

УДК .551.594.11

ОСОБЕННОСТИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ НА КАМЧАТКЕ

© 2005 г. С. Э. Смирнов

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

с. Паратунка (Камчатская обл.)

e-mail: sergey@ikir.kamchatka.ru

Поступила в редакцию 12.03.2004 г.

После доработки 15.09.2004 г.

Выполнен статистический анализ 103 случаев бухтообразного понижения напряженности E_z -компоненты квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке, наблюдаемых в период 1997–2002 гг. Показано, что наиболее вероятная длительность бухты составляет 40–60 мин. Наиболее вероятные значения понижения E_z составляют минус 106–300 В/м. Не обнаружены зависимости этих величин от класса землетрясения и от расстояния до его эпицентра. Вероятность предсказания землетрясения по аномалии E_z в пределах 24 ч до него составляет 36%.

1. ВВЕДЕНИЕ

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, [Руленко, 2000]). 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/о Камчатка начаты в 1991 г. в районе Паратунской гидротермальной системы Институтом космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН [Руленко, 1992] и продолжают в настоящее время в геофизической обс. Паратунка ($\varphi = 52^\circ 58.3' N$, $\lambda = 158^\circ 14.9' E$) [Бузевич и др. 1998 а; Смирнов, 2002 а]. В работе [Руленко, 1992] приведен первый результат наблюдения аномалии квазистатического электрического поля перед сильным землетрясением с магнитудой $M = 6.1$. Оказалось, что на Камчатке, как и в Японии и Китае [Kondo, 1968; Нао, 1998], 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 за несколько часов до суток приведен в последующих публикациях группы исследователей ИКИР [Бузевич и др., 1998б; Vershinin et al., 1999; Смирнов, 2001; Михайлов и др., 2002; Бузевич и др., 2003]. Вместе с тем был также зарегистрирован аномальный выброс E_z перед ЗТ с магнитудой $M = 7.0$ положительной полярности [Руленко и др., 1996].

Создание специализированного программно-аппаратного комплекса [Бузевич и др., 1998а; Смирнов, 2002] позволило непрерывно регистрировать одновременно, кроме квазистатического электрического поля, также геомагнитные, электромагнитные и метеорологические параметры, необходимые для решения задач выделения краткосрочных и оперативных предвестников ЗТ [Бузевич и Смирнов, 1998б]. Первые результаты статистического анализа особенностей аномальных вариаций E_z за период 1997–2000 гг. опубликованы в кратком сообщении [Смирнов, 2001]. 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 [Смирнов, 2003].

