

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.34

DOI: 10.54503/0321-1339-2022.122.4-287

Дж. К. Карапетян, Э. Г. Геодакян, член-корреспондент НАН РА
С. М. Оганесян, С. Р. Шахпаронян, Р. К. Карапетян

Аномалия геомагнитного поля, предшествующая возникновению землетрясений на территории Республики Армения и сопредельных районов

(Представлено 31/X 2022)

Ключевые слова: *землетрясение, краткосрочный прогноз, магнитное поле Земли, магнитные обсерватории, система мониторинга.*

Введение. Прогноз землетрясений в настоящее время является одной из актуальных задач науки о Земле [1-6]. Краткосрочный прогноз представляется наиболее актуальным из-за возможности принятия оперативных мер по предотвращению возможных последствий сейсмического события. Процесс подготовки землетрясения состоит из двух основных стадий: накопления энергии и ее реализации в форме неупругих деформаций. Заключительная стадия по существу является началом процесса разрушения. На этой стадии при нарастающей скорости деформирования наблюдаются предвестники в геофизических полях, появляется возможность их надежного обнаружения [7]. К решению этой проблемы современная наука подходит с позиции поисков геофизических предвестников. К ним относятся наблюдения деформаций, наклонов земной коры, изменений скорости сейсмических волн, локальных изменений магнитного поля, изменений химического состава подземных вод, аномалий в содержании радона, вариаций электропроводности горных пород и др. Несмотря на достаточно убедительные физические обоснования каждого из этих методов ни один из них не имеет пока исключительных преимуществ перед другими при выборе критерия прогноза. Для комплексного изучения такого сложного природного явления, как землетрясение, в настоящее время привлекается не только весь арсенал геофизических методов, но и методы изучения причинно-следственных связей солнечно-земного взаимодействия. При этом значительную важность имеет не только расши-

рение сетей наблюдений и повышение их плотности, но и совершенствование геофизической аппаратуры: повышение точности приборов, увеличение частоты дискретизации регистрируемых данных, передача данных во времени, близком к реальному [4, 8].

Как известно, землетрясения часто сопровождаются аномальными электромагнитными возмущениями. За последние годы некоторые авторы занимались установлением и изучением этих связей, и результаты их исследований не оставляют сомнения в том, что подобная связь существует [9-21].

Для изучения этих вопросов на территории Республики Армения вблизи населённого пункта Гюлагарак (деревня Гюлагарак, область Лори, Республика Армения), на территории геофизического полигона Института геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА, совместно с Геофизическим центром РАН РФ организована стационарная полномасштабная Геомагнитная обсерватория режимного наблюдения, отвечающая стандартам сети ИНТЕРМАГНЕТ (www.intermagnet.org) [1, 22, 23]. Географически данная локация находится в центре региона радиусом порядка 2000 км, в котором отсутствуют пункты долгосрочных и непрерывных наблюдений магнитного поля, что делает будущую обсерваторию крайне ценным источником информации о динамике геомагнитного поля и охватывает основные сейсмогенные глубинные региональные разломы Кавказского региона. Следует отметить, что магнитные данные, зарегистрированные в отмеченном пункте (северная часть территории Армении) являются наиболее интересными с точки зрения изучения природы возникновения землетрясений, поскольку на этой сравнительно маленькой сейсмоактивной территории сосредоточены более 30% землетрясений, происходящих в Кавказском регионе.

Магнитометрические измерения. Организация стационарных обсерваторий геомагнитных наблюдений. На территории Республики Армения с 1981 г. были начаты стационарные наземные геомагнитные наблюдения для установления причины следственной связи вариаций полного вектора F магнитного поля с сейсмичностью. Для стационарных наблюдений на территории Армении были выбраны 7 наблюдательных пунктов – Гюлагарак, Джермук, Гарни, Егегнадзор, Карчахбюр, Говит и Аруч, которые расположены в северной, центральной и южной частях Армении [10, 14, 17]. В указанных наблюдательных пунктах были установлены протонные магнитометры МПП-1, обладающие чувствительностью 0.1 нТл. На этих пунктах проводились синхронные измерения только модуля полного вектора геомагнитного поля F с ежечасным опросом в сутки. Наряду со стационарными наблюдениями проводились также профильные циклические измерения с помощью полевых протонных магнитометров с чувствительностью 0.5 нТл. Однако технические условия организации наблюдений, установленные аппаратуры и проводимые измерения не соответствовали стандартам ИНТЕРМАГНЕТ, в связи с чем возникла необходимость модернизации геомагнитных обсерваторий в соот-

