи краткосрочного прогноза сильных сейсмических событий.

Область южного склона Большого Кавказа, включающая в себя и площадь Шеки-Шамахинского полигона, является весьма подходящей для проведения работ по изучению аномальных геофизических эффектов в связи с сейсмичностью. Это обусловлено тем, что на площади полигона выделяется несколько сейсмогенных зон, где могут генерироваться землетрясения большой интенсивности. Это Шамахинская, Исмаиллинская, Шекинская, Огузская и Загатальская сейсмогенные зоны. Эти зоны связаны в основном с системой Вандамских разрывных нарушений, с Аджичай-Алятской системой глубинных разломов, а также с Астраханским и Баскальским покро-

вами (в случае Шамахинской зоны). Здесь развиты породы андезитобазальтовой формации байоса, отмечаются проявления Буйнузского интрузива основного состава, а также наличие прямо намагниченных магматических образований мезозоя среднего и основного состава.

Гипоцентры землетрясений Шеки-Шамахинского полигона залегают на различных гипсометрических уровнях. Они прослеживаются как в пределах доальпийского основания, мезозойского комплекса, так и частично в низах кайнозоя. Интервал глубин гипоцентров составляет $5\div 25$ км.

Таким образом, изучение связи аномальных проявлений в геофизических полях с сейсмичностью в таком сложном регионе, где ярко выражены геологическая неоднородность и мозаичная локализация гипоцентров, представляет интерес и является актуальным как в целях выявления особенностей проявления сейсмамагнитного эффекта (СМЭ), так и дальнейшей детализации многопараметрической модели земной коры исследуемой области полигона. Здесь, по-видимому, следует ожидать наличия характерных различий в проявлении сейсмоаномальных геофизических эффектов от очагов землетрясений, расположенных на различных гипсометрических уровнях в различных по геологическому строению блоках земной коры.

Обсуждение результатов

Стационарные наблюдения за вариациями модуля вектора напряжённости геомагнитного поля на площади полигона дали

возможность получить магнитограммы $T \sim f(t)$ для различных интервалов времени – среднечасовые, среднесуточные (рис.1а,б).

