

УДК 550.343

О пространственной зависимости влияния процесса подготовки землетрясения 6 февраля 2023 года в восточной части Турции на статистические свойства измерений магнитного поля

^{1,2} Коган Л. П., ¹ Вольвач А. Е., ¹ Вольвач Л. Н.,
³ Аронов А. Г., ³ Аронов Г. А.

¹ Отдел радиоастрономии и геодинамики,
Крымская астрофизическая обсерватория РАН
Ялта, 298688, Российская Федерация
volvach@bk.ru

² Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
Ильинская ул., д. 65, Нижний Новгород, 603000, Российская Федерация

³ Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси
ул. Купревича, д. 1/3, Минск, 220084, Беларусь

Получено: 5 февраля 2025 г.

Отрецензировано: 12 февраля 2025 г.

Принято к публикации: 12 февраля 2025 г.

Аннотация: Исследовано изменение статистических свойств измерений Z -составляющей магнитного поля Земли, проведенных на взаимно удаленных магнитометрах в течение 15 суток перед землетрясением 6 февраля 2023 года на востоке Турции. Проанализированы отличия соответствующих статистик, связанные как с различием направлений на точку эпицентра, так и с существенным отличием расстояний до азимутально близких магнитометров.

Ключевые слова: Земля, магнитное поле, землетрясение, точка эпицентра, Турция.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): О пространственной зависимости влияния процесса подготовки землетрясения 6 февраля 2023 года в восточной части Турции на статистические свойства измерений магнитного поля / Л. П. Коган [и др.] // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2025. Т. 8, № 1. С. 1—15.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018): О пространственной зависимости влияния процесса подготовки землетрясения 6 февраля 2023 года в восточной части Турции на статистические свойства измерений магнитного поля / Л. П. Коган, А. Е. Вольвач, Л. Н. Вольвач [и др.] // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2025. — Т. 8, № 1. — С. 1—15.

1. Введение

Сложность решения задачи прогнозирования землетрясений обусловлена крайне высокой сложностью и нелинейностью процессов их подготовки. Главная проблема в данном случае сводится к отсутствию повторяемости наблюдаемых предвестников сейсмических событий. Поэтому, во-первых, является исключительно высокой актуальность выявления одного или нескольких феноменов, которые бы с большой вероятностью возникали бы перед сейсмическими событиями высокой магнитуды. И во-вторых, требуется подтверждение изменения интенсивности проявления таких физических эффектов в зависимости от расстояния до точки будущего эпицентра.

Прогнозирование землетрясений играет важную роль для России, учитывая ее географическое расположение и наличие регионов с повышенной сейсмической опасностью, таких как Кавказ и Дальний Восток. Особенно это актуально, поскольку значительная часть населения страны проживает в зонах с высоким риском землетрясений, где расположены атомные электростанции и крупные промышленные объекты. Разработка эффективных методов предсказания и мер предосторожности может существенно уменьшить ущерб и сохранить жизни людей.

Сейсмически активные зоны встречаются по всему миру. Среди них можно выделить Тихоокеанское огненное кольцо, южные регионы США, Турцию, Японию, Италию, Индонезию, Иран и др. В России к таким зонам относятся Кавказ и Дальний Восток.

Сейсмoeлектромагнитные явления представляют собой электромагнитные сигналы, возникающие в результате землетрясений и вулканической активности. Они включают изменения магнитных и электрических полей, а также появление электрических токов в земной коре. Изучение этих процессов помогает установить связь между сейсмической активностью и электромагнитными сигналами, что способствует разработке более точных методов прогнозирования землетрясений.

В этой статье на основании подхода, развитого в [1—8], исследуются свойства статистического функционала, характеризующего уровень энтропии исследуемого физического поля, от совокупности измерений X -, Y - и Z -компонент геомагнитного поля. Соответствующие измерения были проведены с 22 января по 6 февраля 2024 года, то есть на протяжении 15 суток перед трагическим землетрясением 6.02.2023 (01:17:35 UTC) магнитудой 7,8 в центральной Турции, а также в день данного события. Рассматриваются свойства совокупности данных, полученных на двух магнитотовариационных станциях, расположенных в Белоруссии и Крыму (соответственно магнитометры *SEC* и *SIM*). Два этих магнитометра были вы-

браны с учетом того, что магнитометр *SIM* расположен фактически в то же плоскости, которая проходит через станцию *SEC*, центр Земли и точку гипоцентра. Этот факт дает возможность оценить возможное изменение уровня интенсивности влияния процесса подготовки землетрясения как функции от расстояния до точки эпицентра предстоящего землетрясения.

