

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ НА КАМЧАТКЕ**Смирнов С.Э.***Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка
Камчатский край, sergey@ikir.ru***Введение**

В качестве предвестника землетрясений изменение поведения электрического поля отмечалось многими авторами. Пионером исследований атмосферного электричества в связи с землетрясениями, по-видимому, является А. Гумбольдт, который наблюдал в начале XIX в. с помощью электроскопа вариации атмосферного электричества во время землетрясений. Обобщение наблюдений аномалий электрического потенциала в 1924 г. в Джалал-Абаде (Киргизия), в 1946 г. в Ташкенте и в 1949 г. в Сталинабаде сделал Е.А. Чернявский. Этот эффект в наблюдениях был настолько устойчивым, что им была выдвинута гипотеза, что вообще общий заряд Земли обусловлен тектоническими процессами [19]. В различных сейсмически активных регионах мира, таких как Средняя Азия, Северный Кавказ и Закавказье, Камчатка, Япония, Китай и др., накануне землетрясений (ЗТ) с различным временем упреждения наблюдались аномалии в суточных вариациях квазистатического электрического поля в приземной атмосфере (см. например, [10]). Это послужило основанием использовать эти аномалии в целях прогноза землетрясений и положило начало интенсивному изучению аномалий. Однако эти наблюдения были либо эпизодическими, либо непродолжительными по времени. Это не позволило выделить особенности аномальных изменений E_z , таких как их временная форма и длительность, величина отклонения от фонового уровня, а также зависимость этих параметров от класса (магнитуды M) землетрясений и расстояний до их эпицентров.

Регулярные целенаправленные наземные наблюдения квазистатического электрического поля в атмосфере п-ова Камчатка начаты в 1996 г. в районе Паратунской гидротермальной системы Институтом космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН [13] и продолжают в настоящее время в геофизической обсерватории Паратунка ($\varphi = 52^\circ 58.3'N$, $\lambda = 158^\circ 15.02'E$) [3, 15]. В работе [8] приведен первый результат наблюдения аномалии квазистатического электрического поля перед сильным землетрясением с магнитудой $M = 6.1$. Оказалось, что на Камчатке, как и в Японии [22] и Китае [21], за несколько часов до ЗТ наблюдалась отрицательная аномалия E_z бухтообразной формы с резким передним фронтом и с последующим плавным возвращением к фоновому уровню в течение полутора часов. Подобный характер аномального изменения величины E_z перед ЗТ от нескольких часов до суток приведен в последующих публикациях группы исследователей ИКИР [2, 4, 5, 14, 26]. Вместе с тем был также зарегистрирован аномальный выброс E_z перед ЗТ с магнитудой $M = 7.0$ положительной полярности [9].

Создание специализированного программно-аппаратного комплекса [13, 3, 15] позволило непрерывно регистрировать одновременно, кроме квазистатического электрического поля, также геомагнитные, электромагнитные и метеорологические параметры, необходимые для решения задач выделения краткосрочных и оперативных предвестников ЗТ [2]. Первые результаты статистического анализа особенностей аномальных вариаций E_z за период 1997–2000 гг. опубликованы в кратком сообщении [14]. Ниже приведены результаты подобных исследований за более продолжительный период: с 1 января 1997 г. по 31 декабря 2002 г. Предварительные результаты этих исследований опубликованы в работе [16].

Целью настоящей работы является более полный статистический анализ таких параметров E_z , как величина ослабления при переходе через нуль, длительность аномалии, зависимость этих параметров от класса (магнитуды) ЗТ и от расстояния до эпицентра от пункта регистрации. Рассмотрены только отрицательные аномалии, т.е. отклонения E_z в отрицательную область от положительного суточного хода в интервале времени 24 ч до ЗТ.

