

УДК 550.343

Геофизические исследования землетрясения 6 февраля 2023 года на юго-востоке Турции

¹ Вольвач А. Е., ² Коган Л. П., ³ Канониди К. Х., ¹ Вольвач Л. Н.,
⁴ Боборыкина О. В., ⁵ Бубукин И. Т., ² Штернберг В. Б.,
¹ Дмитроца А. И., ¹ Неяченко Д. И.

¹ Отдел радиоастрономии и геодинамики,
Крымская астрофизическая обсерватория РАН,
Ялта, 298688, Российская Федерация

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

³ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н. В. Пушкова РАН
Калужское шоссе, д. 4, г. Москва, 108840, Российская Федерация

⁴ ФГБУН «Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН»
ул. Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, г. Москва, 123242, Российская Федерация

⁵ Научно-исследовательский радиофизический институт
при Нижегородском государственном университете им. Н. И. Лобачевского
ул. Б. Печерская, д. 25/12а, г. Нижний Новгород 603950, Российская Федерация
volvach@bk.ru

Получено: 22 мая 2023 г.

Отрецензировано: 31 мая 2023 г.

Принято к публикации: 31 мая 2023 г.

Аннотация: Рассмотрены предвестники землетрясений, произошедших 6 февраля 2023 года с интервалом в девять часов на юго-востоке Турции. Эпицентр первого, с магнитудой 7,8 ($\pm 0,1$), находился в районе Шехиткамиль в Газиянтепе, эпицентр второго, с магнитудой 7,5 ($\pm 0,1$) — в районе Экинёзю в Кахраманмараше. Применяемый подход связан с исследованием изменения энтропии измеряемых полей, которое возникает вследствие активизации процессов разломов литосферных плит непосредственно перед землетрясением. Удалось выявить феномен процессов с высокой степенью детерминированности, возникающих перед сейсмическим событием. Зарегистрировано изменение характера движения станций космической геодезии и геодинамики КРАО по всем координатам за несколько дней до начала блока турецких землетрясений, что говорит об изменении баланса сил в регионе.

Ключевые слова: Земля, магнитное поле, землетрясение, предвестник, Турция.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Геофизические исследования землетрясения 6 февраля 2023 года на юго-востоке Турции / А. Е. Вольвач и др. // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2023. Т. 6, № 2. С. 127—138.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018): Геофизические исследования землетрясения 6 февраля 2023 года на юго-востоке Турции / А. Е. Вольвач, Л. П. Коган, К. Х. Канониди и др. // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2023. Т. 6, № 2. — С. 127—138.

1. Введение

Земля является очень сложным физическим объектом, изучение которого до сих пор наталкивается на трудности, связанные с необходимостью создания новых методов интерпретации теоретических и экспериментальных данных о глубинных процессах, происходящих в земной коре и окружающем ее пространстве — геосфере. Для изучения этих процессов используются разные методы и инструменты, способные регистрировать низкочастотные акустические, сейсмические и электромагнитные поля.

В последнее время внимание было обращено на возможность использования динамики магнитного поля Земли для проведения диагностики и прогнозирования возникновения явлений, связанных с земными катаклизмами. Вариации магнитного поля могут являться следствием движений земных пород, которые приводят к гравитационным и магнитным возмущениям и отражаются в УНЧ диапазоне длин волн, в том числе на этапе перед возникновением землетрясений. В связи с этим возникает вопрос о разработке новых высокочувствительных магнитометров, необходимых для регистрации незначительных отклонений в величине магнитного поля Земли. Из сказанного следует, что для решения научной задачи прогнозирования катастрофических процессов на Земле необходимо создание научно-технической инфраструктуры, которая могла бы включить в себя станции с аппаратурно-программным обеспечением по слежению и регистрации изменений магнитного поля Земли.

Научная задача по прогнозированию таких сложных процессов на Земле включает в себя такую важнейшую составляющую, как создание систем земной и космической привязки координат друг к другу. Это необходимо для учета движения земных литосферных плит, которые возникают на границах разлома земной коры и часто проходят по дну океанов. Сталкиваясь, плиты «наезжают» одна на другую, создавая мощнейшее давление в земной коре и способствуя прорыву магмы из земных глубин. Это — прямая опасность возникновения мощной активности вулканической деятельности.