2. Математический аппарат, применяемый при решении задачи

Повторяя логику [1—8], будем считать, что любое физическое (а также биофизическое [2]) поле $x(t)$, связанное влиянием процессов в зоне подготовки землетрясения, пусть даже и расположенной в географически удаленном регионе, может быть записано как сумма вида:

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t). \quad (1)$$

Здесь первое слагаемое $x_1(t)$ есть случайная величина (СВ), обусловленная действием обычно наблюдаемых случайных процессов, в том числе шумовыми характеристиками самой измерительной аппаратуры. При этом второй элемент $x_2(t)$ в правой части (1) рассматриваем как случайную компоненту, вызванную фактором разлома литосферных плит в области будущего гипоцентра приближающегося землетрясения в период его «итоговой подготовки». Последний термин означает совокупность сейсмических явлений, которые имеют место в период порядка трех—семи суток перед сейсмическим событием. По аналогии с указанными работами в роли главной гипотезы в этой статье вводится предположение о статистической независимости (или слабой зависимости) присутствующих в (1) двух указанных случайных слагаемых.

Согласно [10], плотность вероятности $\rho_x(w)$ для суммы (1) двух независимых случайных величин может быть записана с помощью интегральной свертки вида

$$\rho_x(w) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_{x_1}(w') \rho_{x_2}(w - w') dw'. \quad (2)$$

Поскольку общее число проводимых измерений является конечным, то плотность вероятности фонового шума $\rho_{x_1}(w)$ будет содержать недетерминированную компоненту в виде мелкомасштабных случайных флуктуаций. Такие возмущения можем полагать своими для любого рассматриваемого отрезка реализации. Принципиально важно, что если ширина вероятностного распределения $\rho_{x_2}(w)$, определяемая интенсивностью процесса подготовки приближающегося землетрясения, станет хотя бы в несколько раз превосходить период указанных флуктуаций зависимости

$\rho_{x_1}(w)$, то в результате выполнения интегрирования вида (2) произойдет их усреднение, и с высокой вероятностью будет уметь место уменьшение их амплитуды. Эта амплитуда определяется как величина эффективного отклонения от нулевого уровня соответствующих флуктуаций, то есть от неизвестного «идеального» распределения $\rho_{x_1}(w)$, которое отвечало бы произвольно большому числу измерений за неограниченно большое время, то есть ситуации абсолютного хаоса.

С целью пояснения приведен рис. 1. На рис. 1а широкая «изрезанная» кривая $\rho_1(w)$ схематически соответствует плотности вероятности совокупности значений случайного процесса $x_1(t)$ на заданном локальном отрезке реализации. Приведенные здесь мелкомасштабные флуктуации обусловлены ограниченным числом отсчетов и демонстрируют отклонение от неизвестного «идеального» распределения. Эффективный период таких флуктуаций определяется шириной h интервала дискретизации, одной и той же для всех отрезков реализации. На этом же рисунке также приведена схематическая «узкая» кривая $\rho_2(w)$. Она отвечает плотности вероятности для совокупности случайных величин $x_2 = x_2(t)$, связанных с влиянием процесса подготовки приближающегося землетрясения. В целях большей наглядности функции $\rho_1(w)$ и $\rho_2(w)$ изображены непрерывными кривыми.

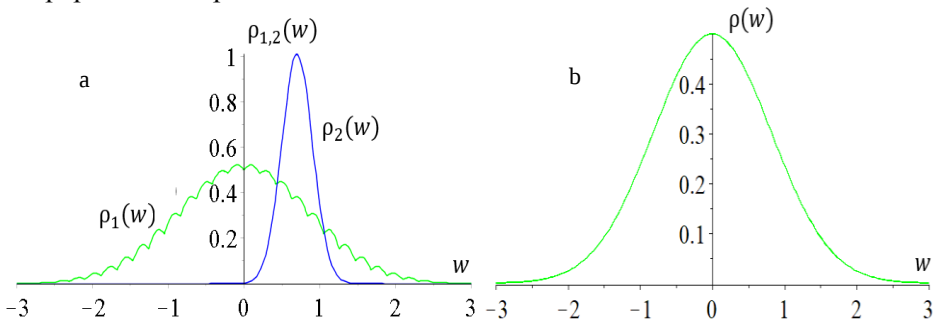


Рис. 1. Схематический вид зависимостей $\rho_{1,2}(w)$ (а), а также схематический вид плотности вероятности $\rho(w)$ при существовании в (1) независимого случайного слагаемого $x_2(t)$ (б).

Fig. 1. (a) Schematic view of the dependencies $\rho_{1,2}(w)$ (a), as well as a schematic view of the probability density $\rho(w)$ in the presence of an independent random term $x_2(t)$ in (1) (b)

Подчеркнем, что значение ширины h интервала дискретизации задается при расчетах и, в частности, может быть выбрано настолько малым, что будет справедливым соотношение

$$2\sigma_2 \geq (2 \div 3)h. \quad (3)$$

В (3) значение σ_2 есть стандарт флуктуаций случайного процесса $x_2(t)$, а $2\sigma_2$ — ширина его вероятностного распределения.

