



Казахский Национальный Исследовательский Технический  
Университет,  
Институт Геологии и Нефтегазового Дела  
Кафедра “Геофизики”

# Сейсмогеофизические предвестники и стратегия прогнозирования землетрясений

## Лекция 11

**Геомагнитные предвестники. Геомагнитные вариации  
при сильных землетрясениях**

По материалам: А. А. Спивак, С. А. Рябовой (2019)

**Преподаватель: Абетов Ауэз Егембердыевич – профессор,  
доктор геол.-мин. наук, академик НАН РК**

# Введение

Землетрясения, особенно сильные, представляют собой яркий пример проявления природных сил. Значительные механические эффекты в очаговой области землетрясения в виде подвижек и деформации горных пород, изменения их свойств и напряженно-деформированного состояния, изменения химического состава и температуры подземных вод, электрофизических свойств среды, а также другие сопутствующие землетрясению явления и процессы, включая усиление эманаций природного радона и возбуждение сейсмических сигналов – все это оказывает влияние на режимы геофизических полей.

Не является исключением и геомагнитное поле. Неоднократно отмечалось, что на последней стадии подготовки землетрясения, в период основного толчка, а также в период афтершоковой активности регистрируются возмущения магнитного поля на земной поверхности. Характерно, что при этом одновременно отмечаются вариации полного электронного содержания в слое  $F2$  ионосферы с периодами от 5–10 до 20–50 мин на расстояниях до 7 тыс. км, что объясняется возмущением ионосферы деформационно-барическими процессами, сопровождающими сейсмическое событие.

Предложенные механизмы возбуждения геомагнитных вариаций в период землетрясения до настоящего времени остаются дискуссионными. Наряду с литосферными источниками возмущений в качестве наиболее вероятного рассматривается механизм, связанный с воздействием вызванных землетрясением акустических колебаний на ионосферу в эпицентральной области события, что приводит к генерации МГД-волны, которая со значительной скоростью распространяется по ионосфере.

При этом следует отметить, что, несмотря на значительное количество исследований, посвященных влиянию землетрясений на магнитное поле Земли, ощущается определенный дефицит наблюдательного материала, необходимого для верификации предложенных моделей и механизмов влияния землетрясения на магнитное поле Земли.

## Исходные данные

В качестве исходных использовались результаты инструментальных наблюдений, выполненных в Геофизической обсерватории «Михнево» (МНУ) ИДГ РАН и в некоторых среднеширотных обсерваториях сети INTERMAGNET (табл. 1). Для анализа использовались ряды цифровых записей магнитного поля, выполненных на земной поверхности, сформированные с дискретностью 1 мин на основе данных сети INTERMAGNET и с дискретностью 2 с на основе данных МНУ.

# Исходные данные

Таблица 1. Пункты геомагнитных наблюдений

Наименование	Обозначение	Широта, град	Долгота, град
Арти (РФ)	ARS	56.43	58.56
Бельск (Польша)	BEL	51.84	20.79
Борок (РФ)	BOX	58.07	38.23
Иркутск (РФ)	IRT	52.27	104.45
Киев (Украина)	KIV	50.72	30.3
Львов (Украина)	LVV	49.9	23.75
Михнево (РФ)	MHV	54.94	37.73
Новосибирск (РФ)	NVS	54.85	83.23
С.-Петербург (РФ)	SPG	60.54	29.72
Хабаровск (РФ)	KHB	47.61	134.69

Таблица 2. Перечень  
Рассмотренных землетрясений

№ п/п	Дата	Примерное время основного толчка, UT	Магнитуда	Район
1	01.03.2019	08:50	7.2	Перу
2	25.09.2018	06:17	5.0	Мексика
3	16.09.2018	11:48	6.5	О-ва Фиджи
4	12.09.2018	04:50	5.3	Индия
5	07.09.2018	02:10	6.2	Эквадор
6	06.09.2018	15:49	7.9	О-ва Фиджи
7	29.08.2018	03:52	7.1	Новая Каледония
8	28.08.2018	22:35	6.4	Марианские о-ва
9	19.08.2018	14:56	6.9	Индонезия
10	15.08.2018	21:56	6.5	Аляска
11	12.08.2018	14:58	6.3	Аляска
12	07.07.2018	21:33	6.0	Нов. Зеландия
13	09.05.2018	10:41	6.2	Таджикистан
14	18.05.2018	01:41	6.1	О-ва Кермадек
15	02.05.2018	06:32	6.0	Исландия
16	15.04.2018	19:30	6.0	Индонезия
17	05.04.2018	03:53	6.0	Филиппины
18	29.03.2018	21:25	6.9	Нов. Гвинея
19	28.02.2018	02:45	6.1	Нов. Гвинея
20	27.02.2018	17:29	6.1	О-в Маккуори
21	26.02.2018	13:34	6.1	Индонезия
22	11.02.2018	23:14	6.0	Марианские о-ва
23	06.02.2018	15:50	6.4	Тайвань
24	28.01.2018	16:03	6.2	Афганистан
25	24.01.2018	10:50	6.3	япония
26	10.01.2018	02:51	7.5	Гондурас
27	23.11.2016	11:37	5.0	Прибайкалье
28	11.09.2016	08:07	~5.0	Приамурье
29	14.08.2016	11:15	6.3	Сахалин
30	07.08.2016	08:15	5.0	Сев. Кавказ
31	13.05.2016	17:47	5.2	Сев. Кавказ
32	14.04.2016	03:06	6.2	Камчатка
33	03.02.2016	18:27	~5.0	Прибайкалье
34	02.01.2016	04:22	6.1	Приамурье
35	24.05.2014	09:30	6.9	Эгейское море
36	01.04.2014	23:46	7.8	Чили

