

УДК 550.348.436+551.594

НОВАЯ МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

© 2008 О.П. Руленко^{1,2}

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;
e-mail: rulenko@kscnet.ru

²Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
с. Паратунка, Камчатский край, 684034

Предложена новая физически обоснованная методика выявления и изучения предвестника землетрясений в электричестве приземной атмосферы. В отличие от существующего способа обнаружения предвестника в поведении электрического поля впервые рассматривается электрическое состояние приземного воздуха. Методика заключается в измерении градиента потенциала поля вместе с полярными проводимостями воздуха и анализе значений коэффициента униполярности, плотности объемного заряда легких ионов и плотности вертикального тока проводимости с учетом данных метеонаблюдений. Методика применена 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. Впервые перед землетрясением обнаружено возмущение электрического состояния приземного воздуха, которое было аномальным. Оно началось за трое суток и закончилось за 9-12 часов до события. После землетрясения возмущения не было. Выяснены причина и некоторые особенности обнаруженного возмущения.

Ключевые слова: предвестник, землетрясение, электричество, приземная атмосфера, методика.

ВВЕДЕНИЕ

К разнообразным геофизическим возмущениям, регистрируемым на заключительной стадии подготовки землетрясений, относится слабоизученное явление аномального поведения электричества приземной атмосферы (Руленко, 2000; Сидорин, 1992). Исследование его актуально для понимания воздействия литосферы на атмосферу при подготовке землетрясений и использования вместе с другими предвестниками в оперативном сейсмическом прогнозе.

Традиционно для выявления сейсмоаномальных возмущений приземного атмосферного электричества анализируется поведение градиента потенциала V' электрического поля¹, так как это наиболее легко измеряемая атмосферно-электрическая характеристика. Измерения другой важной характеристики – электрической

проводимости воздуха технически более сложны и менее распространены в атмосферном электричестве, чем измерения V' . Поэтому, несмотря на потенциальную информативность, электрическая проводимость воздуха не используется при выявлении и изучении данных возмущений (Руленко, 2000).

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, определяющих 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. В такой ситуации необходима новая, более эффективная методика его выявления и изучения. Она должна быть основана на анализе со-

¹ При нормальной погоде градиент потенциала атмосферного электрического поля положителен, а напряженность – отрицательна (Чалмерс, 1974). Поэтому для удобства анализа данных используется обычно градиент потенциала поля.

вместного поведения электрического поля и электрической проводимости воздуха, что более информативно при изучении аэроэлектрических процессов. Этот качественно новый методический подход рассмотрен в настоящей работе.

СУЩНОСТЬ МЕТОДИКИ

Методика основана на анализе электрического состояния приземного воздуха, которое характеризуется в значительной степени объемными электрическими зарядами у поверхности земли и поэтому меньше, чем электрическое поле, зависит от глобальных факторов. Представляется, что изменение этого состояния является основной причиной атмосферно-электрических возмущений перед землетрясениями, так как воздействие литосферы на атмосферу проявляется наиболее интенсивно на границе земная кора-атмосфера, где значительны потоки в воздух массы и энергии (Адушкин, Спивак, 2005; Адушкин и др., 2006; Войтов, Добровольский, 1994; Гохберг, 1999). Оно сопровождается, в частности, усилением поступления из земли радона, который вносит наибольший вклад в изменчивость ионообразования в воздухе, вызывая изменение электрического состояния (Смирнов, 1992).

В приземном воздухе всегда существуют объемные электрические заряды и воздух имеет электрическую проводимость, что обуславливает ток проводимости. Основную часть тока проводимости определяют легкие ионы (Чалмерс, 1974). Данные основополагающие факты учитываются в предлагаемой методике. Для этого вместе с градиентом потенциала V' измеряются полярные электрические проводимости λ_{\pm} воздуха, которые пропорциональны в первом приближении концентрации положительных и отрицательных легких ионов и характеризуют электрическое состояние воздуха (Шварц, Огуряева, 1982). По физическому принципу своего измерения (Колоколов, Шварц, 1976) полярные проводимости воздуха более локальны, чем V' .

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. При рассмотрении этих параметров уменьшается область сбора аэроэлектрической информации и становится возможным слежение за локальным электрическим состоянием приземного воздуха.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ

Методика применена 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://wwsat.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.