ветствии с требованиями ИНТЕРМАГНЕТ, предъявляемыми к павильонным условиям, и с использованием прецизионных магнитометрических аппаратур, направленных на повышение надежности получения магнитных измерений. В связи с этим было принято решение о развертывании на территории Армении, на базе геофизического полигона Института геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения (ИГИС НАН РА), полномасштабной магнитной обсерватории высшего международного стандарта ИНТЕРМАГНЕТ. С 9 по 15 апреля 2017 г. состоялась совместная экспедиция по всей территории обсерватории Гюлагарак для выполнения магнитных исследований на территории полигона с целью определения мест, пригодных для возведения абсолютного и вариационного павильонов магнитной обсерватории. В результате экспедиции была выполнена рекогносцировка территории и проведена площадная детальная магнитоградиентометрия в нескольких масштабах для многоуровневого исследования характера распределения аномалий магнитного поля и его градиента, а также была проведена серия абсолютных измерений магнитного склонения и наклона, в результате чего были выбраны подходящие места, свободные от магнитных аномалий как техногенного, так и природного характера. Выбор мест расположения обсерваторских павильонов полностью соответствует требованиям Международной ассоциации по геомагнетизму и аэрономии (IAGA) [24]. Учитывая геологическое строение участка и наличие магматических пород среднего и основного состава (андезитобазальтов) с сильной магнитной восприимчивостью и наличием ферромагнитных минералов, обсерваторские павильоны сооружены на высоких сваях во избежание влияния локальных природных магнитных помех на показания приборов. В 2019 г. осуществлено строительство немагнитных павильонов.

Строительство обсерватории предусматривало возведение двух павильонов – абсолютного и вариометрического на участках, выбранных во время детальной магнитоградиентометрической съемки. В качестве основного конструкционного материала были выбраны композитные панели из неорганического стекловолокна, которые прошли исследования с точки зрения магнитных свойств и были признаны пригодными для строительства павильонов. Применение таких современных материалов полностью исключает техногенные и температурные помехи, что, безусловно, влияет на достоверность данных и окончательные результаты и направлено на повышение надежности получения магнитных измерений. После завершения строительства в новых павильонах в 2020 г. был установлен полный комплект измерительного оборудования стандарта ИНТЕРМАГНЕТ. В абсолютном павильоне установлен прецизионный протонный (скалярный) магнитометр POS-1 (QMLab, Россия) в обсерваторском исполнении, обладающий чувствительностью 0.1-0.05 нТл при цикле измерений 3-1 с. Для вариационных измерений используется трехкомпонентный векторный магнитометр (феррозондовый вариометр) FGE (Technical

University of Denmark, DTU), обеспечивающий данные о вариациях компонент вектора магнитной индукции на частотах до 1 Гц и выше и обладающий чувствительностью 0.125 нТл при цикле измерений 1 с. Ориентация прибора вдоль осей X, Y и Z направлена соответственно на географический север, восток и вертикально. Оборудована система термостабилизации вариометра. Установлена визирная цель и определен ее азимут, обеспечены регулярные абсолютные измерения составляющих магнитного поля, налажена регулярная передача данных. Следует отметить, что модернизированная обсерватория по своим техническим характеристикам, а также применяемой прецизионной аппаратуре высококачественных магнитометрических измерений является единственной на территории Кавказского региона магнитометрической обсерваторией, которая может служить как базовой точкой для синхронных стационарных режимных, так и полевых профильных циклических наблюдений магнитных вариаций.

Анализ и результаты геомагнитных наблюдений. В ходе детального мониторинга сейсмичности территории Республики Армения и сопредельных районов с 2022 г. по настоящее время выявлена ярко выраженная активизация сейсмичности этой территории, проявленная возникновением более 200 землетрясений в магнитудном диапазоне $M=2.0 \div 5.4$ [31]. Как известно, в период подготовки землетрясения происходят изменения напряженного состояния магнитоактивных объемов горных пород, которые могут быть выявлены высокоточными магнитометрическими наблюдениями [25, 26]. Следует отметить, что высокоточные непрерывные магнитометрические наблюдения на геофизической обсерватории Гюлагарак начали осуществляться с 2022 г.