# Исходные данные

Параметр	Время суток (UT)							
	0–3	3–6	6–9	9–12	12–15	15–18	18–21	21–24
24.05.2014 г.								
$K_p$	2	1	2	0*	1	1	1	1
$K$	1	2	2	1*	2	2	1	1
10.01.2018 г.								
$K_p$	1*	2	1	1	0	1	0	0
$K$	1*	0	0	1	1	1	1	0
24.01.2018 г.								
$K_p$	0	0	0	1*	3	3	1	4
$K$	0	0	0	1*	3	3	1	4
29.03.2018 г.								
$K_p$	0	0	1	2	1	2	1	1*
$K$	0	0	1	2	1	1	1	1*
15.04.2018 г.								
$K_p$	2	1	1	1	2	1	1*	2
$K$	2	1	1	1	2	1	1*	2
09.05.2018 г.								
$K_p$	3	3	2	2*	2	2	4	4
$K$	3	2	2	2*	3	3	3	3
07.08.2018 г.								
$K_p$	4	1	2*	2	3	3	1	2
$K$	4	1	2*	2	3	3	1	2
29.08.2018 г.								
$K_p$	2	2*	1	1	1	2	1	1
$K$	2	1*	1	1	1	2	1	1
07.09.2018 г.								
$K_p$	2*	2	1	1	1	1	0	1
$K$	1*	2	2	1	1	2	1	1

**Таблица 3.**  
Значения  $K_p$ - и  $K$ -  
индексов  
магнитной  
активности по  
датам

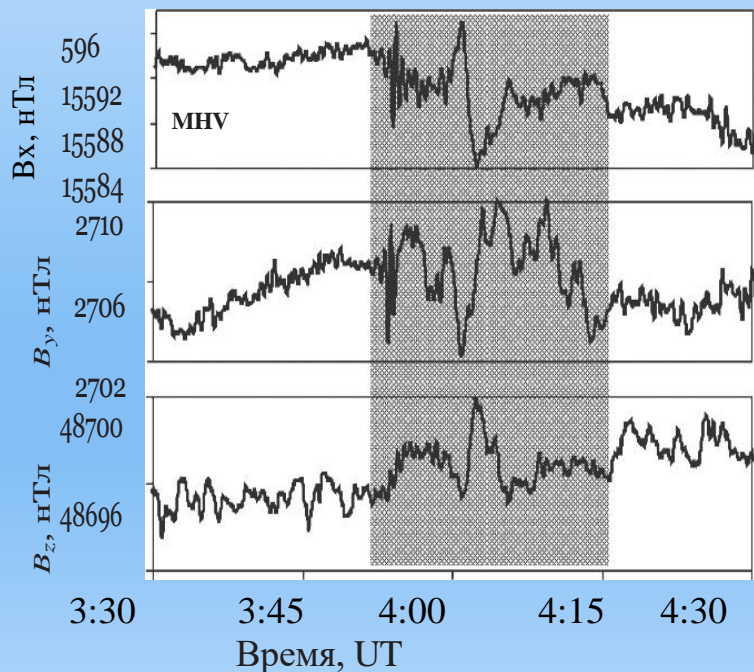
\* Значение  
параметров в период  
времени,  
соответствующий  
времени основного  
толчка при  
землетрясении.

# Исходные данные

Рассматривались вариации магнитного поля в период землетрясений, произошедших в разных регионах с магнитудой, превышающей 5 (табл. 2). При этом анализировались события, которые произошли в период, характеризующийся отсутствием значимых проявлений магнитной активности (в табл. 3 приведены значения  $K_p$ -индекса магнитной активности и  $K$ -индекса магнитной активности по данным обсерватории МНВ за дни, в которые произошли события, рассмотренные в настоящей статье). Это позволяло выделять наведенные землетрясением геомагнитные вариации на фоне солнечной составляющей.