На рис. 1b также схематически в виде непрерывной кривой изображена «суммарная» плотность вероятности $\rho(w)$ для значений случайного процесса (1). При этом предполагается выполнение (3), в результате чего с высокой вероятностью будет иметь место существенное уменьшение эффективной амплитуды мелкомасштабных флуктуаций, отвечающих зависимости $\rho_1(w)$ на рис. 1a.

Следовательно, существование в (1) случайного слагаемого $x_2(t)$, независимого от фонового шума, приводит к эффекту «естественной регуляризации» свойств статистики проводимых измерений; такой феномен интенсивно проявляется именно в период «итоговой подготовки» предстоящего землетрясения. Соответствующее изменение амплитуды случайных флуктуаций вероятностного распределения и в целом свойств статистики измеряемого поля вполне может быть выявлено, в частности, с помощью математических методов наподобие применения характеристической или структурной функций.

Отметим также, что существование независимого случайного процесса $x_2(t)$, на длительном, от трех суток до нескольких недель, интервале времени с высокой вероятностью может быть связано только с сейсмическими процессами. Поскольку все другие природные явления (магнитные бури, тайфуны и т. д.) обладают существенно меньшей длительностью.

Далее подобно [1—8] с целью выявления краткосрочных предвестников исследуемого землетрясения, связанных с существованием в (1) независимого слагаемого $x_2(t)$, проведем разделение интервала наблюдений на отдельные отрезки реализации, равные по длительности и отвечающие одному и тому же числу отсчетов. Каждому подобному отрезку ставим в соответствие значение статистического функционала

$$L(n) = \frac{A}{M} \sum_{l=n-M+1}^n |\mathcal{L}_l|, \quad \mathcal{L}_l = \sum_{m=0}^{N-1} (-1)^m P_{m,l}. \quad (4)$$

Здесь аргумент n соответствует моменту времени завершения отрезка реализации с этим номером, множитель A введен для перехода к удобной для анализа области значений зависимости $L(n)$, знаменатель M задает ширину интервала усреднения по совокупности из M последовательных отрезков реализации от $l = n - M + 1$ до $l = n$, сомножитель $P_{m,l}$ во второй сумме есть вероятность попадания значений функции $\sin[x(t)]$ для отрезка реализации номер l в m -й интервал области значений вида

$$\sin[x(t)]_{\min} + mh \leq \sin[x(t)] < \sin[x(t)]_{\min} + (m+1)h, \quad (5)$$

$$0 \leq m \leq N-1.)$$

В (5) полагаем, что ширина интервала дискретизации $h = 0,1$, общее число которых определяется как $N = 2/h = 20$. Статистика (5) соответствует последовательно анализируемым далее измерениям X -, Y - и Z -компонент исследуемого геомагнитного поля. Статистика (5) отвечает переходу к рассмотрению случайной величины $\sin[x(t)]$ вместо непосредственно измеряемых магнитометром (в нанотеслах) значений $x(t)$ составляющих геомагнитного поля. Такой переход обусловлен существованием интегрируемых особенностей отвечающей функции $\sin[x]$ плотности вероятности вида $\rho_{\sin[x]}(w) \sim (1-w^2)^{-1/2}$ в точках $w \rightarrow \pm 1$. Из проведенных вычислений следует, что влияние этих особенностей с большой вероятностью приведет к усилению различия (вблизи точек $w \rightarrow -1$ и $w \rightarrow 1$) значений амплитуды рассматриваемых мелкомасштабных флуктуаций для тех отрезков реализации, для которых существует слагаемое $x_2(t)$ (при условии, что ширина его вероятностного распределения h удовлетворяет (4)), по сравнению с теми отрезками, для которых оно относительно мало или отсутствует. В первом случае указанные флуктуации с высокой вероятностью будут существенно меньше, чем во втором.

Как несложно понять, увеличение или, наоборот, уменьшение эффективной области значений случайного процесса $x_2(t)$ с высокой вероятностью приводит к убыванию или, соответственно, к возрастанию значений функционала $L(n)$. Отсюда следует, что при увеличении уровня сдвигания блоков литосферных плит в зоне гипоцентра на этапе «итоговой подготовки» приближающегося землетрясения с существенной вероятностью будет происходить уменьшение значений функционала $L(n)$. Тогда как при локальном ослаблении такого сдвигания (это феномен может быть обусловлен, в частности, уменьшением механической прочности блоков земной коры из-за появления новых сетей трещин и разломов, что приводит к спаду сейсмического сдвигания в течение ограниченного времени) — к возрастанию значений функционала $L(n)$.

