© А.Г.Рзаев, 2006

СВЯЗЬ АНОМАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ЛИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

А.Г.Рзаев

Республиканский Центр Сейсмологической Службы НАН Азербайджана
AZ 1001, Баку, ул. Н.Рафибейли, 9

Рассматриваются физические свойства аномального сейсмомагнитного эффекта. Показано, что форма проявления сейсмомагнитного эффекта, его амплитудно-частотные характеристики зависят как от параметров очага землетрясения и его механизма, так и от петрофизических свойств горных пород эпицентральной зоны. Предлагается способ оценки энергетического состояния сейсмогенных зон по динамике градиента напряженности геомагнитного поля.

Введение

Прогноз землетрясений и его частная задача поиска и изучения геофизических сейсмоаномальных эффектов в геофизических полях и по сей день не потеряли своей актуальности в общей проблеме Физики Земли.

По ряду регионов стран СНГ и дальнего зарубежья собран и систематизирован материал, анализ которого уже на сегодняшний день даёт представление о некоторых характерных признаках проявления предвестников землетрясений в геофизических полях различной физической природы.

В разные годы автором этой статьи получен обширный статистический материал о структуре сейсмомагнитных предвестниковых аномалий и формах их проявлений в зависимости от параметров очага и его механизма (Рзаев, 2002).

Тем не менее, необходимость проведения дальнейших прогностических исследований диктует неоднозначность проявления сейсмомагнитного эффекта (СМЭ) в напряженности геомагнитного поля часто даже в пределах одной и той же сейсмогенной зоны. Отсюда возникает целевая необходимость постановки задачи более глубокого изучения структуры аномальных эффектов с привлечением более современных технических наблюдательных средств.

В соответствии с этим автором проведены следующие комплексные исследования с использованием новейшей магнитометрической аппаратуры:

- анализ временных вариаций напряженности геомагнитного поля T;
- анализ пространственно-временных приращений постоянной части напряженности геомагнитного поля T.

Работы проводились на Шеки-Шамахинским прогностическом полигоне Азербайджана с участием сотрудников геофизической экспедиции РЦСС НАНА, за что автор выражает им свою благодарность.

Постановка задачи

В пределах Шеки-Шамахинской зоны выделяются серии блоков, характеризующиеся различным геологическим строением. Блоки с повышенной мощностью кайнозойских отложений (Ашага-Гейнюкский, Габалинский, Шамахинский) характеризуются отсутствием в разрезе мезозоя магматических пород. В блоках с небольшой мощностью кайнозойских моласс (Шеки-Огузский, Исмаиллинский) развиты мощные толщи магматических пород мезозоя. Доальпийское основание залегает здесь на глубинах 9÷11 км (Шеки-Огузский блок) и до 12÷13 км в Шамахинском районе (Агамирзоев, 1972).

Гипоцентры землетрясений Шеки-Шамахинского полигона залегают на различных гипсометрических уровнях, располагаясь как в пределах доальпийского основания и мезозойском комплексе, так и частично в низах кайнозоя (Шамахинский р-н).

Такая геологическая неоднородность изучаемого региона и локализация гипоцентров землетрясений в различных по структуре

и фациальному составу этажах пород обуславливает значительные трудности в изучении связи изменений уровня напряженности геофизических полей с сейсмичностью. Решение этого вопроса требует дальнейшей детализации многопараметрической геолого-геофизической модели земной коры региона.

В свою очередь изучение вариаций геофизических полей в связи с подготовкой и реализацией землетрясений позволяет в ряде случаев уточнять отдельные параметры этой модели. Дифференциация сейсмогенного разреза по намагниченности и сопротивлению горных пород доальпийского основания и мезокайнозойского комплекса как на глубину, так и по латерали, позволит ожидать наличия характерных черт в вариациях геомагнитного поля при формировании очагов землетрясений в различных по геологическому строению блоках изучаемой области и на различных гипсометрических уровнях в пределах отдельных блоков.

Методика наблюдений

Магнитометрические наблюдения комплексировались двумя методами – временными и пространственно-временными наблюдениями за полем T.