## Геомагнитный эффект землетрясений

В качестве примера на рис. 1 приведена запись компонент  $B_x$ ,  $B_y$  и  $B_z$  магнитного поля Земли, полученная в ГФО МНВ в период землетрясения 29.08.2018 г. (Новая Каледония). Землетрясение магнитудой  $M = 7.1$  произошло в 03:51 UT на глубине ~26 км.



**Рис. 1.** Вариации геомагнитной индукции в период землетрясения 29.08.2018 г. в Новой Каледонии (регистрация в МНВ). Здесь и на следующих рисунках фоном выделены наведенные вариации магнитного поля.

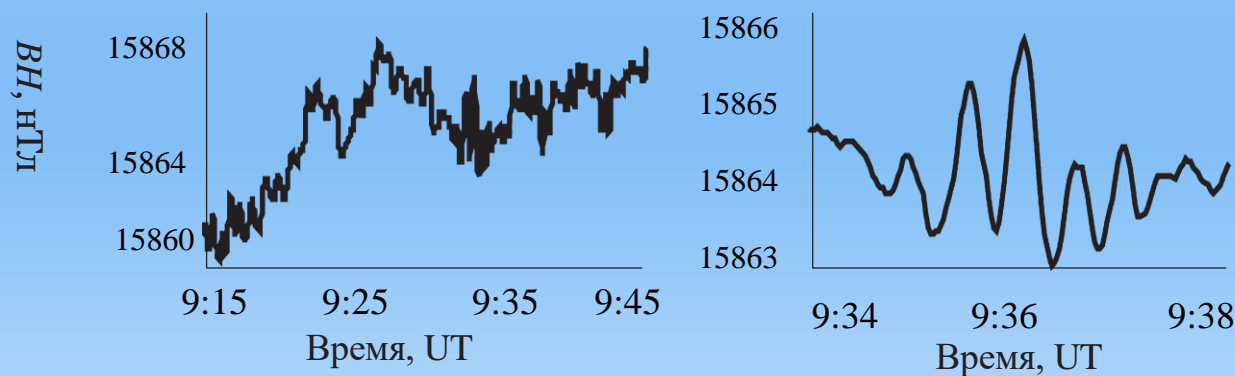
# Геомагнитный эффект землетрясений

Приведенные на рис. 1 данные свидетельствуют о ярко выраженных вариациях магнитного поля в период землетрясения. При этом отчетливо выделяется цуг короткопериодных повышенных геомагнитных вариаций с периодом  $\sim 50$  с, начало которого зафиксировано в  $\sim 03:53$  UT, фактически сразу после основного толчка (время запаздывания относительно основного толчка составляет  $\sim 2$  мин).

Максимальная амплитуда вариаций на этой стадии составила  $\sim 4$  нТл, ее длительность  $\sim 3$  мин. Как это видно из рис. 1, короткопериодные вариации в большей степени проявились на горизонтальных компонентах магнитного поля.

Вслед за короткопериодными наблюдаются длиннопериодные вариации с максимальной амплитудой  $\sim 5.5$  нТл длительностью около 7 мин. Начало этой стадии вариаций с периодом  $\sim 5$  мин фиксируется в  $\sim 03:59$  UT. На этой стадии, также как и на короткопериодной, амплитуда вариаций горизонтальной компоненты примерно вдвое превышает амплитуду вариаций вертикальной компоненты магнитного поля.

При этом короткопериодные возмущения, которые наблюдаются, как правило, при мелкофокусных событиях с глубиной менее  $\sim 30$  км, регистрируются после основного толчка с небольшой задержкой. Как пример на рис. 2 представлены результаты регистрации магнитного поля, выполненные в обсерватории МНУ в период землетрясения 24.05.2014 г. Землетрясение с магнитудой по разным данным от 6.4 до 6.9 произошло в Эгейском море, время в очаге  $\sim 09:30$  UT, глубина 10–29 км. Из данных рис. 2 следует, что начало длиннопериодных геомагнитных возмущений с периодом  $\sim 5$  мин фиксируется в  $\sim 09:30$  UT. Максимальная амплитуда вариаций  $B_H$  на этой стадии составляет  $\sim 2$  нТл, длительность  $\sim 10$ –12 мин.



**Рис. 2.** Длиннопериодные (а) и короткопериодные (б) вариации горизонтальной компоненты геомагнитной индукции в период землетрясения 24.05.2014 г. в Эгейском море (регистрация в МНУ).