Согласно [9] область влияния зоны подготовки сильных землетрясений высокой магнитуды составляет до 1000 и более километров от точки будущего эпицентра. И во всей этой области с большой вероятностью будут иметь место характерные изменения свойств статистики измерений геомагнитного поля и других физических [5] и биофизических [2] полей. Далее это утверждение верифицируется по данным измерений Z -компоненты геомагнитного поля для магнитовариационных станций, расположенных в Беларуси и Крыму (соответственно магнитометры *SEC* и

SIM), см. рис. 2а. Эти станции были выбраны с учетом того фактора, что указанные магнитометры *SEC* и *SIM* расположены на разных расстояниях от точки эпицентра, но при почти совпадающих азимутальных углах на нее, см. рис. 1. Поэтому выбор двух рассматриваемых магнитометров позволяет исследовать и пространственные свойства влияния процессов, связанных с подготовкой предстоящего сильного землетрясения.

На рис. 2а приведены точки эпицентров изучаемого землетрясения магнитудой 7,8, начало которого имело место 6 февраля года в 01:17:35 UTC поблизости от города Шехиткамиль в восточной части Турции, а также произошедшего через 9 часов сильного афтершока с почти такой же магнитудой 7,5 (красная и соответственно бирюзовая звездочки). Места расположения магнитометров *SEC* и *SIM* выделены желтыми кружками. Красной пунктирной прямой отмечены почти совпадающие направления от эпицентра основного землетрясения на указанные магнитометры. На рис. 2б изображены ось зоны подготовки события (синий пунктир) и наиболее вероятное направление токов между краями локальных разломов, возникающих на последнем этапе его подготовки (красный пунктир со стрелкой).

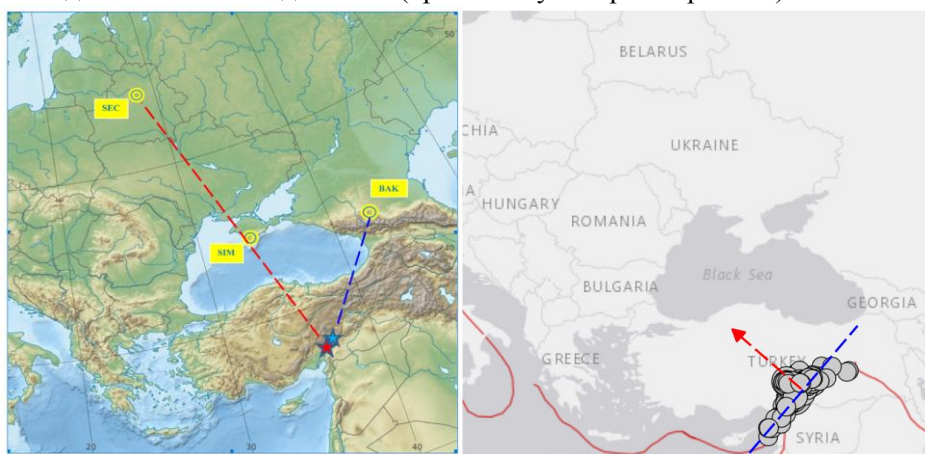


Рис. 2. (а) Расположение эпицентра землетрясения и рассматриваемых магнитовариационных станций. (б) Ось зоны подготовки землетрясения (синий пунктир) и наиболее вероятное направление токов между берегами трещин, возникающих непосредственно перед событием (красный пунктир со стрелкой).

Fig. 2. (a) Location of the earthquake epicenter and the magnetovariation stations under consideration. (b) Axis of the earthquake preparation zone (blue dotted line) and the most probable direction of currents between the banks of cracks that arise immediately before the event (red dotted line with arrow)

Укажем также, что ось зоны подготовки землетрясения ориентирована в северо-восточном направлении, см. рис. 2б. Поэтому электрические

токи между краями возникающих в ней локальных трещин должны быть ориентированы в основном на юго-запад, то есть под достаточно большим углом к направлению на оба рассматриваемых магнитометра. Это означает их относительно большое влияние на Z -составляющую измеряемого магнитного поля. Тогда как влияние на эту компоненту со стороны горизонтальных токов, которые могли бы протекать между берегами теоретически возможных горизонтальных разломов, в местах расположения двух данных магнитовариационных станций будет достаточно слабым с учетом малой кривизны земной поверхности, см. рис. 2а. Именно этими фактами вызван выбор для расчетов измерений Z -компоненты геомагнитного поля.

3. Результаты

На рис. 3—5 синяя и соответственно зеленая кривые 1 и 2 отвечают зависимостям $L(n)$ для измерений Z -компоненты геомагнитного поля, проведенных на магнитометрах *SEC* и соответственно *SIM* в период времени 00:00:00 22 января и заканчивая 23:59:59 6 февраля 2023 года. Здесь в (4) множитель $A = 1000$, по оси абсцисс указано время в часах, отсчитываемое от 00:00:00 22 января. Каждая точка зависимости $L(n)$ соответствует усреднению по $M = 60$ отрезкам реализации, см. (5).