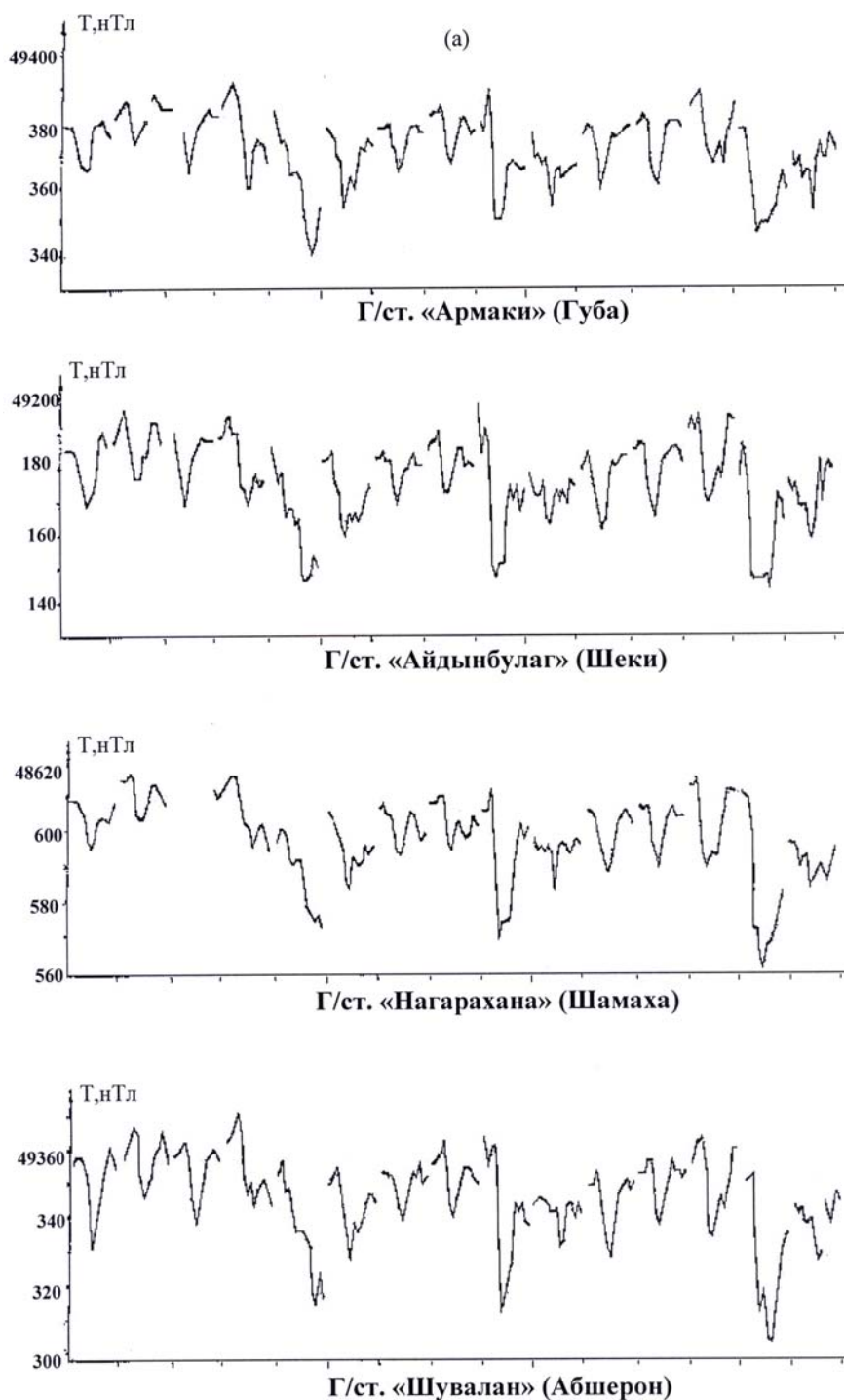


Рис. 1. Вариации напряжённости геомагнитного поля. (а) Среднечасовые лунно-солнечные вариации S_q геомагнитного поля

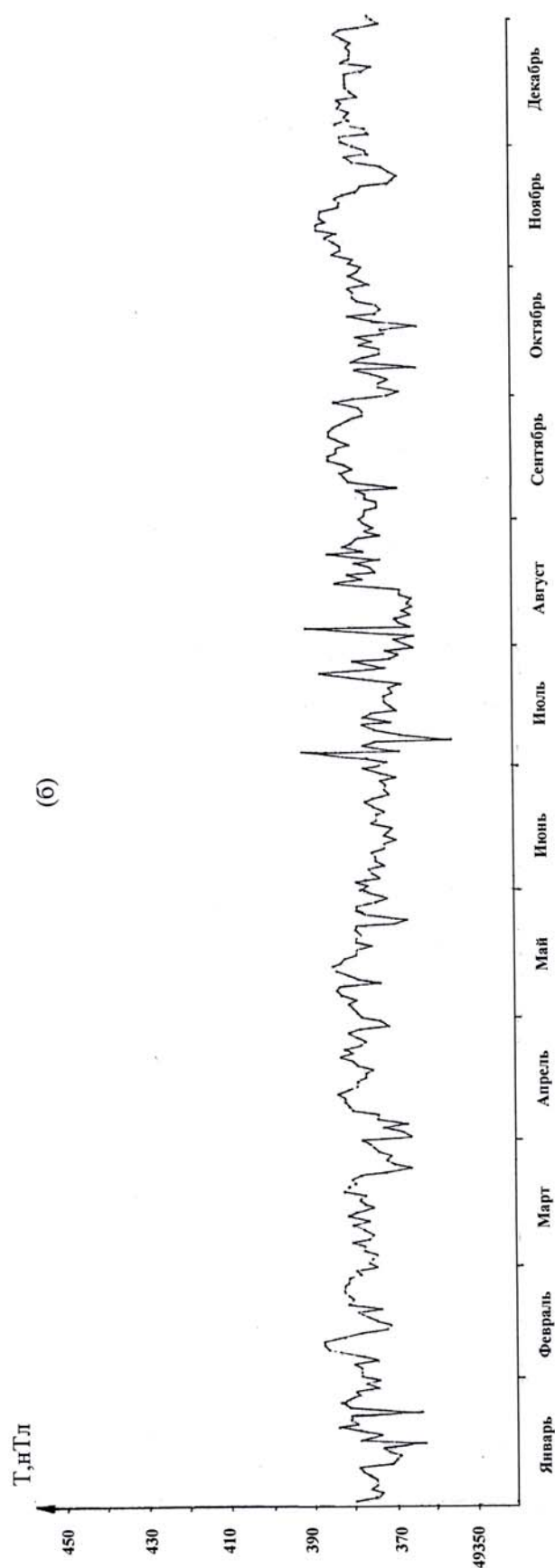


Рис. 1. (б) Среднесуточные вариации напряжённости геомагнитного поля $T \sim f(t)$ на γ/ϕ «Шувалан» (2007г.)

