

ИОНОСФЕРНЫЕ И АЭРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ ПЕРЕД КАМЧАТСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 30.01.2016

Смирнов С.Э.¹, Бычков В.В.¹, Корсунова Л.П.², Хегай В.В.²

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

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

Введение

Анализ различных экспериментальных данных, полученных в зоне подготовки любого сильного землетрясения незадолго до сейсмического толчка, всегда представляет большой интерес. Такой анализ, прежде всего, необходим для создания наиболее полного физического «портрета» последовавшего сейсмического события и, в перспективе, для определения специфических черт, возникающих на завершающей фазе его подготовки.

Конечная цель подобного рода исследований – выделить совокупность таких аномалий в поведении разных измеряемых физических параметров, которые могли бы служить возможными временными индикаторами назревающего толчка (его возможными предвестниками) для использования в прогнозе других землетрясений. Однако выделение аномалий, предшествующих землетрясениям (АПЗ) с некоторым временным упреждением, еще не означает их обязательной причинной связи с подземными толчками, хотя они могут устойчиво коррелировать с сейсмическими событиями с каким-то характерным временем их упреждения (например, в зависимости от магнитуды землетрясения). В любом случае необходимо накапливать наблюдательный материал, который поможет ответить как на фундаментальные вопросы о возможной причинной связи АПЗ с последовавшим землетрясением, так и для решения практических вопросов прогноза, если некая совокупность АПЗ будет хорошо коррелировать с моментом толчка с подходящим временным упреждением.

В настоящей работе не обсуждается генезис проявления в атмосфере Земли сейсмогенных аномалий, предшествующих землетрясениям и обусловленных процессами подготовки землетрясений в области их очагов внутри Земли. Возможные физические механизмы связи возмущений в ионосфере, предшествующих землетрясениям (ВИПЗ), которые можно рассматривать как ионосферные предвестники землетрясений подробно рассмотрены, в частности, в монографии [3], а аномалии в приземном атмосферном электричестве, предшествующие землетрясениям (АПАЭПЗ), являющиеся электрическими предвестниками землетрясения (ЭПЗ), детально разбираются в монографии [8], а также в работах [5, 6]. Важный физический аспект непосредственной связи сейсмогенных электрических аномалий в твердой Земле перед землетрясениями с соответствующими их проявлениями в атмосфере приземного слоя, обусловленный переносом положительно заряженных «дырок» (происходящим при сжатии в магматических породах), подробно описан в работах [11, 9]. Общий обзор предвестников землетрясений всех возможных типов и их физическая природа подробно обсуждаются в монографии [7].

Целью настоящей работы является выделение ВИПЗ и АПАЭПЗ и их сопоставительный анализ перед Камчатским землетрясением 30.01.2016 г. (географические координаты эпицентра $\varphi_e = 54.01^\circ N$, $\lambda_e = 158.01^\circ E$, магнитуда $M = 7.2$, глубина гипоцентра $h = 161$ км), произошедшим в 03:25 UT на эпицентральной расстоянии $R \cong 116$ км от комплексной геофизической обсерватории "Паратунка" (географические координаты $\varphi = 52.97^\circ N$, $\lambda = 158.25^\circ E$). Для этого были использованы данные проводившихся на ней пятнадцатиминутных измерений параметров ионосферы, десятиминутных измерений вертикальной компоненты (E_z) приземного квазистатического атмосферного электрического поля (КАЭП) и соответствующих ему величин электропроводности приземного слоя воздуха (λ^+ и λ^-) в январе 2016 г.

Геофизическая и метеорологическая обстановка

При анализе вариаций в ионосфере большую роль играет наличие или отсутствие в рассматриваемый период времени существенных геомагнитных возмущений, которые могут влиять

на ионосферу (причем особенно сильно их влияние на область F ионосферы, проявляющееся глобально, а исследование приземного атмосферного электричества может осложнять наличие осадков [6, 4].

