**Некоторые особенности проявления аномалий электрического поля в приземной атмосфере перед землетрясениями**

О. П. Руленко

С помощью корреляционно - регрессионного анализа рассмотрено наличие линейной зависимости времени возникновения двух типов наблюдаемых аномалий электрического поля от магнитуды землетрясения и эпицентрального расстояния. Оценено среднее значение коэффициента тензочувствительности аномалий поля первого типа, которое равно 4.108. Установлено, что физический процесс, вызывающий появление аномалий обоих типов, протекает в эпицентре примерно за 30 часов - 1 час до землетрясения.

Состояние вопроса. К настоящему времени в различных сейсмоактивных регионах мира зарегистрированы аномальные изменения электрического поля в приземной атмосфере, возникающие за первые десятки часов - первые часы перед землетрясениями в зоне подготовки [16]. Вместе с другими предвестниками такого же масштаба времени они могут использоваться для изучения процессов, протекающих на заключительной стадии подготовки землетрясений, и оперативного прогноза. Для этого необходимо знать особенности проявления данных аномалий, которые не изучены.

Главной задачей при изучении любого предвестника землетрясений и использовании его в эмпирическом прогнозе является установление связи времени возникновения предвестника Т (интервала времени от момента его появления до момента землетрясения) с энергией землетрясения и эпицентральным расстоянием R. С помощью этой связи, используя несколько станций, можно определить энергию готовящегося землетрясения и координаты его эпицентра [19,20]. В работе [15] на сводном графике предвестников различной физической природы по 9 случаям наблюдений впервые, как известно автору, рассмотрена зависимость Т аномалий градиента потенциала электрического поля в приземной атмосфере от энергии землетрясения. Однако, кроме констатации факта, что эти аномалии являются краткосрочными предвестниками, других выводов не сделано. В [7] по 11 случаям наблюдений аномалий градиента потенциала электрического поля установлена линейная корреляционная зависимость lgТ этих аномалий от энергетического класса землетрясения К, а в [6] - от магнитуды землетрясения М. Связь между Т и R для сейсмоаномальных изменений электрического поля в приземной атмосфере до настоящего времени не рассматривалась.



В [15] были использованы только данные работы [2], а в [6,7] - в основном данные работы [2], которые получены в Средней Азии. Однако со времени опубликования [2] (1954 г.) появились новые результаты наблюдений аномальных изменений напряженности электрического поля Е в приземной атмосфере перед землетрясениями, полученные в различных сейсмоактивных регионах. Анализ мировых литературных данных, проведенный в [16], показал, что регистрируемые перед землетрясениями на фоне нормального или близкого к нему атмосферного электрического поля аномалии Е по форме можно разделить на два основных типа. Аномалии первого типа имеют бухтообразную отрицательную форму, а второго - форму пакета колебаний с некоторым набором частот. Установлены механизмы образования этих аномалий: соответственно квазистатический газоэлектрический и динамический механоэлектрический. Первый механизм связан с увеличением содержания в приземном воздухе основного естественного ионизатора 222Rn в результате увеличения его потока с поверхности земли и возникновением известного в атмосферном электричестве явления образования отрицательного объемного электрического заряда ("реверс электродного эффекта"). Второй механизм связан с совокупностью существующих односторонних и возвратно-поступательных движений сторон разломов, которые сопровождаются механоэлектрическими преобразованиями энергии и появлением в зоне разлома отличного от нуля суммарного электрического момента. Причиной возникновения обоих механизмов образования аномалий Е является усиление деформирования приповерхностных слоев земной коры в зоне подготовки землетрясения.

Разные механизмы образования аномалий электрического поля каждого типа должны вызвать разные особенности их проявления. В отмеченных же выше работах [6,7] данные анализировались без разделения аномалий поля на два типа. Одной из причин этого было то, что в [2], откуда взята основная часть данных, регистрировались абсолютные значения градиента потенциала электрического поля, которые не позволяют выделять аномалии первого типа. Кроме того, большая часть данных в работе [2] получена для сильных повторных толчков катастрофического Хаитского землетрясения 10.07.1949 г. Нас же интересуют особенности проявления аномалий электрического поля при подготовке главного события без учета его афтершоков, поэтому данные [2] нами не рассматривались.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 1 |