Сравнительный анализ функции $T \sim f(t)$ по сети магнитовариационных станций на площади полигона и дальнейшая корреляция выявленных аномальных эффектов в напряженности геомагнитного поля с сейсмичностью в радиусе зоны зависимости $R \sim f(M)$ позволили получить следующие результаты (здесь R – радиус зоны проявления сейсмомагнитного эффекта, M – магниту-да землетрясения; $R=10^{0,5M-1,27}$ км).

Анализ структуры лунно-солнечных вариаций $S_q(t)$ указывает на их квазисинусоидальный характер. Сравнение амплитудно-частотных характеристик вариационных кривых $S_q(t)$ по всем станциям полигона свидетельствует об однородности протекания $S_q(t)$ вариаций по всей площади полигона (рис. 1а), что находится в соответствии с положением об однородности падения фронта электромагнитной волны на расстоянии порядка 1° по долготе. Именно на таком удалении (и меньше) друг от друга находятся опорные магнитовариационные станции на полигоне.

Средносуточные вариации напряженности $T \sim f(t)$ получены путем осреднения по суткам $S_q \sim f(t)$ вариаций.

Вариации $T \sim f(t)$ представлены широким спектром колебаний напряженности геомагнитного поля (рис.1б). Отчетливо прослеживается низкочастотная гармоника колебаний с амплитудой $0,5 \div 5,0$ нТл. Последняя связана, по-видимому, с наведенной электромагнитной индукцией от влияния инфильтрационных процессов в земной коре. Этот уровень «шумов» находится в пределах ошибки выявления сейсмомагнитного эффекта.

Низкочастотная гармоника осложнена наложенными высокочастотными импульсными колебаниями напряженности поля T , амплитуда которых находится в пределах $5 \div 10$ нТл, а период не превышает нескольких часов.

Высокочастотные колебания напряженности T имеют остроконечную форму и протекают синхронно по всем станциям на площади полигона. Природа этих высокочастотных импульсных колебаний связана с электромагнитными процессами в ионосфере, солнечной ак-

тивностью и другими внешними факторами. Этот фон «помех» легко устраняется методом сравнительного анализа с последующим сглаживанием методом линейной трансформации (Метакса и др., 1990).

В плане выявления сейсмомагнитного эффекта интерес представляет кривая $\Delta T \sim f(t)$, прошедшая этап «чистки» и нормированная относительно «базовой» (нормальной) станции.

Это кривая $\Delta T(t) = T_n(t) - T_0(t)$, где $T_n(t)$ – наблюдаемое значение поля T на станциях полигона в момент времени t ; $T_0(t)$ – наблюдаемое значение поля T на базовой станциях «Шувалан» синхронно времени t ; $\Delta T(t)$ – нормированное значение T на станциях полигона относительно базовой станции «Шувалан».

На кривой $\Delta T \sim f(t)$ произошедшее 23.08.07 на площади полигона ощутимое землетрясение с $M=4,6$ на расстоянии $\Delta = 60$ км от геофизической станции «Нагарахана» (граница Шамахинского и Ахсуинского районов) предварялось положительным СМЭ за 10 дней до основного толчка (рис. 2).

Доверительный интервал СМЭ составил 240 часов (период проявления СМЭ). Момент главного сейсмического толчка приходится на правую спадающую ветвь СМЭ. Удаленность эпицентра от станции наблюдения составляет $\Delta = 60$ км, что подчиняется зависимости $R \sim f(M)$. Характер проявления СМЭ, а именно положительное приращение ΔT в виде «бухтообразования», дает возможность предположить наличие в очаге механизма сжатия (Рзаев, 2005).

Сейсмопрогностические работы на Шеки-Шамахинском полигоне за последние 20-25 лет позволили выявить более 150 случаев аналогичного проявления СМЭ перед землетрясениями с $M=4,5 \div 6,5$ и $R=150 \div 1000$ км (Рзаев, 2006). Сравнительный корреляционный анализ выявленных СМЭ в пределах $R=10^{0,5M-1,27}$ и количества землетрясений позволил установить, что коэффициент статистической значимости появления СМЭ составляет $p=0,87$.