Временные вариации напряженности T геомагнитного поля записывались круглосуточно на опорных магнитовариационных станциях (МВС) «Айдынбулаг» (Шекинский р-н), «Нагарахана» (Шамахинский р-н), «Армяки» (Губинский р-н) и «Шувалан» (Абшерон). Дискретность опроса – 10 мин./измерение в течение года. Точность единичного замера напряженности – T±0,1нТл.

Строились графики функции T~f (t), а также нормированные по отношению к МВС «Шувалан» графики ΔT~f (t), где t – время единичного синхронного отсчета T на опорной станции и МВС «Шувалан».

Проводилась оценка однородности протекания среднечасовых (солнечно-суточных) и среднесуточных вариаций T по всем станциям, анализировались амплитудно-частотные характеристики (T, ΔT) ~f (t), проводилась корреляция аномальных эффектов на графиках ΔT ~f (t) с текущей сейсмичностью на полигоне. Локальные неоднородности в переменной части напряженности T («шумы») исключались путем разложения напряженности поля T на регулярную и импульсную компоненты с последующей их фильтрацией.

Пространственно-временные (или дискретные) наблюдения включали в себя анализ приращений в постоянной части напряженности T на площади полигона. Работы проводились по сети жестко закрепленных 60-ти реперов, охватывающих равномерно всю площадь полигона. Дискретность опроса каждого репера составляла 1 опрос/месяц в течение года. Поправка на солнечно-суточную вариацию напряженности T учитывалась по данным МВС «Шувалан», находящейся в более сейсмически спокойной (по отношению к полигону) зоне и принятой за «нормальную».

Строились нормированные карты пространственно-временных приращений градиента напряженности геомагнитного поля δΔT~f (t). Работы проводились новейшими высокоточными протонными магнитометрами G-856 «Metoro-Maq» (производство США). Сходимость внутри групп значений напряженности T на каждой точке не хуже ±0,1нТл. При этом среднеквадратичное отклонение D рассчитывалось как корень квадратный из дисперсии d, в связи с чем величина нормированного отклонения составила ~ 1.

Обсуждение результатов

Стационарные геомагнитные наблюдения показали, что временные ряды солнечно-суточных (регулярных) вариаций $S_q(t)$ протекают однородно по всем станциям наблюдений, разнесенным по долготе на расстояние не более 1^0. Вариационные кривые, как правило, включают в себя положительную аномалию напряженности поля T в послеполуденное и ночное время суток и отчетливый минимум напряженности T в период 12-13 часов дня.

Анализ амплитудно-частотных характеристик регулярной составляющей $S_q(t)$ вариаций свидетельствует о наличии сезонных изменений амплитуд. При этом самые низкие значения амплитуд наблюдаются в зимний период и в 3-4 раза уступают по величине амплитудам весенне-летнего периода.

Вариации $S_q(t)$ осложнены наложенными, более высокочастотными флуктуациями напряженности поля, часто не коррелирующимися между отдельными станциями. Эти и другие факторы «помех», имеющие как ионосферную, так и электрокинетическую природу, отфильтровываются при реализации методики разложения модуля вектора T на составляющие (Метакса, Рзаев, 1990).

Сравнительный анализ импульсных компонент напряженности T дает возможность выявлять сейсмомагнитный эффект в пределах радиуса его влияния $R=10^{0,5M-0,27}$ (км) (рис.1), где M – магнитуда землетрясения.

На рисунках 2, 3 представлены типичные кривые сейсмомагнитных эффектов, проявляющиеся при землетрясениях с M≥4,5. При этом механизм очага землетрясения (сжатие, растяжение) обуславливает, как правило, характер проявления СМЭ. При действии в очаге сжимающих напряжений, направленных вкрест простиранию структур юго-восточного погружения Б.Кавказа, СМЭ имеют в основном положительное приращение напряженности (рис.2), тогда как при механизме «растяжения» - эффект обратный и имеет место отрицательное приращение локальной напряженности T (рис.3).

Этот факт объясняется характером преобразования остаточной намагниченности железосодержащих минералов горных пород под влиянием направленных избыточных упругих напряжений в сейсмогенной зоне, вызывающих перераспределение в ориентации магнитных доменов кристаллической решетки ферромагнетиков (Нагата, 1965).