**Анализ данных.**

Учитывая вышесказанное, рассмотрим связь времени возникновения Т аномалий напряженности электрического поля Е каждого типа с магнитудой землетрясения М и эпицентральным расстоянием R. Данные взяты из работ [4,9,13,17,18,21-24]. Число случаев регистрации аномалий Е первого типа равно 11, а второго - 9. Если аномалия Е появлялась перед землетрясением два раза [9], то рассматривалась только первая аномалия, как фиксирующая момент попадания пункта наблюдения в зону пространственно-временного влияния очага готовящегося землетрясения. Если же аномалия Е наблюдалась перед двумя землетрясениями с близкорасположенными очагами, и второе землетрясение, имевшее большую энергию, происходило через несколько часов после первого [22,24], то в качестве репера бралось первое землетрясение, как указывающее в некотором приближении на окончание заключительной стадии подготовки этих землетрясений. Соотношение между К и М учитывалось по известной формуле Гутенберга К = 1,5М + 4,8. Для выяснения наличия, оценки тесноты и формы связи Т с М и R использовался корреляционно-регрессионный анализ. Ввиду небольшого числа данных и их значительного разброса рассматривалась гипотеза о линейной связи Т с М и R как первое приближение к возможной реальной связи. Анализ данных проводился с помощью системы STATISTICA [3].



Коэффициент корреляции r вычислялся для самих пар величин (Т, М), (Т, R) и разных сочетаний их преобразований: (lgТ, М), (lgТ, R), (lgТ, lgR), (Т, lgR). Пара величин или сочетание преобразований, для которых будет наибольшее значение , является той комбинацией, которой соответствует наиболее сильная линейная связь. Для Т и М это наблюдалось при рассмотрении зависимости lgТ от М, что понятно, поскольку М пропорциональна десятичному логарифму энергии землетрясения. Наибольшее значение для Т и R было у зависимости Т от R. Поэтому в дальнейшем рассматривались регрессионные модели вида



lgТ = а0 + a1М + , (1)



Т = b0 + b1R + , (2)



где а0,а1, b0, b1 - константы; - остаточная компонента.



На рис.1 представлены зависимости lgТ от М, Т от R и соответствующие прямые линии регрессии, а в табл.1 даны оценки параметров линейной корреляционной связи lgТ с М и Т с R для аномалий Е каждого типа.



Таблица 1. Оценки параметров линейной корреляционной связи lgТ с М и Т с R для аномалий напряженности электрического поля первого (А) и второго (Б) типа



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Связь | | | |
| lgТ с М | | Т с R | |
| А | Б | А | Б |
| p  a0  a1  b0  b1  F | 0,22  0,506  0,31  0,07  0,48  0,28 | - 0,65  0,059  2,01  - 0,29  5,09  0,45 | 0,13  0,693  4,91  0,006  0,17  2,94 | - 0,72  0,027  19,32  - 0,11  7,71  7,35 |

Примечание. - выборочный коэффициент корреляции; p - уровень значимости нулевой гипотезы; a0, a1, b0, b1 - константы в (1) и (2); F - критерий Фишера в дисперсионном анализе модели регрессии; - стандартная ошибка оценки.



Как видно из табл.1, статистически значимая линейная связь есть только между Т и R для аномалий Е второго типа, где p = 0,027 и F принимает самое большое значение, равное 7,71. Эта связь имеет вид



Т2, ч = 19,32 - 0,11R, км (3)



С надежностью 0,95 истинный коэффициент корреляции в данном случае -0,93 < 0 < -0,08. Границы доверительного интервала определены по методике Фишера [1], используемой при малом объеме выборки. Большая ширина этого интервала обусловлена малым числом данных, которое содержит малую информацию о 0.



Согласно (3), время возникновения аномалий Е второго типа уменьшается с увеличением R, т. е. фронт этого предвестника движется от эпицентра готовящегося землетрясения. Такая пространственно-временная особенность проявления свойственна некоторым предвестникам землетрясений, в частности - деформации земной поверхности [20]. Последнее, вместе с деформационной природой аномалий Е, служит дополнительным доказательством реальности связи Т2 с R. В данном случае получена самая большая стандартная ошибка оценки = 7,35, которая является несмещенной оценкой стандартного отклонения остаточной компоненты. Вероятно Т2 зависит еще от М, о чем свидетельствует близкая к значимой (p = 0,059) обратная связь lgТ2 с М, однако малое число данных не позволяет выразиться значимо этой связи. Не исключено также, что Т2 зависит нелинейно от R.