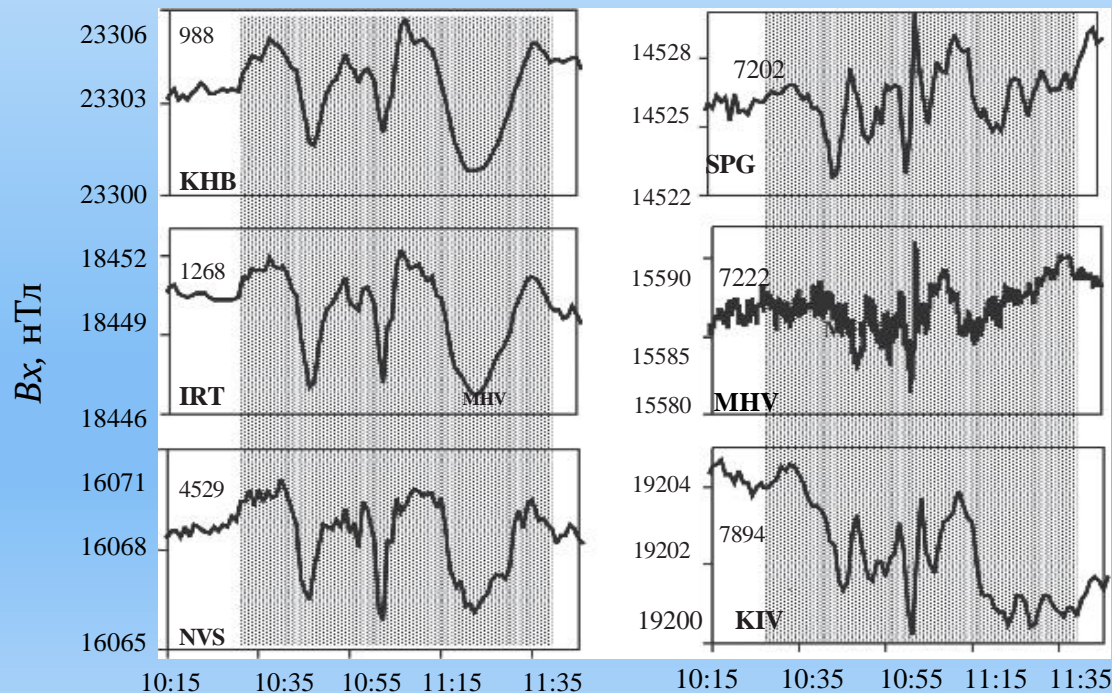


# Геомагнитный эффект землетрясений

Начало короткопериодных возмущений (период  $\sim 0.6$  мин) регистрируется в 09:35 UT (спустя  $\sim 5$  мин после основного толчка). При этом выделяется основное возмущение длительностью  $\sim 3$  мин и амплитудой  $\sim 1.5$  нТл, после которого в течение некоторого времени наблюдаются повышенные вариации  $B_H$ .

Значительный интерес представляет рассмотрение геомагнитных возмущений в обсерваториях, расположенных на разных расстояниях от очага землетрясения. В качестве примера на рис. 3а–3г приведены записи горизонтальной, наиболее возмущенной компоненты  $B_x$ , полученные в MHV и в некоторых обсерваториях сети INTERMAGNET в периоды землетрясений 2018 г. из списка табл. 2. Из данных рис. 3 следует, что при глубине очага более 30 км наблюдаются только длиннопериодные геомагнитные возмущения (период от  $\sim 15$  до  $\sim 30$  мин), которые имеют сходную морфологию и возникают практически одновременно на записях обсерваторий, отстоящих друг от друга на значительном расстоянии.

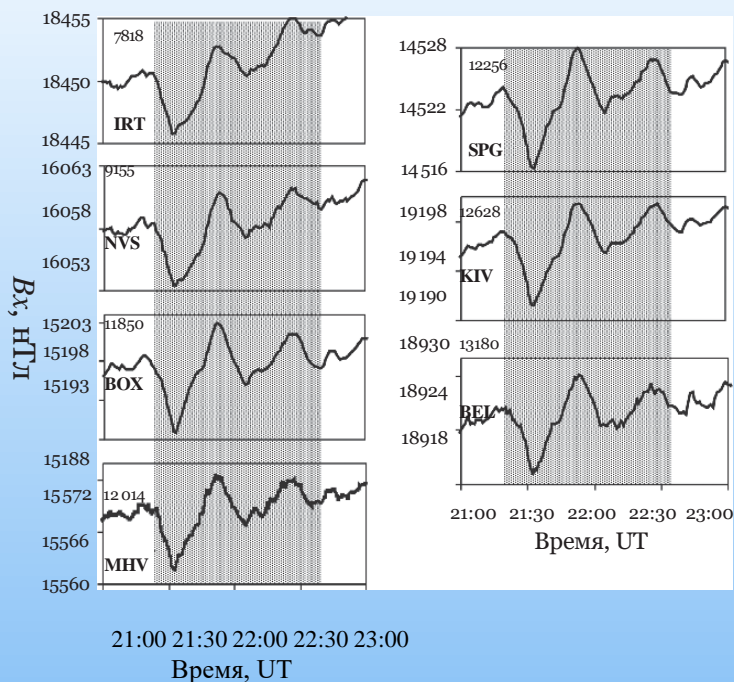
Особенность данных, представленных на рис. 3а–3г, состоит в том, что начало вызванных землетрясениями длиннопериодных геомагнитных возмущений регистрируется спустя небольшое время после основного толчка.



