

НОВЫЙ ПОДХОД В ОБНАРУЖЕНИИ ОПЕРАТИВНОГО ПРЕДВЕСТНИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

Руленко О.П.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;
e-mail: rulenko@kscnet.ru*

Введение

К настоящему времени в различных сейсмоактивных регионах мира (Средняя Азия, Северный Кавказ и Закавказье, Камчатка, Курилы, Китай, Япония, Калифорния) перед землетрясениями зарегистрированы аномальные возмущения атмосферного электрического поля у поверхности земли. В обзорных работах (Руленко, 2000; Сидорин, 1992) показано, что они возникают обычно за первые десятки часов-первые часы перед событиями с магнитудой $M > 3.5$ на расстоянии до 200-250 км от эпицентра. Обнаружение и исследование этих возмущений актуально для изучения механизма воздействия литосферы на атмосферу во время заключительной стадии подготовки землетрясений и для использования в оперативном сейсмическом прогнозе. На Камчатке атмосферно-электрические наблюдения с целью обнаружения и изучения предвестника землетрясений начаты по инициативе автора в 1991 году (Руленко и др., 1992, 1996).

Согласно монографии (Гохберг и др., 1988), пионером изучения связи атмосферного электричества с землетрясениями является, по-видимому, А. Гумбольдт, наблюдавший в середине XIX века с помощью электроскопа "быстрые изменения" электрического потенциала воздуха во время землетрясения. Однако, несмотря на свою известность, это явление изучено слабо.

В последнее время появились новые представления о природе и механизмах образования предсейсмических возмущений электрического поля в приземной атмосфере. Показано, что, как многие другие предвестники, эти возмущения имеют деформационную природу и вызваны усилением деформирования приповерхностных слоев земной коры в зоне подготовки землетрясения. Неоднородное структурно-тектоническое строение коры обуславливает мозаичный характер проявления возмущений, а активизация деформационного процесса на заключительной стадии подготовки землетрясений - их оперативный масштаб времени. Установлено, что существуют два механизма образования сейсмоаномальных возмущений электрического поля, которые обуславливают появление двух типов наблюдаемых аномалий. Первый механизм связан с увеличением содержания в приземном воздухе основного естественного ионизатора ^{222}Rn в результате увеличения его потока с поверхности земли в атмосферу. При этом возникают отрицательные аномалии поля. Второй механизм связан с подвижками по разломам и разломным зонам, которые сопровождаются механоэлектрическими преобразованиями энергии и одновременным возникновением множества локальных электрических диполей. Отличный от нуля их суммарный электрический момент может вызвать появление вблизи разлома макроскопического электрического поля и возмущение в виде пакета колебаний с некоторым набором частот (Руленко, 2000).

В работе (Руленко, 2003) выяснено, что отрицательные аномалии электрического поля регистрируются на эпицентральной дистанции, где величина возмущенной деформации земной поверхности уменьшается до уровня приливной деформации. Это свидетельствует о возникновении аномалий в зоне подготовки землетрясений (Добровольский, 1991) и служит дополнительным доказательством их деформационной природы, а также связи с процессом подготовки.

Традиционно для обнаружения сейсмоаномальных возмущений приземного атмосферного электричества анализируется поведение градиента потенциала V'

электрического поля, так как это наиболее легко измеряемая атмосферно-электрическая характеристика. Однако градиент потенциала V' формируется неоднородным пространственно-временным распределением объемных электрических зарядов в большой области, окружающей точку наблюдения. В динамике V' отражается действие глобальных и локальных генераторов электрических зарядов в атмосфере (Чалмерс, 1974). Большое число факторов, которые определяют различные вариации V' , существенно затрудняет и часто делает невозможным выявление аномалий сейсмогенного происхождения. Этим, в значительной степени, объясняется слабая изученность предвестника землетрясений в электричестве приземной атмосферы. Для более эффективного его обнаружения предлагается новый подход, сущность и применение которого рассматриваются в настоящей работе.

Сущность подхода

Кроме измерений градиента потенциала V' , в атмосферном электричестве проводятся измерения другой важной характеристики - электрической проводимости воздуха, но они технически более сложны и менее распространены, чем измерения V' . Поэтому, несмотря на потенциальную информативность, электрическая проводимость воздуха не используется при обнаружении предвестника землетрясений (Руленко, 2000).

Предлагаемый подход основан на совместных измерениях градиента потенциала V' и полярных электрических проводимостей λ_{\pm} воздуха, которые пропорциональны в первом приближении концентрации положительных и отрицательных легких ионов и характеризуют электрическое состояние воздуха (Шварц, Огуряева, 1982). Легкие ионы определяют основную часть тока проводимости в воздухе. По физическому принципу своего измерения (Колоколов, Шварц, 1976) полярные проводимости являются более локальной аэроэлектрической характеристикой и поэтому меньше, чем электрическое поле, зависят от глобальных факторов.

