

УДК 551.491.4

МЕТОДИКА ФИЛЬТРАЦИИ НАТУРАЛЬНЫХ ПОМЕХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕКТОНОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

С. Р. ОГАНЕСЯН*, Р. А. ГРИГОРЯН, К. К. ПЕТРОСЯН, А. С. ДЖАВАДЯН

Северная и Западная службы сейсмической защиты, Республика Армения

Изучение тектономагнитного поля возможно, если из общей вариации геомагнитного поля можно выделить компонент, который имеет информацию об упруго-механических напряжениях, действующих в земной коре. В общей вариации геомагнитного поля главную роль играют вековые и солнечно-суточные вариации, амплитуды которых соизмеримы с амплитудами тектономагнитного поля. Таким образом, возникает необходимость их фильтрации из общей вариации, методика которой представлена в данной работе.

Ключевые слова: индукционная компонента, упруго-механические напряжения, солнечно-суточные вариации, земная кора.

Введение. Оценка параметров образующихся очагов тектонических землетрясений по данным измерений вариаций геомагнитного поля (ГМП) основывается на обнаружении тектономагнитного эффекта (*TE*), сложность которого заключается в том, что ГМП имеет вариации, не связанные с формированием очага. В научной литературе их называют мешающими факторами, натуральными помехами или вторичными эффектами по отношению к *TE*. Магнитные поля вторичных эффектов связываются с системами токов, проходящих на разных уровнях: в ионосфере, магнитосфере, в приповерхностном слое и глубинных неоднородностях земли. Такими источниками, в основном, являются:

- 1) вековые вариации ГМП, источники которых находятся в земном ядре;
- 2) солнечно-суточные вариации ГМП, источники которых находятся в земной ионосфере;
- 3) пространственные неоднородности электропроводимости в земной коре, приводящие к неоднородной индукции (электротеллурические токи);
- 4) электромагнитные поля фильтрации подземных флюидов (электрокинетические эффекты);
- 5) пространственная неоднородность ГМП в приповерхностном слое, образовавшаяся за счет неоднородностей магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности сильномагнитных горных пород ($I_n \geq 10^{-2}$ CGSM);

* E-mail: hovsam@mail.ru

б) термодинамическое и фазовое состояние горных пород, залегающих в земной коре по окружности пункта наблюдения;

7) ионизация нижних слоев атмосферы (0,5–2,0 км от земной поверхности).

Для учета воздействия источников магнитных полей 1) и 2) нами разработана методика фильтрации. Цель представленной работы – показать работоспособность разработанной нами методики выделения натуральных помех, создаваемых вековыми и солнечно-суточными вариациями, для их учета при изучении TE поля.

Вековой ход ГМП и его фильтрация от наблюдаемых значений.

Известно, что в ГМП существуют вариации, периоды которых находятся в пределах от нескольких до сотен лет. Их называют вековыми вариациями или вековым ходом ГМП (SV , Secular Variation) [1]. Они создаются магнитогидродинамическими процессами внутри земного ядра, и обычно их определяют как вариацию, выделенную по среднегодовым значениям главного поля.

Учет векового хода при исследовании тектономагнитного поля (ГМП) необходим исходя из следующих позиций: а) периоды и величины амплитуд ГМП, образованных очагами тектонических землетрясений с магнитудой $M \geq 4,0$ соизмеримы с периодами и амплитудами вековых вариаций [2]; б) не смотря на небольшую территорию Армении, вековой ход в ее пределах представляется неоднородным [3]. На основании этих доводов учет и фильтрация

векового хода при обнаружении тектономагнитных предвестников землетрясений становятся необходимыми.

Графики цифровых рядов наблюдений ГМП (T) 1980–2008 гг., построенные с годовым усреднением (рис. 1, а) и разностным усреднением между последующим и предыдущим годами (рис. 1, б), показывают, что величина модуля вектора полной индукции монотонно растет до ~ 600 нТл, при этом вековой ход претерпевает изменения всего от нескольких до десятков нТл (рис. 1, б).