Результаты натурных наблюдений показали, что амплитуда СМЭ при глубине гипоцентра до 8-10 км, как правило, превышает на 50% амплитуду СМЭ от землетрясений с глубиной гипоцентра до 40÷45 км. По-видимому, с ростом глубины гипоцентра и увеличением при этом термодинамического воздействия протекает частичная разориентация магнитных моментов зерен ферромагнетиков. Однако этот факт требует дополнительных исследований с целью уточнения физического механизма эффекта.

Анализ динамики геомагнитного поля на протяжении всего цикла подготовки и реализации землетрясений с M≥4,0 на площади полигона позволил установить особенности форм проявления СМЭ. Установлено, что последние проявляются в виде бухтообразных изменений намагниченности (реже в виде узкопериодных всплесков) на завершающей стадии подготовки землетрясения, а именно за 5÷15 дней до основного толчка. Доверительный интервал, рассчитанный по периоду СМЭ, составляет порядка 186-200 часов. Период и амплитуда СМЭ составляют соответственно 2-7 дней и 20÷40 нТл в зависимости от магнитуды землетрясения (рис. 2,3), при этом радиус зоны проявления СМЭ может составлять от 100 км до 1000 км. Все СМЭ, выявляемые на площади Шеки-Шамахинского полигона, хорошо согласуются с расчетными деформациями среды для той сейсмогенной зоны, где они проявились (Рзаев, Маммедли, 2005). Этот факт лишний раз говорит о связи СМЭ с деформационными полями и о его литосферной природе.

Если выявленные СМЭ во временных вариациях напряженности поля T, связанные с проявлением конкретного землетрясения, можно отнести к критериям среднесрочного (оперативного) прогноза, то сейсмоаномальные изменения в пространственно-временных приращениях градиента напряженности геомагнитного поля (δΔT) следует относить к долгосрочным критериям. Это связано с тем, что индикатор энергетического состояния среды, каким является параметр (δΔT), отражает более длиннопериодные деформационные процессы в литосфере на стадии подготовки землетрясения, приводящие к накоплению избыточных упругих напряжений.

Преамбула исследований пространственно-временных приращений δΔT содержит положение о том, что в случае начала процесса аккумуляции избыточной энергии в одной (или нескольких) сейсмогенной зоне, приращение напряженности геомагнитного поля должно приобрести направленный характер (выравнивание знака приращения δΔT), что приведет к более четкому оконтуриванию зоны избыточных напряжений за счет повышения там градиента (глубины) напряженности.

Анализ динамики геомагнитного поля в условиях неоднородного распределения избыточных коровых напряжений показал, что блоковая тектоника полигона четко отражается на картах δΔT (рис.4). При этом для крупных блоков магматических пород Шеки-Огузской и Исмаиллинской сейсмогенных зон характерно резко дифференцированное поле. Габалинский блок отмечается спокойным градиентом приращения напряженности T.

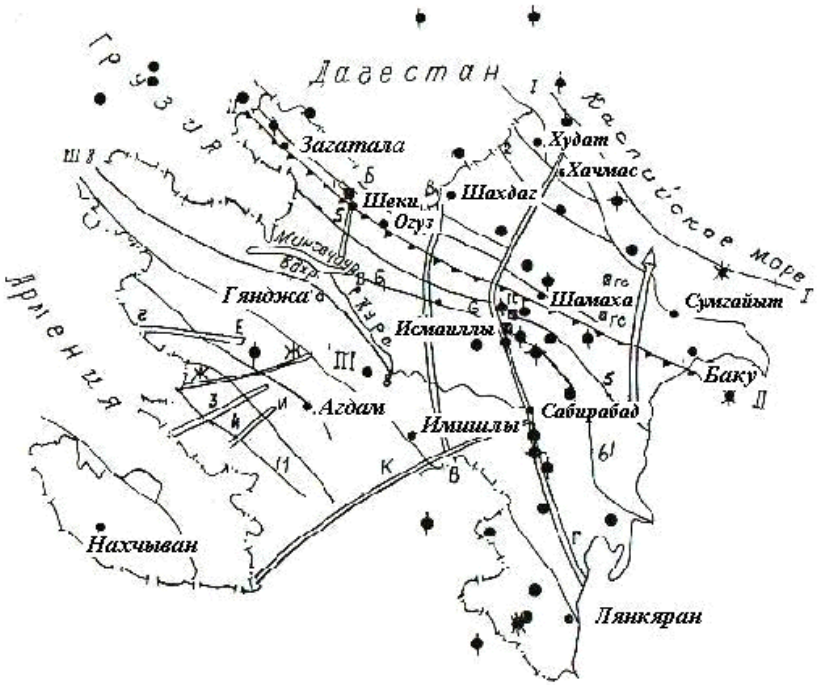


Рис. 1. Землетрясения, предварявшиеся аномальными возмущениями геомагнитного поля (период 1996 – 2000 гг.).