**Рис. 3а.** Вариации компоненты  $B_x$  геомагнитной индукции, зарегистрированных в MHV и обсерваториях INTERMAGNET, в период землетрясения 24.01.2018 г. (Япония,  $M = 6.3$ ; глубина более 30 км). Здесь и на следующих рисунках цифра в поле рисунка обозначает расстояние до очага сейсмического события.

# Геомагнитный эффект землетрясений

(б)



(в)

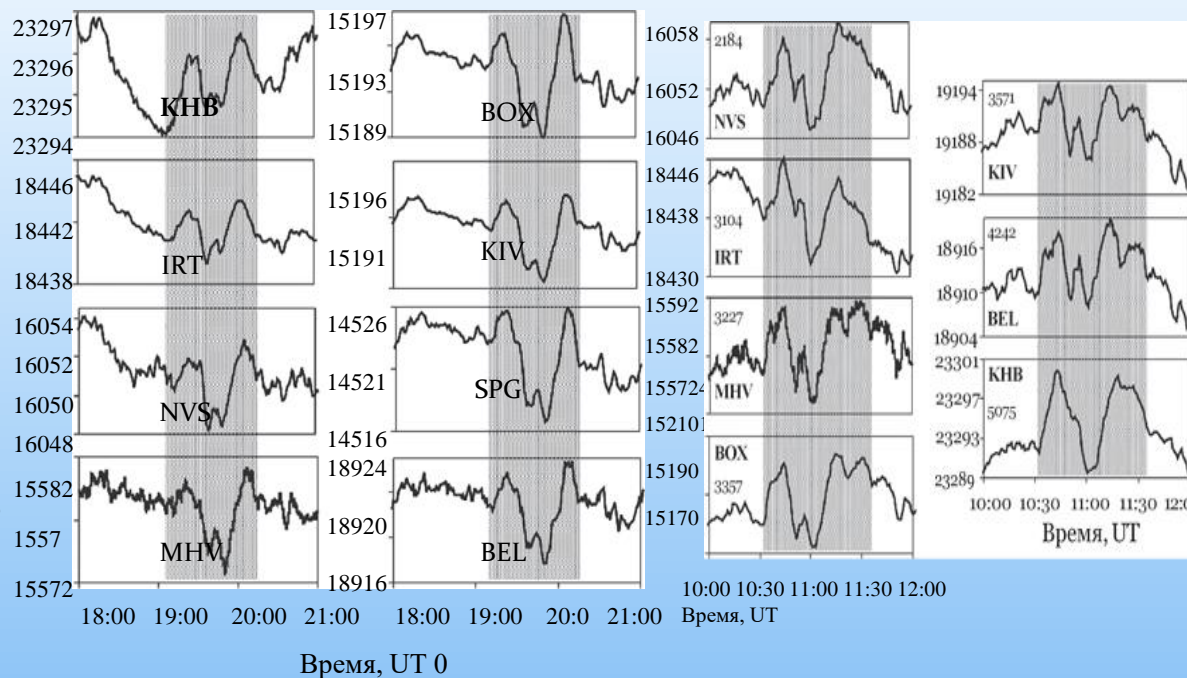


Рис. 3б. Вариации компоненты  $B_x$  в период события 29.03.2018 г. (Новая Гвинея,  $M = 6.9$ ; глубина ~35 км).

Рис. 3в. Вариации компоненты  $B_x$  в период события 15.04.2018 г. (Индонезия,  $M = 6.0$ ; глубина 34 км)

Рис. 3г. Вариации компоненты  $B_x$  в период события 09.05.2018 г. (Таджикистан,  $M = 6.2$ ; глубина более 100 км).

Помимо рассмотренных выше случаев, вызванные землетрясениями, подобные по форме, длиннопериодные возмущения магнитного поля зарегистрированы при большинстве событий, перечисленных в табл. 2.



# Геомагнитный эффект землетрясений

При ряде землетрясений вызванные ими геомагнитные возмущения имеют вид бухтообразного уменьшения индукции магнитного поля, что согласно имеющимся в литературе данным характерно, скорее, для предвестника сейсмического события, который наблюдается за несколько часов и даже суток до основного толчка.

В нашем случае бухтообразное понижение индукции магнитного поля регистрируется в период самого события, либо спустя несколько минут после основного толчка. Характерные примеры такой реакции магнитного поля на землетрясение приведены на рис. 4.