На обсерватории «Паратунка», расположенной в 27 км юго-западнее г. Петропавловска-Камчатского, одновременно измерялись V' , λ_{\pm} , атмосферное давление P и скорость ветра U (Руленко и др., 2007). Для измерений V' использовался датчик «Поле-2» (Гордюк, 1981), а λ_{\pm} — «Электропроводность-2» (Соколенко, Шварц, 1990). Первичный преобразователь датчика «Поле-2» находился на высоте 3.4 м от земли в центре горизонтальной выравнивающей металлической сетки, имеющей форму круга диаметром 4.4 м. Первичный преобразователь датчика «Электропроводность-2» был установлен у стены здания в «электростатической тени» на высоте 2.4 м от земли. Расстояние между первичными преобразователями составляло 17 м. Частота измерений выходных напряжений датчиков была 0.5 Гц. Атмосферное давление и скорость ветра регистрировались метеостанцией Conrad WS-2000 один раз в 10 мин. Скорость ветра измерялась на удалении 160 м от датчиков «Поле-2» и «Электропроводность-2» на высоте 10 м от поверхности земли. Расстояние до эпицентра указанного землетрясения составило 400 км.

На рис. 1 представлены 30-минутные средние значения V' , P и рассчитанные по 30-минутным средним значениям λ_{\pm} и V' значения параметров γ , ρ , j в период с 7 августа по 3 сентября 2004 г. Легкие ионы имеют относительно стабильные средние подвижности (Таммет, 1979). По результатам длительных измерений (Таммет и др., 1988) они взяты $u_+ = 1.36$, $u_- = 1.56$ см²/(В × с).

За трое суток до землетрясения начинается раскочка экстремальных значений γ , ρ и j в масштабе суточных вариаций, которая прекращается за 9-12 часов до него (рис. 1). Во время раскочки экстремальные значения этих параметров существенно превышают фон. Так,