Таким образом, контроль над движением литосферных плит земной поверхности является составной частью научной проблемы прогнозирования земных катастроф. Эту часть исследований «обслуживает» геодинамика, которая изучает движение континентов.

В последние десятилетия сформировался набор измерительных средств, позволяющих проводить позиционные наблюдения наивысшего на сегодняшний день уровня точности. К этим средствам относятся радиоинтерферометрические наблюдения со сверхдлинными базами (РСДБ, *VLBI*), спутниковые (*SLR*) дальнометрические измерения, навигационную систему определения положения (*GPS/GLONASS*). Эти измерительные технологии позволяют решать широкий круг задач астрометрии, геодезии, геодинамики, в частности, задачи высокоточного координатно-временного обеспечения: определение параметров вращения Земли (ПВЗ), уточнение небесной (*ICRF*) и земной (*ITRF*) систем отсчета. С помощью РТ-22 впервые измерено абсолютное значение горизонтальной скорости движения (34,8 мм/год) Крыма в северо-восточном направлении. Определено, что полуостров перемещается относительно Евразийской тектонической плиты с скоростью 3,2 мм/год в северо-восточном направлении.

Для того, чтобы предотвратить значительный ущерб от сейсмической активности, необходимо владеть методами краткосрочного прогнозирования эпицентра будущего землетрясения. С целью исследования геодинимических явлений и выявления предвестников катастрофических событий станциями геодинимического полигона «Симеиз — Кацивели» проведены непрерывные измерения вариаций магнитного поля Земли и создана методика обработки данных с целью получения прогноза возникновения возможных экстремальных событий (землетрясений, вулканов, селей). Вариации магнитного поля, полученные с помощью магнитовариационной станции полигона «Симеиз — Кацивели», планируется рассмотреть в связи с сейсмическими, гравитационными движениями горных пород, которые приводят к гравитационно-магнитным возмущениям в УНЧ диапазоне, в том числе, на заключительном этапе перед землетрясениями.

2. Наблюдения и обработка

Турецкое землетрясение произошло в Восточно-Анатолийском разломе на границе Аравийской тектонической плиты и имело на протяжении суток более 150 толчков с магнитудой $M > 4$, включая 22 толчка с $M = 5,1—5,8$ и 4 мощных толчка с $M = 7,8; 7,5; 6,7$ и $6,0$. Длительное время воздействия и большая магнитуда могли изменить величину и/или направление вектора скорости движения южной части Евразийской плиты.

Мы изучаем свойства статистического функционала из данных измерений магнитного поля Земли, проведенных с 22 января по 6 февраля 2023 года на нескольких магнитовариационных станциях сети *INTERMAGNET*, расположенных в Греции, Крыму и на Кавказе: соответственно магнитометры *PEG*, *SIM*, *BAK* и *GLK*. Данный период времени включает 15 суток перед недавним крайне трагическим землетрясением в Турции с магнитудами 7,8 и 7,5, которое произошло 06.02.2023 в 01:17:34 *UTC* и в 10:24:49 *UTC* соответственно, а также измерения в день данного события (Рис. 1).



Рис. 1. Расположение эпицентра указанного землетрясения и четырех рассматриваемых магнитовариационных станций.

Fig. 1. Location of the epicenter of the indicated earthquake and four considered magnetic variation stations

На Рис. 1 показано расположение эпицентра рассматриваемого землетрясения магнитудой 7,8, начало которого имело место 6 февраля 2023 года в 01:17:35 *UTC* вблизи города Шехиткамилль (Турция). Места распо-

ложения указанных магнитометров выделены красными кружками — заполненными 1 секундные и не заполненными — 1 минутные.