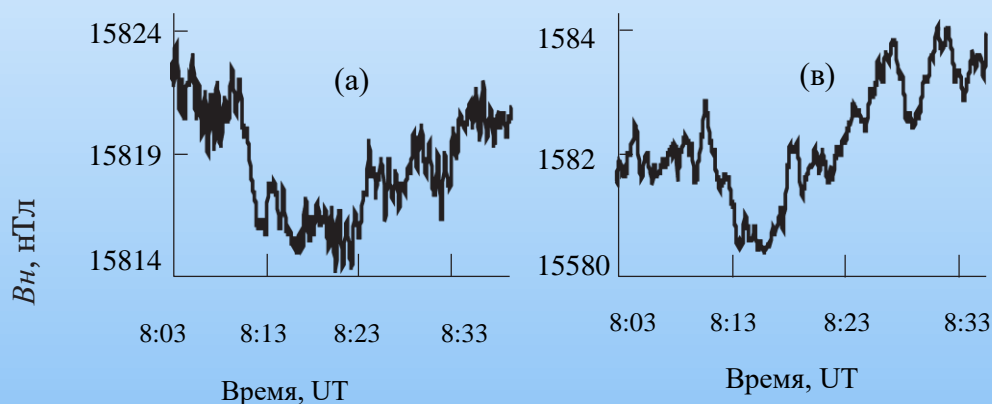


Рис. 4. Вариации горизонтальной компоненты магнитного поля, зарегистрированные в МНУ, в периоды землетрясений 07.08.2016 г. на Северном Кавказе (а) и 10.01.2018 г. в Гондурасе (б).

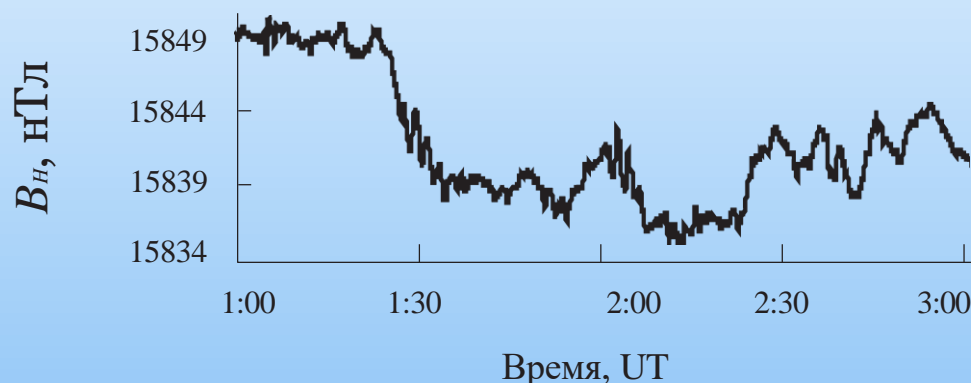
На рис.4а представлены геомагнитные вариации, зарегистрированные в период землетрясения с магнитудой  $\sim 5.0$ , произошедшего 07.08.2016 г. на Северном Кавказе.

На рис. 4б – вариации магнитного поля в период землетрясения с магнитудой 7.5, произошедшего 10.01.2018 г. в Гондурасе. Подобная реакция магнитного поля на землетрясение в виде бухтообразного понижения магнитной индукции магнитного поля отмечается также и в ряде других случаев.

В отдельных случаях (события 10.04.2018 г. и 07.09.2018 г. из табл. 2) реакция магнитного поля на землетрясения проявляется в виде комбинации общего уменьшения индукции магнитного поля с наложением его хорошо выраженных длиннопериодных вариаций.

# Геомагнитный эффект землетрясений

На рис. 5 в качестве примера представлены вариации магнитного поля в период землетрясения с магнитудой 6.2, произошедшего 07.09.2018 г. в Эквадоре. Из рис. 5 следует, что на фоне основного бухтообразного уменьшения магнитного поля выделяются участки его повышения с элементами периодичности. И, наконец, на последней стадии, начиная с ~02:30 UT регистрируются длиннопериодные вариации магнитного поля с периодом ~6.4 мин.



**Рис. 5.** Вариации горизонтальной компоненты магнитного поля, зарегистрированные в МНУ, в период землетрясения 07.09.2018 г. в Эквадоре.

## Обсуждение результатов

Сделана попытка вычленить влияние землетрясений на магнитное поле Земли на основе рассмотрения геомагнитных вариаций в периоды сильных сейсмических событий, происходящих в условиях низкой магнитной активности, когда составляющая возмущений солнечного происхождения – основного фактора, определяющего изменчивость магнитного поля, достаточно мала.

Приведенные данные свидетельствуют о сложном характере отклика магнитного поля на землетрясения. По всей видимости, конкретный вид вызванных геомагнитных возмущений определяется многими факторами, такими как магнитуда сейсмического события, параметры очага, его механизм и глубина, геология района, свойства горных пород и массива.