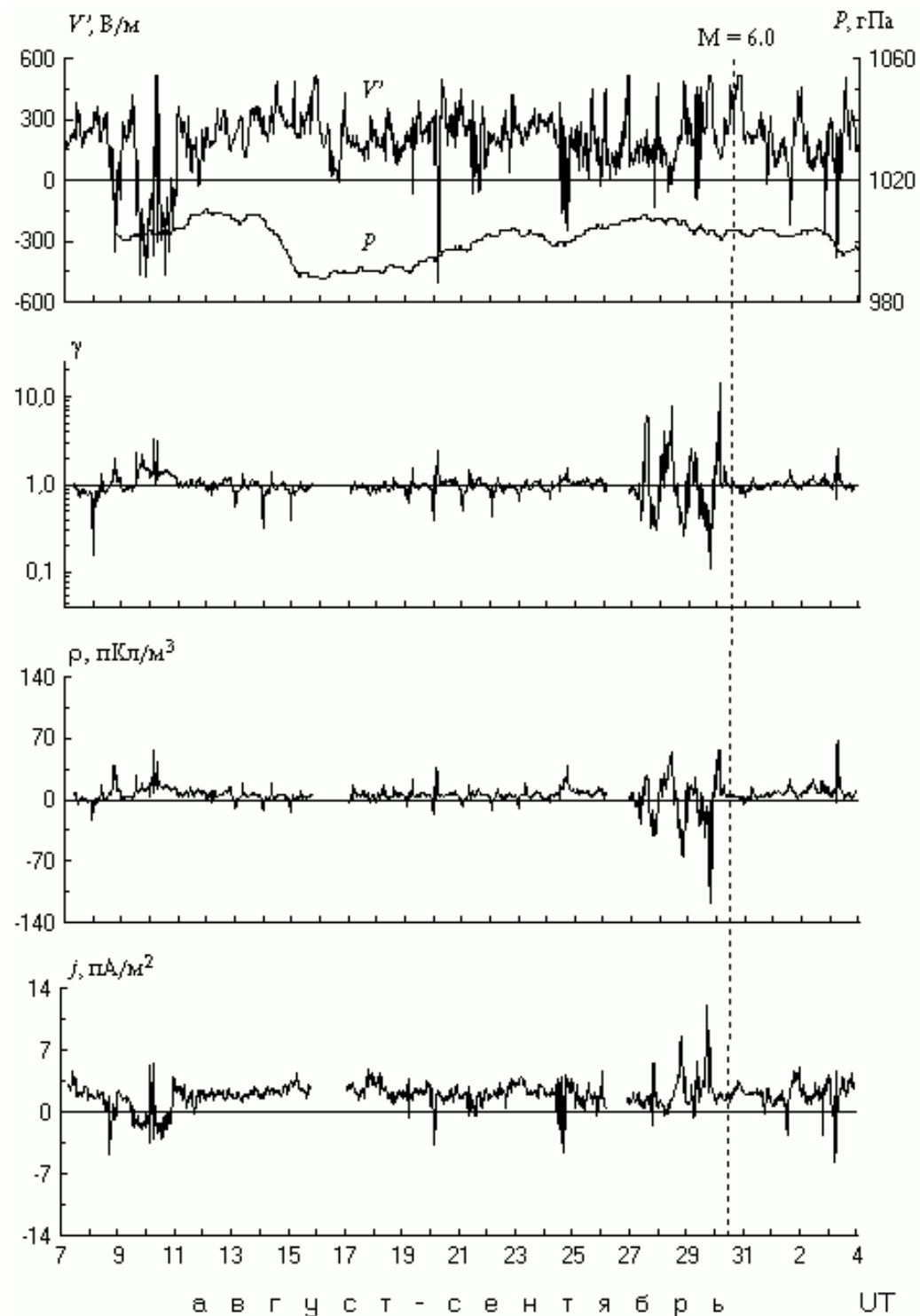


Рис. 1. Поведение градиента потенциала V' электрического поля, атмосферного давления P , коэффициента униполярности γ , плотности объемного электрического заряда легких ионов ρ и плотности вертикального тока проводимости j в период 7 августа - 3 сентября 2004 г. Вертикальной пунктирной линией отмечен момент землетрясения.

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 (Шварц и др., 1981; Шварц, Огуряева, 1982). В указанный период времени на обсерватории «Паратунка» по визуальным наблюдениям сохранялась нижняя облачность 10 баллов, дождя не было. Поэтому возмущение параметров γ , ρ и j можно считать аномальным.