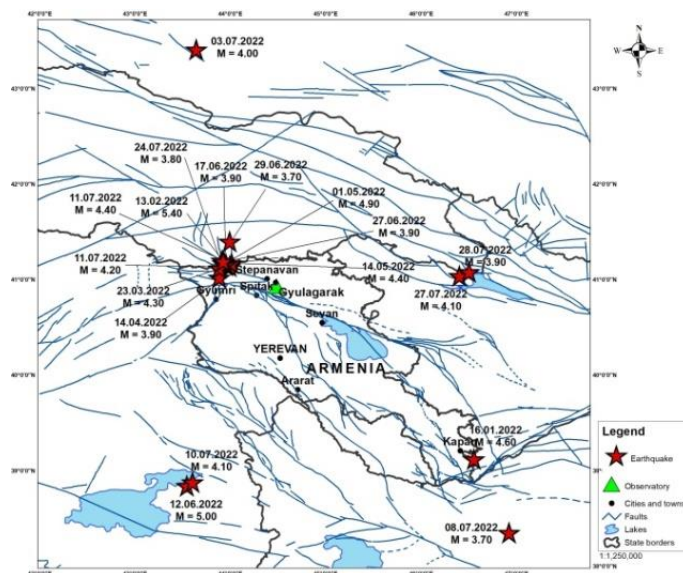
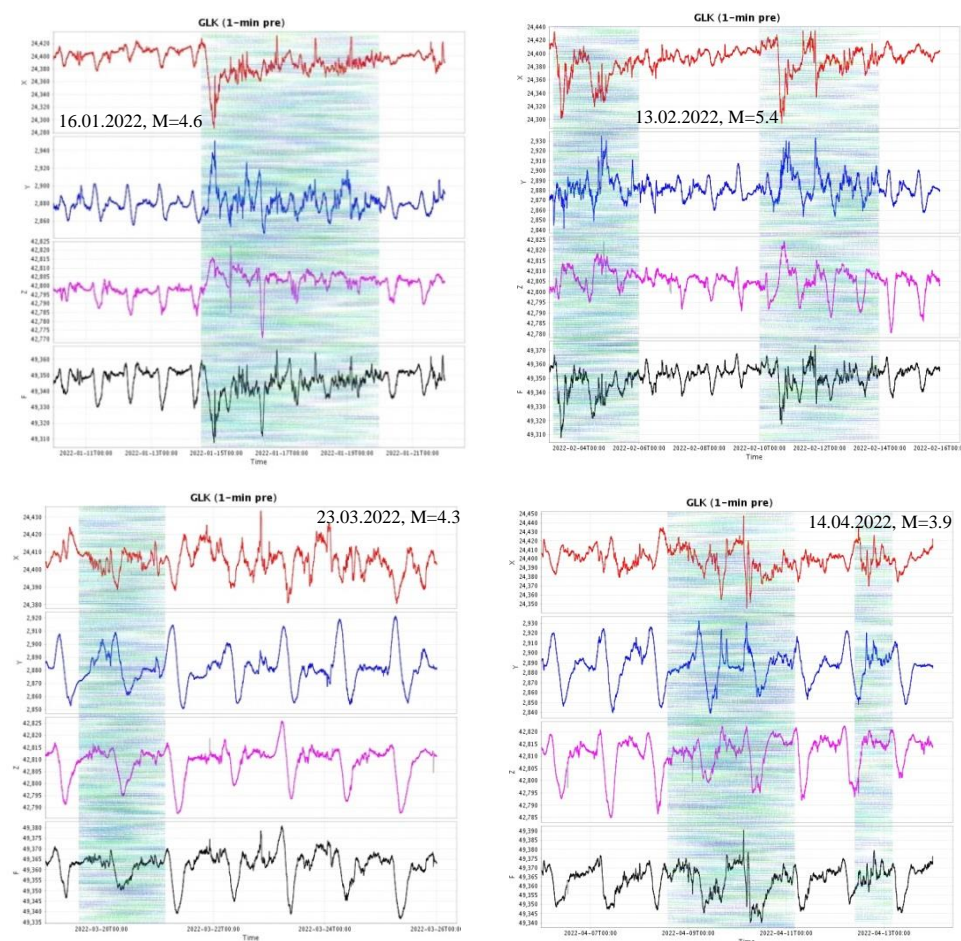
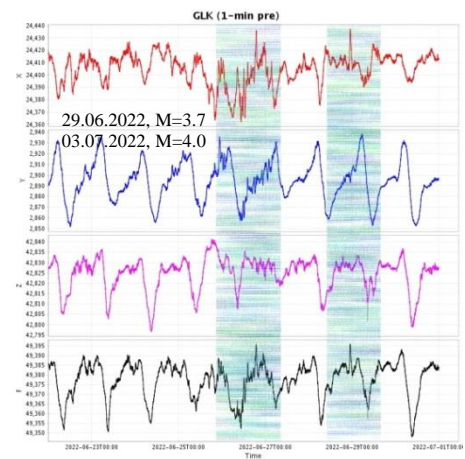
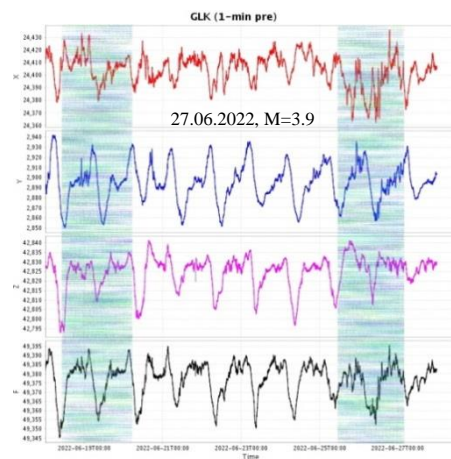
