

ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ВАРИАЦИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ГОРАХ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Антонова В.П., Луценко В.Ю.

*Институт ионосферы Национального Центра космических исследований и технологий,
г. Алматы, Казахстан, valanta@rambler.ru*

Введение

В Казахстане регулярные измерения атмосферного электрического поля проводятся с мая 2007 года. На высокогорной станции ДТОО «Институт ионосферы» Национального Центра космических исследований и технологий в горах Северного Тянь-Шаня (высота 3340 м над уровнем моря, 20-25 км от г. Алма-Аты) в сейсмически активном районе был установлен аппаратный комплекс «Elis-TS» по измерению электрических полей [1]. Он предназначался для исследования динамических процессов в грозовой атмосфере, их связи с космическими лучами, а также для решения ряда других актуальных задач современной геофизики включая прогноз землетрясений. Поскольку г. Алматы окружен рядом потенциальных источников сильных землетрясений, эта проблема всегда была и будет актуальной для города и его окрестностей. Расположение установки вблизи разлома земной коры позволяет эффективно использовать измерения для проведения исследований в этом направлении. Целью работы является исследование временных и спектральных характеристик квазистатического электрического поля в периоды активизации сейсмических процессов в окрестности г. Алматы и выявление предвестников землетрясений.

Экспериментальный комплекс

Комплексная система регистрации атмосферного электрического поля «ELIS-TS» состоит из двух датчиков. Один датчик чувствителен к высокочастотной переменной компоненте электрического поля, возникающей в грозовой атмосфере во время возвратного молниевых удара, а другой – к медленной квазистатической компоненте E_z (вертикальная составляющая поля). По принципу действия второй датчик – это электростатический флюксометр (антенна «field mill» – вертушка). В датчике используется принцип периодической экранировки измерительных электродов вращающимся заземленным диском с вырезами.

Конструктивно антенное устройство помещено в водонепроницаемый корпус “пластинами вниз” с целью ослабления влияния осадков на работу прибора. Прибор обеспечивает измерение электрического поля в диапазоне ± 50 кВ/м, при этом его выходное напряжение меняется в пределах ± 5 В. При 14 - разрядном АЦП это соответствует разрешению в 10 В/м. Частота дискретизации – 20 Гц. Временное разрешение равно 0.05 с. В состав системы входит пороговое устройство, вырабатывающее сигнал перевода компьютера в режим регистрации в грозовых условиях (временное разрешение 0.00005с). Антенный блок регулярно калибруется помещением его в большой плоскопараллельный конденсатор, на который подается фиксированное калибровочное напряжение.

Для эффективного исследования вариаций литосферного происхождения установка была дополнена блоком, позволяющим усиливать слабые флуктуации в 30-40 раз. Измерения доступны в режиме реального времени на удаленных компьютерах.

Особенности вариаций электрического поля в разных метеорологических условиях

Известно, что на регистрируемые вариации приземного электрического поля сильно влияют метеорологические условия: осадки в виде дождя и снегопада, туман, гроза, которые могут маскировать возмущения литосферного происхождения. Поэтому изучение вариаций электрического поля в разных метеорологических условиях являлось необходимым этапом для того, чтобы идентифицировать источники возмущений и выделять на их фоне изменения, обусловленные активизацией сейсмических процессов.

Условия «хорошей погоды». На рис. 1 представлены графики с характерным суточным ходом значений электрического поля в условиях «хорошей погоды» на высокогорной станции для разных сезонов. Главная особенность суточного хода – отсутствие унитарной вариации (кривая Карнеги), которое обусловлено расположением станции в глубине материка. Унитарная вариация не

обнаружена ни на одной реализации на всем периоде измерений электрического поля на станции (2005-2013 гг.) двумя установками. Высокогорное расположение станции в данном случае не является условием ее выделения, [2].