Целесообразность предлагаемого подхода основана на том, что при подготовке землетрясений происходит воздействие литосферы на атмосферу. Оно является составной частью взаимодействия твердой и газообразной геосферных оболочек и проявляется наиболее интенсивно на границе земля-атмосфера, где значительны потоки в воздух массы и энергии (Адушкин, Спивак, 2005; Адушкин и др., 2006; Войтов, Добровольский, 1994; Гохберг, 1999). Воздействие сопровождается, в частности, усилением поступления из земли радона, который вносит наибольший вклад в изменчивость ионообразования в приземном воздухе, вызывая изменение электрического состояния (Смирнов, 1992).

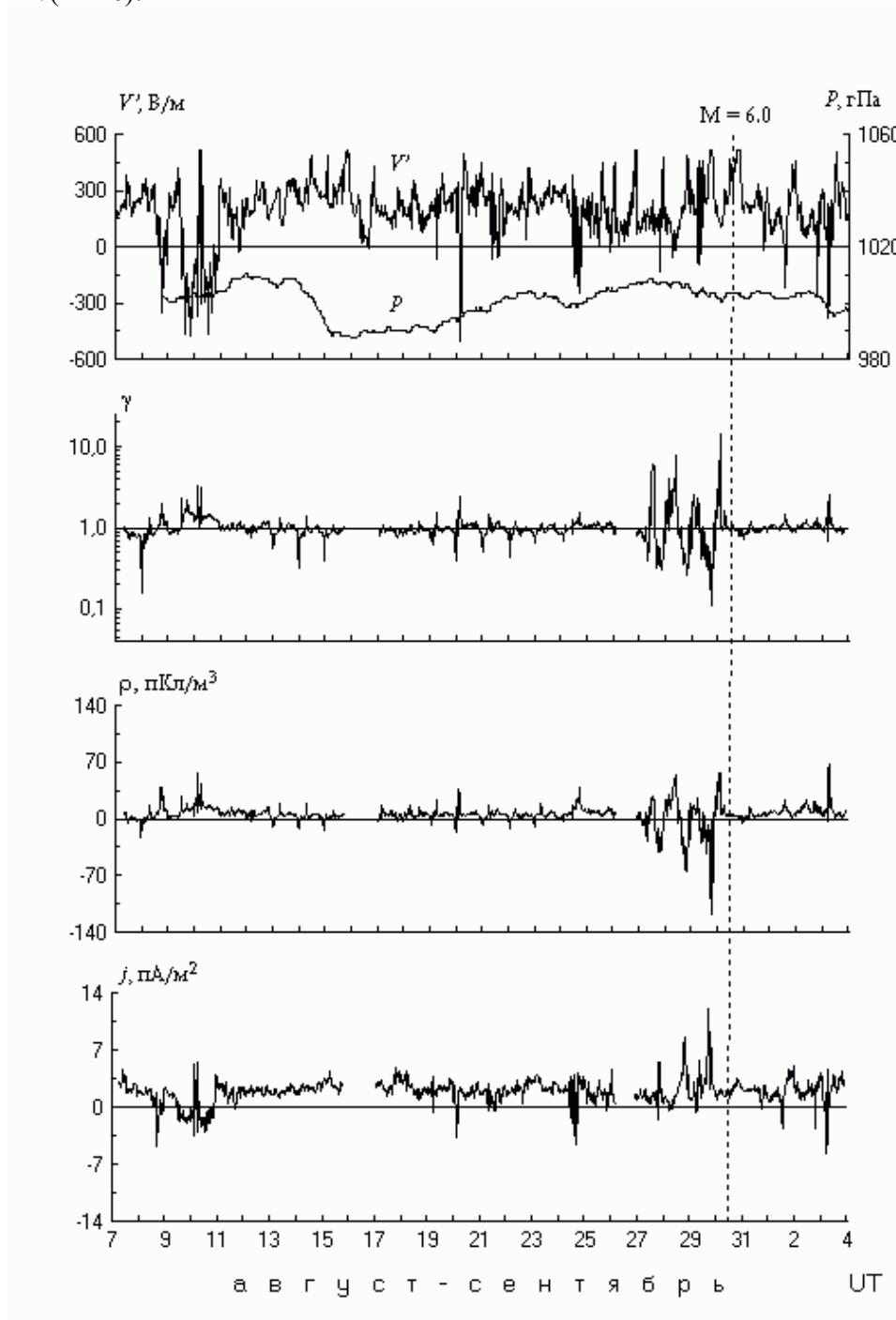
Данные совместных измерений λ_{\pm} и V' позволяют вычислять известные в атмосферном электричестве параметры: коэффициент униполярности $\gamma = \lambda_{+}/\lambda_{-}$, плотность объемного электрического заряда, создаваемого легкими ионами $\rho = \lambda_{+}/u_{+} - \lambda_{-}/u_{-}$, и плотность вертикального тока проводимости $j = V' \times (\lambda_{+} + \lambda_{-})$, где u_{+} , u_{-} - средние подвижности положительных и отрицательных легких ионов. Параметр γ характеризует отношение концентраций положительных и отрицательных легких ионов, ρ - разность их суммарных зарядов, а j является показателем интенсивности действия генераторов объемного электрического заряда в воздухе. Анализ этих параметров позволяет следить за локальным электрическим состоянием приземного воздуха, что имеет большое значение для обнаружения предсейсмических возмущений. Слежение за электрическим состоянием воздуха с целью обнаружения предвестника землетрясений предлагается впервые.