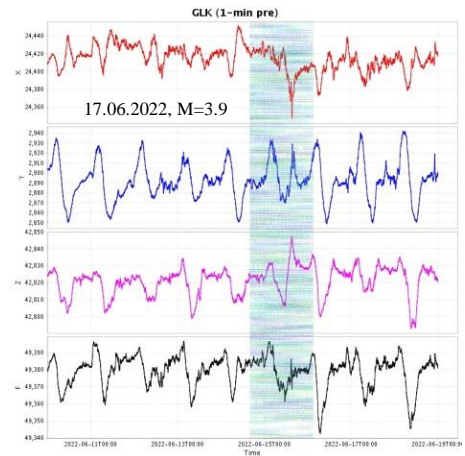
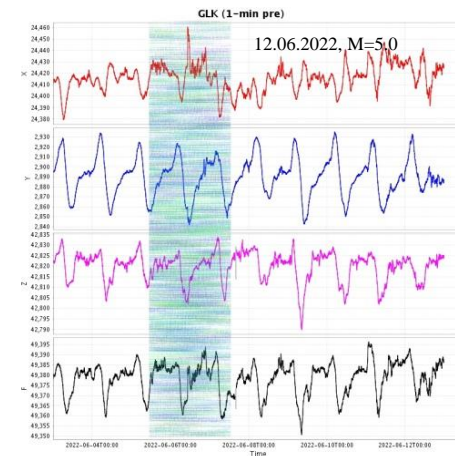
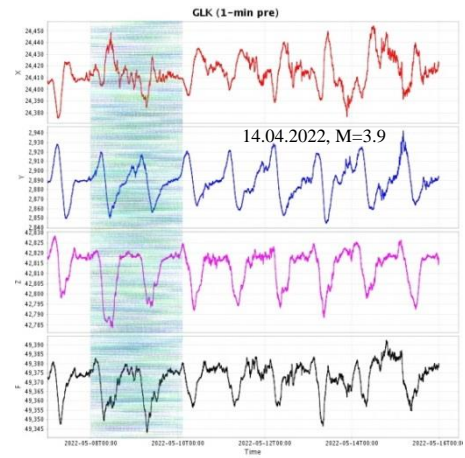
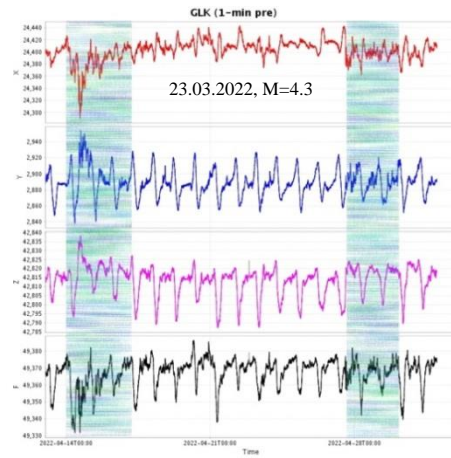