Создан геодинимический полигон «Симеиз — Качивели» (Рис. 2), имеющий наблюдательные средства: РСДБ-станция на базе телескопа РТ-22 «Симеиз», два лазерных спутниковых дальномера («*Simeiz-1873*», «*Katsively-1893*») и две станции *GPS/GLONASS* («*GPS-CrAO*», «*Katsively*»). В силу специфики процесса наблюдений и корреляционной обработки данных оперативность РСДБ-данных не превышает нескольких дней. Поэтому в целях оперативности применяются различные методы комбинации данных РСДБ и спутниковых данных для исследования изменения со временем северной, вертикальной и восточной компоненты координат.

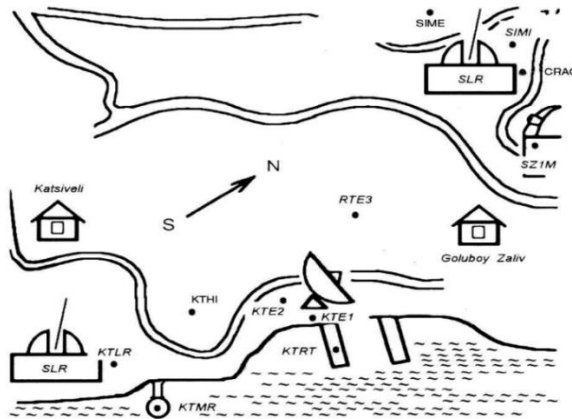


Рис. 2. Геодинимический полигон «Симеиз — Качивели».

Fig. 2. Geodynamic polygon "Simeiz-Katsiveli"

3. Результаты

С 1994 года в Крымской астрофизической обсерватории начаты исследования по геодинимическим программам. Радиотелескоп РТ-22 вместе с двумя лазерными станциями, расположенными в радиусе 3 км, образуют геодинимический полигон «Симеиз — Качивели», который расположен на южном побережье Крымского полуострова около поселка Симеиз, в 20 км к западу от города Ялта. Станции космической геодезии и геодинимики КраО с самой высокой на сегодняшний день точностью проводят координатные измерения для уточнения скорости и направления движения Крыма.

На Рис. 3 приведены спутниковые данные изменения северной (N), вертикальной (U) и восточной (E) компоненты координат за период январь—февраль 2023 года.

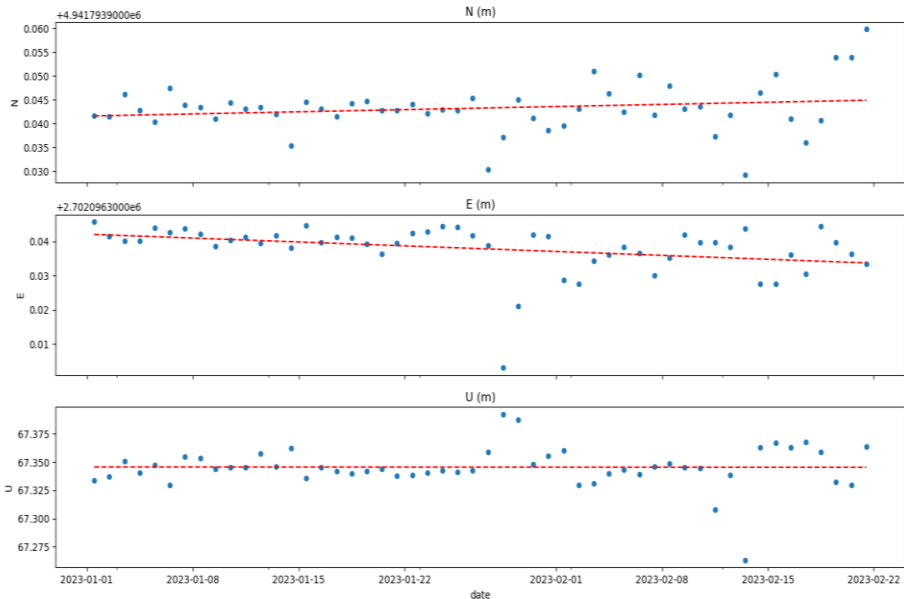


Рис. 3. Геодинамический полигон «Симеиз — Качивели» — изменения со временем северной, вертикальной и восточной компоненты координат станций.