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. Рас-

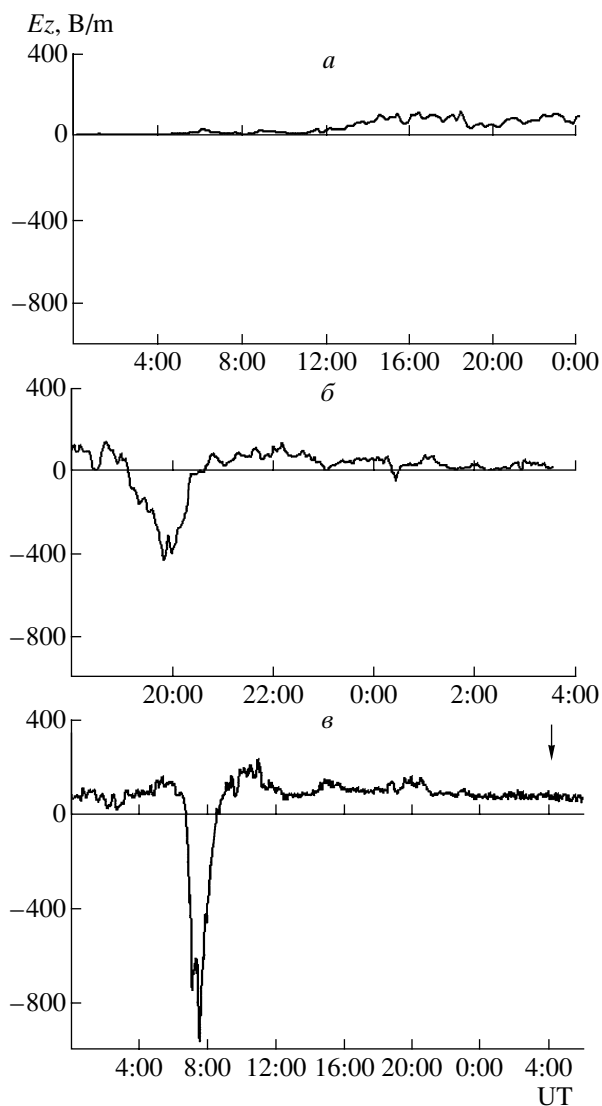


Рис. 1. Типичные суточные вариации E_z -компоненты поля для условий хорошей погоды, но без аномалий (а), для дней с осадками (б), для дней в хорошую погоду, но с аномальным поведением E_z . Стрелкой указан момент землетрясения (в).

смотрены только отрицательные аномалии, т.е. отклонения E_z в отрицательную область от положительного суточного хода в интервале времени 24 ч до ЗТ.

2. 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 [Чернявский, 1937]. Поэто-

му 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/о Камчатка реализуются нечасто в силу его географического положения и близости Тихого океана. В обс. 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 усреднением 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 группы [Бузевич и др., 1998б; Михайлов и др., 2002; Михайлов и др., 2003; Бузевич и др., 2003]. Как следует из этих работ, в условиях хорошей погоды для суточного хода E_z характерно наличие спокойного фонового уровня порядка плюс (100–150) В/м в местное ночное время, с незначительным повышением плюс $\Delta E \sim 100$ 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 минус (1000–1500) 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. Типичные суточные вариации E_z -компоненты поля для условий хорошей погоды, но без аномалий (а), для дней с осадками (б), а также для дней в хорошую погоду, но с аномальным поведением E_z , часто сопровождаемым ЗТ (в), приведены на рис. 1. Аномалии в приведенной на рисунке форме возникали в течение всего рассмотренного периода наблюдений. Различия были только в величине понижения E_z и в длительности бухты. 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 24ч 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 ($M \cong 4.7 - 6.7$).

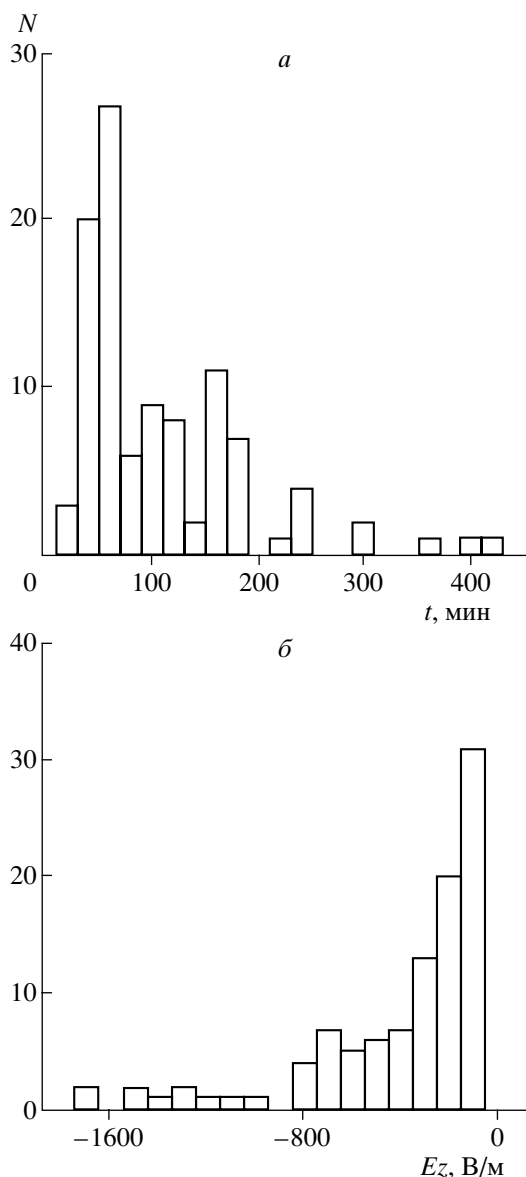


Рис. 2. Гистограмма распределения аномалий напряженности поля по длительности бухты (а) и по величине понижений напряженности в бухте (б).