Энергетические классы землетрясений : *к = 10*

к = 11

к = 12

к > 13

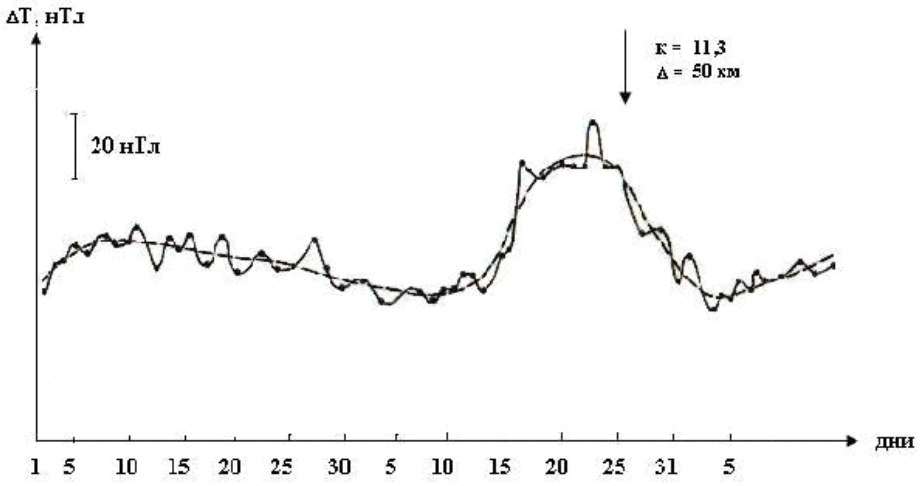


Рис. 2. Пример аномального проявления СМЭ при механизме “сжатия ” в очаге (отрицательная аномалия Δ T)

Δ T – *нормированная напряженность геомагнитного поля;*

к – энергетический класс землетрясения;

↓ *- момент землетрясения;*

Δ *- эпицентральное расстояние от станции наблюдения до эпицентра.*

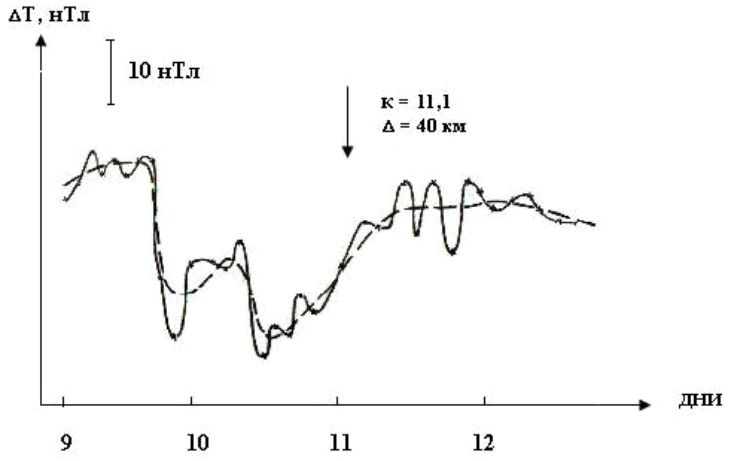


Рис. 3. Пример аномального проявления СМЭ при механизме "растяжения " в очаге (отрицательная аномалия Δ Т)
Δ Т – *нормированная напряженность геомагнитного поля;*
к – энергетический класс землетрясения;