Применение подхода

Предлагаемый подход был использован для ретроспективного анализа электрического состояния приземного воздуха перед землетрясением, произошедшим у Южной Камчатки (южнее мыса Шипунский) вблизи мыса Лопатка 30 августа 2004 г. в 12:23 UT. По данным Камчатского филиала ГС РАН (<http://wwwsat.emsd.ru>) координаты гипоцентра 49.38° с. ш., 157.42° в. д., глубина 40 км, локальная магнитуда $M = 6.0$. Это

событие было самым сильным в 2004 г. Атмосферно-электрические измерения проводились на обсерватории «Паратунка» (Руленко и др., 2007). Расстояние до эпицентра землетрясения составило 400 км.

На рис. представлены 30-минутные средние значения градиента потенциала V' , атмосферного давления P и рассчитанные по 30-минутным средним значениям λ_{\pm} и V' значения параметров γ , ρ , j в период 7 августа-3 сентября 2004 г. Легкие ионы имеют относительно стабильные средние подвижности (Таммет, 1979). По результатам длительных измерений (Таммет и др., 1988) использованы значения $u_+ = 1.36 \times 10^{-4}$, $u_- = 1.56 \times 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \times \text{с})$.



Поведение градиента потенциала V' электрического поля, атмосферного давления P , коэффициента униполярности γ , плотности объемного электрического заряда легких ионов ρ и плотности вертикального тока проводимости j в период 7 августа-3 сентября 2004 г. Вертикальной пунктирной линией отмечен момент землетрясения.

Как видно на рисунке, в течение трех суток до землетрясения происходит раскачка экстремальных значений параметров γ , ρ и j в масштабе суточных вариаций, которая прекращается за 9-12 часов до него. Во время раскачки экстремальные значения всех параметров существенно превышают фон. Так, γ достигает минимального значения 0.1, а максимального - 14.5, что свидетельствует о сильном преобладании концентрации легких отрицательных ионов над положительными ионами в первом случае и положительных ионов над отрицательными во втором. Значения $\gamma < 0.5$ и $\gamma > 2.0$ трудно объяснимы и редко встречаются при измерении электрической проводимости приземного воздуха в асейсмичных регионах (Шварц и др., 1981; Шварц, Огуряева, 1982). В указанный период времени на обсерватории «Паратунка» сохранялась нижняя облачность 10 баллов, дождя и сильного ветра не было. Поэтому возмущение параметров γ , ρ и j перед землетрясением не имеет метеорологического происхождения.

Одновременное возмущение параметров γ , ρ , j свидетельствует об аномальном поведении электрического состояния приземного воздуха. Причиной аномального поведения является значительный отрицательный объемный заряд, который, несмотря на действие электродного эффекта, присутствует с раннего утра или с ночи до полудня по местному времени в течение трех суток перед землетрясением. Максимальное значение этого заряда увеличивается при приближении к моменту землетрясения и достигает -120 пКл/м³ в день перед событием. После полудня отрицательный заряд сменяется существующим обычно положительным объемным зарядом. Наличие длительно существующего отрицательного объемного заряда в воздухе подтверждается положительными одновременными возмущениями плотности вертикального тока проводимости, которые указывают на перенос положительного заряда вниз к отрицательному (Чалмерс, 1974). Максимальное значение $+12$ пА/м² плотность этого тока принимает, как и плотность отрицательного заряда, вечером 29 августа. Такое явление перед землетрясением обнаружено впервые.

Из-за постоянной изменчивости градиента потенциала V' аномальное возмущение его перед землетрясением не наблюдается (рисунок). За период измерений есть некоторое соответствие в медленном изменении V' и атмосферного давления P , вызванное влиянием на V' метеорологических процессов. Существенно, что поведение параметров γ , ρ и j более стабильно, чем поведение V' и в их поведении не отражаются изменения атмосферного давления. Сильное возмущение рассматриваемых параметров наблюдается только перед землетрясением, что свидетельствует об эффективности предлагаемого подхода.

