

## АНОМАЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ НА КАМЧАТКЕ И ВОЗМОЖНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ АНОМАЛИЙ

Смирнов С.Э.<sup>1</sup>, Михайлова Г.А.<sup>2</sup>, Михайлов Ю.М.<sup>2</sup>, Капустина О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
п. Паратунка, Камчатский край, sergey@ikir.ru

<sup>2</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН,  
г. Москва, г. Троицк

### Введение

Впервые нестационарные аномалии уходящего от Земли потока инфракрасного (ИК) излучения были обнаружены на спутнике NOAA-AVHRR при пролете над Среднеазиатской сейсмически активной зоной [2, 6]. Оказалось, что за несколько дней до землетрясений (ЗТ) наблюдаются положительные аномалии ИК-излучения (преимущественно в ночное время), а наиболее сильный эффект проявляется в предрассветные часы. Явление проявляется на больших пространствах вдоль разломов перед коровыми землетрясениями с магнитудой  $M > 4.5$ . Одновременные измерения температуры почвы и воздуха позволили сделать вывод, что источник уходящего ИК-излучения находится либо непосредственно на поверхности, либо под землей. Это явление вызвало большой интерес как дополнительный признак предстоящего ЗТ в совокупности с другими геофизическими аномалиями до него, но, возможно, и как главный фактор в изучении механизмов литосферно-ионосферного взаимодействия. Исследования этого эффекта проводились либо только по космическим снимкам потоков излучений, зарегистрированных на серии спутников (NASA), например, [1, 13, 18]; либо с использованием одновременных записей на метеорологических спутниках GOES [12]; либо по измерениям температуры и дебита воды в бассейне реки [17]. Тепловые аномалии были обнаружены также в вариациях температуры атмосферы по данным метеорологических станций в течение нескольких недель до сильных землетрясений в Мексике в период с 1973 по 2003 г. [11].

Насколько известно авторам, до настоящего времени отсутствуют одновременные исследования тепловых аномалий и квазистатического электрического поля в приземной атмосфере в сейсмически активных зонах накануне сильных землетрясений. Впервые аномалия электрического поля необычного вида была зарегистрирована на Камчатке перед ЗТ с магнитудой  $M = 7.0$  13 ноября 1993 г. [8]. Одновременно наблюдалось усиление естественного электромагнитного излучения на частоте  $f = 1.2$  кГц, в то время как на других частотах (5.4; 8.3 кГц) эффект отсутствовал (характерное явление для локальной грозовой активности [5]). Временная форма аномального электрического сигнала представляла собой колебания большой интенсивности, характерные для локальной грозовой активности [4, 5]. Этот аномальный электрический сигнал автор [7] отнес ко второму типу, в отличие от аномалии первого типа, показанной в качестве примера на рис. 1 накануне трех ЗТ (см. табл.). Как видно, сигналы этого типа представляют собой бухтообразное понижение интенсивности длительностью несколько часов (в некоторых случаях даже со сменой знака [16]) и наблюдаются преимущественно накануне относительно слабых ЗТ. Традиционно аномалии электрического поля такого вида объясняют влиянием радона на электропроводность приземной атмосферы, поступающего в атмосферу Земли. В процессе активного образования трещин перед ЗТ концентрация его заметно возрастает. В свою очередь, интенсивность радиоактивных газов зависит и от метеорологических величин: температуры, относительной влажности и давления атмосферы, в вариациях которых в более ранних публикациях перед ЗТ были выделены предвестники [3]. Очевидно, что наличие аномалий электрического поля двух типов указывает на их различную природу, обусловленную сложным взаимодействием между электрическими и метеорологическими процессами в приземной атмосфере перед ЗТ.

В настоящей работе проанализированы суточные вариации электрических величин (электропроводность воздуха и напряженность квазистатического электрического поля) в совокупности с вариациями метеорологических величин (температура, относительная влажность, давление и скорость ветра) в приземной атмосфере Камчатки накануне сильных ЗТ.

