

МИХАИЛ Б. ГОХБЕРГ, ИОСИФ Л. ГУФЕЛЬД,
ВИТАЛИЙ А. МОРГУНОВ*

ОПЕРАТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ИХ ПРИРОДА

Одной из актуальнейших проблем наук о земле остается в настоящее время прогноз землетрясений. В последние годы установлено, что землетрясение не внезапное событие, ему предшествуют различные предвестники деформационной и электромагнитной природы, а также изменения в сейсмическом режиме [1, 2]. Надежность прогноза во многом зависит от степени соответствия наших представлений реальным процессам в земной коре.

Наши представления о процессах подготовки землетрясений развивались в 60—70 годы на основе переноса данных лабораторных исследований разрушения образцов на земную кору. Образец для разрушения в земной коре подменялся лабораторным — монолитным — образцом. Те эффекты деформационной или электромагнитной природы, которые предшествовали разрушению лабораторных образцов, стали считать также и характерными предвестниками землетрясений. Однако, полевые наблюдения показали, что предвестники деформационной природы не являются обязательными и повсеместными признаками подготовки землетрясений. Обнаруженные в последние годы электромагнитные предвестники, отличающиеся масштабностью проявления и значительной удаленностью мест наблюдения эффектов от возможных источников, не укладывались в рамки представлений о процессах электризации при разрушении лабораторных образцов. В настоящей работе обсуждаются результаты натурных наблюдений и возможные источники электромагнитных предвестников.

* Институт физики земли АН СССР, Москва.

Перечислим основные предвестники электромагнитной природы. Перед землетрясениями были обнаружены аномалии атмосферного электрического поля с амплитудой в несколько сот вольт на метр при нормальном уровне около 100 В/м. Зафиксированы возмущения уровня естественного электромагнитного излучения в диапазоне частот от десятков килогерц до нескольких мегагерц. К возмущениям электромагнитной природы следует относить наблюдения световых эффектов в атмосфере, для возбуждения которых необходимы весьма высокие электрические поля: для нижней — приземной атмосферы 10^5 — 10^6 В/м, для верхней атмосферы пробивные поля уменьшаются до десятков вольт на метр за счет увеличения длины свободного пробега заряженных частиц. Описаны случаи кратковременного возмущения геомагнитного поля и параметров ионосферы. Сообщалось о нарушениях радиосвязи, сбоях работы ЭВМ, самопроизвольном зажигании люминесцентных ламп [3].

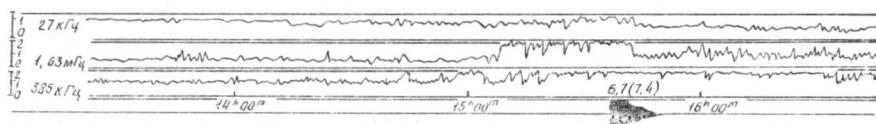


Рис. 1. Регистрограмма огибающей уровня ЭМИ на разных частотах перед Иранским землетрясением и последующими афтершоками

Основные особенности проявления электромагнитных явлений: землетрясения происходили после окончания аномалии или на ее спаде, характерный период аномалий — часы, сутки.

В нашей стране в течении ряда лет проводится изучение нового физического предвестника — высокочастотного электромагнитного излучения. В настоящее время этот метод прошел экспериментальную проверку в различных сейсмоактивных регионах нашей страны и за рубежом. [3, 4, 5]. Регистрируемый сигнал имеет импульсный характер, что указывает на целесообразность его изучения в широком диапазоне радиочастот. На рис. 1 приведен участок регистрограммы огибающей электромагнитного излучения на частотах $f_1 = 27$ ГГц, $f_2 = 385$ кГц, $f_3 = 1,63$ МГц, во время сильнейшего землетрясения в Иране 16. IX. 78 г. в 15^h 35' 50,5" GMT. Координаты землетрясения 33,24°N, 57,45°E. Магнитуды 7,4 MLN; 6,8 MPV (A). Очаг землетрясения находился в поверхностных слоях земной коры. Отличительной особенностью данного события является факт регистрации электромагнитного излучения на расстоянии около 1200 км от эпицентра [4].