Метод регистрации

Наземные измерения квазистатического электрического поля E_z в атмосфере относятся к числу очень тонких экспериментов. Суточный ход E_z , кроме проявления УТ-вариации, подвергается воздействию локальных различных источников. Это и грозы, и низкая слоисто-

дождевая облачность, осадки в виде дождя и снега, иней, изморось, сильные ветры [19]. Поэтому для выделения эффектов сейсмической природы измерения E_z необходимо проводить в так называемых нормальных условиях (при умеренных метеорологических условиях) или в условиях хорошей погоды при полном отсутствии метеорологических факторов. К сожалению, даже нормальные условия на п-ове Камчатка реализуются нечасто в силу его географического положения и близости Тихого океана. В обсерватории Паратунка в качестве датчиков вертикальной составляющей атмосферного квазистатического поля используются флюксометры «Градиент-М2» и «Поле-2М», входящие в программно-аппаратный комплекс. Выборка данных проводилась с осреднением 10 мин. Одновременно проводился контроль за метеопараметрами (давлением, температурой, силой и направлением ветра, осадками и облачностью). Образцы суточных вариаций E_z в условиях хорошей погоды, а также при осадках приведены в работах [2, 4-6]. Как следует из этих работ, в условиях хорошей погоды для суточного хода E_z характерно наличие спокойного фонового уровня порядка +100-150 В/м в местное ночное время, с незначительным повышением $\Delta E \sim 100$ В/м в вечернее время и до 400-600 В/м в утренние часы. При осадках возможны отклонения E_z от среднего суточного хода порядка 100–500 В/м как в положительную, так и отрицательную область довольно хаотической формы. Возможны также более регулярные формы с переходом через нуль до $-1\ 000$ - $1\ 500$ В/м. Для аномальных изменений E_z перед ЗТ, как показали предыдущие публикации данных измерений на Камчатке, характерны преимущественно бухтообразные понижения величины поля с переходом через нуль. Для дальнейшей статистической обработки были отобраны данные только для дней с хорошей погодой. При этом исключались такие аномалии, когда до или после бухты наблюдалось повышение уровня E_z . За событие принималась ситуация, когда в интервале времени 24 ч после аномалии происходило одно или несколько ЗТ с эпицентрами в области с координатами 45° - 55° N, 155° - 165° E, включающей пункт регистрации E_z в зону подготовки ЗТ класса К от 11 до 15 ($M \cong 4.7$ - 6.7).

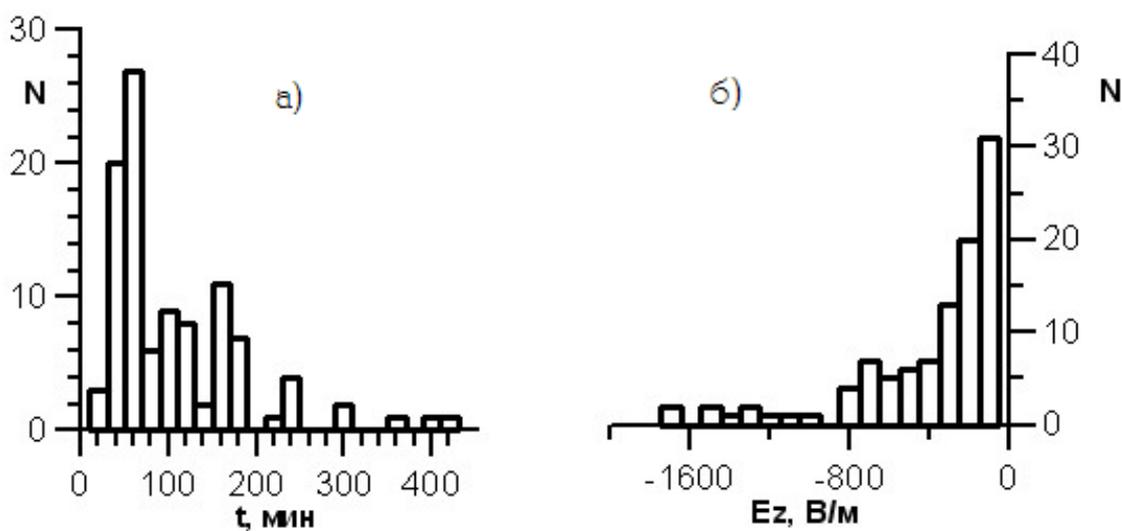


Рис. 1. Гистограмма распределения аномалий напряженности поля по длительности бухты (а) и по величине понижений напряженности в бухте (б).