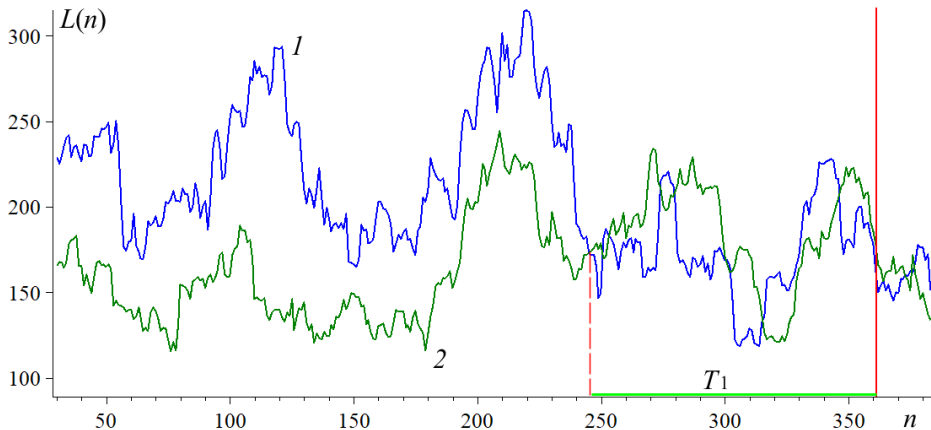


Рис. 3. Зависимости $L(n)$ для измерений Z -компоненты геомагнитного поля по данным магнитометров *SEC* и *SIM* (синяя и зеленая кривые 1 и соответственно 2).

Период усреднения $M = 60$ час.

Fig. 3. $L(n)$ dependencies for measurements of the Z -component of the geomagnetic field based on *SEC* and *SIM* magnetometer data (blue and green curves 1 and 2, respectively).

Averaging period $M=60$ hours

Здесь и далее каждый подобный отрезок отвечает интервалу времени в 1 час и включает в себя 3600 последовательных измерений магнитного поля, проводимых с интервалом в 1 секунду. Другими словами, на рис. 3 любая точка кривой $L(n)$ отвечает 216000 последовательным измерениям Z -составляющей магнитного поля. Момент начала землетрясения на этом и всех следующих рисунках отмечен вертикальной сплошной красной линией. Интервал времени от момента первого пересечения кривых 1 и 2 и до момента начала землетрясения составляет $T_1 = 116$ часов.

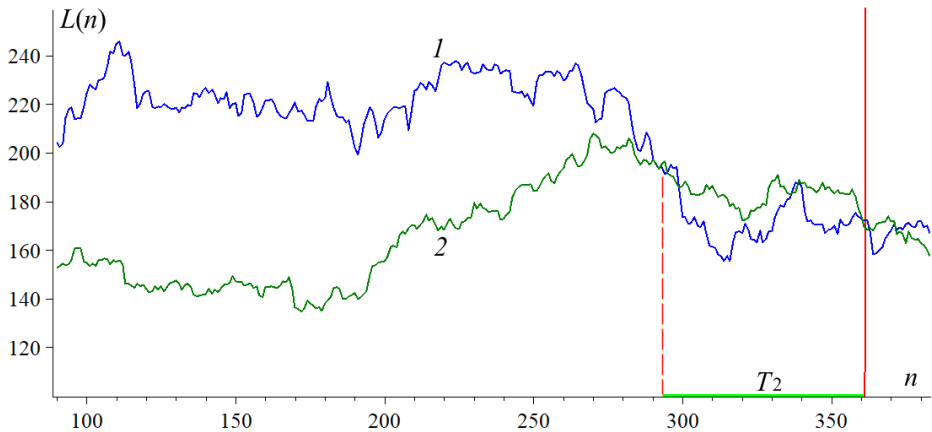


Рис. 4. Зависимости $L(n)$ для измерений Z -компоненты геомагнитного поля по данным магнитометров SEC и SIM (синяя и зеленая кривые 1 и соответственно 2).
 Период усреднения $M = 90$ час.

Fig. 4. $L(n)$ dependencies for measurements of the Z -component of the geomagnetic field based on SEC and SIM magnetometer data (blue and green curves 1 and 2, respectively).
 Averaging period $M=90$ hours.

На рис. 4 зависимости 1 и 2 отвечают измерениям Z -компоненты геомагнитного поля по данным магнитометров SEC и SIM при усреднении по $M = 90$ отрезкам реализации. Интервал времени от момента первого пересечения указанных зависимостей и до момента начала землетрясения составляет $T_2 = 68$ часов.

На рис. 5 зависимости 1 и 2 отвечают измерениям Z -компоненты геомагнитного поля по данным магнитометров SEC и SIM при усреднении по $M = 120$ отрезкам реализации. Интервал времени от момента первого пересечения указанных зависимостей и до момента начала землетрясения составляет $T_3 = 49$ часов.