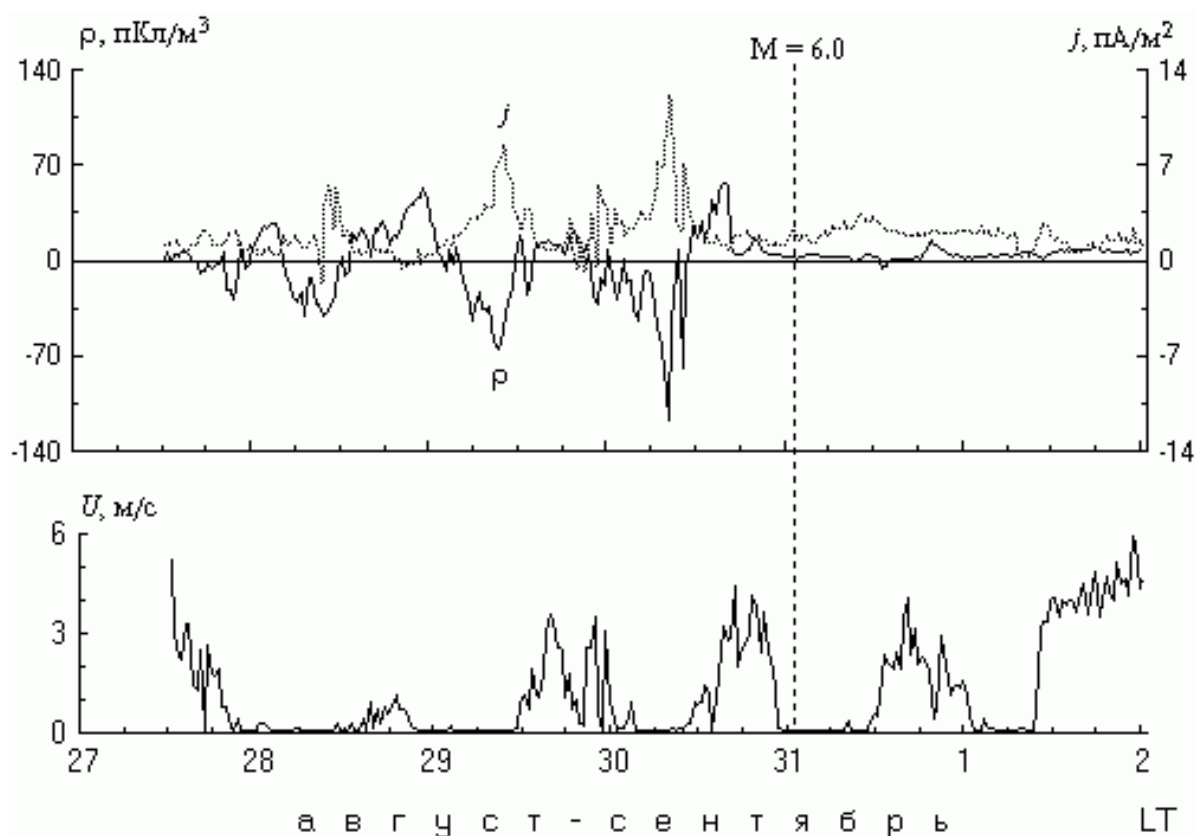


Рис. 2. Возмущение параметров ρ и j перед землетрясением 30 августа 2004 г. Момент землетрясения отмечен вертикальной пунктирной линией. U – 30-минутные средние значения скорости ветра.

Рис. 2 иллюстрирует возмущение ρ и j по местному времени. 28 и 29 августа с раннего утра до полудня в воздухе присутствует значительный отрицательный объемный заряд. 30 августа он появляется уже ночью, присутствует также до полудня, достигая утром наибольшей плотности -120 пКл/м³. После полудня отрицательный заряд сменяется в течение трех суток положительным 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, утром 30 августа. За время аномалии, взятое с 01 ч 28 августа по 16 ч 30 августа LT, коэффициент линейной корреляции между ρ и j равен -0.78 при уровне статистической значимости меньше 0.001 .

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одновременное возмущение параметров γ , ρ , j вместе с сильной, статистически значимой связью между ρ и j свидетельствует об аномальном возмущении в пункте наблюдений электрического состояния приземного воздуха.

Причиной возмущения является значительный отрицательный объемный заряд, который присутствует в воздухе 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. После полудня отрицательный заряд сменяется положительным зарядом. Такое явление перед землетрясением обнаружено впервые. Объяснить его можно следующим образом.

В условиях «хорошей погоды», несмотря на действие электродного эффекта, который обуславливает положительный объемный заряд, ночью и утром в некотором слое воздуха у земли может возникать отрицательный заряд. Впервые это явление обнаружил Даундерер в 1907 г. (Чалмерс, 1974). По существующим представлениям (Куповых, 1996; Куповых и др., 1998; Руленко, 2000; Kulkarni, Kamra, 2001) появление отрицательного объемного заряда связано с усилением ионизации воздуха в результате увеличения концентрации радона. В ночные и утренние часы, когда вертикальное турбулентное перемешивание воздуха минимально и нет ветра, радон накапливается у земли, что проявляется наиболее сильно во время продолжительных штилей и приземных инверсий. Переход утром от режима ночной устойчивости к конвектив-

ному перемешиванию воздуха и наличие ветра приводят к исчезновению отрицательного объемного заряда. Присутствие его в неподвижном и малоподвижном воздухе ночью, утром и даже до полудня наблюдалось многими исследователями (Куповых и др., 1998; Руленко, 2000; Чалмерс, 1974; Khera, Raina, 1978; Kulkarni, Kamra, 2001).

На заключительной стадии подготовки землетрясения усиливается деформирование приповерхностных слоев земной коры, что сопровождается усилением выхода радона и других газов. В случае радона отмеченные выше процессы приведут к появлению в воздухе отрицательного объемного заряда. Согласно рис. 2, отрицательный заряд наблюдается в указанное время суток при отсутствии или очень слабом ветре. После землетрясения (31 августа и 1 сентября) этого заряда нет, что подтверждает связь его с процессом подготовки землетрясения. Низкая 10-балльная облачность во время рассматриваемого возмущения свидетельствует о слабом вертикальном турбулентном перемешивании в приземном слое атмосферы, что способствовало сохранению отрицательного объемного заряда до полудня. Максимум потока рассеянной солнечной радиации в полдень усиливал это перемешивание (Матвеев, 1984) и отрицательный заряд исчезал.