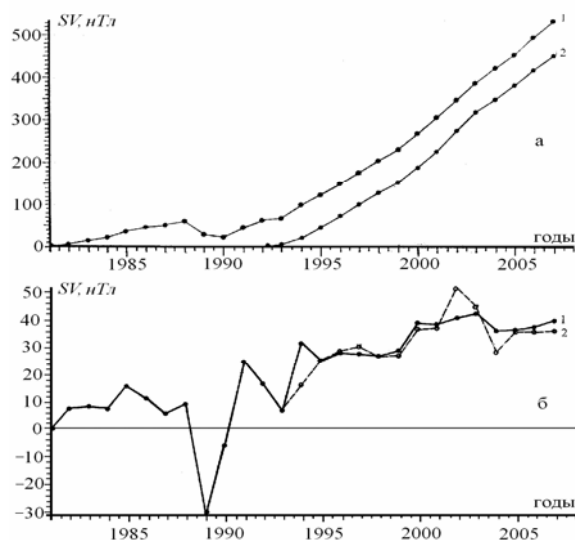


Рис. 1. Кривые векового хода (а) и аномалии векового хода (б) ГМП по данным магнитных станций Гюлагарак (1) и Бавра (2).

На кривой роста SV станции Гюлагарак (рис. 1, а, кр. 1) монотонность роста ГМП нарушается в конце 1988 г. Спад значений полного вектора индукций составляет ~ 45 нТл и совпадает по оси времени со Спитакским землетрясением 07.12.1988 г. с $M = 7,1$. Это явление с большой вероятностью можно считать окончательным этапом спада сформированного тектономагнитного предвестника землетрясения. Как видно из рис. 1, б, в 1989 г. кривая 1

начинает расти и в промежутке времени 1992–1993 гг. можно считать, что магнитное поле аномалий векового хода восстановлено, что, согласно теории тектономагнетизма, означает восстановление тектонических напряжений.

Значения SV в среднем составляют ~ 30 нТл/год, что соизмеримо с величиной ТМП. Для очевидности отметим, что, например, для очага землетрясения 14.01.1999 г. с $M=4,4$ полное значение тектономагнитного предвестника составляет 23,32 нТл. Это подтверждает предположение о необходимости отфильтровывания поля векового хода от ТМП.

Сущность методики фильтрации заключается в следующем. Для каждой эпохи (15 июня предшествующего года–15 июня следующего года) рассчитывается вековой ход. На основании линейного роста ГМП за наблюдаемый интервал времени (рис. 1, а) производится линейная аппроксимация ряда среднесуточных данных и получаются временные уравнения векового хода следующего вида:

$$SV = \alpha \Delta t + T_0,$$

где T_0 – базовое значение ГМП, α – коэффициент линейной аппроксимации, который представляет собой рост ГМП в течение суток, Δt – промежуток времени, в котором находится тектономагнитный предвестник (в сутках). Значение T_0 вычитается из среднесуточных наблюдаемых значений рассматриваемого ряда данных, затем вводится поправка согласно величине $\alpha \Delta t$:

$$TE = T_n - SV,$$

где T_n – наблюдаемое значение ГМП. После этой операции полученный ряд данных и представляет собой ТМП.

Ниже в таблице представлены пространственно-временные уравнения векового хода (точность измерений величины годового изменения ГМП (δT) составляет $\pm 0,01$ нТл). Как видно, α для каждой эпохи имеют разные значения, которые необходимо определять.