Fig. 3. Geodynamic polygon “Simeiz–Katsiveli” — changes with time of the northern, vertical and eastern components of the coordinates of the stations

В кооперации ведущих институтов КраО, ИЗМИРАН, ИФЗ, ИПГ, ННГАСУ с помощью модернизированного оборудования проведен непрерывный мониторинг магнитовариационных и наклономерных измерений в пункте Качивели. Проведено изучение свойств статистического функционала из набора измерений магнитного поля, проведенных с 22 января по 6 февраля 2023 года на нескольких магнитовариационных станциях, расположенных Крыму, на Кавказе и в Греции. Данный период времени включает 15 суток перед недавним крайне трагическим землетрясением в Турции с магнитудой 7,5, которое произошло 6.02.2023 в 01:17:35 UTC, а также измерения непосредственно в день данного события. Использован метод, развитый в [1—5].

С целью исследования геодинамических явлений и выявления предвестников катастрофических событий разработана методика, позволяющая обнаруживать влияние процесса «итоговой подготовки» сейсмических событий. Применяемый подход связан с исследованием изменения энтропии измеряемых полей, которое возникает вследствие активизации процессов разломов литосферных плит непосредственно перед землетрясением.

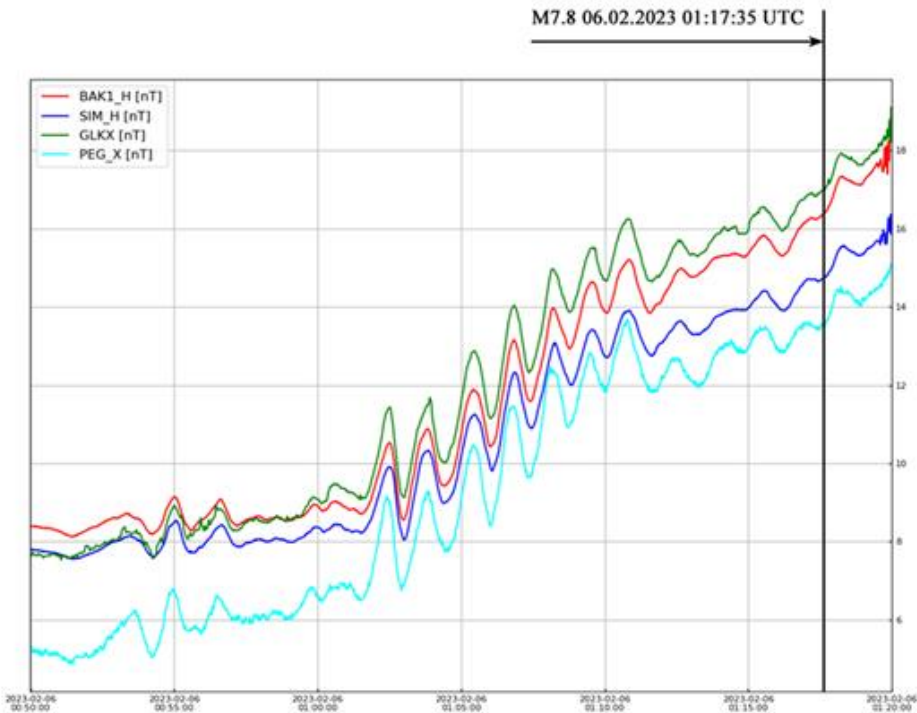


Рис. 4. X-компонента геомагнитного поля по данным магнитометров *BAK*, *SIM*, *GLK* и *PEG* (кривые 1, 2, 3, 4).

Fig. 4. X-component of the geomagnetic field according to the *BAK*, *SIM*, *GLK*, and *PEG* magnetometers (curves 1, 2, 3, 4)

На Рис. 5 приведены зависимости $L(n)$ (кривые 1—4, см (1)) и $S(n)$ (линия 5, см. (3)), построенные по измерениям X-компоненты геомагнитного поля на четырех указанных магнитометрах. Синяя кривая 1 отвечает данным магнитовариационной станции *SIM*, красная линия 2, желтая кривая 3 и бирюзовая линия 4 — соответственно магнитометрам *GLK*, *BAK* и *PEG*. Зеленая кривая 5 отвечает значениям разностного коррелятора $S(n)$. Пунктирными контурами выделены области наибольшего топологического подобия кривых 1—4, которым соответствуют три наиболее высоких максимума зависимости 5. Соответствующие интервалы времени выделены утолщенными зелеными отрезками на оси абсцисс.