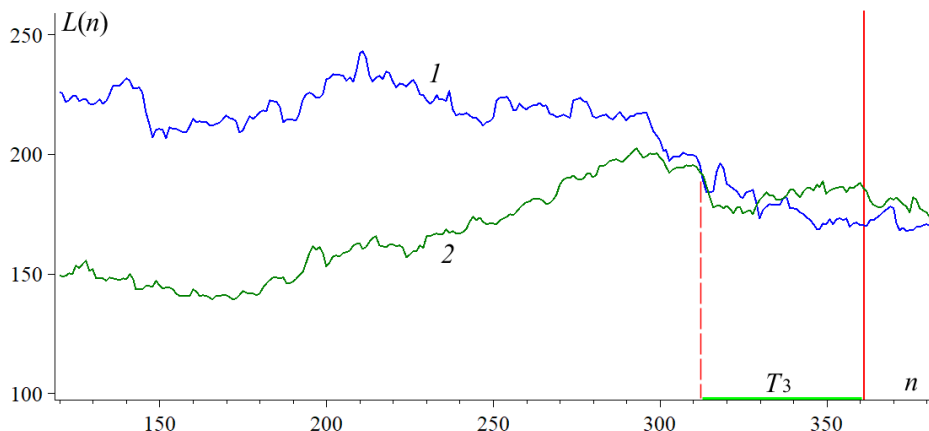


Рис. 5. Зависимости $L(n)$ для измерений Z-компоненты геомагнитного поля по данным магнитометров SEC и SIM (синяя и зеленая кривые 1 и соответственно 2).

Период усреднения $M = 49$ час.

Fig. 5. $L(n)$ dependencies for measurements of the Z-component of the geomagnetic field based on SEC and SIM magnetometer data (blue and green curves 1 and 2, respectively).

Averaging period $M=49$ hours

4. Дискуссия и выводы

При анализе рис. 1 и 2 приходим к следующим выводам. С учетом рассмотренного выше статистического смысла функционала $L(n)$, значения которого с высокой вероятностью убывают при возрастании независимого слагаемого $x_2(t)$ в (1), этот факт позволяет говорить о намного большем уровне воздействия процесса подготовки землетрясения на турецкую станцию *IZN* по сравнению с российской *BAK*. При этом из анализа рис. 1 следует, что области относительно малых значений $x_2(t)$, в которой оказалась станция *BAK*, отвечает весьма малый угловой диапазон, отсчитываемый от направления на точку будущего эпицентра. Поскольку измерениям географически близких к *BAK* станций *SIM* и *GLK* соответствуют существенно меньшие по значениям кривые $L(n)$. Согласно проведенным выше расчетам, это факт может быть интерпретирован как существенно большие значения $x_2(t)$, содержащиеся в измерениях магнитного поля на магнитовариационных станциях *SIM* и *GLK*.

Проводя анализ рис. 3—5, приходим к следующим выводам.

1. В период от 300 до 120 часов перед началом рассматриваемого землетрясения кривая 1 на этих рисунках, построенная по измерениям белорусского магнитометра *SEC*, проходит существенно выше кривой 2, ко-

торая отвечает измерениям крымского магнитометра *SIM*. С учетом свойств функционала $L(n)$ это свидетельствует о значительно меньшем влиянии независимого от $x_1(t)$ случайного слагаемого $x_2(t)$ в (1) для станции *SEC* по сравнению с магнитометром *SIM*. Физически такой эффект объясняется на основании значительно большего, по сравнению с крымским магнитометром, удаления белорусской магнитовариационной станции от очага готовящегося землетрясения. Следствием чего является значительно меньшее влияние возникающих в нем токов применительно к *SEC* по сравнению со станцией *SIM*. Поскольку согласно теореме Био — Савара — Лапласа амплитуда создаваемого ими магнитного поля убывает как

$$B \sim \frac{1}{R^2}, \quad (6)$$

где R — расстояние до будущего эпицентра.

2. Здесь следует отметить, что расстояния до станции *SEC* от точки эпицентра являются приблизительно в два раза большими, чем в случае магнитометра *SIM*. Однако значения отвечающей *SEC* кривой 2 на рассматриваемом интервале времени в среднем не в четыре, как это должно следовать из (6), а всего лишь в полтора раза больше значений кривой 1, построенной по измерениям *SIM*. Этот факт может быть объяснен тем, что вместо исходного измеряемого поля $x(t)$ при расчете статистического функционала $L(n)$ в данной работе рассматриваются значения функции $\sin[x(t)]$. В результате, как это указано выше, возникает возможность увеличить различие между амплитудой случайных мелкомасштабных флуктуаций вероятностного распределения фонового шума для отрезков реализации, где в (1) отсутствует (или является очень малым) независимый от фонового шума $x_1(t)$ случайный процесс $x_2(t)$ по сравнению с отрезками, где он существует. В результате значительно усиливается чувствительность применяемой методики. Однако при этом резко возрастает роль области $w \rightarrow \pm 1$, где плотность вероятности $\rho_{\sin[x]}(w)$ интегрируемым образом стремится к бесконечности. Следствием такого математического эффекта является уменьшения влияния изменения ширины вероятностного распределения значений $x_2(t)$ на уменьшение соответствующих значений зависимости $L(n)$. Именно этим обстоятельством может быть объяснен феномен меньшего, чем это следует из (6), взаимного отличия значений зависимостей $L(n)$ для магнитометров *SEC* и *SIM*.