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений и активных разломов.

За этот короткий период с 16 января по 28 июля 2022 г. произошли 18 землетрясений в магнитудном диапазоне $M=3.7 \div 5.4$ на эпицентральных расстояниях от 47 до 355 км, азимутально охватив обсерваторию от 138° до 346° (рис. 1). В ходе анализа магнитограмм ортогональных компонент вектора магнитного поля (X, Y, Z) и измеренного модуля (F) вариации геомагнитного поля (рис. 2) во времени впервые выявлен ряд характерных высокочастотных кратковременных аномальных проявлений магнитовариационных процессов, предвещающих возникновение сильных землетрясений на территории Республики Армения и сопредельных районов. На графиках (рис. 2) представлены характерные изображения высокочастотных кратковременных геомагнитных возмущений, во всех случаях предвещающие во времени (от 2 до 10 дней) возникновение 18 землетрясений в магнитудном диапазоне $M=3.7 \div 5.4$, эпицентры которых расположены относительно обсерватории от 47 до 355 км.





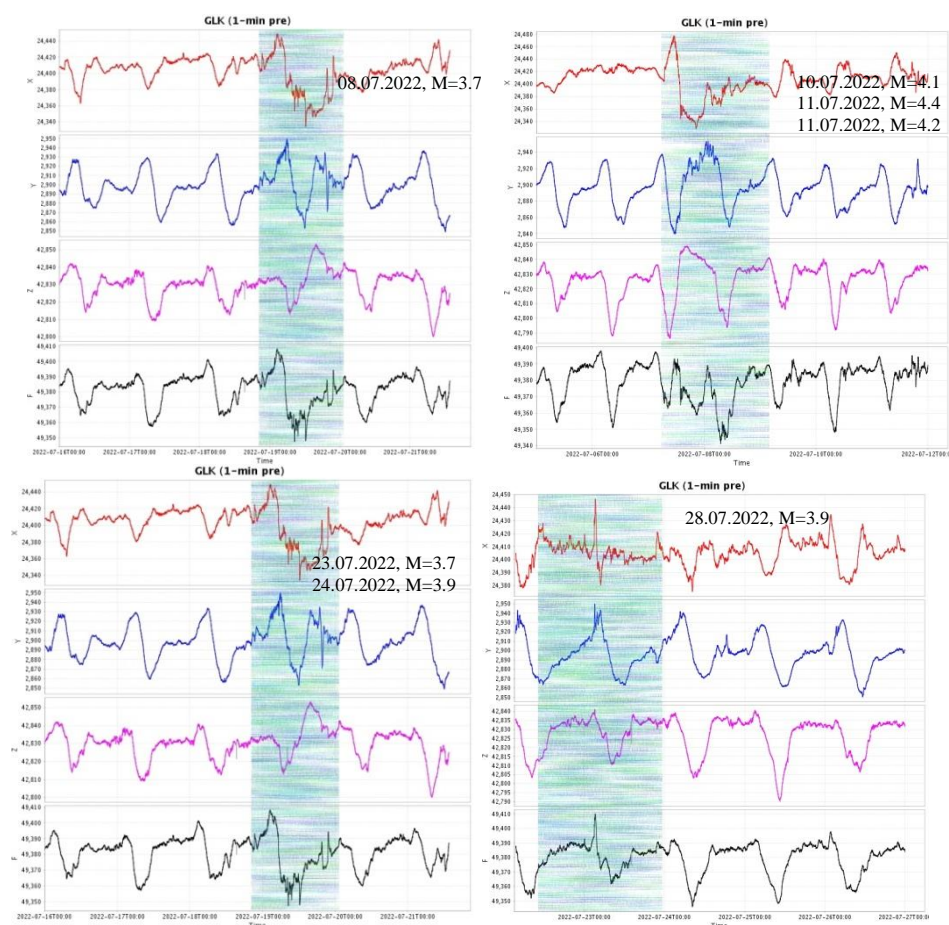


Рис. 2. Магнитограммы, полученные из обсерватории «Гюлагарак»: минутные магнитограммы ортогональных компонент вектора магнитного поля (X, Y, Z) и его измеренный модуль (F) для разных сейсмических событий, происшедших непосредственно на территории Армении и приграничных районов.

Выявленные аномальные проявления магнитовариационных процессов обусловлены удачным расположением обсерватории в сложной разноранговой и разнонаправленной системе сейсмоактивных глубинных разломов Северной Армении (рис. 1), исключением влияния на результаты измерений побочных техногенных помех, высокой прецизионностью измеряемой аппаратуры и частотой дискретизации опросов данных.

Как видно из графиков, во всех случаях аномальные изменения магнитного поля начинаются за временной период 2-10 дней до сейсмического события в зависимости от основных параметров землетрясений, за исключением землетрясения 01.05.2022 г., $M=4.6$, $\Delta=51$ км, при котором аномальное изменение магнитного поля наблюдалось за 15 дней перед землетрясением. В ряде случаев во временном интервале выявлены два

характерных периода проявлений аномальных изменений магнитного поля (МП): первый период соответствует в порядке за 8 дней, второй за два дня до возникновения основного толчка землетрясения. Аномальные изменения значений X, Y, Z, F наблюдаются как при местных сравнительно слабых, так и относительно удалённых более сильных землетрясениях (табл. 1).

Таблица 1

Основные параметры землетрясений, происшедших за период с 16 января по 28 июля 2022 г. на территории Армении и приграничных районов

№	Year	Hour	Latitude	Longitude	Depth, H	Magnitude, M	Distances, Δ
1	16.01.2022	3:25	39.12	46.55	40	4.6	268
2	13.02.2022	18:25	41.14	43.99	10	5.4	47
3	23.03.2022	17:10	41.15	43.95	10	4.3	51
4	14.04.2022	0:13	41.02	43.88	10	3.9	52
5	01.05.2022	19:35	41.17	44.01	10	4.9	48
6	14.05.2022	17:14	41.2	43.91	20	4.4	57
7	12.06.2022	18:35	38.84	43.54	19	5.0	245
8	17.06.2022	01:09	41.16	43.95	10	3.9	51
9	27.06.2022	3:49	41.18	43.93	10	3.9	54
10	29.06.2022	10:10	41.4	43.99	5	3.7	67
11	03.07.2022	23:45	43.41	43.64	10	4.0	284
12	08.07.2022	04:17	38.35	46.92	10	3.7	355
13	10.07.2022	09:37	38.88	43.6	8	4.1	240
14	11.07.2022	03:04	41.17	43.92	10	4.4	54
15	11.07.2022	05:10	41.12	43.88	2	4.2	55
16	24.07.2022	01:49	41.19	43.92	10	3.8	55
17	27.07.2022	23:48	41.04	46.40	18	4.1	162
18	28.07.2022	06:39	41.08	46.50	10	3.9	171

Интерес вызывает тот факт, что по времени амплитудно-частотная характеристика аномальных изменений МП в зависимости от параметров землетрясений (магнитуда, эпицентральное расстояние и т.п.) и азимута различны. Знак аномальных изменений разности потенциалов, по всей вероятности, предопределяется как сложными геолого-геофизическими процессами, происходящими в верхней части Земной коры, так и механизмами очагов землетрясений.