Основные результаты

За период с 1 января 1997 г. по 31 декабря 2002 г. (т.е. за 2 189 дней) было обнаружено 103 случая аномального поведения компоненты E_z , в то время как в выделенной выше области произошло 409 ЗТ. В 37 (36%) случаях действительно происходили землетрясения после аномалии через 1-24 ч. Если число 103 принять за случайную выборку, то вероятность этих событий составляет величину $406/2189 \cdot 103 = 19$. Таким образом, вероятность ЗТ в 36% превышает случайную величину почти в два раза. Вероятность пропуска события пока невозможно оценить из-за того, что перед многими землетрясениями погода не удовлетворяла требованиям хорошей погоды. Были построены гистограммы распределения аномалий напряженности поля по длительности бухты (рис. 1а) и по величине понижения напряженности в бухте (рис. 1б). В качестве последней принималось минимальное значение E_z при интервале усреднения выборки 10 мин. Длительность аномалии определялась по уровню 9/10 от минимума бухты. Из рисунка видно, что наиболее вероятные длительности аномалии составляют величину 40-60 мин с

дополнительным максимумом ~ 160 мин, а величины понижения E_z – порядка $-100-300$ В/м. На рис. 2 показаны зависимости аномалий величины E_z в бухте от класса ЗТ (рис. 2а) и от расстояния от его эпицентра до пункта регистрации (рис. 2б). Рассчитанные коэффициенты этих величин соответственно равны 0.17 и 0.09, свидетельствуют практически об отсутствии связи между рассмотренными параметрами.

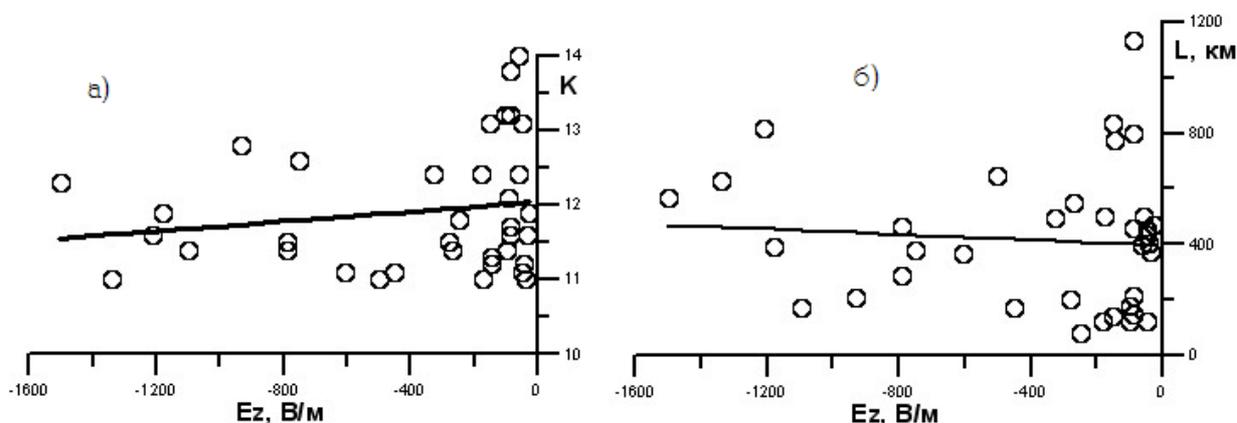


Рис. 2. Зависимость величины аномалий E_z в бухте от класса землетрясения (а) и от расстояния от его эпицентра до пункта регистрации поля (б).

Обсуждение

В работе рассмотрены статистические свойства отрицательных аномалий квазистатического электрического поля в атмосфере в пределах 24 ч до землетрясения. Эти аномалии по классификации [17] можно отнести к категории краткосрочных прогнозов. Для них, как указывалось, например, в работах [17, 23], отсутствует значимая связь между такими параметрами, как время опережения события, величина аномалии и магнитуда M землетрясений. Пространственные размеры зоны подготовки ЗТ не подчиняются эмпирическим формулам $r \sim e^M$ и $r \sim 10^{0.43M}$, пригодным для событий в долгосрочных прогнозах [12, 18]. Объясняется это наличием неоднородности напряженно-деформированных процессов в земной коре непосредственно перед землетрясениями, которая косвенно проявляется в мозаичной структуре различных геофизических параметров (см. например, [23]). Отсутствие значимой связи между величиной аномалии E_z с расстоянием до эпицентра и магнитудой ЗТ, показанной на рис. 2, по-видимому может быть связано с неоднородным по пространству выходом радона в атмосферу, основного агента изменения квазистатического электрического поля в приземной атмосфере [24]. Подобный эффект, т.е. отсутствие связи между расстоянием до эпицентра и магнитудой двух сильных ЗТ на Камчатке ранее наблюдалось в вариациях короткопериодических возмущений электротеллурического поля [17].