### Исходные экспериментальные данные

Рассмотрены суточные вариации электрических и метеорологических величин в обс. «Паратунка» ДВО РАН ( $\varphi = 52.97^\circ N$ ;  $\lambda = 158.25^\circ E$ ) накануне трех сильных землетрясений с магнитудой  $M > 7$ , произошедших на Камчатке в 2006, 2007 и 2016 гг. Напряженность квазистатического электрического поля ( $E_z$ -компонента, В/м) измерена прибором «Поле-2»; электропроводность атмосферы, обусловленная отдельно положительными ( $\sigma_+$ ) и отрицательными ( $\sigma_-$ ) ионами (либо фСм/м, либо в относительных единицах) – прибором «Электропроводность-2»; давление ( $P$ , гПа), температура ( $T$ , °С), влажность ( $H$ , %), скорость ветра ( $V$ , м/с) – цифровыми станциями WS-2000 и WS-2300. Все величины измерены с дискретностью по времени 10 мин.

На рис. 1 приведены записи суточных вариаций наблюдаемых величин перед землетрясением 15 ноября 2006 г.  $t = 11:14$  UTC;  $M = 8.3$ ;  $h = 30.3$  км;  $\varphi = 46.614^\circ N$ ;  $\lambda = 153.23^\circ E$ . в период с 7 по 15 ноября ( $R = 10^{0.43M} = 3707$  км;  $r \sim 792$  км, где  $R$  – радиус сейсмически активной зоны в коре Земли накануне ЗТ [10],  $r$  – расстояние от обсерватории до эпицентра). 7 ноября при скорости ветра менее 4 м/с, практически неизменном давлении, в отсутствии облачности (данные местной метеостанции) в приземной атмосфере сохранялись условия «хорошей погоды». В этих условиях наблюдались слабые суточные вариации величины  $E_z$  в пределах  $100 \pm 50$  В/м (на рисунке левая ось ординат); слабые вариации электропроводностей обоих знаков; регулярный суточный ход температуры с максимумом  $+5^\circ C$  в местный полдень (01:30 UT) и минимумом  $-3^\circ C$  перед восходом Солнца; регулярный суточный ход относительной влажности (в противофазе с температурой) от 40 до 70 % соответственно. Эти условия в приземной атмосфере сохранялись и в предшествующие дни до 7 ноября.

Как видно на рисунке, в период с 7 ноября наблюдался положительный тренд температуры, связанный с включением дополнительного источника тепла, который действовал в течение десяти дней до 16 ноября, последовательно повышая среднюю температуру атмосферы от  $+1$  до  $+6^\circ C$ , вопреки отрицательному тренду в это время года. Относительная влажность воздуха в нарушение регулярного суточного хода сохранялась практически неизменной и очень высокой:  $\sim 90\%$  и выше. Одновременно были зарегистрированы обильные осадки. В некоторые дни (8, 13, 15 ноября) на графике температуры появились кратковременные всплески  $\Delta T \sim 2^\circ C$ , которые сопровождалось появлением в вариациях электрического поля знакопеременных колебаний большой интенсивности:  $\pm 1000$  В/м (правая ось ординат; на вставке более детально с шагом дискретизации  $\Delta t = 1$  мин показаны аномалии электрического поля второго типа 8 и 15 ноября) и значительным ростом электропроводности (особенно отрицательного знака), связанной с обильными осадками и в два–три раза превышающей значения в условиях «хорошей погоды». Одновременно наблюдалось резкое понижение атмосферного давления и усиление ветра до 16 м/с, т.е. происходили метеорологические явления, характерные для условий локальной грозовой активности в приземной атмосфере. Эти процессы наблюдались до момента сильного ЗТ, указанного стрелкой на рисунке, и сохранились на следующий день после него. Далее источник дополнительного тепла как бы выключился, и во второй половине дня 16 ноября восстановились условия «хорошей погоды».