Время возникновения аномалий Е первого типа не завиcит от R (см. рис.1,б; табл.1), т. е. данные аномалии появляются одновременно во всей зоне проявления. С надежностью 0,95 это время, оцененное по значению в эпицентре землетрясения (R = 0), находится в интервале 1,2 < Т10 < 8,6 ч. С такой же надежностью время возникновения аномалий Е второго типа в эпицентре землетрясения 8,9 < Т20 < 29,7 ч. Видно, что интервальные оценки Т10 и Т20 имеют близкие верхнюю и нижнюю границы. Поэтому можно говорить о едином интервале времени, существующем примерно за 30 часов - 1 час до землетрясения, в котором в эпицентре протекает процесс, вызывающий появление аномалий электрического поля в зоне подготовки. При этом в эпицентре сначала возникают аномалии второго, а затем - первого типа. Поскольку оба типа аномалий поля имеют одинаковую (деформационную) природу, это будет один и тот же физический процесс. Наиболее вероятно, что им является ускоренная ползучесть горных пород, возникающая в очаге готовящегося землетрясения за первые десятки часов - первые часы до его момента и вызывающая резкое увеличение скорости деформирования пород в зоне подготовки, что приводит к появлению различных оперативных предвестников [10-12,14].



Аналогично работе [8], в которой рассмотрен коэффициент тензочувствительности аномалий кажущегося электрического сопротивления горных пород перед землетрясениями, рассмотрим коэффициент тензочувствительности аномалий электрического поля первого типа a, так как для них можно определить относительное изменение напряженности поля Е. Под a будем понимать степень уменьшения Е при деформации приповерхностного слоя земной коры в точке наблюдения

, (4)



где |Е|/Е, / - относительное уменьшение напряженности поля и относительная деформация приповерхностного слоя земной коры. Знак модуля стоит потому, что минимальное значение Е во время аномалии бывает часто отрицательным, т. е. происходит изменение знака поля. Значения |E|/E оценивались по данным работ [9,13,18]. Число случаев регистрации аномалий Е равно 9. Для оценки значений / использовались формулы из работы [5]:



при М < 5, (5)



при М > 5. (6)



Зависимость lg от М и R вместе с прямыми линиями регрессии приведена на рис.2, в табл.2 даны оценки параметров линейной корреляционной связи lg с М и R.



Таблица 2. Оценки параметров линейной корреляционной связи lg с М и R для аномалий напряженности электрического поля первого типа



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | Связь | |
| lg с М | lg с R |
| p  F | - 0,61  0,081  4,16  0,87 | 0,19  0,625  0,26  1,08 |

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2 |

Примечание. Обозначение параметров см. в таблице 1.

Согласно табл.2, статистически значимой линейной связи lg с М и R нет (p = 0,081 и 0,625, имеет малые значения). Среднее значение a равно 4.108. Оно на два порядка больше значения коэффициента тензочувствительности аномалий кажущегося электрического сопротивления горных пород, равного 1.106 [8], которое, как и в нашем случае, является средним для различных сейсмоактивных регионов. Большое значение a у аномалий Е первого типа обусловлено, по мнению автора, высокой тензочувствительностью явления, которое лежит в основе механизма образования этих аномалий. Данное явление, известное в атмосферном электричестве как "реверс электродного эффекта", наблюдается широко в асейсмичных регионах [16], где скорость деформирования приповерхностного слоя земной коры под действием тектонических сил значительно меньше, чем при подготовке землетрясения.



**Выводы.**

1. Время возникновения аномалий напряженности электрического поля Е первого типа и коэффициент их тензочувствительности не зависят от магнитуды землетрясения М и эпицентрального расстояния R. Среднее значение коэффициента тензочувствительности этих аномалий на два порядка больше среднего значения коэффициента тензочувствительности аномалий кажущегося электрического сопротивления горных пород.

2. Время возникновения аномалий Е второго типа зависит предположи-тельно от М и зависит значимо от R: с увеличением М и R это время уменьшается.