Пространственно-временные уравнения векового хода ГПМ для территории Ашоцк–Лори

Год	м/с Бавра	м/с Гюлагарак
1993	$\delta T = -0,00335\Delta t + 48372$	$\delta T = -0,0388\Delta t + 48117$
1994	$\delta T = 0,00338\Delta t + 48373$	$\delta T = 0,0065\Delta t + 48130$
1995	$\delta T = 0,0469\Delta t + 48383$	$\delta T = 0,067\Delta t + 48149$
1996	$\delta T = 0,057\Delta t + 48405$	$\delta T = 0,0648\Delta t + 48175$
1997	$\delta T = 0,0825\Delta t + 48429$	$\delta T = 0,0638\Delta t + 48203$
1998	$\delta T = 0,0637\Delta t + 48461$	$\delta T = 0,0891\Delta t + 48224$
1999	$\delta T = 0,0755\Delta t + 48485$	$\delta T = 0,0578\Delta t + 48255$
2000	$\delta T = 0,0699\Delta t + 48514$	$\delta T = 0,1011\Delta t + 48276$
2001	$\delta T = 0,0972\Delta t + 48542$	$\delta T = 0,0982\Delta t + 48314$
2002	$\delta T = 0,118\Delta t + 48589$	$\delta T = 0,1123\Delta t + 48349$
2003	$\delta T = 0,2055\Delta t + 48609$	$\delta T = 0,1282\Delta t + 48386$
2004	$\delta T = 0,1036\Delta t + 48684$	$\delta T = 0,0896\Delta t + 48434$
2005	$\delta T = 0,1032\Delta t + 48622$	$\delta T = 0,0788\Delta t + 48471$
2006	$\delta T = 0,0947\Delta t + 48735$	$\delta T = 0,0927\Delta t + 48504$
2007	$\delta T = 0,0923\Delta t + 48771$	$\delta T = 0,1051\Delta t + 48538$

Солнечно-суточные вариации переменного ГМП и их фильтрация от наблюдаемых значений. Развитие тектономагнетизма за последние 10 лет показало, что не всегда все временные локальные аномалии полностью представляют собой ТМП. Так, среди множества процессов на поверхности Земли,

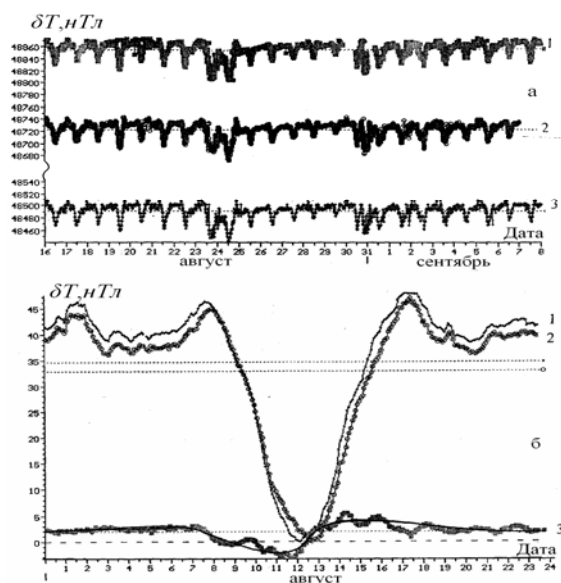


Рис. 2. Солнечно-суточные вариации ГМП на станциях Степанакерт (1), Бавра (2), Гюлагарак (3) (а); пример вариаций на станциях Степанакерт (1) и Бавра (2) и их синхронная разность (3) за 20.08.2005 г. (б).

в том числе и геомагнитных, испытывающих на себе влияние Солнца, особо выделяются те, которые обусловлены прямым действием солнечных геоэффективных излучений. К последним относятся также и корпускулярные потоки, образующие солнечный ветер с его магнитным полем, от интенсивности которого зависит состояние ГМП. Особенно большое влияние на состояние ГМП имеет коротковолновое излучение Солнца, которое периодически разрушает равновесие ионизации ионосферы, из-за чего меняются токовые системы, создающие суточные вариации ГМП, следствием чего является изменение активности индукционного поля. Эта активность суммируется в наблюдаемых значениях ГМП и при исследовании ТМП играет роль натуральных помех или мешающего фактора, на фоне которого могут образовываться локальные временные аномалии, схожие с локальными временными аномалиями тектономагнитного происхождения.