Особенно интересен тот факт, что во всех случаях основной индикатор интенсивности аномальных проявлений (геомагнитных возмущений) перед возможным происходящим землетрясением наблюдается на X компоненте геомагнитного поля, который, по всей вероятности, связан с региональными доминирующими направлениями тектонических напряжений в регионе и, по-видимому, представляет собой сейсмомагнитный эффект (генерация геомагнитных вариаций перед землетрясениями), вызванный местным близким и удалённым землетрясениями региона.

Следует отметить, что одним из важнейших элементов солнечно-земной физики являются геомагнитные бури («космическая погода»), выз-

ванные вследствие поступления в окрестности Земли возмущённых потоков солнечного ветра и их взаимодействия с магнитосферой Земли, вызывавшими усиление кольцевых токов Земли. Эти процессы, особенно в зонах коллизии со сложной системой строения литосферы, по всей вероятности, являются триггерным механизмом инициирования как сильных, так и умеренных по магнитуде $M=3.7-5.4$ землетрясений, которые необходимо учитывать при изучении локального вклада природной компоненты солнечно-земных связей.

На наш взгляд, наличие причинно-следственных солнечно-земных связей свидетельствует о проявлении трех механизмов воздействия на сейсмическую деятельность Земли. В первом случае речь идет о воздействиях, связанных с магнитными полями (магнитные бури). Во втором случае механизм генерации этих вызванных геомагнитных возмущений, по всей вероятности, являются процессы, связанные с изменением напряженно-деформированного состояния среды и слагающих ее горных пород, обладающих пьезомагнитными либо ферромагнитными свойствами. В третьем случае это связано с разделением и релаксацией электрических зарядов в результате перколяции минерализованных вод через микрокапилляры горных пород, структура которых может к тому же изменяться в процессе микроразрушения пород на последней стадии подготовки очага сейсмического события, а также в результате течения флюида в раскрывающихся трещинах в процессе формирования очага и реализации землетрясения или другими мало изученными явлениями [27-30].

Заключение. Исследование вариаций геомагнитных полей показывает, что они несут важную информацию о современных движениях земной коры, в целом, и о сейсмических процессах, в частности. В сейсмоактивных зонах установлено существование локальных изменений магнитного поля, проявляющих пространственно-временную связь с сейсмическими событиями. Установлены некоторые закономерности зависимости формы и периода существования вариаций геомагнитного поля от магнитуды и эпицентрального расстояния происшедших землетрясений. Результаты исследований показывают, что сейсмотектонический процесс проявляется в виде обратимых вариаций локального геомагнитного поля, которые являются следствием перераспределения тектонических напряжений. Аномальные изменения магнитного поля происходят как при близких ($\Delta \leq 48$ км), так и удаленных ($\Delta = 240 \div 349$ км) землетрясениях. Это означает, что источником магнитного возмущения является не зона очага тектонического землетрясения, а вся зона его подготовки (десятки, сотни километров в зависимости от магнитуды).

Основной индикатор интенсивности аномальных проявлений (геомагнитных возмущений) перед возможным происходящим землетрясением наблюдается на X компоненте геомагнитного поля, связан с региональными доминирующими направлениями тектонических напряжений в регионе и, по-видимому, представляет собой сейсмомагнитный эффект, выз-

ванный местным близким и удалённым землетрясениями региона. Выявленный эффект геомагнитного поля перед землетрясением можно считать оперативным предвестником, предшествующим возникновению сильного землетрясения. Предполагается, что по мере накопления магнитовариационных режимных наблюдений и сейсмологических данных будут выявлены количественные критерии корреляций величин магнитных аномалий (возмущений) с основными параметрами очагов землетрясений (магнитуда, расстояние, механизм очага).

В дальнейшем предусматривается расширение сети режимных геомагнитных наблюдений на территории Республики Армения, которая позволит, по всей вероятности, решить проблему локации очаговой области готовящегося будущего сильного землетрясения в регионе. Высоочастотные колебания магнитного поля могут стать надежным предвестником геофизического поля для краткосрочного прогноза места и силы готовящегося будущего сильного землетрясения в регионе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по науке Республики Армения в рамках научных проектов № АСН-01/22, 21SCG-1E021.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
им. А. Назарова НАН РА
e-mail: iges@sci.am

**Дж. К. Карапетян, Э. Г. Геодакян, член-корреспондент НАН РА
С. М. Оганесян, С. Р. Шахпаронян, Р. К. Карапетян**

**Аномалия геомагнитного поля, предшествующая возникновению
землетрясений на территории Республики Армения
и сопредельных районов**