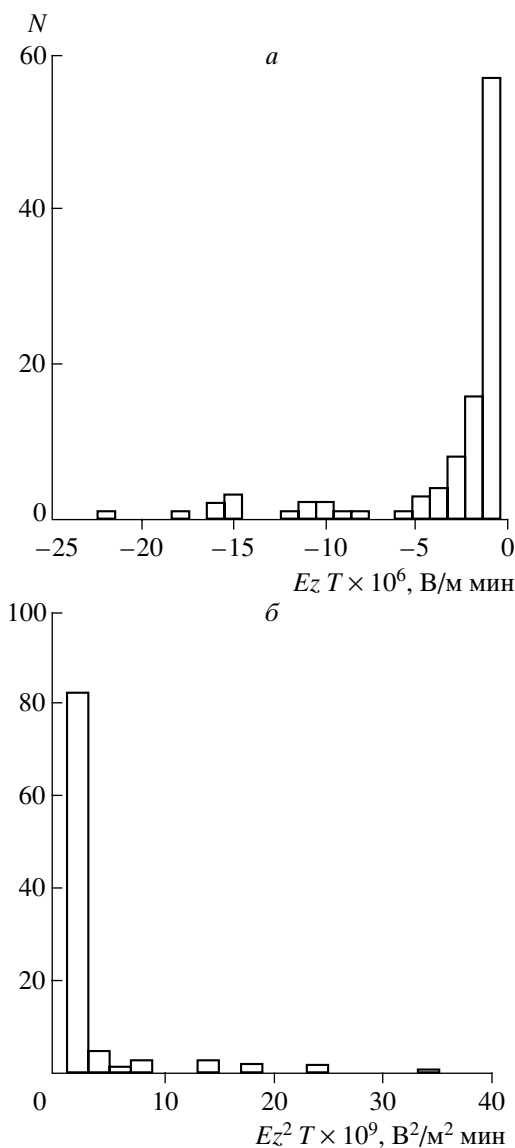


Рис. 3. Гистограмма распределения аномалий E_z по импульсу (а) и по энергии (б).

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

За период с 1 января 1997 г. по 31 декабря 2002 г. (т.е. за 2189 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 $406/2189 \times 103 = 19$. Таким образом, вероятность ЗТ в 36% превышает случайную величину в 1.9 раза. Вероятность пропуска события пока невозможно оценить из-за того, что перед многими землетрясениями погода не удовлетворяла требо-

ваний хорошей погоды. Были построены гистограммы распределения аномалий напряженности поля по длительности бухты (рис. 2а) и по величине понижения напряженности в бухте (рис. 2б). 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 минус 100–300 В/м. Кроме того, были построены гистограммы распределения аномалий E_z по импульсу (рис. 3а) и по энергии (рис. 3б). За импульс бухты принималось значение интеграла:

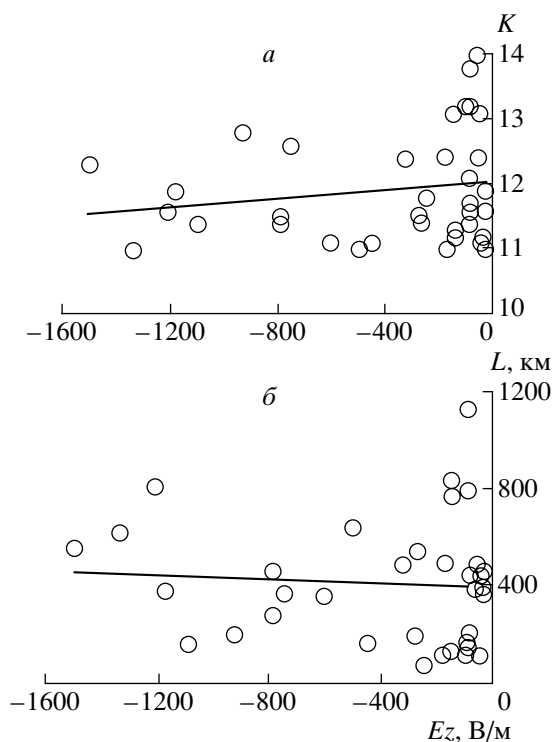


Рис. 4. Зависимость величины аномалий E_z в бухте от класса землетрясения (а) и от расстояния от его эпицентра до пункта регистрации (б).