Как можно ожидать, из-за постоянной изменчивости градиента потенциала V' аномальное возмущение его перед землетрясением не наблюдается (рис. 1). За период измерений есть некоторое соответствие в медленном изменении V' и атмосферного давления P , вызванное влиянием на V' метеорологических процессов. Для параметров γ , ρ и j этого нет, что вместе с аномальным возмущением их перед землетрясением указывает на эффективность предлагаемой методики.

ВЫВОДЫ

1. Предложена новая физически обоснованная методика выявления и изучения предвестника землетрясений в электричестве приземной атмосферы. В отличие от существующего способа обнаружения предвестника в поведении электрического поля впервые рассматривается электрическое состояние приземного воздуха. Методика заключается в измерении градиента потенциала поля вместе с полярными проводимостями воздуха и анализе значений коэффициента униполярности, плотности объемного заряда легких ионов и плотности вертикального тока проводимости с учетом данных метеонаблюдений.

2. Применяя эту методику, впервые перед землетрясением обнаружено возмущение элек-

трического состояния приземного воздуха, которое было аномальным. Оно началось за трое суток и закончилось за 9-12 часов до землетрясения с магнитудой $M = 6$, произошедшего на расстоянии 400 км от пункта измерений. Причиной возмущения является значительный отрицательный объемный заряд, который присутствует в воздухе с раннего утра или с ночи до полудня по местному времени в течение трех суток. После землетрясения этого заряда нет. Из-за постоянной изменчивости электрического поля аномальное возмущение его перед землетрясением не наблюдается.

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.
- Гордюк В.П.* Исследование принципов построения приборов для измерения напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы // Труды ГГО. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. Вып. 442. С. 96-102.
- 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.
- Колоколов В.П., Шварц Я.М.* Методы наблюдений элементов атмосферного электричества. Обнинск: ВНИИГМИ - МЦД, 1976. 64 с.
- Куповых Г.В.* Возникновение отрицательного объемного заряда вблизи поверхности земли в высокогорных условиях // Труды ВГИ. СПб.: Гидрометеоиздат, 1996. Вып. 89. С. 73-80.
- Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М.* Теория электродного эффекта в атмосфере. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. 123 с.
- Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 751 с.
- Руленко О.П.* Оперативные предвестники землетрясений в электричестве приземной атмосферы // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 57-68.
- Руленко О.П., Смирнов С.Э., Шевцов Б.М.* Воз-

- мушение 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.
- Соколенко Л.Г., Шварц Я.М.* Датчик электрической проводимости воздуха // Труды ГГО. Л.: Гидрометеиздат, 1990. Вып. 527. С. 33-35.
- 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.
- Khera M.K., Raina B.N.* Electrode effect at a mountain station // J. Atmos. Terr. Phys. 1978. V. 40. № 12. P. 1297-1302.
- Kulkarni M., Kamra A.K.* Vertical profiles of atmospheric electric parameters close to ground // J. Geophys. Res. 2001. V. 106. № D22. P. 28209-28221.

NEW TECHNIQUE TO REVEAL AND STUDY THE PRECURSOR OF EARTHQUAKES IN THE ELECTRICITY OF NEAR-GROUND ATMOSPHERE

O.P. Rulenko^{1,2}

¹*Institute of Volcanology and Seismology FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia;
e-mail: rulenko@kscnet.ru*

²*Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FED RAS,
Paratunka, Kamchatsky country, 684034, Russia*

We introduce a unique technique proved by the physics to reveal and study the earthquake precursors in the electricity of the near-ground atmosphere. Unlike the method of detecting the precursor in the behavior of the electric field, the author for the first time studies the electric state of the near-ground air. The technique consists of measurement of the field potential gradient along with the air polar conductivities. It also includes the analysis of: 1) the unipolarity coefficient values; 2) the space charge density of small ions; 3) the vertical electric conduction current density. Besides, the technique considers the weather observation data. The author used the technique for backcasting of the electrical state of the near-ground air prior to the earthquake near South Kamchatka in August 30, 2004 ($M = 6$, 400 km far from the measurement site). For the first time we recorded an anomalous disturbance of the near-ground air electrical state prior to an earthquake. It started three days and ceased 9-12 hours prior to the event. No disturbance was revealed after the earthquake. The author has found the cause and certain peculiarities of that disturbance.