В основе применяемого подхода лежит обнаружение эффекта значительного изменения амплитуды мелкомасштабных вариаций плотности вероятности любого случайного процесса, когда в его составе появляется

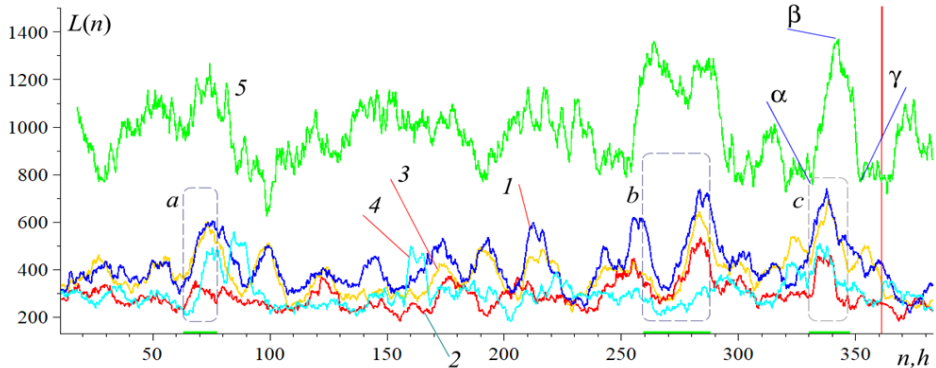


Рис. 5. Зависимости $L(n)$ для измерений X-компоненты геомагнитного поля по данным магнитометров *SIM*, *GLK*, *BAK* и *PEG* (соответственно кривые 1, 2, 3 и 4), а также коррелятор $S(n)$ (кривая 5). Пунктирными контурами выделены области с наиболее значительным уровнем топологического подобия кривых 1—4.

Fig. 5. Dependences $L(n)$ for measurements of the X-component of the geomagnetic field according to the magnetometers *SIM*, *GLK*, *BAK*, and *PEG* (curves 1, 2, 3, and 4, respectively), as well as the correlator $S(n)$ (curve 5). The dotted contours highlight the regions with the most significant level of topological similarity of curves 1–4.

даже небольшой дополнительный член, который независим или слабо зависит от фонового шума. Под фоновым шумом мы понимаем набор обычно наблюдаемых случайных процессов (включая, в частности, шум измерительного оборудования), которые не связаны или слабо связаны с возмущениями, возникающими при разрыве литосферных плит.

Принципиально важным является вывод о том, что влияние процесса «итоговой подготовки» приближающегося сейсмического события, и в особенности это относится к сильным землетрясениям, с высокой вероятностью одновременно будет приводить к квазисинхронным вариациям статистики измерений в разных, и в том числе достаточно удаленных, географических районах. Далее это утверждение верифицируется по данным четырех магнитовариационных станций, расположенных в Греции, в Крыму, на Северном Кавказе и в Армении (соответственно магнитометры *PEG*, *SIM*, *BAK* и *GLK*).

4. Дискуссия и выводы

С 1994 года в Крымской астрофизической обсерватории начаты исследования по геодинамическим программам. Радиотелескоп РТ-22 вместе с двумя лазерными станциями, расположенными в радиусе 3 км, образуют геодинамический полигон «Симеиз — Качивели», который расположен на южном побережье Крымского полуострова около поселка Симеиз, в 20 км к за-

паду от города Ялта. После создания *GNSS* пунктов у станции лазерной локации *Simeiz-1873* в 2000 году (*CRAO*) и около СЛЛ Кацивели-1893 в 2009 году (*KTVL*), была организована локальная обработка своих данных и данных других станции. Для этого используется пакет программ *GAMIT/GLOBK*. По результатам обработки (Рис. 3) зарегистрировано изменение характера движения станций по всем координатам за неделю до начала блока турецких землетрясений, что говорит об изменении баланса сил в регионе.