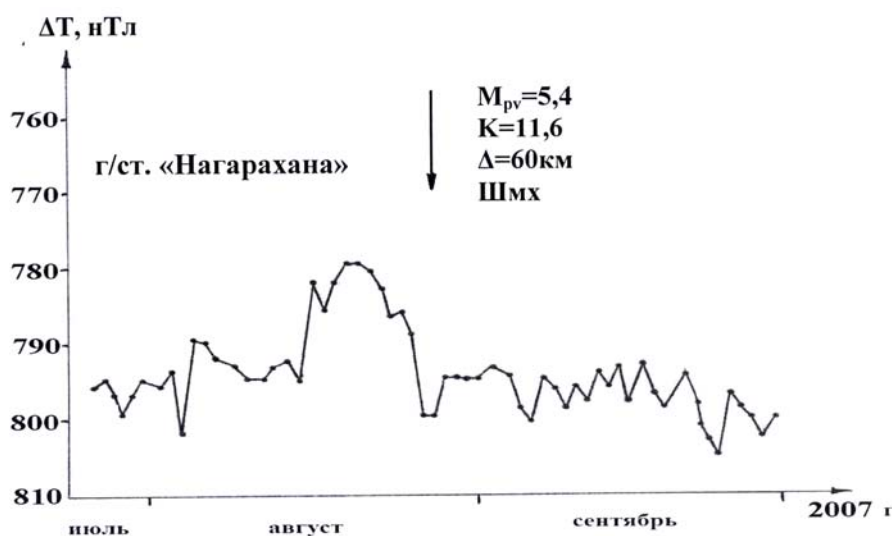


Рис. 2. Проявление сейсмоманнитного эффекта перед землетрясением $M=5,4$

Это свидетельствует о имеющей место причинно-временной связи между СМЭ и самими сейсмическими событиями, что указывает на сеймотектоническую обусловленность выявленных СМЭ (Рзаев, 2006; Рзаев, 2005).

Наряду с работами по выявлению СМЭ в вариациях напряженности геомагнитного поля, в рамках настоящей статьи рассматривался вопрос оценки напряженного состояния сейсмогенных зон на основе анализа приращения градиента напряженности геомагнитного поля $(\sigma\Delta T) \sim f(t)$. В основе этого метода лежит физический механизм изменения вида остаточной намагниченности горных пород под влиянием избыточных упругих напряжений при негидростатическом сжатии.

Оценка напряженного состояния сейсмогенных зон проводилась в результате дискретных геомагнитных наблюдений пространственно-временных приращений градиента напряженности геомагнитного поля $(\sigma\Delta T) \sim f(t)$, где $\sigma\Delta T = \Delta T_n - \Delta T_{n-1}$. Параметр $\sigma\Delta T \sim f(t)$ несёт информацию об энергетически напряженном состоянии сейсмогенной зоны и обусловлен, вероятнее всего, образованием дополнительной пьезоостаточной намагниченности в условиях негидростатического сжатия горных пород (Исаева, Рзаев, 2006).

Дискретные магнитометрические наблюдения велись на площади полигона по сети 120 жестко закрепленных геофизических реперов по методике многократного посещения (не реже одного посещения в месяц).

В результате строились карты пространственно-временных приращений градиента напряженности $\sigma\Delta T \sim f(t)$, нормированные на уровень ΔT предыдущего месяца (рис.3). На построенных картах $\sigma\Delta T \sim f(t)$ отражаются блоковая тектоника полигона и динамика распределения избыточных напряжений как в местах сочленения отдельных блоков, так и внутри каждого блока. Видно, что напряженный характер в 2007 году присущ Исмаиллинской и Шамахинской сейсмогенным зонам (рис.3). Менее напряженным состоянием отличаются Шекинская зона и северный борт Прикуринской депрессии в месте сочленения её с южным бортом юго-восточного погружения Большого Кавказа, где наблюдаются отдельные немногочисленные землетрясения с $K \leq 8 \div 10$ (рис.4).

Наибольший градиент приращения $\sigma\Delta T$ отмечается в августе 2007 года в Шамахинской сейсмогенной зоне, где в данный период произошло ошутимое землетрясение с $K=11,6$. Наряду с этим здесь происходит большое количество землетрясений с $K=9 \div 10$ и выше (рис.4).