Интенсивность излучения приведена в отношении уровня сигнала к фону. В предшествующее землетрясению время отмечен устойчивый уровень фона на выбранных частотах. За 55

мин. до землетрясения было отмечено резкое возрастание интенсивности излучения одновременно на всех регистрируемых частотах. С окончанием наиболее интенсивной фазы землетрясения уровень сигнала на частотах 27 и 1630 кГц резко уменьшился, а интенсивность сигнала на частоте 385 кГц оставалась повышенной. В целом повышенный уровень интенсивности ЭМИ наблюдался более 6 часов, наибольшая продолжительность аномалии зафиксирована на частоте 385 кГц. В этот период, кроме основного толчка, произошло пять афтершоков с магнитудами 4,7—4,9. Возмущения ЭМИ регистрировались в зоне проявления предвестника, составляющей в радиусе 1600 км для события с $M = 7,4$.



Рис. 2. Изменение уровня ЭМИ на обсерватории Сугадайра (Япония) перед землетрясением 31 марта 1980 г. (частота 81 кГц)

Работа по изучению высокочастотного электромагнитного предвестника землетрясений в дальнейшем проводилась также в одном из наиболее сейсмоактивных регионов планеты — на Японских островах в рамках научно-технического сотрудничества между ИФЗ АН СССР, Токийским Университетом электрокоммуникаций и университетами Токио и Киото. С японской стороны в организации наблюдений принимали участие Т. Ёшино, Т. Юкитаки и Т. Огава.

Измерения проводились в обсерватории Сугадайра на частоте 81 кГц.

В период наблюдений произошло два землетрясения, существенно отличающихся по своим параметрам. Первое, коровое, произошло 30 марта 1980 г. в 01^h 20' IST с магнитудой 4. Эпицентр землетрясения находился на расстоянии около 40 км. 31 марта 1980 г. в 19^h 33' произошло глубокофокусное землетрясение на глубине 480 км с магнитудой 7. Эпицентральное расстояние составило 250 км.

На наземной станции за 30 минут до глубокофокусного землетрясения зарегистрировано аномальное увеличение интенсив-

ности фона на 15 dB. Аномалия фона имела четкие границы возникновения и окончания рис. 2. В комплекс наблюдений обсерватории Сугадайра включены измерения в диапазоне 100 гц — 20 кгц интенсивности ОНЧ-излучения, проводимые сеансами длительностью 80с в периоды 20^м—21^м 20^с и 50^м—51^м 20 минут каждого часа. Время возникновения аномалии совпало с одним из сеансов измерения ОНЧ-излучения. Анализ показал, что интенсивность фона 31 марта 1980 г. в период 19^ч 20' — 19^ч 21' 20 была повышенной. Кроме того наблюдалось появление необычных волновых пакетов импульсного характера в низкочастотной области спектра (меньшей 1,5 кгц).