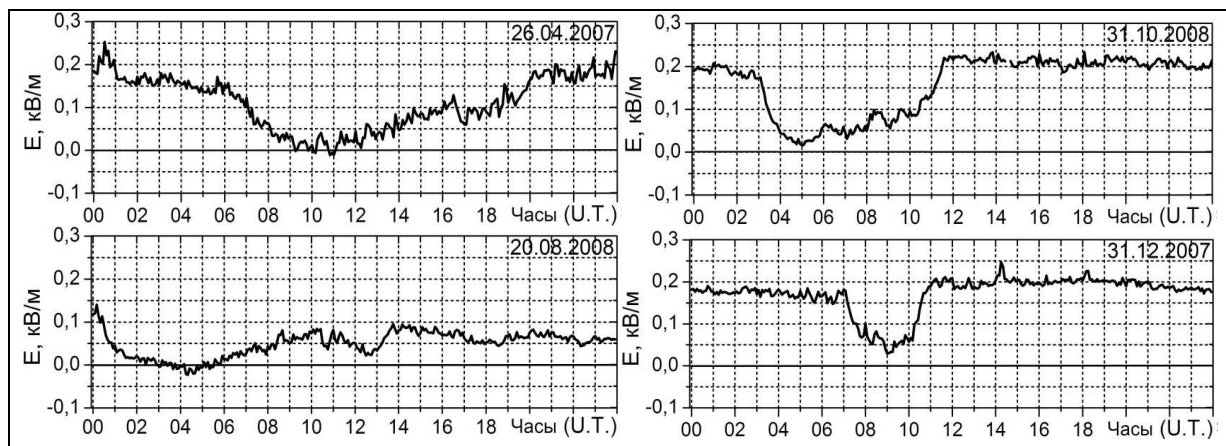


Рис. 1. Суточная вариация электрического поля на высокогорной Тянь-Шаньской станции в условиях «хорошей погоды» в разные сезоны: весна, лето, осень, зима.

Другим характерным свойством суточной вариации квазистатического электрического поля на высокогорной станции в условиях «хорошей погоды» является наличие бухтообразного понижения E_z в освещенное время суток. Глубина бухты $\sim 100\div 200$ В/м. Прослеживается явная сезонная зависимость ширины (длительности) бухты. Зимой, в период зимнего солнцестояния, длительность бухты минимальна и составляет 3-4 часа. Осенью длительность бухты больше, ~ 9 часов. В период летнего солнцестояния она растянута на еще более длительный период. Наличие минимума в суточном ходе напряженности электрического поля, по-видимому, связано с увеличением проводимости во время испарительного процесса в освещенное время суток. Зимой этот период значительно короче, чем в другие сезоны, что мы и наблюдаем в сезонном изменении длительности бухтообразного уменьшения электрического поля. Среднее значение электрического поля в зимний период значительно выше, чем в летний на $150\div 200$ В/м. Подъем средних значений электрического поля по времени совпадает с наличием снежного покрова на станции.

Грозовые условия. Во время грозы значения напряженности электрического поля достигают громадных значений и несопоставимы с полем в условиях хорошей погоды. Поэтому грозовая активность является принципиальным препятствием для поиска предвестников землетрясений в этот период. Однако, вызываемые грозой вариации квазистатического электрического поля легко идентифицируются и ее длительность не столь велика.

Снегопад, дождь. Рассмотрим особенности вариаций квазистатического электрического поля во время снегопада и дождя. На рис. 2а представлены регистрируемые значения электрического поля во время снегопада с сильным ветром (метель). Скорость ветра по данным метеорологов в этот период составляла 13-15 м/с. Регистрируемые вариации поля имеют линейчатую структуру в виде положительных кратковременных всплесков, достигающих значений 30 кВ/м. Наблюдаемая структура флуктуаций электрического поля во время метели обусловлена тем, что снежинки сильно электризуются, и датчик показывает локальное значение поля, обусловленное пролетающими мимо регистрирующих пластин зарядами, на фоне среднего поля облака. Снежинка, имеющая потенциал в 100 В и более, пролетая в 1 см от пластин, дает поле в несколько кВ/м. Небольшая длительность всплеска поля связана с быстрым пролетом снежинок мимо датчика и зависит от скорости ветра.