$P = \int E_z(t)dt$ в пределах длительности аномалии, а за энергию – значение интеграла: $E = \int E_z^2(t)dt$ в тех же пределах длительности. Из рисунка видно, что аномалии сосредоточены в области малых значений этих параметров. На рис. 4 показаны зависимости аномалий величины E_z в бухте от класса ЗТ (а) и от расстояния от его эпицентра до пункта регистрации (б). Рассчитанные коэффициенты этих величин соответственно равны 0.17 и 0.09, что свидетельствует практически об отсутствии связи между рассмотренными параметрами.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

В работе рассмотрены статистические свойства отрицательных аномалий квазистатического электрического поля в атмосфере в пределах 24 ч до землетрясения. Эти аномалии по классификации [Соболев, 1993] можно отнести к категории краткосрочных прогнозов. Для них, как указывалось, например, в работах [Соболев, 1993; Morgounov, 2004], 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 [Сидорин, 1979; Соболев, 1993]. Объясняется это наличием неоднородности напряженно-деформированных процессов в земной коре непосредственно перед землетрясениями, которая косвенно проявляется в мозаичной структуре различных геофизических параметров (см. например, [Morgounov, 2004]). Отсутствие значимой связи между величиной аномалии E_z с расстоянием до эпицентра и магнитудой ЗТ, показанной на рис. 4, по-видимому, может быть связано с неоднородным по пространству выходом радона в атмосферу, основного агента изменения квазистатического электрического поля в приземной атмосфере [Outkin et al., 1997; Уткин и Юрков, 1998]. Подобный эффект, т.е. отсутствие связи между расстоянием до эпицентра и магнитудой двух сильных ЗТ на Камчатке, ранее наблюдался в вариациях короткопериодических возмущений электротеллурического поля [Соболев и Морозов, 1970].

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 [Pierce, 1976]. Все последующие предложенные механизмы также предполагали в качестве главного агента, изменяющего проводимость приземной атмосферы и, следовательно, электрическое поле, радон [Руленко, 2000; Шулейкин, 2003; Руленко, 2003]. 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 [Моргунов и Мальцев, 2003], в которой рассмотрено образование поляризованных зарядов на стенках трещин в горных породах, порождающих квазистатическое поле в атмосфере в дополнение к фоновой величине. В работе [Алексеев и Аксенов, 2003] 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.

5. 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 минус 100–300 В/м. Аномалии величиной минус 800–1000 В/м наблюдались крайне редко.

3. Не обнаружена зависимость длительности бухты и величины понижения напряженности поля ни от класса землетрясений, ни от расстояния до его эпицентра.