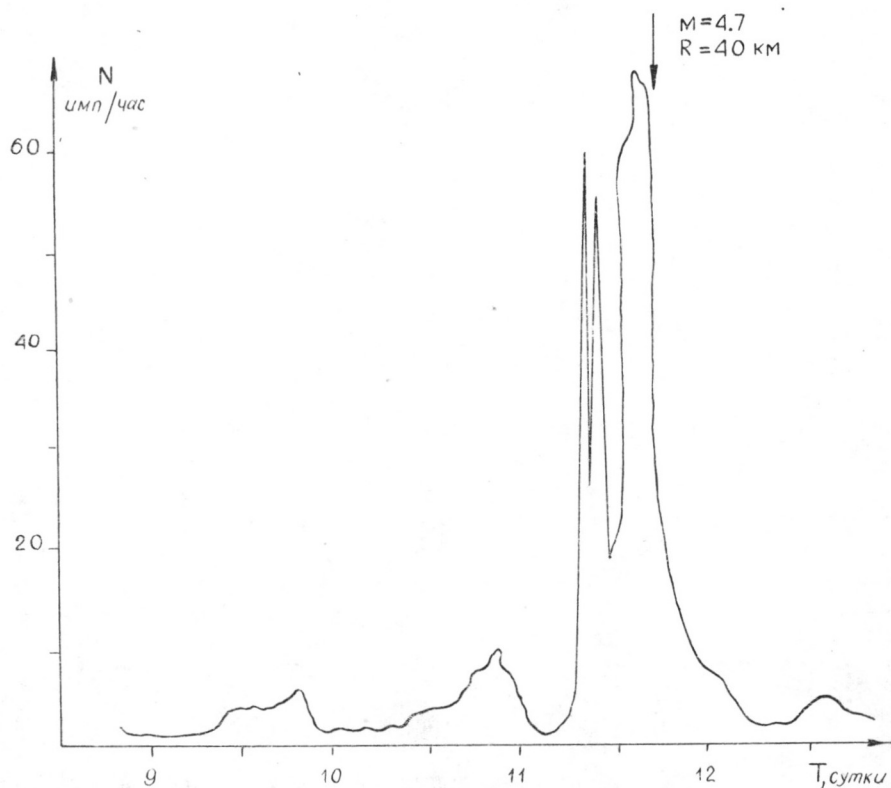


Рис. 3. Увеличение числа импульсов ЭМИ перед землетрясением 12 января 1974 г.

Отличительной особенностью этих наблюдений является появление предвестника при подготовке глубокофокусного землетрясения [5]. В качестве дополнительной иллюстрации приведем данные из работы [3] о возмущении ЭМИ перед одним из землетрясений в Узбекистане. Рис. 3.

Конечно, естественным было связывать природу источников электромагнитных явлений с возбуждением в области подготовки землетрясений локальных механоэлектрических преобразователей (МЭП), основанных на эффекте Степанова, электризации при трении и разрушении, электрокинетических явлениях, пьезоэлектрическом эффекте и др. В таких локальных МЭП возникают те же самые внешние эффекты, что и перед землетрясениями. Действительно, локальное разделение зарядов и их последующая релаксация сопровождаются возбуждением электрических полей, электромагнитного излучения, световых явлений. Это послужило предпосылкой для переноса лабораторных эффектов на область подготовки землетрясений [6].

Однако, оценки показывают [7], что наблюдаемые явления электромагнитной природы в атмосфере нельзя объяснить произвольной совокупностью локальных МЭП. Основные затруднения обусловлены прежде всего низким сопротивлением верхних слоев земной коры — $10 - 10^4$ Ом. Это исключает возможность накопления разделенных зарядов и существенно ограничивает прохождение высокочастотной части спектра электромагнитного излучения из глубинных слоев в атмосферу. Для объяснения электромагнитных полей в низкочастотной области спектра также имеются трудности. Даже при благоприятной ориентации и синхронности действия локальных МЭП их интегральные поля существенно ниже наблюдаемых. Кроме того, из-за малого времени релаксации зарядов в МЭП, а оно обусловлено в основном электрофизическими характеристиками среды и составляет $10^{-7} - 10^{-2}$ сек., открытым остается вопрос об условиях, обеспечивающих непрерывное воспроизводство источников.

По нашему мнению, объяснение природы электромагнитных предвестников следует связывать с возможностями формирования в процессах подготовки крупномасштабных источников с равномерно распределенными и синхронно работающими в них множеством МЭП.

Практически можно обсуждать две возможные конструкции источников: 1. Разделенные на большие расстояния электрические заряды. Эффекта можно ожидать от системы зарядов, разделенных на километры и более, при величине накопленных зарядов в сотни кулон. Однако, механизмы разделения на такие расстояния и накопления зарядов в горной среде нам пока не известны. 2. Конструкция „организующая“ протяженные электрические токи, причем эта конструкция должна быть составной частью области подготовки. Рассмотрим возможности формирования последней конструкции.