Для обнаружения предшественника мы использовали сеть магнитометров, что позволило отфильтровать геомагнитные вариации различной природы. Кроме того, при поиске возможной реакции геомагнитного поля на предстоящее землетрясение мы проверяли состояние в этот момент геомагнитной активности по трехчасовым индексам K_p .

Как следует из анализа Рис. 4, по мере приближения момента начала землетрясения появляются области выраженного топологического сходства кривых геомагнитного поля для магнитовариационных станций *SIM*, *GLS*, *PEG* и *BAK*. В частности, для X -компоненты геомагнитного поля отчетливо выделяется область топологического подобия в интервале от 25 до 30 мин до землетрясения. Эффект сходства топологии кривых геомагнитного поля можно объяснить как следствие синхронного влияния процесса «окончательной подготовки» приближающегося события. Первый наиболее значительный уровень топологического подобия кривых X -компоненты геомагнитного поля для четырех магнитометров 1—4 (область a , выделенная пунктирными контурами на рис. 5) находится в интервале 280—300 часов до землетрясения.

Учитывая статистический смысл функционала $L(n)$, эффект подобия топологии зависимостей $L(n)$ можно объяснить как следствие синхронного влияния влияния «окончательной подготовки» процесса приближающегося события; зона такого влияния с большой вероятностью должна была охватить весь регион в радиусе до нескольких тысяч километров от точки будущего эпицентра.

Указанное свойство зависимости $L(n)$ для магнитометра *BAK* можно интерпретировать как следствие значительно более интенсивного, по сравнению с тремя другими станциями, влияния случайного члена, связанного с подготовкой землетрясения. В случае подобного явления по отношению к другим сильным сейсмическим событиям этот эффект может помочь определить направление на точку будущего эпицентра.

Подобный эффект был ранее зарегистрирован для землетрясений гораздо меньшей магнитуды [6, 7] и, в случае дальнейшего подтверждения, может быть использован для прогнозирования предстоящих сейсмических событий.

Список литературы

1. Вольвач А. Е., Коган Л. П., Канониди К. Х. Способ определения вероятности возникновения землетрясений на основе выявления феноменов с высоким уровнем детерминированности / Патент. 2778972 РФ, СПК G01V 1/008 (2022.08); G01V 3/38 (2022.08). № 2021122118 : заявл. 26.07.2021 : опубл. 29.08.2022. 2022. Бюл. № 25. 7 с.
2. Changes in the properties of the statistics of physical and biophysical fields as earthquake precursor / A. E. Volvach et al. // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 2022. Т. 108. С. 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 & Fractals. 2021. Т. 145. С. 110807.
4. 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 / A. E. Volvach et al. // Geodynamics & Tectonophysics. 2022. Т. 13. № 5. С. 0680.
5. Statistical precursors of a strong earthquake on April 6, 2009 on the Apennine Peninsula / A. E. Volvach et al. // Heliyon. 2022. Т. 8. № 8. С. e10200.
6. About Statistical Precursor Earthquakes on October 12, 2021 with a Magnitude of 6.4 on the Island of Crete / A. Volvach et al. // Romanian Journal of Physics. 2023. Т. 68, № 1-2. С. 801.
7. О сопоставлении свойств статистического функционала от измерений магнитного поля в середине русской континентальной платформы и в сейсмически активном регионе / А. Е. Вольвач и др. // Геомагнетизм и аэрономия. 2023. Т. 63, № 2. С. 257—272.

Информация об авторах

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

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

Канониди Константин Харлампиевич, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Москва, Российская Федерация.

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

Боборыкина Ольга Викторовна, Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта, Москва, Российская Федерация.

Бубукин Игорь Тимофеевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский радиофизический институт Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Российская Федерация.

Штенберг Валерия Борисовна, кандидат физико-математических наук, доцент, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Российская Федерация.