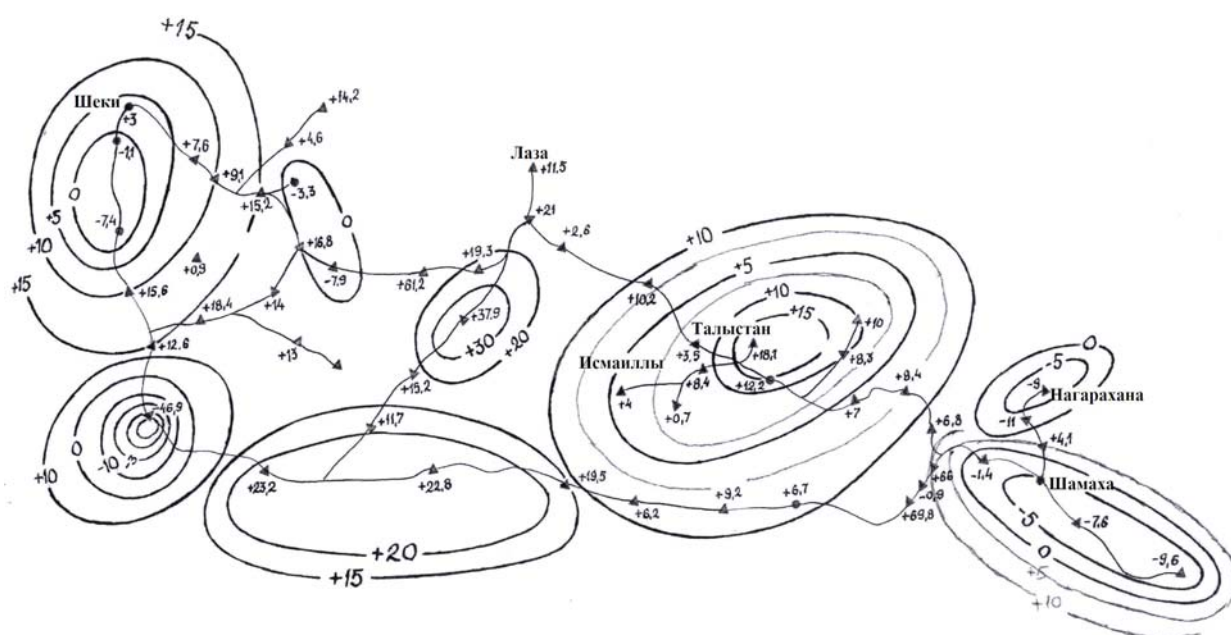


Рис. 3. Карта напряжённого состояния сейсмогенных зон Шеки - Шамахинского полигона по приращению градиента напряжённости геомагнитного поля ($\delta\Delta T$) (август 2007)

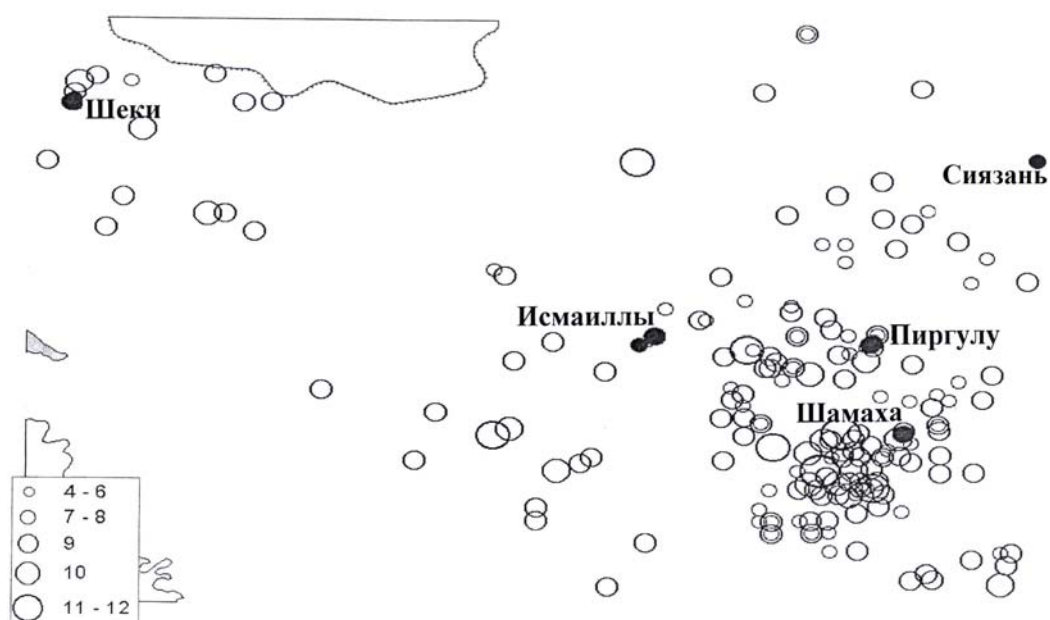


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений за 2007 г.