В [8] предложена модель подготовки землетрясений, учитывающая реальные свойства земной коры: блоковость строения, существование постоянно действующих касательных напряжений, направленное и долговременное перемещение блоков и, как следствие этого, текстурированность границ блоков. В модели

рассматриваются три основные фазы: фаза регулярного состояния среды, фаза консолидации и фаза разрушения. Регулярное состояние среды характеризуется непрерывным деформированием преимущественно по границам блоков, кратковременными локальными зацеплениями и их разрушением, создающими фоновую сейсмичность. В отдельных случаях между блоками возникает устойчивое зацепление, размеры которого растут — фаза консолидации. Так в земной коре подготавливается „образец“ для разрушения. Естественным признаком фазы консолидации являются характеристики сейсмического режима — область консолидации является зоной сейсмического затишья. По достижении консолидированной областью критического состояния начинается ее разрушение — фаза разрушения. Разрушение происходит, как правило, по более слабым, текстурированным границам. И включает в себя процессы лавинного нарастания числа трещин, их взаимодействие, слияние, образование стартовых трещин и магистральный разрыв.

Электромагнитные предвестники можно ожидать на заключительной стадии подготовки землетрясений — в фазе разрушения. В фазе разрушения активизируется множество МЭП, ориентированных по направлению текстуры деформации, и появляются условия для их непрерывного воспроизводства при перераспределении напряжений. Непосредственно с процессом разрушения связано возбуждение преобразователей дислокационной природы. Их суммарное и синхронное возбуждение в текстурированных областях эквивалентно импульсам электрического тока в протяженном контуре. С возбуждением такого пульсирующего источника тока можно связывать появление электромагнитных предвестников.

Плотность тока в источнике дислокационной природы может быть значительной. При плотности дислокаций 10^9 — 10^{12} $1/\text{м}^2$, линейном заряде дислокаций 10^{-10} — 10^{-14} Кл/м, скорость дислокаций 100—1000 м/с, — плотности тока лежат в интервале 10^{-3} — 10^4 А/м².

На рисунке 4 показана схема возбуждения электромагнитных предвестников. Показан токовый источник — область будущего разрыва и соответствующие ему токи проводимости в земной коре и токи смещения в атмосфере. Отметим, что из-за скин — эффекта диапазон частот электромагнитных полей, излучаемых источником в атмосфере; ограничен предельной частотой около 10^3 Гц. Как видно из схемы проявление возмущений атмосферного электрического потенциала, электротеллурического поля, геомагнитного поля и параметров ионосферы весьма локально. Оценки показывают, что электрические поля рассматриваемого источника могут превысить пробойные поля в верхних слоях атмосферы. Следовательно, область пробоев будет источником световых эффектов и электромагнитного излучения в широком диапа-

зоне частот. Возможность регистрации излучения определяется условиями распространения в волноводе земля — ионосфера. Для целей оперативного прогноза, по-видимому, наиболее перспективно исследование возмущений естественного электромагнитного излучения.