Рассматриваются предварительные результаты геомагнитных наблюдений на территории Республики Армения с целью изучения природы подготовки тектонического землетрясения и осуществления задачи краткосрочного прогноза сейсмического события. Непосредственно на территории Армении и приграничных районов за период с 16 января по 28 июля 2022 г. произошли 18 землетрясений в магнитудном диапазоне $M=3.7 - 5.4$ на эпицентральной дистанции от 47 до 355 км. Предварительный анализ режимных геомагнитных наблюдений позволил обнаружить возникновение магнитного возмущения непосредственно перед землетрясением. Рассмотрена связь амплитудно-частотных характеристик этих аномальных явлений с основными параметрами (магнитуда, эпицентральное расстояние) землетрясений. Проведено всестороннее исследование этого типа геофизического поля как параметра косвенного мониторинга динамики напряженно-деформируемого состояния земной коры.

**Ջ. Կ. Կարապետյան, Է. Գ. Գյոդակյան, ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ
Ս. Մ. Հովհաննիսյան, Ս. Ռ. Շահպարոնյան, Ռ. Կ. Կարապետյան**

**Հայաստանի Հանրապետության և հարակից շրջաններում
բաշարժերի առաջացմանը նախորդող երկրամագնիսական
դաշտի անոմալ դրսևորումներ**

Քննարկվում են Հայաստանի Հանրապետության տարածքում երկրամագնիսական դաշտի դիտարկումների արդյունքները՝ տեկտոնական երկրաշարժերի նախապատրաստման բնույթի հետազոտման և երկրաշարժերի կարճաժամկետ կանխատեսման խնդիրների լուծման նպատակով: Հայաստանի Հանրապետության և հարակից շրջաններում 2022 թվականի հունվարի 16-ից հուլիսի 28-ն ընկած ժամանակահատվածում 47-ից 355 կմ էպիկենտրոնային հեռավորությունների վրա տեղի է ունեցել $M=3.7-5.4$ մագնիտուդով 18 երկրաշարժ: Մանրամասն վերլուծությունը հնարավորություն տվեց երկրաշարժերից անմիջապես առաջ հայտնաբերելու մագնիսական դաշտի վարիացիաների առաջացման նոր երևույթներ: Դիտարկվել է հայտնաբերված անոմալ երևույթների դրսևորման ամպլիտուդա-հաճախական բնութագրերի և երկրաշարժերի հիմնական պարամետրերի (մագնիտուդ, էպիկենտրոնային հեռավորություն) միջև կապը: Կատարվել է նմանատիպ երկրաֆիզիկական դաշտի համակոորդմանի ուսումնասիրություն՝ որպես երկրակեղևի լարվածա-դեֆորմացիոն վիճակի դինամիկայի մշտադիտարկման անուղղակի պարամետր:

**J. K. Karapetyan, E. G. Geodakyan, corresponding member of NAS RA
S. M. Hovhannisyanyan, S. R. Shahparonyan, R. K. Karapetyan**

**Anomaly of the Geomagnetic Field Preceding the Occurrence of
Earthquakes in the Territory of the Republic of Armenia
and Adjacent Regions**

This paper considers the preliminary results of geomagnetic observations on the territory of the Republic of Armenia in order to study the nature of the preparation of a tectonic earthquake and to implement the task of short-term prediction of a seismic event. The observations are from 18 earthquakes in the territory of Armenia from January 16 to July 28, 2022, magnitude range 3.7 - 5.4, epicentral distances 47 - 355 km. A preliminary analysis of region geomagnetic observations made it possible to detect the occurrence of a magnetic disturbance of the geomagnetic field before an earthquake. The relationship between the amplitude-frequency characteristics of these anomalous phenomena and the main parameters (magnitude, epicentral distance, et al.) of earthquakes is considered. A comprehensive study of this type of geophysical field is carried out for indirect monitoring of the dynamics of the stress-strain rate of the earth's crust.

Литература

1. *Гвишиани А. Д., Соловьёв А. А., Сидоров Р. В. и др.* – Вестн. ОНЗ РАН. 2018. Т. 10. NZ4001. С. 1-24. doi:10.2205/2018NZ000357.
2. *Karapetyan J. K., Sargsyan R. S., Ghazaryan K. S. et al.* – Russian Journal of Earth Sciences. 2020. V. 20, doi:10.2205/2020ES000709.