# Геомагнитный эффект землетрясений

Установление влияния каждого из факторов на морфологию и амплитуду геомагнитного эффекта требует проведения детальных исследований, результаты которых при соответствующей статистической обоснованности могут лечь в основу модели геомагнитного отклика на сейсмическое событие.

Вопрос о механизмах воздействия сейсмического события на магнитное поле в настоящее время нельзя считать окончательно решенным. Установление их природы также требует проведения дополнительных исследований. Тем не менее, следует отметить, что, согласно современным представлениям, выделяют ряд основных физических механизмов возбуждения геомагнитных вариаций при землетрясениях.

Наиболее значимым по амплитуде вызываемых геомагнитных вариаций следует рассматривать электрокинетический эффект, связанный 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 самого землетрясения

Другим возможным механизмом генерации вызванных геомагнитных возмущений являются процессы, связанные с изменением напряженно-деформированного состояния среды и слагающих ее горных пород, обладающих пьезомагнитными либо ферромагнитными свойствами, в процессе формирования очага и реализации землетрясения/

В последнем случае, находясь в магнитном поле Земли, такие горные породы как габбро, гранодиорит, некоторые типы гранитов, при медленных движениях на стадии формирования очага и сильных движениях вдоль магистрального разрыва в момент основного толчка являются источником магнитных вариаций.

В любом случае изменение магнитной восприимчивости и электрической проводимости горных пород в процессе резкого сброса напряжений способно вызвать геомагнитный эффект.

Длиннопериодные вариации, по всей видимости, связаны с возмущениями геофизической среды (атмосферы, ионосферы), возникающими на крайней стадии подготовки очага землетрясения и в процессе сейсмического события.

# Геомагнитный эффект землетрясений

Известны процессы, непосредственно предваряющие землетрясения и способные привести к накоплению эффектов разной природы, и, как результат, – лавинообразному возмущению магнитного поля. В таком качестве могут выступать любые механоэлектрические и электрофизические процессы.

Действительно, перед сильными землетрясениями наблюдаются движения, деформация и растрескивание горных пород, изменение их напряженного состояния, изменение интенсивности эманаций подземных газов и уровня подземных вод, повышение интенсивности электролиза в подземных флюидах с выделением газообразных продуктов и т. д., что приводит к разделению электрических зарядов в твердой среде, изменению токовых систем и в результате – к возмущению ионосферы.

Представляет также интерес рассмотрение в качестве источника геомагнитных вариаций возмущение ионосферы в результате действия на нее акустико-гравитационных волн, формирующихся у земной поверхности в момент главного толчка.

Генерация геомагнитных вариаций при землетрясениях за счет сейсмических волн, т. е. сейсмомагнитный эффект, при котором скорости распространения сигнала составляют первые тысячи километров в секунду, либо перемещение ионосферных возмущений (скорости от 150 до 3000 м/с) не объясняют достаточно высокую одновременность наведенных геомагнитных вариаций в пунктах, расположенных на разных, в ряде случаев значительных, расстояниях друг от друга, как это показано выше.

Вероятнее всего в нашем случае возмущение магнитного поля вызвано литосферными источниками, либо возмущениями в ионосфере Земли в эпицентральной зоне очага землетрясения, которые привели к дестабилизации глобальных токовых систем.

В качестве механизма воздействия землетрясения на ионосферу можно рассматривать, например, изменение концентрации электронов под действием, как уже упоминалось, акустико-гравитационных волн, генерируемых у земной поверхности в период активности геодинамических процессов непосредственно перед, во время и сразу после землетрясения. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что аномальные вариации электронной концентрации в ионосфере с периодом от 5–10 мин до 20–40 мин могут регистрироваться за 1–2 ч до землетрясения.

# Заключение

Анализ результатов инструментальных наблюдений свидетельствует о хорошо выраженном геомагнитном эффекте сильных землетрясений. При этом следует обратить внимание на существование двух составляющих в вызванных геомагнитных возмущениях: короткопериодных (период менее 1 мин) и длиннопериодных (период ~5 мин) вариаций. Короткопериодные аномальные вариации магнитного поля наблюдаются спустя некоторое непродолжительное время после основного толчка, что может свидетельствовать о том, что их источником являются быстрые процессы, протекающие в узко локализованной зоне магистрального разрыва в момент события.