4. Вероятность появления землетрясений после аномалии в электрическом поле в пределах 24 ч составляет величину ~36%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 00-05-65380.04-05-65100).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.С., Аксенов В.В. Об электрическом поле в очаговой зоне землетрясений // ДАН. Т. 392. № 1. С. 106–110. 2003.
- Бузевич А.В., Смирнов С.Э., Филимонов В.И., Фирстов П.П. Специализированный аппаратно-программный комплекс (АПК) сбора и обработки геофизической информации обс. Паратунка // Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений / Ред. Е.Ф. Вершинин и В.В. Богданов. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН. Тез. докл. С. 36–38. 1998а.
- Бузевич А.В., Смирнов С.Э. Связь солнечной активности с медленными вариациями магнитного и электрического полей с сильными камчатскими землетрясениями. Там же. С. 13. 1998б.
- Бузевич А.В., Дружин Г.И., Фирстов П.П., Вершинин Е.Ф., Смирнов С.Э., Филимонов В.И. Гелиогеофизические эффекты, предвалявшие Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 г. $M = 7.7$ // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатской Гос. академии рыбопромыслового флота. С. 177–188. 1998в.
- 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 // Пятая Российская конференция по атмосферному электричеству. Сб. трудов в двух томах / Ред. Л.В. Грунская, Г.Г. Шукин, Я.М. Шварц. Владимир: Изд-во Транзит ИКС. Т. 2. С. 72–75. 2003.
- Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Денуева 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 аэрoномия. Т. 42. № 6. С. 805–813. 2002.
- 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 аэрoномия. Т. 43. № 3. С. 750–758. 2003.
- Моргунов В.А., Мальцев С.А. Модель квазистационарного электрического поля литосферного приорода // Пятая Российская конференция по атмосферному электричеству. Сб. трудов в двух томах / Ред. Л.В. Грунская, Г.Г. Шукин, Я.М. Шварц. Владимир: Изд-во Транзит ИКС. Т. 2. С. 59–61. 2003.
- Руленко О.П. Тензочувствительность предсейсмических отрицательных аномалий электрического поля в приземном воздухе // там же. С. 82–85. 2003.
- Руленко О.П., Иванов А.В., Шумейко А.В. Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник Камчатского землетрясения 6 марта 1992, $M = 6.1$ // Докл. РАН. Т. 326. № 6. С. 980–982. 1992.
- Руленко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф. Измерения атмосферного электрического поля и естественного и естественного электромагнитного излучения перед Камчатским землетрясением 13.11.1993 г. $M = 7.0$ // Докл. РАН. Т. 348. № 6. С. 814–816. 1996.
- Руленко О.П. Оперативные предвестники землетрясений в электричестве приземной атмосферы // Вулканология и сейсмология. № 4. С. 57–68. 2000.
- Сидорин А.Я. Зависимость времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния // ДАН СССР. Т. 245. № 4. С. 825–828. 1979.
- Смирнов С.Э. Аномалии поведения напряженности электрического поля перед землетрясениями по наблюдениям магнитной обсерватории Паратунка за 1997–2000 гг. // Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений / Ред. Ю.С. Шумилов, Г.И. Дружин. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН. Тез. докл. С. 48–49. 2001.
- Смирнов С.Э. Специализированный программно-аппаратный комплекс геофизической обс. Паратунка // Метрологические основы магнитных наблюдений Сибири и Дальнего Востока / Ред. Б.М. Шевцов. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН. Сб. докл. С. 7–10. 2002.
- Смирнов С.Э. Аномалии поведения напряженности электрического поля перед землетрясениями по наблюдениям магнитной обс. Паратунка за 1997–2002 годы // Пятая Российская конференция по атмосферному электричеству. Сб. научн. труд. в двух томах. Владимир: Изд-во Транзит ИКС. Т. 2. С. 72–75. 2003.
- 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. С. 110–121. 1970.
- Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука. 313 с. 1993.

- Шулейкин В.Н. Вариации элементов приземного атмосферного электричества перед сейсмическими событиями – причины, формы и масштабы проявления // Геофизика XXI столетия: 2002 г. М.: Научный мир. С. 396–404. 2003.
- Чернявский Е.А. К вопросу о методике вывода суточного хода атмосферно-электрического потенциала // Информ. сб. по земному магнетизму и электричеству / Ред. Н.В. Пушков. М.: Гидрометеорологическое изд-во. С. 82–86. 1937.
- 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. V. 11. № 1. P. 121–131. 1998.
- Kondo G. The variation of the atmospheric electric field at the time of earthquake // Kakioka Magnet. Observ. Mem. V. 13. № 1. P.11–23. 1968.
- Morgounov V.A. Slip weakening, strain and short-term pre-seismic disturbances // Annals Geophys. V. 47. № 1. P. 133–149. 2004.
- Outkin V.I., Yurkov A.K., Krivasheev 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. 17 p. 1997.
- Pierce E.T. Atmospheric electricity and earthquake prediction // Geophys. Res. Lett. V. 3. № 3. P. 185–188. 1976.
- 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. P. 513–517. 1999.