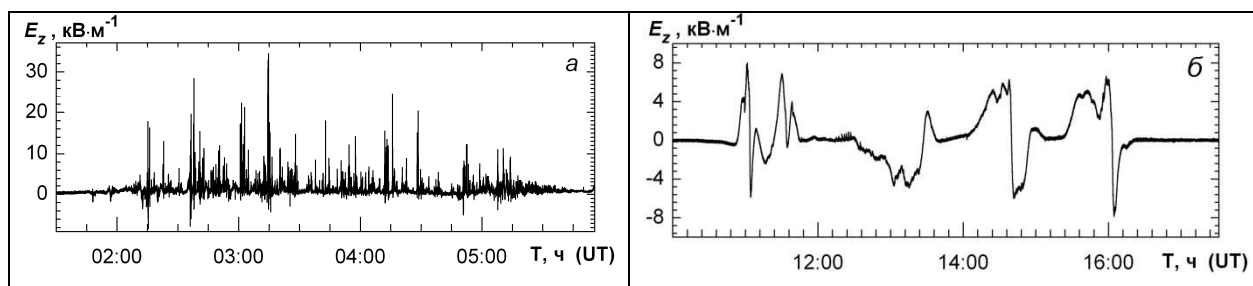


Рис. 2. Флуктуации электрического поля: а – во время метели, б – во время дождя.

Вариации приземного электрического поля, регистрируемые установкой «ELIS-TS», во время дождя могут достигать значений $\pm 7\div 8$ кВ/м, рис. 26. По визуальным наблюдениям в течение периода, представленного на этом рисунке, над станцией отмечалась низкая облачность, морсящий дождь, штиль, грозы не было. Возмущения поля сохраняются в течение всего периода выпадения осадков. Переход от одной полярности электрического поля к другой довольно быстрый. Поскольку заряд облака быстро изменяться не может, то импульсы вызываются явлениями, происходящими вблизи прибора, в частности, пролетом заряженных капель или групп капель, как и в случае снегопада.

Туман. На высокогорной станции метеорологические условия с низким плотным туманом фактически соответствуют опусканию облачности до уровня станции и ниже по ущельям. Средние значения напряженности электрического поля во время тумана по наблюдениям значительно меньше, чем в условиях «хорошей погоды» на ~ 70 В/м. Увеличение флуктуаций наблюдается только в высокочастотном диапазоне.

Особенности вариаций электрического поля в периоды активизации сейсмических процессов в окрестности г. Алматы

Во время серии землетрясений в окрестности г. Алма-Аты на высокогорной станции были зарегистрированы аномальные вариации электрического поля положительной полярности, которые не соответствовали наблюдаемым метеорологическим условиям. Эти наблюдения способствовали проведению исследований динамики поля с целью поиска предвестников землетрясений. Мы использовали опыт их выявления в сейсмоактивных регионах мира, включая Камчатку [3, 5-10].

В течение всего периода проведения измерений произошло два значительных события: серия землетрясений 1-2 мая 2011 г и 28 января 2013 г. По данным Казахстанского Национального центра за двое суток 1-2 мая 2011 г насчитывалось более 8 толчков от землетрясений с магнитудой ~ 4.0 и более. Основной толчок с магнитудой 5.4 был 1 мая в 02:31 UT, 77.7 км к северо-востоку от г. Алма-Аты. За 2.5 часа до него был зафиксирован слабый форшок с $K = 5.8$. После землетрясения следовала серия аномально высоких афтершоков, как по общему числу повторных толчков, так и по количеству сильных толчков с $K \geq 9$. Гипоцентр землетрясения расположен на глубине 22 км (<http://www.kndc.kz>). Установка по измерению электрического поля расположена в зоне чувствительности к очагу этого землетрясения. Исследовалась динамика значений электрического поля для этого события за 1-3 суток накануне и сутки после землетрясений. На рис. 3 представлены минутные значения электрического поля с 28 апреля по 3 мая 2011. На панелях рисунков приведены краткие сведения о погодных условиях. Характерные вариации электрического поля для периодов с осадками в виде дождя или мокрого снега наблюдаются 28 апреля 2011г с 4-х до 5 часов и 29 апреля. Выпадение осадков в эти периоды подтверждаются сведениями высокогорной метеорологической станции (www.tien-shan.org).