Что касается природы наблюдаемых на Камчатке аномалий квазистатического электрического поля перед ЗТ, то она до сих пор не ясна. В литературе предложено несколько моделей этого явления. Первые теоретические оценки вариаций E_z в приземной атмосфере в результате изменения концентрации радона были сделаны в работе [25]. Все последующие предложенные механизмы также предполагали в качестве главного агента, изменяющего проводимость приземной атмосферы и, следовательно, электрическое поле, радон [10, 11, 20]. Содержание его в земной коре и поступление в атмосферу тесно связано с состоянием деформационных процессов в поверхностных слоях Земли в период активного трещинообразования при подготовке ЗТ. Исключение составляет модель [7], в которой рассмотрено образование поляризованных зарядов на стенках трещин в горных породах, порождающих квазистатическое поле в атмосфере в дополнение к фоновой величине. В работе [1] выполнено математическое моделирование предвестников землетрясений в электрических полях (E_x , E_y , E_z). Показано, что модуль $|E_z|$ поля зависит от разности электрических проводимостей воздуха и земли. Последняя, в свою очередь, определяется проводимостью флюидов, заполняющих поры и трещины в горных породах. Как видно, указанные выше примеры различных моделей механизмов образования аномалий скорее отражают сложность быстропротекающих тектонических процессов в земной коре непосредственно перед ЗТ, но не дают окончательного ответа о природе этих аномалий. Наличие второго максимума в распределении длительности

аномалий (рис. 1а) может косвенно указывать на то, что механизм образования таких аномалий может быть не один.

Заключение

Статистический анализ 103 случаев бухтообразного понижения величины E_z -компоненты квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке показал следующее:

1. Наиболее вероятная длительность бухты составляет 40-60 мин, дополнительный максимум – 160 мин.
2. Наиболее вероятные понижения напряженности электрического поля составляют – 100-300 В/м. Аномалии величиной – 800-1 000 В/м наблюдались крайне редко.
3. Не обнаружена зависимость длительности бухты и величины понижения напряженности поля ни от класса (магнитуды) землетрясений, ни от расстояния до его эпицентра.
4. Вероятность появления землетрясений после аномалии в электрическом поле в пределах 24 ч составляет величину ~ 36%.

Список литературы

1. Алексеев А.С., Аксенов В.В. Об электрическом поле в очаговой зоне землетрясений // ДАН. 2003. Т.392. №1. С. 106-110.
2. Бузевич А.В., Смирнов С.Э. Связь солнечной активности с медленными вариациями магнитного и электрического полей с сильными камчатскими землетрясениями // Тез. докл. Междунар. конф. «Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений», с. Паратунка, Камчатская область, 18-21 августа 1998 г. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 1998. С. 13.
3. Бузевич А.В., Смирнов С.Э., Филимонов В.И., Фирстов П.П. Специализированный аппаратно-программный комплекс (АПК) сбора и обработки геофизической информации обсерватории Паратунка // Тез. докл. Междунар. конф. «Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений», с. Паратунка, Камчатская область, 18-21 августа 1998 г. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 1998. С. 36-38.
4. Бузевич А.В., Чернева Н.В., Бабаханов И.Ю., Смирнов С.Э. Связь вариаций геомагнитного и атмосферного электрического полей с сейсмичностью на фоне гелиомагнитосферных и атмосферных процессов // Сб. научн. трудов Пятой Российской конференции по атмосферному электричеству. Владимир: Изд-во Транзит ИКС, 2003. Т.2. С. 72-75.
5. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Депенева А.Х., Бузевич А.В., Дружин Г.И., Смирнов С.Э., Фирстов П.П. Вариации различных атмосферно-ионосферных параметров в периоды подготовки землетрясений на Камчатке: предварительные результаты // Геомагнетизм и аэрономия. 2002. Т.42. №6. С. 805-813.
6. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Бузевич А.В., Смирнов С.Э. Вариации спектров мощности электрического поля приземной атмосферы на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. 2003. Т.43. №3. С. 750-758.
7. Моргунов В.А., Мальцев С.А. Модель квазистационарного электрического поля литосферного природы // Сб. научн. трудов Пятой Российской конференции по атмосферному электричеству. Владимир: Изд-во Транзит ИКС, 2003. Т.2. С.59-61.
8. Руленко О.П., Иванов А.В., Шумейко А.В. Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник камчатского землетрясения 6 марта 1992, $M = 6.1$ // Докл. РАН. 1992. Т.326. №6. С. 980-982.
9. Руленко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф. Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед камчатским землетрясением 13.11.1993 г., $M = 7.0$ // Докл. РАН. Т.348. 1996. №6. С. 814-816.
10. Руленко О.П. Оперативные предвестники землетрясений в электричестве приземной атмосферы // Вулканология и сейсмология. 2000. №4. С. 57-68.
11. Руленко О.П. Тензочувствительность предсейсмических отрицательных аномалий электрического поля в приземном воздухе // Сб. научн. трудов Пятой Российской конференции по атмосферному электричеству. Владимир: Изд-во Транзит ИКС, 2003. Т.2. С.82-85.
12. Сидорин А.Я. Зависимость времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния // ДАН СССР. 1979. Т 245. №4. С. 825-828.
13. Смирнов С.Э., Филимонов В.И. Создание аппаратно-программного комплекса сбора геофизической информации магнитной обсерватории «Паратунка» // Тез. докл. научно-техн. конф. профессорско-преподавательского состава и сотрудников ПКВМУ. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Петропавловск-Камчатского высшего морского училища, 1997. С. 17-18.
14. Смирнов С.Э. Аномалии поведения напряженности электрического поля перед землетрясениями по наблюдениям магнитной обсерватории Паратунка за 1997- 2000 гг. // Тез. докл. II Междунар. конф. "Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений", с. Паратунка, Камчатская область, 14-19 августа 2001 г. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2001. С. 48-49.
15. Смирнов С.Э. Специализированный программно-аппаратный комплекс геофизической обсерватории