↓ *- момент землетрясения;*

Δ *- эпицентральное расстояние от станции наблюдения до эпицентра.*

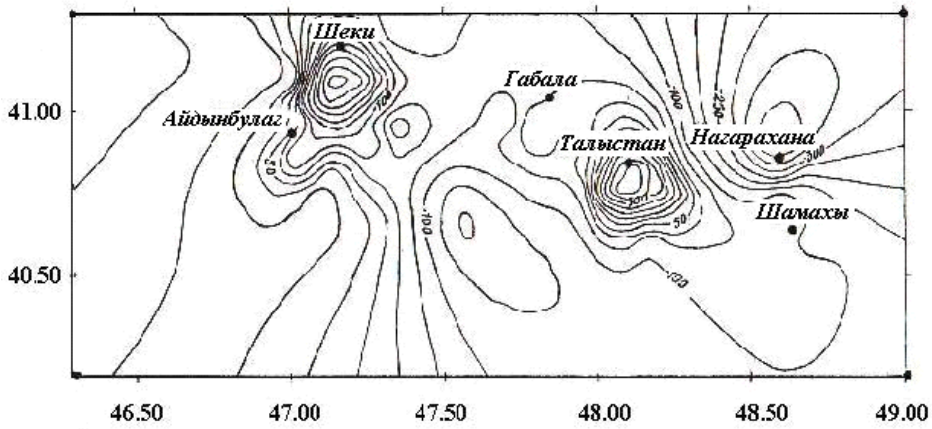


Рис. 4. Пример отражения энергетического состояния сейсмогенных зон Шеки – Шамахинского полигона в пространственно–временных приращениях градиента напряженности геомагнитного поля.
- изолинии значений δ Δ Т

Наиболее высокие градиенты поля δΔТ присущи интервалу Западно-Каспийского разлома, разделяющего Шамахинский и Исмаиллинский блоки.

Анализ карт δΔТ за период 2005-2006 годов свидетельствует о нестабильном характере геодинамического режима на полигоне. В частности, частая смена знака приращения напряженности поля Т сопровождается периодической разрядкой упругих напряжений в виде роя слабых землетрясений с магнитудой M≤3.

Можно отметить, что наиболее высокая концентрация упругих напряжений в период 2005-2006 годов наблюдалась в пределах Шеки-Огузской и Исмаиллинской сейсмогенных зон и меньше – в Шамахинской зоне. Тем не менее, анализ имеющегося материала указывает на то, что энергетический уровень в этих сейсмогенных зонах далек от критического.

Заключение

Многолетние исследования СМЭ позволили оценить радиус зоны проявления СМЭ относительно станции наблюдения, изучить амплитудно-частотные характеристики сейсмоаномального эффекта, установить доверительный период времени реализации эффекта до землетрясения.

Выявлено, что величина обратимых изменений намагниченности под действием избыточных напряжений проявляет зависимость от глубины гипоцентра, а, следовательно, и от температурного режима в области формирования гипоцентра.

Существенное влияние на амплитудно-частотные характеристики сейсмомагнитного эффекта оказывает механизм очага, что предопределяет знак приращения напряженности и тем самым «полярность» сейсмомагнитного эффекта.

Наблюдается зависимость СМЭ от состава ферромагнитной фракции горных пород. Ферромагнитный материал с меньшей степенью коэрцитивности, т.е. с крупными зернами ферромагнетиков, ответственен за максимальное изменение индуктивной намагниченности, а, следовательно, и за величину сейсмомагнитного эффекта.

Исследование пространственно-временных приращений напряженности геомагнитного поля даёт возможность прослеживать динамику энергетического состояния сейсмогенных зон и процесс аккумуляции в них избыточных упругих напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

АГАМИРЗОЕВ, Р.А. 1972. Геология СССР т. XVII. Недра, Москва,112-114.

МЕТАКСА, Х.П., РЗАЕВ, А.Г. 1990. К вопросу об информативности импульсной компоненты напряженности геомагнитного поля в качестве индикатора процесса подготовки землетрясения. *Изв. АН Аз. ССР, сер. Науки о Земле,* 1, 5-8.

НАГАТА, Т. 1965. Магнетизм горных пород. Мир. Москва.

РЗАЕВ, А.Г. 2002. Сейсмопрогностические исследования. В кн.: *Геология Азербайджана*. *Физика Земли*. *т.V.* Nafta-Press, Баку, 23-26.

РЗАЕВ, А.Г., МАММЕДЛИ, Т.Я. 2005. Геомагнитные предвестники землетрясений и их сейсмотектоническая обусловленность. *Texnika*, 1, 94-101.

Рецензент: д.г.-м.н. Б.М.Панахи