3. Как следует из рис. 3—5, на интервале времени порядка от 120 и менее часов от момента землетрясения и вплоть до его начала происходит резкое взаимное сближение зависимостей 1 и 2. Таким образом, при весь-

ма разных параметрах расчета функционала $L(n)$ можем констатировать существенное сближение свойств статистики измерений Z -компоненты магнитного поля на двух рассматриваемых магнитометрах.

4. Этот феномен может быть объяснен следующим образом.

(а) На первом промежутке времени, от 300 до 120 часов, размеры очага готовящегося события еще малы как по сравнению с расстоянием до ближайшего к нему магнитометра *SIM*, так и, тем более, до станции *SEC*. Поэтому зависимость (6) является актуальной применительно к магнитному полю, создаваемому токами в очаге будущего землетрясения.

(б) На втором рассматриваемом интервале, порядка 120—50 часов перед началом события, происходит резкое увеличение области сетей разломов. Как видно из рис. 2, общий масштаб области подготовки землетрясения составил порядка 750 км. Кроме того, диаметр области сильного сдавливания литосферных блоков, вызывающего эффекты наподобие пьезоэлектрических, может быть оценен величиной в полтора-два раза большей. В результате общий размер зоны, генерирующей вариации магнитного поля, связанные с подготовкой данного землетрясения, за время порядка от пяти до двух с половиной суток перед его началом стал соизмеримым с расстоянием до обоих магнитовариационных станций. Это обстоятельство объясняет указанный эффект взаимного сближения кривых 1 и 2 на рис. 3—5.

5. На основании проведенных расчетов приходим к выводу, что указанный эффект быстрого и существенного сближения зависимостей $L(n)$, которые соответствуют измерениям, проведенных на пространственно разнесенных магнитовариационных станциях, может рассматриваться как предвестник предстоящего в регионе землетрясения высокой магнитуды. Как следует из результатов данной статьи, следует подчеркнуть, что измерения геомагнитного поля, производимые на территории Беларуси, являются принципиально важными именно с учетом ее достаточной удаленности от сейсмоактивных областей на стыке Евразийской, Африканской и Аравийской литосферных плит.

6. Отметим, что подобно [1—8] в рамках предлагаемого подхода удастся сформулировать язык, на котором оказываются «читаемыми» феномены, регистрируемые при длительных измерениях магнитного поля и связанные с приближением предстоящего землетрясения.

Список литературы

1. Вольвач А. Е., Коган Л. П., Канониди К. Х. Пат. 2778972 (РФ). Способ определения вероятности возникновения землетрясений на основе выявления феноменов с высоким уровнем детерминированности. Оpubл. в БИ, 2022, № 7.

2. Volvach A. E., Kogan L. P., Kanonidi K. H. [et al.]. Changes in the properties of the statistics of physical and biophysical fields as earthquake precursor // *Communications in Non-linear Science and Numerical Simulation*. 2022. Vol. 108. Art. 106200.
3. Kogan L. P., Bubukin I. T., Shtenberg V. B. To the question of calculating the probability of strong earthquakes in real time // *Chaos, Solitons and Fractals*. 2021. Vol. 145. Art. 110807.
4. Volvach A. E., Kogan L. P., Kanonidi K. H. [et al.]. A Possible Relationship between the Sets of Quasi-Linear Local Trends Statistically Detected in the Variations of the Magnetic Field Parameters before Earthquakes in Seismically Active Zones of the Black Sea, Caucasus, and Western Asia // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022. Vol. 13, no. 5. Art. 0680.
5. Volvach A. E., Kogan L. P., Kanonidi K. H. [et al.]. Statistical precursors of a strong earthquake on April 6, 2009 on the Apennine Peninsula // *Heliyon*. 2022. Vol. 8, no. 8. Art. e10200.
6. Volvach A., Kogan L., Kanonidi K. [et al.]. About Statistical Precursor Earthquakes on October 12, 2021 with a Magnitude of 6.4 on the Island of Crete // *Romanian Journal of Physics*. 2023. Vol. 68. Art. 801.
7. Volvach A. E., Kogan L. P., Kanonidi K. H. [et al.]. On a comparison of the properties of a statistical functional from measurements of the magnetic field in the mid of the Russian continental platform and in a seismically active region // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2023. Vol. 63, no. 2. P. 224–238.
8. Volvach A. E., Kogan L. P., Volvach L. N., [et al.]. The group of statistical precursors of 7.3 and 6.6 magnitude earthquakes in the region of Indonesia // *Natural Hazards*. 2024. Vol. 120, no. 6. P. 5601–5616.
9. Добровольский И. П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. М. : Физматлит, 2010. 237 с.