При организации соответствующей системы атмосферно-электрических и метеорологических наблюдений предлагаемый подход может быть использован для обнаружения оперативного (сутки-часы) предвестника землетрясений.

Выводы

1. Предложен новый физически обоснованный подход в обнаружении оперативного предвестника землетрясений в электричестве приземной атмосферы. В отличие от существующего способа обнаружения аномальных возмущений электрического поля впервые рассматривается поведение электрического состояния приземного воздуха. Подход заключается в измерении градиента потенциала поля вместе с полярными проводимостями воздуха и анализе значений следующих параметров: коэффициента униполярности, плотности объемного заряда легких ионов и плотности вертикального тока проводимости с учетом данных метеонаблюдений.

2. Предлагаемый подход применен для ретроспективного анализа электрического состояния приземного воздуха перед землетрясением, произошедшим у Южной Камчатки 30 августа 2004 г. с магнитудой $M = 6$ на расстоянии 400 км от пункта измерений. Обнаружено, что за трое суток до землетрясения начинается одновременное аномальное возмущение данных параметров, которое заканчивается за 9-12 часов до события. Причиной возмущения является значительный отрицательный объемный заряд в воздухе.

Существенно, что поведение рассматриваемых параметров более стабильно, чем поведение электрического поля. Их сильное возмущение наблюдается только перед землетрясением, что свидетельствует об эффективности предлагаемого подхода.

Список литературы

- Адушкин В.В., Спивак А.А.* Роль тектонических нарушений в межгеосферных взаимодействиях на границе земная кора-атмосфера // Докл. РАН. 2005. Т. 402. №1. С. 92-97.
- Адушкин В.В., Спивак А.А., Кишкина С.Б. и др.* Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора-атмосфера // Физика Земли. 2006. № 7. С. 34-51.
- Войтов Г.И., Добровольский И.П.* Химические и изотопно-углеродные нестабильности потоков природных газов в сейсмически активных регионах // Физика Земли. 1994. № 3. С. 20-31.
- Гохберг М.Б.* Взаимодействие процессов в литосфере и у земной поверхности с внешними оболочками Земли // Геофизика на рубеже веков: Избранные труды ученых ОИФЗ РАН. М.: ОИФЗ РАН, 1999. С. 163-169.
- Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Похотелов О.А.* Сейсмоэлектромагнитные явления. М.: Наука, 1988. 174 с.
- Добровольский И.П.* Теория подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР, 1991. 217 с.
- Колоколов В.П., Шварц Я.М.* Методы наблюдений элементов атмосферного электричества. Обнинск: ВНИИГМИ - МЦД, 1976. 64 с.
- Руленко О.П.* Оперативные предвестники землетрясений в электричестве приземной атмосферы // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 57-68.
- Руленко О.П.* Тензочувствительность предсейсмических отрицательных аномалий электрического поля в приземном воздухе // Сборник научных трудов Пятой Российской конференции по атмосферному электричеству. Т. II. Владимир: Транзит ИКС, 2003. С. 82-85.
- Руленко О.П., Иванов А.В., Шумейко А.В.* Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник камчатского землетрясения 6.III. 1992, M=6.1 // Докл. РАН. 1992. Т. 326. № 6. С. 980-982.
- Руленко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф.* Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед камчатским землетрясением 13.11.93 г., M=7.0 // Докл. РАН. 1996. Т. 348. № 6. С. 814-816.
- Руленко О.П., Смирнов С.Э., Шевцов Б.М.* Возмущение электрического состояния приземного воздуха перед землетрясением у Южной Камчатки 30 августа 2004 г., M = 6.0 // Сборник трудов VI Российской конференции по атмосферному электричеству, Нижний Новгород, 1-7 октября 2007 г. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2007. С. 290-291.
- Сидорин А.Я.* Предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 192 с.
- Смирнов В.В.* Ионизация в тропосфере. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 312 с.
- Таммет Х.Ф.* Элементы атмосферного электричества как параметры загрязненности воздуха // Труды ГГО. Л.: Гидрометеиздат, 1979. Вып. 418. С. 20-23.
- Таммет Х.Ф., Сальм Я.Й., Ихер Х.Р. и др.* Спектр подвижности аэроионов в приземном воздухе // Атмосферное электричество. Труды III Всесоюзного симпозиума. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 46-50.
- Чалмерс Дж.А.* Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 421 с.
- Шварц Я.М., Ваюшина Г.П., Огуряева Л.В. и др.* Автоматизированные наблюдения за атмосферным электричеством // Труды ГГО. Л.: Гидрометеиздат, 1981. Вып. 442. С. 103-114.
- Шварц Я.М., Огуряева Л.В.* Основы построения сети наблюдений за электрическими свойствами атмосферы // Труды ГГО. Л.: Гидрометеиздат, 1982. Вып. 463. С. 118-128.