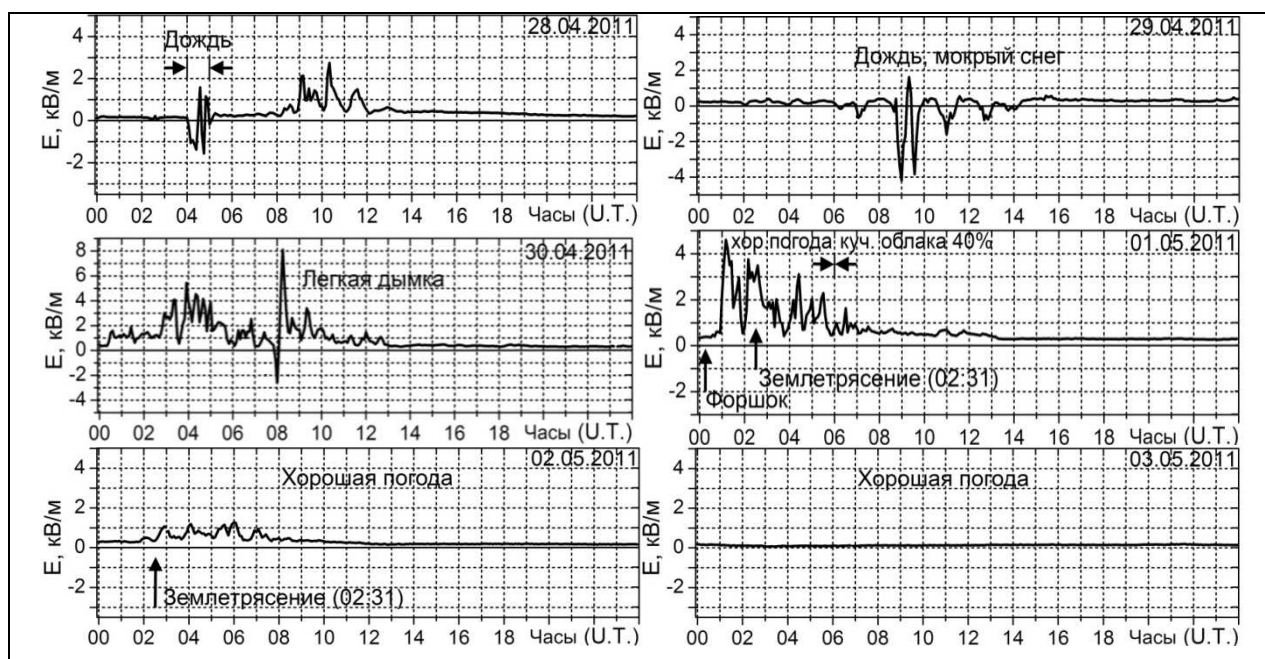


Рис. 3. Значения электрического поля накануне и во время серии землетрясений 1-2 мая 2011 г.

Первый, наиболее сильный толчок с магнитудой 5.4 был 1 мая в 2:31 UT (стрелка на рис. 3). Резкий скачок электрического поля до 5 кВ/м произошел за 1.5 часа до землетрясения. Такие большие значения приземное электрическое поле обычно имеет в грозовой атмосфере, но в этот период соблюдались условия «хорошей погоды». Аномальные положительные вариации электрического поля продолжались более 6 часов. Второго мая 2011 г. начало аномальных вариаций электрического поля положительной полярности совпадает с началом землетрясения, что подтверждает вывод о литосферном происхождении источника возмущений и исключает случайность их возникновения. Длительность вариаций, как и 1 мая, более 6 часов.

Чрезвычайно важным фактом для прогноза землетрясений является то, что длительные аномальные вариации положительной полярности регистрируются и накануне землетрясения, 28 и 30 апреля 2011 года, а также за 1.5 часа до главного толчка землетрясения. Характер изменений электрического поля в эти периоды подобен вариациям во время серии землетрясений 1 и 2 мая. Их продолжительность не менее 6 часов, а 30 апреля ~ 12 часов. Полное восстановление фоновых значений, типичных для условий «хорошей погоды» наблюдается 3 мая 2011 г (после землетрясений).

Мы исследовали спектральный состав аномальных вариаций 28 и 30 апреля, 1 и 2 мая, рассчитав нормированные спектры мощности согласно методике, изложенной в [4], рис. 4.