3. *Ismail-Zadeh A., Adamia S., Chabukiani A. et al.* – Earth Sci. Rev. 2020. V. 207. P. 103222. doi: 10.1016/j.earscirev.2020.103222.
4. *Karapetyan J. K., Li Li* – Acta Geologica Sinica (English Edition). 2021. V. 95(supp. 1). P. 55–58, <https://doi.org/10.1111/1755-6724.14831>.
5. *Dzeboev B. A., Gvishiani A. D., Agayan S. M. et al.* – «Editorial of the Special Issue “Statistics and Pattern Recognition Applied to the Spatio-Temporal Properties of Seismicity»». Appl. Sci. 2022, V. 12(9). P. 4504, <https://doi.org/10.3390/app12094504>.
6. *Abrehdari Seyed H., Jon K. Karapetyan, Habib Rahimi et al.* – Russian Journal of Earth Sciences, 2022. V.22, P. ES6002, doi: 10.2205/2022ES000814.
7. *Мальцев С. А., Степанов М. В.* – Сейсмические приборы. Т. 44. № 3. С. 5-18.
8. *Karapetyan J., Li L., Geodakyan E. et al.* – (2022). Earthquake Science. 2022. V. 36(1). P. 1-8.
9. *Rikitake T.* – Tectonophysics. 1968. V. 6(1). P. 59–68, doi:10.1016/0040-1951(68)90026-7.
10. *Сирунян Т. А., Григорян Р. А., Акопджанян Г. А. и др.* В кн.: Поиск геофизических предвестников землетрясений на Кавказе. 1987. Тбилиси. Мецниереба. 1987. С. 129-135.
11. *Gershenzon N. I., Gokhberg M. B., Yunga S. L.* – Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1993. V. 77(1-2). P. 13–19. doi:10.1016/0031-9201(93)90030-d.
12. *Hattori K.* – Terrestrial, Atmospheric and Ocean Sciences. 2004. V. 15. № 3. P. 329–360.
13. *Kopytenko Y. A., Ismaguilov V. S., Hattori K. et al.* – Ann. Geophys. 2012. V. 55. № 1; doi: 10.4401/ag-5260.
14. *Оганесян С. Р.* Тектономагнитный метод прогноза землетрясений. Lambert Academic Publishing. 2016. 432 с.
15. *Karapetyan J. K., Karapetyan R. K.* – American Geophysical Union. Fall Meeting 2018, abstract #S12A-05.
16. *Enomoto Y., Yamabe T., Sugiura S. et al.* – Earth Planets Space .2021. V. 73. P. 90; <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01416-1>.
17. *Григорян А. Г., Луходеев Д. В.* – Геофизические исследования. 2021. Т. 22. № 3. С. 5-25; <https://doi.org/10.21455/gr2021.3-15>.
18. *Guillermo Cordaro E., Venegas-Aravena P., Laroze D.* – Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2021. V. 21. P. 1785–1806; <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1785-2021>, 2021.
19. *Спивак А. А., Рябова С. А.* – Физика Земли. 2019. № 6. С. 3–12
20. *Takla E. M., Yumoto K., Liu J. Y. et al.* – J. Geophysics. 2011. Article ID 848467; <http://dx.doi.org/10.1155/2011/848467>.
21. *Zhao J., Yongxin G., Tang J. et al.* – Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2021.V. 126. Issue 10 <https://doi.org/10.1029/2021JB022102>.
22. *Soloviev A., Smirnov A., Gvishiani A. et al.* – Advances in Space Research. 2019. V. 64. Is. 11, 1. P. 2305-2320. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.08.038>.
23. *Soloviev A., Dzeboev B., Karapetyan J. et al.* – 2020. GCRAS. M. <https://doi.org/10.2205/GLK2020min>.
24. *Jankowsky J., Sucksdorff C.* Warsaw. Guide for magnetic measurements

- and observatory practice. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, ISSN 0-9650686-2-5, 1996. 232 p.
25. Сковородкин Ю. П. Изучение тектонических процессов методами магнитометрии. М. ИФЗ АН СССР. 1985. 197 с.
 26. Сковородкин Ю. П., Тонян Е. П. В кн.: Сейсмический мониторинг земной коры. М. ИФЗ АН СССР. 1986. С. 199-203.
 27. Оганесян С. М. В кн.: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Коллективная монография. (VII междунар. науч.-практич. конф. Владикавказ, 30.09-02.10.2019). Владикавказ. 2019. С.459-464.
 28. Оганесян С. М. В кн.: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Коллективная монография. (VII междунар. науч.-практич. конф. Владикавказ, 30.09-02.10.2019). Владикавказ. 2019. С.465-474.
 29. Оганесян С. М., Карапетян Дж. К., Геодакян Э. Г. и др. В кн.: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Коллективная монография. (VII междунар. науч.-практич. конф. Владикавказ, 30.09-02.10.2019). Владикавказ. 2019. С. 325-337.
 30. Оганесян С. М., Карапетян Дж. К., Заалишвили В. Б. и др. В кн.: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Коллективная монография. (VII междунар. науч.-практич. конф. Владикавказ, 30.09-02.10.2019). Владикавказ. 2019. С. 422-431.
 31. EMSC (European Mediterranean Seismological Centre).
<https://www.emsc-csem.org/#2>.