Также были обработаны данные при землетрясении 13 января 2007 г.:  $t = 04:23$  UTC;  $M = 8.1$ ;  $\varphi = 46.48^\circ N$ ,  $\lambda = 154.07^\circ E$ ,  $h = 10$  км ( $R = 3041$  км;  $r \sim 780$  км). В этом случае процессы в приземной атмосфере развивались так же, как и при землетрясении 15 ноября 2006 г. А именно: 3 и 4 января в атмосфере сохранялись условия «хорошей погоды» со слабым ветром; низким давлением; регулярным суточным ходом температуры от  $-15^\circ C$  до  $-27^\circ C$  и низкой относительной влажностью ( $\sim 40\%$ ); низкими значениями электропроводности и со слабо возмущенными вариациями электрического поля в пределах 50–120 В/м. 5 января включился дополнительный источник тепла, благодаря действию которого температура возросла до  $-10^\circ C$ . При этом при постоянстве давления и низкой относительной влажности в полтора–два раза увеличилась электропроводность и уменьшилась напряженность электрического поля ниже 50 В/м. При дальнейшем росте температуры 7 января усилился ветер до 20 м/с, возросла относительная влажность до 90 %, и в электрическом поле возник отклик до величины  $\sim 1500$  В/м, который сопровождался высокой температурой и высокой относительной влажностью (согласно данным местной метеослужбы, ливневыми осадками). Благодаря осадкам, несущим объемные заряды, электропроводность обоих знаков увеличилась более чем в два раза по сравнению с условиями «хорошей погоды» и испытывала заметные колебания в течение этого периода. Эти данные интересны тем, что при высокой температуре, но низкой влажности наблюдаются усиление электропроводности и соответственно ослабление электрического поля. Мощные всплески электрического поля грозовой природы происходили в условиях, когда

температура аномально возросла (практически до нуля) при столь же аномально высокой относительной влажности ( $\sim 100$ ).

Далее были обработаны суточные вариации наблюдаемых величин при землетрясении 30 января 2016 г.  $t = 03:25:12$  UTC;  $M = 7.2$ ;  $\varphi = 53.98^\circ N$ ,  $\lambda = 158.55^\circ E$ ,  $h = 172.4$  км ( $R = 1247$  км;  $r = 114$  км). В отличие от предыдущих случаев, поведение рассматриваемых величин иное. В суточном ходе температуры отсутствует положительный тренд, но выделяются два периода повышенных значений: 20 и 25–27 января, когда среднесуточные значения возросли до  $-2^\circ\text{C}$  и до  $-6^\circ\text{C}$  соответственно при нерегулярных вариациях относительной влажности. В этот период наблюдалось усиление ветра до 15 м/с. В эти дни выпал обильный снег, в результате чего в несколько раз возросла электропроводность и в вариациях электрического поля наблюдались сильные всплески до 1000 В/м, характерные для таких метеорологических условий. Для сравнения, в условиях «хорошей погоды», когда скорость ветра была ниже 4 м/с 18 и 23–24 января, в вариациях температуры отмечался регулярный суточный ход, отсутствующий в суточных вариациях относительной влажности, высокое атмосферное давление, низкая электропроводность и характерные слабые вариации электрического поля (левая ось ординат). По-видимому, в указанные выше дни действовал дополнительный источник тепла.