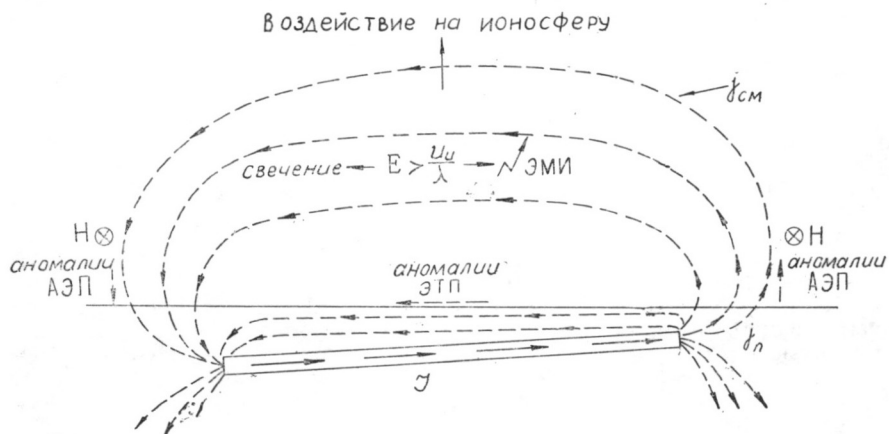


Рис. 4. Токи и электрические поля, возбуждаемые в мегаструктурах

В заключении обратим внимание, что приведенные в [4] оценки позволяют сделать вывод о возможности выхода на поверхность интенсивных электромагнитных эмиссий. В этом случае наибольшей интенсивности сигнала следует ожидать над разрезами с большими удельными сопротивлениями вблизи эпицентральной области. Для решения вопроса о местонахождении источника излучений необходима постановка наблюдений не только с разнесением станций по поверхности, но и со значительным углублением приемных устройств при учете геологического строения региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовский М. А., Нерсесов И. Л. Вопросы прогноза землетрясения. Изв. АН СССР. Физика Земли, 1978, № 9, с. 13.
2. Мячкин В. И. Процессы подготовки землетрясений. М.: Наука, 1978.
3. Электромагнитные предвестники землетрясений. Москва, Наука, 1982 г., стр. 89.
4. М. Б. Гохберг, В. А. Моргунов, Е. Л. Аронов. О высокочастотном электромагнитном излучении при сейсмической активности. ДАН СССР, 1979, т. 248, № 5, с. 1077—1081.

5. М. Б. Гохберг, В. А. Моргунов, Т. Ешино, Т. Огава. Результаты регистрации оперативного электромагнитного предвестника землетрясений в Японии. Изв. АН СССР, Физика Земли № 2, с. 85—97.
6. Воробьев А. А. Физические условия залегания и свойства глубинного вещества. (Высокие электрические поля в земных недрах). Томск, 1975.
7. Гохберг М. Б., Гуфельд И. Л., Добровольский И. П. Источники электромагнитных предвестников землетрясений. ДАН СССР, 1980, т. 250, с. 323.
8. Гуфельд И. Л., Добровольский И. П. Модель подготовки корового землетрясения. ДАН СССР, 1981, т. 260, с. 51.

M. B. GOHBERG, I. L. GUFELD, V. A. MORGUNOV

OPERATIVE ELECTROMAGNETIC PRECURSORS OF EARTHQUAKES
AND THEIR NATURE

Summary

In the paper the results of experiments and the possible sources of electromagnetic precursors are discussed. During a number of years the new physical precursors are studied in our country — high frequency electromagnetic emission. Nowadays the method was tested in different seismic regions inside the country and abroad. The signal is in form of pulses supposed to be registered in a wide band of radio frequency.

The explanation of nature of the electromagnetic precursors are to scan sources of a number of synchronised mechanical-electrical transformers, which produce the electric current impulses in a large-scale line in the crust.

Mihail B. GOHBERG
Josif L. GUFELJD
Vitalij A. MORGUNOV

EFIKASNI ELEKTROMAGNETNI PREDSKAZIVAČI
ZEMLJOTRESA I NJIHOVA PRIRODA

Rezime

U ovom radu razmatraju se rezultati prirodnih pojava i mogući izvori elektromagnetnih predskazivača.

U našoj zemlji već nekoliko godina ispituje se novi fizički predskazivač — visokofrekventno elektromagnetno zračenje. Sada je taj metod prošao eksperimentalna ispitivanja u različitim seizmoaktivnim regionima u našoj zemlji i inostranstvu. Signal koji se može registrovati ima impulsivan karakter, što ukazuje na opravdanost njegovog proučavanja u širokom dijazonu radiofrekvencija.

Objašnjenje svojstava elektromagnetnih predskazivača treba dovoditi u vezu sa mogućnostima formiranja, u početnim procesima, značajnih uzročnika s ravnomjerno raspoređenim i sinhrono djelujućim u njima mnoštvom MEP.

Njihovo sumarno i sinhrono djelovanje u teksturiranim oblastima ekvivalentno je impulsima električnog toka u izduženoj konturi. S aktivnošću takvog pulsirajućeg izvorišta toka može se dovesti u vezu i pojava elektromagnetnih predskazivača.