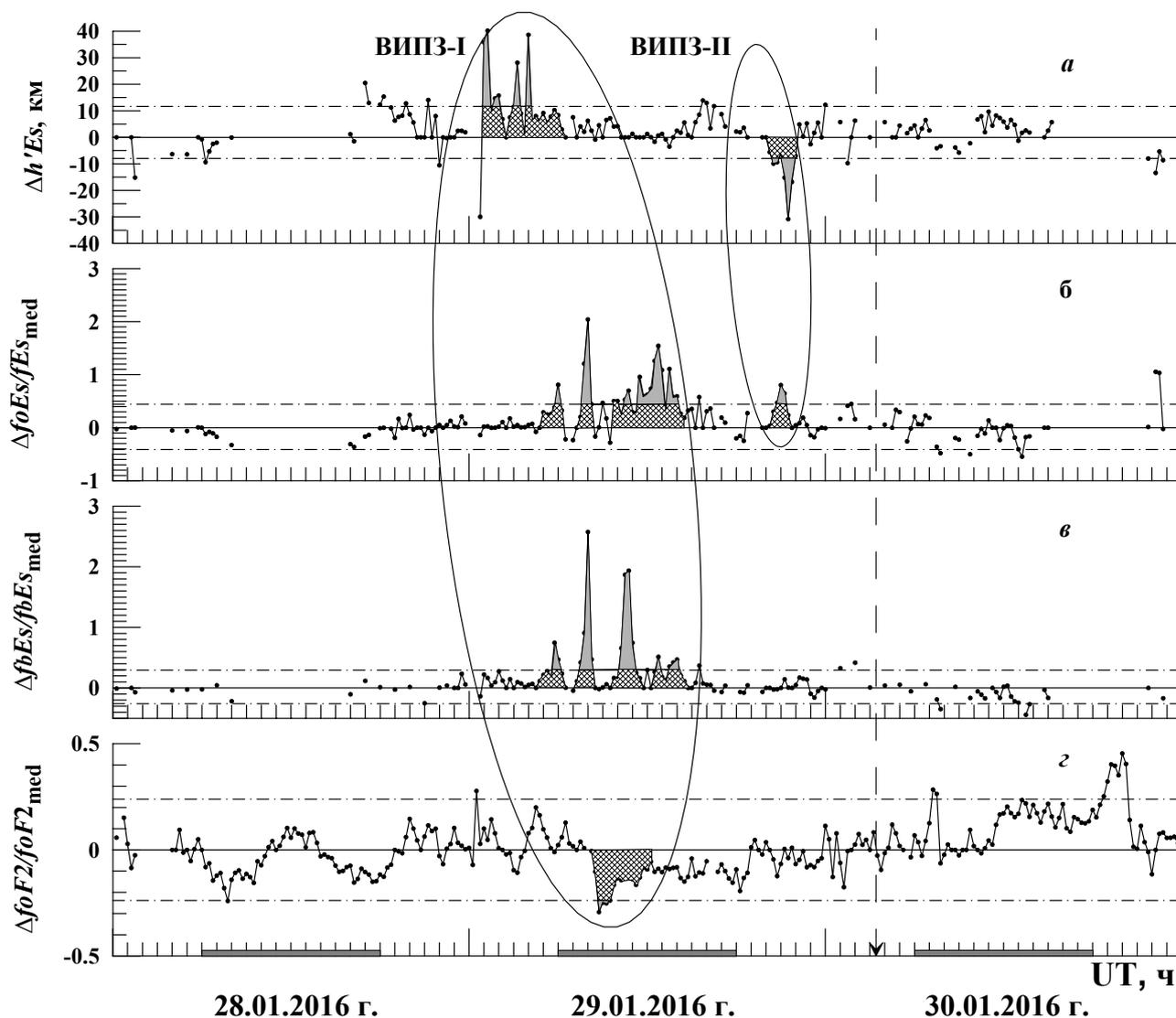


Рис. 1. Изменения параметров ионосферных слоев Es и $F2$ со временем (UT): $a - \Delta h'Es$; $б - \Delta foEs/foEs_{med}$; $в - \Delta fbEs/fbEs_{med}$; $г - \Delta foF2/foF2_{med}$. Штриховая линия со стрелкой отмечает момент землетрясения, темные прямоугольники на оси абсцисс обозначают интервалы местного времени от 18:00 до 06:00 LT.

Штрихпунктирные линии фиксируют полосы разбросов $K\pm$, а выходящие за них вариации (выделенные аномалии) даны темной заливкой. Части этих аномалий, не выходящие за границы разбросов, для удобства восприятия заштрихованы. Аномалии объединены в две группы (эллипсы ВИПЗ-I и ВИПЗ-II).

Во-первых, с 25 по 31 января по мировому времени, согласно данным obs. «Паратунка», не наблюдалось осадков. Уровень шумов в сигнале КАЭП при наличии осадков на два порядка выше, чем в условиях «хорошей погоды», что могло бы затруднить выделение аномалий [4].

Во-вторых, величина трехчасового Kp -индекса планетарной геомагнитной активности в этот же период не превышала уровня $2+$ во все часы суток (что соответствует геомагнитно-спокойным условиям), за исключением последних трех часов 31 января.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 приведены вариации ионосферных параметров в течение трех дней по UT. Штриховая линия со стрелкой отмечает момент землетрясения, темные прямоугольники на оси абсцисс обозначают интервалы местного времени от 18:00 до 06:00 LT. Штрихпунктирные линии фиксируют полосы разбросов $K\pm$, а выходящие за них вариации (выделенные аномалии) даны темной заливкой. Части этих аномалий, не выходящие за границы разбросов, для удобства восприятия заштрихованы. Аномалии объединены в две группы (эллипсы ВИПЗ-I и ВИПЗ-II).