3. Физический процесс, вызывающий появление аномалий Е обоих типов, протекает в эпицентре готовящегося землетрясения примерно за 30 часов - 1 час до его момента. Сначала здесь возникают аномалии второго, а затем - первого типа. Наиболее вероятно, что этим процессом является ускоренная ползучесть горных пород в очаге готовящегося землетрясения.

**Список литературы**

1. Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1985. 487 с.

2. Бончковский В. Ф. Изменения градиента электрического потенциала атмосферы как один из возможных предвестников землетрясений // Тр. Геофиз. ин-та АН СССР. М., 1954. N 25(152). С. 192-206.

3. Боровиков В.П., Боровиков И. П. STATISTICA - Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М.: Филинъ, 1998. 608 с.

4. Воробьев А. А., Ремизов В. П. Изменение электрического поля атмосферы как возможный предвестник землетрясений // Электромагнитные поля в биосфере. Т. 1. М.: Наука, 1984. С. 311-315.

5. Добровольский И. П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР. 1984. 189 с.

6. Зубков С И. Времена возникновения предвестников землетрясений // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1987. N 5. С. 87-91.

7. Зубков С. И., Мигунов Н. И. О времени возникновения электромагнитных предвестников землетрясений // Геомагнетизм и аэрономия. 1975. Т. XV. N 6. С. 1070-1074.

8. Идармачев Ш. Г., Абдулаев Ш.-С. О. Оценка тензочувствительности электрического сопротивления горных пород в сейсмоактивных регионах // Докл. РАН. 1998. Т. 361. N 5. С. 682-684.

9. Иманкулов А. Ч., Струминский В. И., Татаринов С. П. Результаты наблюдений аномальных вариаций напряженности электрического поля атмосферы перед землетрясениями // IV Всесоюз. симп. по атмосферному электричеству. Тезисы докладов. Нальчик, 1990. С. 34-35.

10. Моргунов В. А. Процессы ползучести в геомеханике // Докл. АН СССР. 1991. Т. 317. N 6. С. 1347-1352.

11. Моргунов В. А. Акустическая, электромагнитная эмиссии и деформационный процесс // Динамические процессы в геофизической среде. М.: Наука, 1994. С. 167-185.

12. Моргунов В. А. Реальности прогноза землетрясений // Изв. РАН. Физика Земли. 1999. N 1. С. 79-91.

13. Моргунов В. А., Матвеев И. В. Электрические и электромагнитные эффекты в эпицентральной зоне афтершоков Спитакского землетрясения // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1991. N 11. С. 124-128.

14. Моргунов В. А., Шахраманьян М. А. Задачи оперативного прогноза землетрясений // Докл. РАН. 1996. Т. 349. N 6. С. 818-821.

15. Мячкин В. И., Зубков С. И. Сводный график предвестников землетрясений // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1973. N 6. С. 28-32.

16. Руленко О. П. Оперативные предвестники землетрясений в электричестве приземной атмосферы // Вулканология и сейсмология. 2000. N 4. С. 57-68.

17. Руленко О. П., Дружин Г. И., Вершинин Е. Ф. Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед камчатским землетрясением 13.11.93 г., М=7,0 // Докл. РАН. 1996. Т. 348. N 6. С. 814-816.

18. Руленко О. П., Иванов А. В., Шумейко А. В. Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник камчатского землетрясения 6 III 1992, М=6,1 // Докл. РАН. 1992. Т. 326. N 6. С. 980-982.

19. Сидорин А. Я. Предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 192 с.

20. Соболев Г. А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.

21. Церфас К. Э. Явления атмосферного электричества, предшествующие землетрясениям // Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 года. Ташкент: Фан, 1971. С. 184-187.

22. Чернявский Е. А. Атмосферно-электрические и электро-теллурические явления при землетрясениях // Соц. наука и техника. 1936. N 12. С. 26-35.

23. Чернявский Е. А. Атмосферно-электрические предвестники землетрясений // Метеорология и гидрология в Узбекистане. Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1955. С. 317-327.

24. Bufe C., Nanevicz J. Atmospheric electric field observations, animal behavior, and earthquakes // Proc. EHRP Conf. I. 23-24 Sept. 1976. California. P. 95-106.