### Обсуждение результатов и выводы

Как следует из архивов метеослужбы, зимние грозы на Камчатке случаются в среднем один раз в пять лет. Это редкое метеорологическое явление сопровождается обильными осадками в виде ледяного дождя или ливневого снега. Именно такое явление (по данным местной метеослужбы) наблюдалось в периоды рассмотренных нами трех сильных ЗТ в ноябре 2006 г., январе 2007 г. и январе 2016 г. с магнитудами  $M = 8.3$ ;  $8.1$ ;  $7.2$  соответственно. Для возникновения грозовой активности в эти месяцы недостаточно тепла, поступающего от Солнца. Следовательно, для образования кучево-дождевых облаков, определяющих состояние грозовой активности в приземной атмосфере, необходим дополнительный источник теплового излучения. Проследим последовательно эффекты зимней грозы в суточных вариациях рассмотренных нами величин. Появилась аномалия электрического поля как знакопеременного, так и однополярного вида величины  $E \sim 1000\text{--}1500$  В/м, в десятки раз превышающей сигнал в условиях «хорошей погоды». Такой вид сигнала характерен в условиях грозовой активности в теплое время года. Процесс сопровождался шквальным ветром ( $V \sim 15\text{--}25$  м/с), обильным ливневым снегом, что отразилось в высокой относительной влажности ( $\sim 90\text{--}100\%$ ), сохраняющейся практически неизменной в течение нескольких дней. Обильный снегопад и высокая влажность привели дополнительно к образованию в приземной атмосфере объемных зарядов, вызвавших сильный рост и изменчивость электропроводности воздуха (величина ее возросла в несколько раз по сравнению с условиями «хорошей погоды»). Но самая заметная аномалия наблюдалась в суточных вариациях температуры воздуха, а именно: в нарушении регулярных суточных вариаций и вопреки регулярному отрицательному тренду. Ее величины в эти зимние месяцы в течение 6–7 суток последовательно возрастали от  $0^\circ\text{C}$  до  $+7^\circ\text{C}$ ; от  $-25^\circ\text{C}$  до  $0^\circ\text{C}$ ; от  $-25^\circ\text{C}$  до  $-5^\circ\text{C}$  соответственно. Можно предположить, что именно этот дополнительный источник теплового излучения вызвал наблюдаемые эффекты в суточных вариациях электрических и метеорологических величин в приземной атмосфере и определил природу аномального электрического сигнала второго типа. Источник этого излучения, как следует из одновременных измерений температуры в почве и на поверхности земли [2], располагается под поверхностью. Интенсивность его и продолжительность действия зависят от магнитуды и глубины землетрясения [14]. Наиболее эффективно его действие проявляется при сильных землетрясениях с магнитудой  $M > 7$ . Влияние этого источника должно проявляться и при более слабых ЗТ, под действием которого усиливается поток почвенного радона и отражается в увеличении электропроводности и возникновении аномального электрического сигнала первого типа [15]. Процесс усиления потоков радиоактивных газов был обнаружен также при сильном землетрясении [9], но его влияние, по-видимому, подавляется более сильными процессами образования кучево-дождевых облаков.

Как видно на рис. 1, источник аномального роста теплового излучения включается преимущественно в ночное местное время, ближе к восходу Солнца, т.е. во время отсутствия солнечного источника инфракрасного теплового излучения. Однако природа этой тепловой аномалии и привязка к ночному времени до сих пор не ясна. Существует несколько возможных сценариев этого процесса, обсуждение которых выходит за рамки настоящей статьи.