Дмитроца Андрей Иванович, научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Неяченко Дмитрий Ильич, младший научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Geophysical Studies of the February 6, 2023 Earthquake in the Southeast of Turkey

A. E. Volvach¹, L. P. Kogan², K. Kh. Kanonidi³, L. N. Volvach¹,
O. V. Boborykina⁴, I. T. Bubukin⁵, V. B. Shternberg²,
A. I. Dmitrotsa¹, and D. I. Neyachenko¹

¹ *Department of Radio Astronomy and Geodynamics,
Crimean Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences,
Yalta, 298688, Russian Federation*

² *Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Ilinskaya str., Nizhny Novgorod, 603000, Russian Federation*

³ *Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation
n. a. N. V. Pushkov RAS
4, Kaluga highway, Moscow, Troitsk, 108840, Russian Federation*

⁴ *Institute of Physics of the Earth n. a. O. Yu. Schmidt RAS
10, B. Gruzinskaya str., build. 1, Moscow, 123242, Russian Federation*

⁵ *Research Radiophysical Institute
at the Nizhny Novgorod State University n. a. N. I. Lobachevsky
25/12a, B. Pecherskaya str., Nizhny Novgorod 603950, Russian Federation
volvach@bk.ru*

Received: May 22, 2023

Peer-reviewed: May 31, 2023

Accepted: May 31, 2023

Abstract: *The precursors of earthquakes that occurred on February 6, 2023 with an interval of nine hours in the southeast of Turkey are considered. The epicenter of the first, with a magnitude of 7.8 (± 0.1), was located in the Shehitkamil area in Gaziantep, the epicenter of the second, with a magnitude of 7.5 (± 0.1), was in the Ekinyozu area in Kahramanmaraş. The approach used is related to the study of the change in the entropy of the measured fields, which occurs as a result of the activation of the processes of faults of lithospheric plates immediately before an earthquake. It was possible to reveal the phenomenon of processes with a high degree of determinism that occur before a seismic event. A change in the nature of the movement of stations of space geodesy and geodynamics of the CrAO for all coordinates was registered a few days before the start of the block of Turkish earthquakes, which indicates a change in the balance of forces in the region.*

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

For citation (IEEE): A. E. Volvach et al., “Geophysical Studies of the February 6, 2023 Earthquake in the Southeast of Turkey”, *Infocommunications and Radio Technologies*, 2023, vol. 6, no. 2, pp. 127–138, doi: 10.29039/2587-9936.2023.06.2.11. (In Russ.).

References

- [1] A. E. Volvach, L. P. Kogan, and K. Kh. Kanonidi, Method for determining the probability of occurrence of earthquakes based on the detection of phenomena with a high level of determinism : Patent. 2778972 RF, SPK G01V 1/008 (2022.08); G01V 3/38 (2022.08). No. 2021122118 : App. 07/26/2021 : publ. 08/29/2022. 2022. Bull. No. 25. (In Russ.).
- [2] A. E. Volvach 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, pp. 106200–106200, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.cnsns.2021.106200.
- [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, pp. 110807–110807, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.chaos.2021.110807.
- [4] A. E. Volvach 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, p. 0680, doi:10.5800/GT-2022-13-5-0680.
- [5] A. E. Volvach et al., “Statistical precursors of a strong earthquake on April 6, 2009 on the Apennine Peninsula,” *Heliyon*, vol. 8, no. 8. p. e10200, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10200.
- [6] A. Volvach 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, no. 1-2, 2023.
- [7] A. Volvach 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. 257–272, 2023. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0016794022600454.

Information about the authors

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

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

Konstantin Kh. Kononidi, Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Propagation of Radio Waves. N.V. Pushkov RAS, Moscow, Russian Federation.

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

Olga V. Boborykina, O. Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russian Federation.

Igor T. Bubukin, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Research Institute of Radio Physics, N. I. Lobachevsky Nizhny Novgorod State University, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

Valeria B. Shtenberg, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

Andrey I. Dmitrotsa, researcher of the Crimean Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences, town. Nauchny, Crimea, Russian Federation.

Dmitry I. Neyachenko, junior researcher of the Crimean Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences, town. Nauchny, Crimea, Russian Federation.