Рис. 5. Волновой характер распределения ($\sigma\Delta T$) на площади Шеки – Шамахинского полигона в 2007 г.

Анализ карт $\sigma\Delta T \sim f(t)$ за последние годы свидетельствует о приуроченности максимальных значений $\sigma\Delta T$ к местам трассирования глубинных тектонических нарушений и отдельным тектоническим блокам (Геология Азербайджана, 2002; Rzaev, Mammadli, 2005; Rzaev və b., 2005).

В рамках настоящей статьи приводятся предварительные результаты анализа характера волнового распределения избыточных напряжений на полигоне. Как видно из рис. 5, этот процесс имеет нелинейный характер.

Накопление тектонических напряжений на границе Исмаиллинской и Шамахинской зон много выше, чем в пределах других сейсмогенных зон. Это выражается в резком увеличении амплитуды волны ($\sigma\Delta T$) на границе зон Исмаиллы-Шамаха и нарушении линейности эффекта затухания и расплывания волн.

Учитывая неоднородность геологической среды полигона, в частности Исмаиллинской и Шамахинской сейсмогенных зон, можно ожидать возникновения здесь ударной волны ($\sigma\Delta T$) типа «геосолитона». Взаимодействие ударной волны типа «геосолитона» с геологической средой обуславливает, по-видимому, локальные аномальные изменения свойств напряженности геомагнитного поля в виде СМЭ.

Физическая природа этого процесса с позиции известной теории «солитонов» нами предлагается впервые и нуждается в дальнейших исследованиях.

Заключение

1. Корреляционный анализ амплитудно-частотных характеристик аномальных изменений в напряженности геомагнитного поля с сейсмичностью позволил выявить сейсмомагнитный аномальный эффект (СМЭ), который можно рассматривать как краткосрочный предвестник ощутимого землетрясения.

2. Результаты сейсмопрогностических исследований убедительно свидетельствуют о присутствии в выявленных сейсмомагнитных эффектах литосферной составляющей.

3. Предполагается «геосолитоновая» природа волнового распределения приращений градиента напряженности геомагнитного поля на площади Шеки-Шамахинского полигона.

ЛИТЕРАТУРА

- ГЕОЛОГИЯ АЗЕРБАЙДЖАНА (под ред. Али-Заде Ак.А.). Т. V. Физика Земли. 2002. Баку. 27-35.
- ИСАЕВА, М.И., РЗАЕВ, А.Г. 2006. Магнитные свойства и сейсмомагнитный эффект горных пород Шеки-Шамахинской сейсмогенной зоны. *Изв. НАНА. Науки о Земле*, 2, 38-41.
- МЕТАКСА, Х.П., ЦОНИФ, Б.Ф., ГАСАН-ЗАДЕ, Ф.Г., РЗАЕВ, А.Г. 1990. Об информативности импульсной компоненты напряженности геомагнитного поля в качестве индикатора процесса подготовки землетрясения. *Изв. АН Аз. ССР, сер. наук о Земле*, 1.
- РЗАЕВ, А.Г. 2005. Оценка механизма очага землетрясения и напряженного состояния сейсмогенных областей по свойствам сейсмомагнитного аномального эффекта. В сб. трудов Пятых и Шестых геофизич. чтений им. В.В.Фединского: *Геофизика XXI столетия: 2003-2004 гг.*, Москва, 58-61.
- РЗАЕВ, А.Г. 2006. Связь аномальных изменений в напряженности геомагнитного поля с сеймотектоническими процессами в литосфере Земли. *Изв. НАНА. Науки о Земле*, 3, 58-63.
- RZAYEV, A.Q., MAMMADLI, T.Y. 2005. Seismicity across Azerbaijan's territory and seismomagnetic effects in geomagnetic field stress. *Geophysics news in Azerbaijan*, Baku, 4, 49-52.
- RZAYEV, A.Q., QASANOV, A.Q., ETIRMISHLI, Q.D. 2005. Geomagnetic data based strain field evaluation. *Geophysics news in Azerbaijan*, Baku, 1, 43-46.

Рецензент: член-корр. НАН Азербайджана П.З.Мамедов