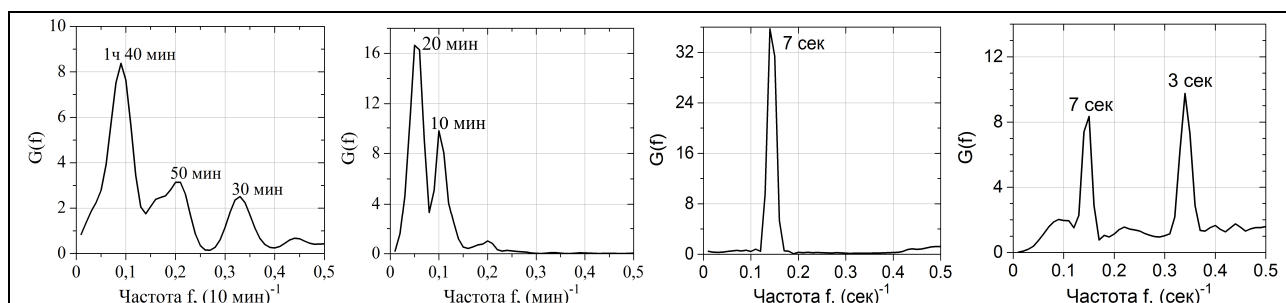


Рис. 4. Спектральный состав аномальных вариаций электрического поля.

Доминирующие спектральные составляющие аномальных вариаций в эти дни, соответствуют периодам: 1ч 40 мин, 20 и 10 мин, 7 с. Первого мая после главного толчка землетрясения 7-секундный пик сопровождается 3-секундным, 4-й спектр рис. 4.

Значительные аномальные изменения квазистатического электрического поля с амплитудой $\sim \pm 2$ кВ/м зарегистрированы накануне землетрясения в г. Алма-Аты 28 января 2013 года, рис. 5. Землетрясение произошло в 16 часов 38 минут (UT) в 230 км к востоку от г. Алма-Аты. Координаты эпицентра: 42.64N, 79.76E. Энергетический класс $K = 15.3$, глубина 10 км, магнитуда 6.1. Землетрясение ощущалось в г. Алма-Аты с интенсивностью 4-5 баллов.

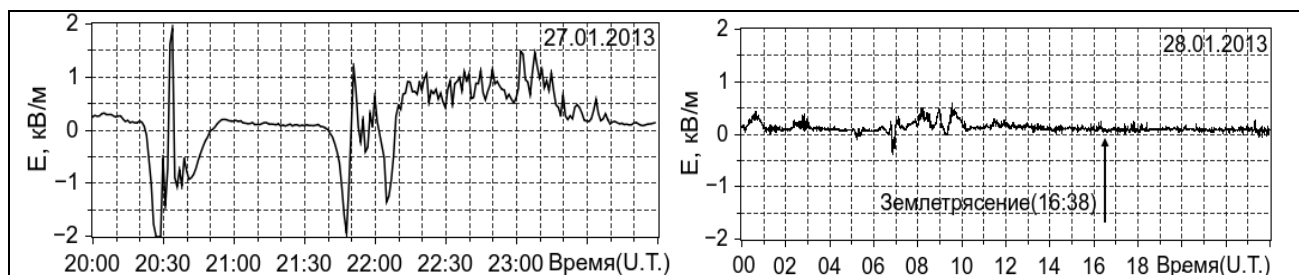


Рис. 5. Значения электрического поля накануне землетрясения.

В этом событии мы наблюдаем два типа аномалий. Первый тип аномалий, который регистрировался в течение 2-х часов (20:15 – 22:15) со знакопеременными значениями поля, подобен вариациям во время дождя на рис. 26. Однако температура на высокогорной станции согласно измерениям метеорологов не превышала -10° С. Осадков в виде дождя при такой температуре не могло быть. Возможно, данный тип аномалий связан с ионизацией приземной атмосферы, которая в рассматриваемый период была гораздо выше обычного фона за счет источника литосферного происхождения во время активизации сейсмических процессов (выход радиоактивных газов), что отразилось на результатах регистрации поля. Заметим, что 30 апреля (рис. 3) мы также

наблюдали в течение 30 мин изменение поля в виде биполярного импульса. Второй тип аналогичен характеру аномалий 28 апреля, 1 и 2 мая; продолжительные вариации электрического поля только положительной полярности с 22 ч 15 мин 27 января. Данный тип аномалий на высокогорной станции регистрировался чаще, чем первый.