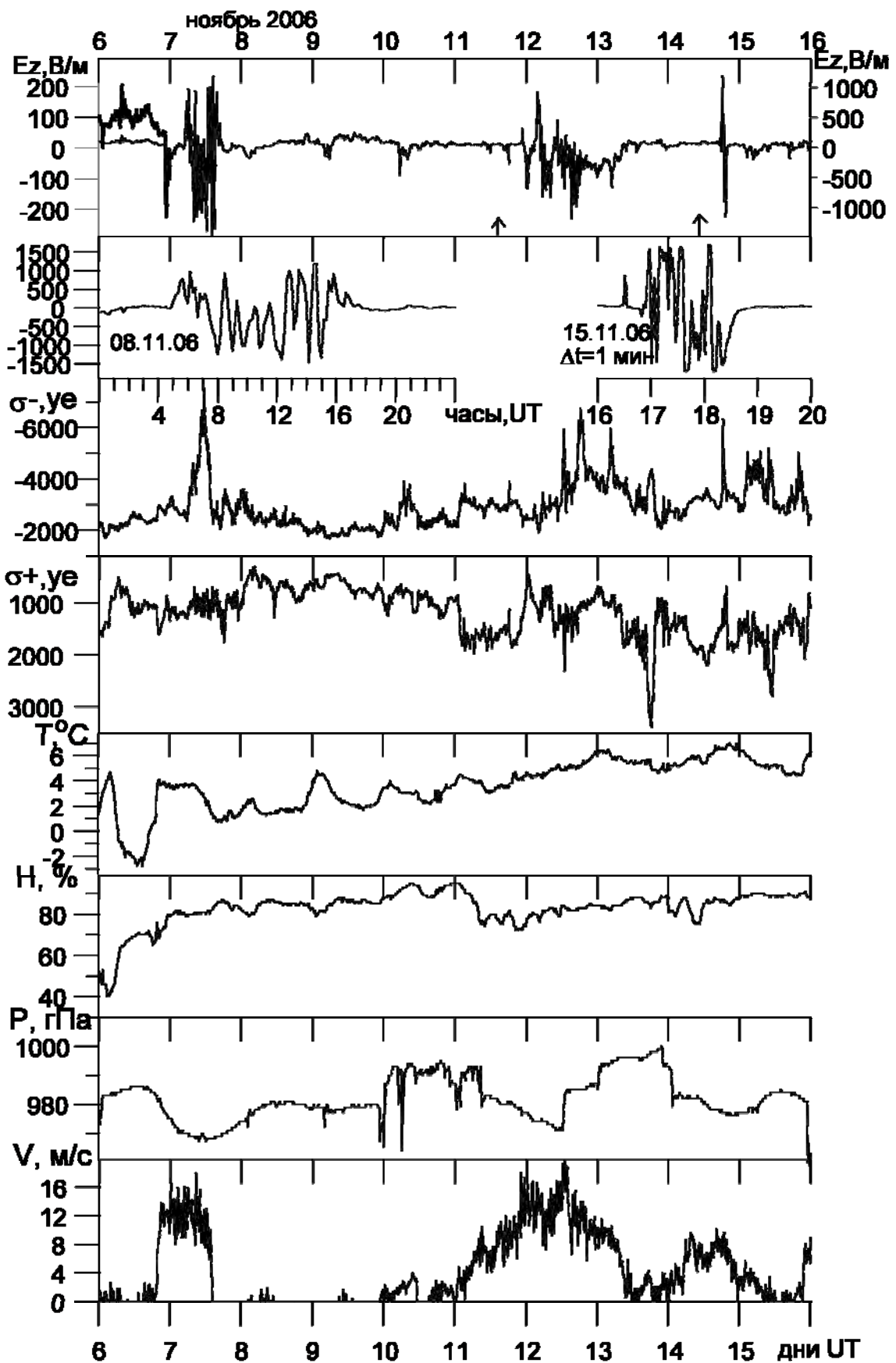


Рис. 1. Динамика суточных вариаций электрических ( $E_z$ - компоненты поля, электропроводности  $\sigma_+$  и  $\sigma_-$ ) и метеорологических (температуры  $T^\circ\text{C}$ , относительной влажности  $H$ , %, давления атмосферы  $P$  и скорости ветра  $V$ ) величин перед землетрясением 15 ноября 2006 г. Стрелки на рисунке – моменты землетрясений.

Таким образом, анализ суточных вариаций электрических и метеорологических величин, измеренных одновременно перед сильными землетрясениями с детальностью в 10 мин, впервые позволил исследовать тонкие процессы в приземной атмосфере земли при аномалии температуры. Более того, при слабом потоке естественного теплового излучения в эти сезоны года наблюдаемую динамику электрических и метеорологических процессов, по-видимому, можно объяснить появлением дополнительного источника теплового излучения сейсмической природы. Для завершения картины этих процессов целесообразно в будущем проанализировать записи потоков радиоактивных газов, а также записи уходящего инфракрасного излучения при пролете спутников над Камчаткой во время рассмотренных нами землетрясений.