Паратунка // Сб. докл. школы-семинара «Метрологические основы магнитных наблюдений Сибири и Дальнего Востока», с. Паратунка, Камчатская область, 11-16 августа 2003 г. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2003. С. 8-11.

16. Смирнов С.Э. Аномалии поведения напряженности электрического поля перед землетрясениями по наблюдениям магнитной обсерватории Паратунка за 1997-2002 годы // Сб. научн. трудов Пятой Российской конференции по атмосферному электричеству. Владимир: Изд-во Транзит ИКС, 2003. Т.2. С. 72-75.

17. Соболев Г.А., Морозов В.Н. Локальные возмущения электрического поля на Камчатке и их связь с землетрясениями // Физические основы поисков методов прогноза землетрясений. М.: Наука, 1970. С. 110-121.

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

19. Чернявский Е.А. К вопросу о методике вывода суточного хода атмосферно-электрического потенциала // Информ. сб. по земному магнетизму и электричеству. М.: Гидрометеорологическое изд-во, 1937. С. 82-86.

20. Шулейкин В.Н. Атмосферное электричество и физика Земли. М.: Институт проблем нефти и газа РАН. 2006. 159 с.

21. Hao Jian-Guo, Tang Tian-Ming, Li De-Rui. A kind of information on short-term and imminent earthquake precursors: - research on atmospheric electric field anomalies before earthquakes// Acta Seismologica Sinica. 1998. V.11.N.1. P. 121-131.

22. Kondo G. The variation of the atmospheric electric field at the time of earthquake// Kakioka Magnet. Observ.Mem. 1968. V.13. N1. P. 11-23.

23. Morgounov V.A. Slip weakening, strain and short-term preseismic disturbances// Annals Geophys. 2004. V.47. N1. P. 133-149.

24. Outkin V.I., Yurkov A.K., Krivashev S.V., Chi-Yu King. Radon behavior in connection with rock bumps (shocks) in deep mines and tectonic earthquakes. Yekaterindurg: RAS Ural's Branch. Institute of Geophysics. 1997. 17 p.

25. Pierce E.T. Atmospheric electricity and earthquake prediction // Geophys. Res. Lett. 1976. V.3. N3. P.185-188.

26. Vershinin E.F., Buzevich A.V., Yumoto K., Saita K., Tanaka Y. Correlations of seismic activity with electromagnetic emissions and variations in Kamchatka region // Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes / Ed. M.Haykawa. Tokyo: TERRAPUB. 1999. P. 513-517.