Помимо рассмотренных выше, аномальные вариации положительной полярности зарегистрированы накануне двух слабых землетрясений, но с эпицентром в непосредственной близости от точки наблюдения поля. В первом случае – за 15 часов перед землетрясением 8 апреля 2009 г. (магнитуда 3.6), рис. 6, во втором случае – за 9 часов 27 сентября 2010 г. (магнитуда не более 3.3). Продолжительность аномалий в обоих событиях не менее 6 часов.

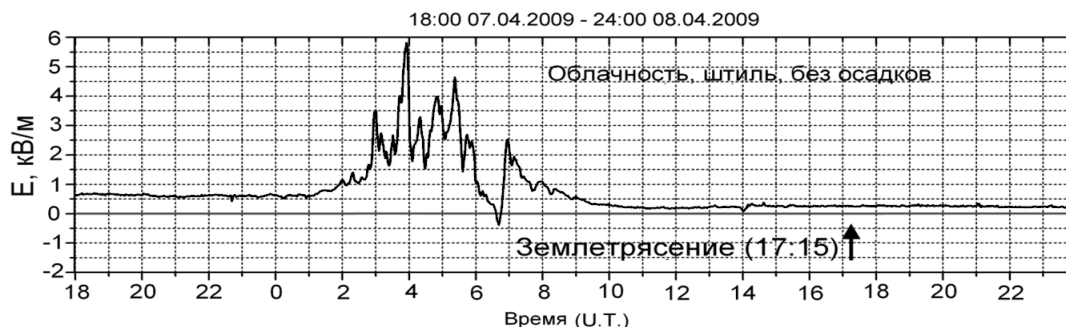


Рис. 6. Значения электрического поля накануне землетрясения 8 апреля 2009 г.

Заключение

Длительные аномальные изменения атмосферного квазистатического электрического поля на высокогорной станции Института ионосферы АО «НЦКИТ» зарегистрированы накануне 2-х значительных землетрясений с магнитудой 5.4 и 6.1, а также перед 2-мя слабыми землетрясениями, но с эпицентрами, расположенными в непосредственной близости от установки. Аномальные изменения имеют большую амплитуду и не идентифицируются не только с геофизическими источниками возмущений, но и с космофизическими. Совпадение их с активизацией сейсмических процессов в регионе Северного Тянь-Шаня предполагает источник возмущений литосферного происхождения.

Список литературы

1. Антонова В.П., Дробжев В.И., Крюков С.В. Организация наземных экспериментов по регистрации квазистатического электрического поля (E) и высокочастотных флуктуаций dE/dt поля от молниевых разрядов // Казахстанские космические эксперименты. Алматы, 2007. С. 42-50.
2. Алешков В.М., Коваленко В.А., Молодых С.И., Шаманский Ю.В. Исследование атмосферного электричества на высокогорных станциях // VI Российская конф. по атмосфер. электричеству. Н-Новгород, 2007. С. 41-42.
3. Грунская Л.В., Ефимов В.А., Исакевич В.В., Синютин А.С. Взаимосвязь электрического поля приземного слоя с сейсмическими процессами // VI Российская конф. по атмосфер. электричеству. Н-Новгород, 2007. С. 279-281.
4. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Вып.1, 2. М.: Мир, 1971. 287 с.
5. Золотов А.Н., Петров А.Е., Синютин А.С. Разработка каталога электромагнитных предвестников землетрясений // VI Российская конф. по атмосфер. электричеству. Н-Новгород, 2007. С. 281-282.
6. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.И., Капустина О.В., Депуева 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. № 6. С. 805-813.
7. Мороз Ю.Ф. Аномалии естественного электрического поля на оз. Байкал // Физика Земли. 2008. № 11. С. 84-92.
8. Руленко О.П. Тензочувствительность предсейсмических отрицательных аномалий электрического поля в приземном воздухе // V Российская конф. по атмосфер. электричеству. Владимир, 2003. С. 82-85.
9. Смирнов С.Э. Особенности отрицательных аномалий квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке // Геомагнетизм и Аэрономия. Т. 45. № 2. 2005. С. 282-287.
10. Смирнов С.Э. Динамические характеристики вертикальной компоненты квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке // Диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м.н. М.: ИКИР ДВО РАН. 2007. 104 с.