Рассмотрим фактический материал солнечно-суточных вариаций (S_q) на станциях Степанакерт (1), Бавра (2) и Гюлагарак (3) (рис. 2, а). Для наглядности возьмем недлинный ряд более активного интервала вариаций с амплитудой ~ 50 нТл. Видно, что в общих чертах S_q на трех станциях протекают синфазно. Это лишний раз доказывает правильный выбор местоположения пунктов наблюдения.

Определение индукционной части переменного ГМП по данным двух пунктов наблюдений. Для наблюдения более тонких эффектов рассмотрим S_q конкретных суток 20.08.2005 г. для станций 1 и 2 (рис. 2, б). Кривая 3 представляет собой синхронную разницу вариаций станций Степанакерт и Бавра. Как видно, в интервале 0:00–8:00 и 17:00–24:00 синхронную разность можно принять постоянной, а от 8:00 до 17:00 она колеблется в пределах 3,5–5,0 нТл и имеет вид синусоидальной кривой, которая подвергнута скользящему усреднению (сплошная кривая). Эта кривая представляет собой индукционную часть S_q между станциями 1 и 2. Общий разброс индукционного поля в 8,5 нТл не будет мешать при исследованиях ТМП, так как при работе со среднесуточными значениями отмеченный разброс незначителен, но только в том случае,

в том числе и геомагнитных, испытывающих на себе влияние Солнца, особо выделяются те, которые обусловлены прямым действием солнечных геоэффективных излучений. К последним относятся также и корпускулярные потоки, образующие солнечный ветер с его магнитным полем, от интенсивности которого зависит состояние ГМП. Особенно большое влияние на состояние ГМП имеет коротковолновое излучение Солнца, которое периодически разрушает равновесие ионизации ионосферы, из-за чего меняются токовые системы, создающие суточные вариации ГМП, следствием чего является изменение активности индукционного поля. Эта активность суммируется в наблюдаемых значениях ГМП и при исследовании ТМП играет роль натуральных помех или мешающего фактора, на фоне которого могут образовываться локальные временные аномалии, схожие с локальными временными аномалиями тектономагнитного происхождения.

если учесть, что отрицательная вариация индукционного поля в интервале 8:00–12:30 компенсируется положительным полем вариаций интервала 12:30–17:00. Максимальная разница между ними, равная 1,5 нТл, при усреднении 288 наблюдаемых значений (одни сутки) практически исчезает.

Чтобы определить индукционное поле пунктов 1 и 2, рассчитаем индукцию для каждого пункта отдельно.

Определение индукционной части переменного поля по данным одного пункта измерений. Абсолютное значение индукционного поля для любого пункта наблюдения определяется согласно закону индукции, т.е. действие индукционного поля противоположно причине, вызвавшей это поле. Это означает, что при суточной вариации возникающие индукционные эффекты в интервале прямой поляризации равны по амплитуде и противоположны индукционным эффектам, возникающим в интервале обратной поляризации. На основании этого, получив разницу симметричных значений индукционного поля по отношению к минимуму (в нашем случае в 12:20 для станции Степанакерт и 13:05 для станции Бавра) и поделив ее пополам, получим абсолютное значение индукционного поля для данного момента времени в любом пункте измерений.

Эта операция для одних суток проводится следующим образом. Для м/с Бавра, по данным солнечно-суточных вариаций за 20.08.2005 г. (рис. 2, б), рассчитаны скорости изменения S_q при прямой и обратной поляризации, которые составляют соответственно 0,15 нТл /min и 0,16 нТл /min. Для м/с Степанакерт они составляют 0,17 нТл /min и 0,15 нТл /min. Такая незначительная разница скоростей дает нам основание предположить, что образовавшиеся индукционные составляющие ГМП при прямой и обратной поляризации для симметричных моментов по отношению к минимуму кривой S_q должны быть одинаковыми по величине модулей и обратными по знаку. Поэтому для интервала активной S_q с 8:00 до 17:00 достаточно взять значения изменения ГМП (δT) для симметричных моментов и вычислить их разницы. Таким способом получают следующие ряды:

<p>для м/с Бавра:</p> $\delta T_1 = (\delta T_{17:55} - \delta T_{08:45})/2,$ $\delta T_1 = (\delta T_{17:50} - \delta T_{08:50})/2,$ <p style="text-align: center;">-----</p> $\delta T_1 = (\delta T_{13:00} - \delta T_{13:10})/2;$	<p>для м/с Степанакерт:</p> $\delta T_1 = (\delta T_{17:00} - \delta T_{08:00})/2,$ $\delta T_1 = (\delta T_{12:30} - \delta T_{12:10})/2,$ <p style="text-align: center;">-----</p> $\delta T_1 = (\delta T_{12:25} - \delta T_{12:15})/2.$
--	--

На рис. 3, а построены графики рядов, которые представляют собой индукционное поле на м/с Бавра (кр. 2) и м/с Степанакерт (кр. 1). Кривая 3 представляет собой синхронную разницу кривых 2 и 1, величина амплитуды ее превышает величины амплитуд кривых 1 и 2. Также видно, что при солнечно-суточной вариации на станциях Бавра и Степанакерт возникают индукционные магнитные поля противоположного знака, а среднее значение кривых совпадает с линией $\delta T_i = 0$, т.е. при использовании среднесуточных данных влияние индукционного поля исчезает. Этим оправдывается выбор методики тектономагнитных исследований [2].

Соответствие суточных вариаций внешних полей между станциями Бавра и Степанакерт проверяется по методике выбора пунктов наблюдения

(рис. 3, б) [3]. Точки вокруг линии аппроксимации являются данными синхронных наблюдаемых значений пар $\delta T_{\text{нСт}}$ и $\delta T_{\text{нБ}}$.

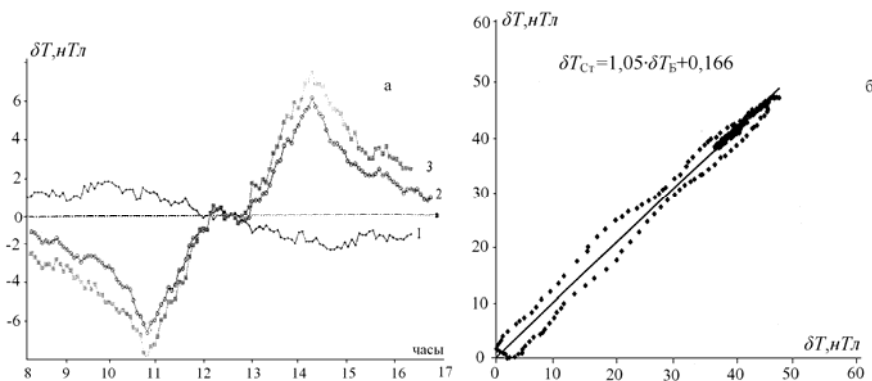


Рис. 3. Суточные вариации индукционного поля на м/с Степанакерт (1) и м/с Бавра (2) и их разность (3) за 20.08.2005 г. (а); связь суточных вариаций отмеченных станций (б).

В случае полного соответствия S_q на обеих станциях сохраняется условие равенства $\delta T_{\text{нБ}} = \delta T_{\text{нСт}}$. Тогда прямая на рис. 3, б пройдет через начало координат и пересечет оси под углом 45° . В нашем случае она пересекает ось абсцисс под углом 38° , что означает $\delta T_{\text{нСт}} > \delta T_{\text{нБ}}$.

Заключение. Обобщая результаты представленного материала, можно констатировать следующие факты:

1. За последние 26 лет модуль вектора полной индукции ГМП вырос на ~ 600 нТл и продолжает расти со средним годовым ходом 30 нТл/год.

2. Солнечно-суточные вариации магнитных станций по ходу изменения идентичны друг другу при условии разных гармонических колебаний внешнего поля.