В качестве источника длиннопериодных геомагнитных вариаций здесь, по всей видимости, следует рассматривать литосферные процессы, сопутствующие землетрясению. Обращает на себя внимание сходство и совсем небольшое отличие во временах возникновения вызванных длиннопериодных сигналов в разных пунктах магнитных наблюдений при конкретном землетрясении, что хорошо видно из данных рис. 3. При этом следует также отметить, что и амплитуда  $DB$  вызванных длиннопериодных геомагнитных возмущений, зарегистрированных в разных обсерваториях, при отдельно взятом землетрясении примерно одинакова. Например, для события 24.01.2018 г.  $DB$  находится в интервале ~1.8 (KIV) – 3.0 (IRT) нТл, для события 29.03.2018 г. – в интервале ~15 (BOX) – 18 (BEL) нТл и т. д.

Другая особенность связана с наличием отличий в морфологических характеристиках вызванных длиннопериодных вариаций магнитного поля при разных сейсмических событиях, что можно объяснить как различиями в параметрах очагов землетрясений, так и отличительными свойствами среды.

## Заключение

Полученные в настоящей работе данные дополняют имеющиеся представления о геомагнитных вариациях, сопутствующих сильным землетрясениям, и могут быть полезны при разработке и верификации моделей подготовки и развития указанных событий, а также сопровождающих их геофизических процессов. Наряду с этим следует также отметить, что характеристики регистрируемых при землетрясении вариаций геофизических полей с большой вероятностью содержат информацию о физико-механических свойствах среды, в которой формируется его очаг, а также о его характеристиках.

Представленные результаты свидетельствуют о необходимости проведения целенаправленных исследований, связанных с установлением роли каждого из возможных источников возмущений магнитного поля Земли при землетрясениях. Для этого требуется разделить их влияния и сопоставить характеристики вызванных геомагнитных вариаций с параметрами очага землетрясения, геологией района, свойствами среды и т. д.



# Вопросы по закреплению содержания лекции 11

- ☐ Возмущения магнитного поля на земной поверхности на последней стадии подготовки землетрясения, в период основного толчка, а также в период афтершоковой активности.
- ☐ Геомагнитный эффект землетрясений. Вариации геомагнитной индукции в период землетрясения.
- ☐ Характеристики короткопериодных и длиннопериодных вариаций магнитного поля.
- ☐ Вариации компоненты  $B_x$  геомагнитной индукции в обсерваториях, расположенных на разных расстояниях от очага землетрясения.
- ☐ Зависимости геомагнитных возмущений от магнитуды сейсмического события, параметров очага, его механизма и глубины, геологии района, свойства горных пород и массива.
- ☐ Длиннопериодные вариации. Связь с возмущениями геофизической среды (атмосферы, ионосферы), возникающими на крайней стадии подготовки очага землетрясения и в процессе сейсмического события.
- ☐ Формирование геомагнитных вариаций в ионосфере в результате воздействия на нее акустико-гравитационных волн, формирующихся у земной поверхности в момент главного толчка.

# Библиография

1. Голиков Ю.В., Д'Коста А., Пилипенко В.А. Геомагнитные пульсации, возбуждаемые при сильных землетрясениях // Геомагнетизм и аэрономия. Т. XXV. 1985. С. 824–828.
2. Гульельми А.В., Зотов О.Д. О магнитных возмущениях перед сильными землетрясениями // Физика Земли. 2012. № 2. С. 84–87.
3. Долгих Г.И., Купцов А.В., Ларионов И.А., Овчаренко В.В., Марапулец Ю.В., Швец В.А., Шевцов Б.М., Широков О.Н., Чупин В.А., Яковенко С.В. Деформационные и акустические предвестники землетрясений // Докл. РАН. 2007. Т. 413. № 1. С. 96–100.
4. Зотов О.Д., Гульельми А.В., Собисевич А.Л. О магнитных предвестниках землетрясений // Физика Земли. 2013. № 6. С. 139–147.
5. Кролевец А.Н., Шереметьева О.В. Возможный механизм магнитных вариаций // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С. 77–80.
6. Липеровский В.А., Похотелов О.А., Мейстер К.-В., Липеровская Е.В. Физические модели связей в системе литосфера-атмосфера-ионосфера перед землетрясениями // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48. № 6. С. 831–843.
7. Романова Н.В., Пилипенко В.А., Степанова М.В. О магнитном предвестнике Чилийского землетрясения 27 февраля 2010 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55. № 2. С. 231–234.
8. Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л., Канониди К.Х. Результаты анализа инструментальных наблюдений аномальных геомагнитных возмущений, наведенных землетрясениями в геосферах. Триггерные эффекты в геосистемах. М.: ГЕОС. 2013. С. 329–341.
9. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестников. М.: Наука. 2003. 270 с.
10. Сорокин В.М., Федорович Г.В. Физика медленных МГД-волн в ионосферной плазме. М.: Энергоиздат. 1982. 136 с.
11. Сурков В.В. Электромагнитные эффекты при землетрясениях и взрывах. М.: МИФИ. 2000. 448 с.

**Благодарю за внимание!**

**Thank you for your attention!**

**Назарларыңызға рахмет!**