### Список литературы

1. Бондур В.Г., Воронова О.С. Вариации уходящего длинноволнового излучения при подготовке и протекании сильных землетрясений на территории России в 2008 и 2009 годах // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 1. С. 79–85.
2. Горный В.И., Сальман А.Г., Тронин А.А., Шилин Б.В. Уходящее инфракрасное излучение Земли – индикатор сейсмической активности // ДАН. 1988. Т. 301. № 1. С. 67–69.
3. Милькис Б.Р. Метеорологические предвестники сильных землетрясений // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1986. № 3. С. 36–47.
4. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Дружин Г.И., Смирнов С.Э. Электрические и электромагнитные процессы в приземной атмосфере перед землетрясениями на Камчатке // Геомагнетизм и аэронаука. 2006. Т. 46. № 6. С. 839–852.
5. Михайлова Г.А., Михайлов Ю.М., Капустина О.В., Смирнов С.Э. Эффекты грозовой активности в спектрах мощности электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке // Геомагнетизм и аэронаука. 2010. Т. 50. № 6. С. 843–852.
6. Сальман А.Г., Тронин А.А. Вариации потока уходящего инфракрасного излучения Земли в сейсмоактивных регионах Средней Азии // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1990. № 7. С. 67–69.
7. Руленко О.П. Оперативные предвестники землетрясений в электричестве приземной атмосферы // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 57–68.
8. Руленко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф. Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед Камчатским землетрясением 13.11.93 г.,  $M = 7.0$  // ДАН. 1996. Т. 348. № 6. С. 814–816.
9. Руленко О.П., Кузьмин Ю.Я. Увеличение объемной активности радона и торона на Камчатке перед катастрофическим землетрясением в Японии 11 марта 2011 г. // Тр. VI Международной конф. «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений», с. Паратунка, Камчатский край, 9–13 сентября 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2013. С. 430–434.
10. Dobrovolsky I.P., Zubkov S.I., Myachkin V.I. Estimation of the size of earthquake preparation zones // Pure Appl. Geophys. 1979. V. 117. № 5. P. 1025–1044.
11. Dunajevka M.A., Pulinets S.A. Atmospheric and thermal anomalies observed around the time of strong earthquakes in Mexico // Atmosfera. 2005. V. 18. № 4. P. 235–247.
12. Ouzounov D., Bryant N., Logan Th., Pulinets S., Taylor P. Satellite thermal IR phenomena associated with some of the major earthquakes in 1999–2003 // Phys. Chem. Earth. 2006. V. 31. P. 154–163.
13. Ouzounov D., Liu D., Chunli K., Cervone G., Kafatos M., Taylor P. Outgoing long-wave radiation variability from IR satellite data prior to major earthquakes // Tectonophysics. 2007. V. 431(1–4). P. 211–220.
14. Rawat V., Saraf A.K., Sharma K., Shujat Y. Anomalous land surface temperature and outgoing long-wave radiation observations prior earthquakes in India and Romania // Nat. Hazards. 2011. V. 59. P. 33–46.
15. Riggio A., Santulin M. Earthquake forecasting: a review of radon as seismic precursor // Bollettino di Geofisica Teorica ad Applicata. 2015. V. 56. № 2. P. 95–114.
16. Smirnov S. Association of the negative anomalies of the quasistatic electric field in atmosphere with Kamchatka seismicity // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2008. V. 8. P. 745–749.
17. Tronin A.A., Biagi P.F., Molchanov O.A., Khatkevich Y.V., Gordeev E.I. Temperature variations related to earthquakes from simultaneous observation at the ground stations and by satellites in Kamchatka area // Physics and Chemistry of the Earth. 2004. V. 29. P. 501–506.
18. Tronin A., Hayakawa M., Molchanov O. Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China // J. Geodynamic. 2002. V. 33. P. 519–534.