Информация об авторах

Коган Лев Петрович, кандидат физико-математических наук, доцент, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород, Россия.

Вольвач Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым.

Вольвач Лариса Николаевна, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым.

Аронов Аркадий Гесселевич, доктор физико-математических наук, Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси, Минск, Беларусь.

Аронов Геннадий Аркадьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси, Минск, Беларусь

On the Spatial Dependence of the Influence of the Preparation Process of the February 6, 2023 Earth-Quake in Eastern Turkey on the Statistical Properties of Magnetic Field Measurements

L. P. Kogan^{1,2}, A. E. Volvach¹, L. N. Volvach¹,
A. G. Aronov³, and G. A. Aronov³

¹Radio Astronomy and Geodynamics Department,
Crimean Astrophysical Observatory, Yalta, 298688, Russian Federation
volvach@bk.ru

²Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Ilyinskaya st., Nizhny Novgorod, 603000, Russian Federation

³Center for Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus
1/3, Kuprevicha st., Minsk, 220084, Belarus

Received: February 5, 2025

Peer-reviewed: February 12, 2025

Accepted: February 12, 2025

Abstract: The article studies the change in the statistical properties of measurements of the Z-component of the Earth's magnetic field, carried out on mutually distant magnetometers during 15 days before the earthquake of February 6, 2023 in eastern Turkey. The differences in the corresponding statistics associated with both the difference in directions to the epicenter and the significant difference in distances to azimuthally close magnetometers are analyzed.

Keywords: Earth, magnetic field, earthquake, precursors, Türkiye.

For citation (APA): Kogan, L. P., Volvach, A. E., Volvach, L. N., Aronov, A. G., and Aronov, G. A. (2025). On the Spatial Dependence of the Influence of the Preparation Process of the February 6, 2023 Earth-Quake in Eastern Turkey on the Statistical Properties of Magnetic Field Measurements. *Infocommunications and Radio Technologies*, 8(1), 1–15, doi: 10.21227/axsb-3759.

References

- [1] A. E. Volvach, L. P. Kogan, and K. H. Kanonidi, Pat. 2778972 (RF). Method for Determining the Probability of Earthquakes Based on Identifying Phenomena with a High Level of Determinism, 2022. (In Russ.).
- [2] A. E. Volvach, L. P. Kogan, K. H. Kanonidi, [et al.], “Changes in the properties of the statistics of physical and biophysical fields as earthquake precursor,” *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, vol. 108, art. 106200, 2022.

- [3] L. P. Kogan, I. T. Bubukin, and V. B. Shtenberg, "To the question of calculating the probability of strong earthquakes in real time," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 145, art. 110807, 2021.
- [4] A. E. Volvach, L. P. Kogan, K. H. Kanonidi, [et al.], "A Possible Relationship between the Sets of Quasi-Linear Local Trends Statistically Detected in the Variations of the Magnetic Field Parameters before Earthquakes in Seismically Active Zones of the Black Sea, Caucasus, and Western Asia," *Geodynamics & Tectonophysics*, vol. 13, no. 5, art. 0680, 2022.
- [5] A. E. Volvach, L. P. Kogan, K. H. Kanonidi, [et al.], "Statistical precursors of a strong earthquake on April 6, 2009 on the Apennine Peninsula," *Heliyon*, vol. 8, no. 8, art. e10200, 2022.
- [6] A. Volvach, L. Kogan, K. Kanonidi, [et al.], "About Statistical Precursor Earthquakes on October 12, 2021 with a Magnitude of 6.4 on the Island of Crete," *Romanian Journal of Physics*, vol. 68, art. 801, 2023.
- [7] A. E. Volvach, L. P. Kogan, K. H. Kanonidi, [et al.], "On a comparison of the properties of a statistical functional from measurements of the magnetic field in the mid of the Russian continental platform and in a seismically active region," *Geomagnetism and Aeronomy*, vol. 63, no. 2, pp. 224–238, 2023.
- [8] A. E. Volvach, L. P. Kogan, L. N. Volvach, [et al.], "The group of statistical precursors of 7.3 and 6.6 magnitude earthquakes in the region of Indonesia," *Natural Hazards*, vol. 120, no. 6, pp. 5601–5616, 2024.
- [9] I. P. Dobrovolsky, *Mathematical theory of preparation and forecast of tectonic earthquakes*. Moscow: Fizmatlit, 2010.

Information about the authors

Lev P. Kogan, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia.

Alexandr E. Volvach, Dr. Sci., FSBSI "Crimean Astrophysical Observatory of RAS", Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Larisa N. Volvach, PhD. Sci., FSBSI "Crimean Astrophysical Observatory of RAS", Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Arkady G. Aronov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Center for Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.

Gennady A. Aronov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Center for Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.