3. Абсолютная величина S_q на м/с Степанакерт превышает величину соответствующей вариации на м/с Бавра: $\delta T_{\text{нСт}} = 1,05 \delta T_{\text{нБ}} + 1,166$.

4. Величина индукционного поля на м/с Бавра в 3 раза превышает величину индукции на м/с Степанакерт.

5. Среднесуточное значение индукционного поля равно нулю.

6. Из пунктов 2–4 следует, что разностная кр. 3 на рис. 3, а является результатом индукции внешнего поля в окрестности м/с Бавра.

Отмеченные доводы позволяют сделать заключение, что при магнито-разведочных работах по изысканию геомагнитных предвестников землетрясений для составления геомагнитных карт необходимо учитывать довольно активный рост ГМП. Такой большой рост (~ 600 нТл) по всей вероятности давно уже изменил картину распределения локальных аномалий геологического происхождения. В этом можно убедиться, умножив значения магнитной восприимчивости горных пород III и IV возраста, а также горных пород, содержащих железнорудные минералы, имеющие высокие значения остаточной намагниченности (10^{-2} – 10^{-1} CGSM), которые обеспечивают рост поля во времени. Отметим, что последняя карта аномального поля составлена в 1963 г. (автор Акопян Ц.Г.).

Полученные результаты и их анализ показывают:

- при изучении тектономагнитных явлений и определении параметров образующихся очагов землетрясений целесообразно использовать градиентный метод синхронных измерений;
- разработанную методику абсолютных измерений можно использовать без каких-либо ограничений.

Поступила 01.03.2012

ЛИТЕРАТУРА

1. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. Т. 1. М.: Мир, с. 18–136.
2. Оганесян С.Р. Оценка сейсмической опасности на основе изучения динамики тектономагнитного поля. // Известия НАН РА. Науки о Земле, 2009, т.62, с.40–47.
3. Оганесян С.Р. Локальные аномалии геомагнитного поля как возможные предвестники землетрясений. Ер.: Изд. АН Арм. ССР, 1990, с. 155–158.

Ս. Ռ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ր. Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Կ. Կ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա. Ս. ԶԱՎԱԴՅԱՆ

ԲՆԱԿԱՆ ԽԱՆԳԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԶՏՈՒՄԸ ՏԵԿՏՈՆԱՄԱԳՆԻՍՏԱԿԱՆ
ԳԱՇՏԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ամփոփում

Տեկտոնամագնիսական դաշտի ուսումնասիրությունը հնարավոր է, եթե երկրի մագնիսական դաշտի ընդհանուր վարիացիայից անջատում ենք այն բաղադրիչը, որը կրում է տեղեկատվություն երկրակեղևում գործող մեխանաառաձգական լարումների մասին: Երկրամագնիսական դաշտի ընդհանուր վարիացիայի մեջ գլխավոր դերակատարում ունեն այդ դաշտի դարային քայլը և արևաօրային վարիացիան, որոնց ամպլիտուդները համեմատելի են տեկտոնամագնիսական դաշտի ամպլիտուդի հետ: Այդպիսով անհրաժեշտություն է ծագում վերջիններս զտել ընդհանուր վարիացիայից, ինչի մեթոդը ներկայացված է այս աշխատանքում:

S. R. HOVHANNISYAN, R. A. GRIGORYAN, K. K. PETROSYAN, A. S. DJAVADYAN

METHOD OF FILTRATION OF NATURAL HINDRANCES STUDYING TECTONOMAGNETIC FIELD

Summary

The study of tectonomagnetic field is possible if from the general variations of geomagnetic field could be distinguished a component containing information about the elastic-mechanical strains acting on the earth crust. In general variations of geomagnetic field the main role are playing secular and solar daily variations, the amplitudes of which are comparable with the amplitudes of tectonomagnetic field. On this base the necessity of filtration of above mentioned from general variations arises, the method of which is produced in the present work.