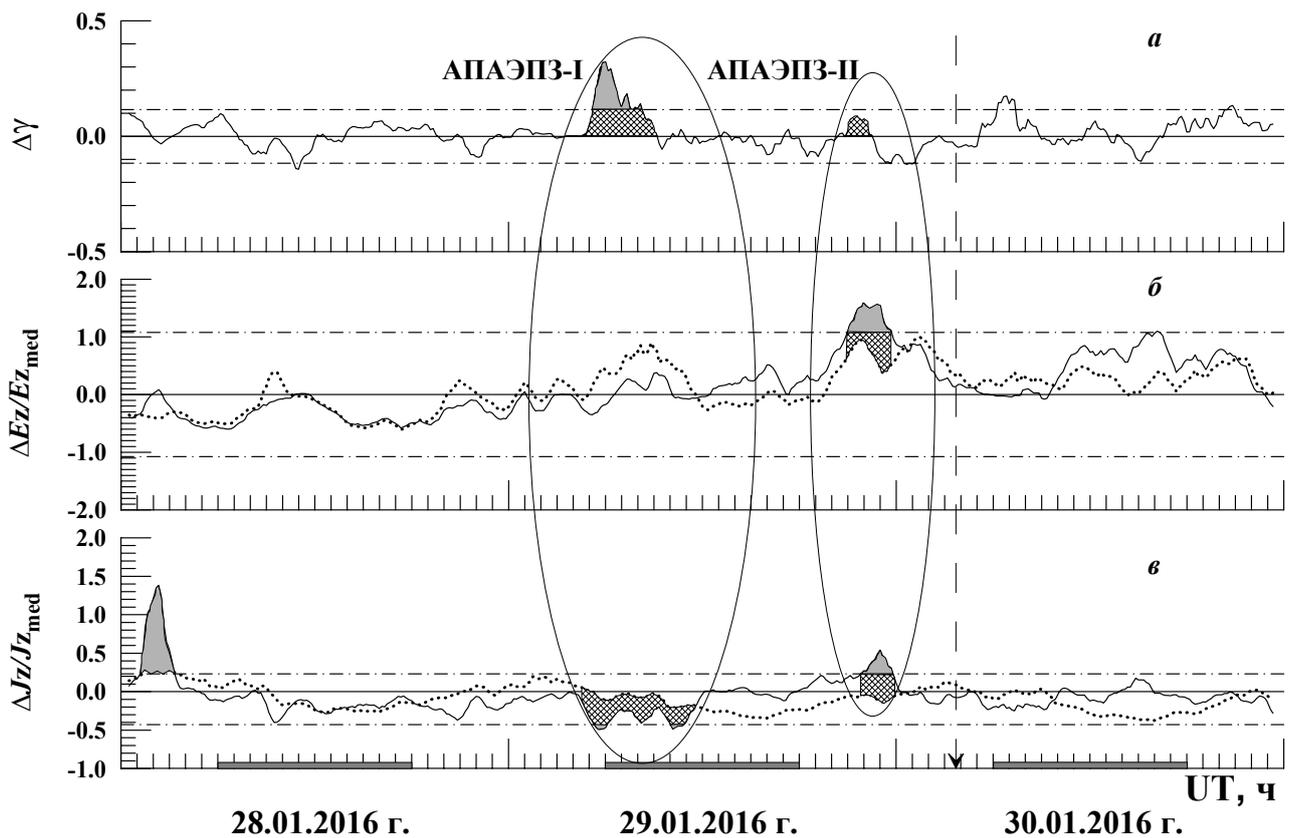


Рис. 2. То же, что и на рис. 1, но для электрических характеристик приземного слоя атмосферы: *a* – $\Delta\gamma$; *б* – $\Delta E_z/E_{z_{med}}$; *в* – $\Delta J_z/J_{z_{med}}$. Выделены две группы аномалий (эллипсы АПАЭПЗ-I и АПАЭПЗ-II) и отдельно – аномалия $\Delta J_z/J_{z_{med}}$ в начале суток 28.01.2016 г. Пунктирные линии на панелях *б* и *в* показывают вариации этих же параметров в соответствии с «теоретической» моделью зависимости $E_z = E_z(\lambda_{\Sigma})$.

В группе ВИПЗ-I аномалии действующей высоты $h'Es$ появляются на ~ 4 ч раньше, чем в частотных характеристиках спорадического слоя Es , а аномалия в $F2$ -слое возникает еще на 4 ч позже. Такое распределение временной задержки получится, если предположить, что в результате развития сейсмического процесса на заключительной фазе его подготовки (близко к моменту толчка), часть сейсмической энергии канализируется от земли в верхние слои атмосферы. Она сначала достигает высот спорадического слоя Es и только потом более высоко лежащего $F2$ -слоя (при этом изменяются и их частотные характеристики), однако, конечно, ситуация может быть и более сложной. Здесь под сейсмической энергией понимается потенциальная энергия среды, накопленная в виде ее упругих напряжений, которая при землетрясении, главным образом, идет на разрушение материала среды, трение при подвижке и образование сейсмических волн. До магистрального разрыва малая (по сравнению с моментом главного удара) часть уже накопленной энергии частично выделяется в атмосферу, например в виде тепла, инфразвука и т. п. (см., в частности, работу [10]).

Первая аномалия группы ВИПЗ-I в $h'Es$ появляется за ~ 26.5 ч до землетрясения, а последние (в $foEs$ и $fbEs$) заканчиваются за ~ 13 ч до него. Общая длительность аномалий в группе (от начала появления первой до исчезновения последней в этой группе) составляет ~ 13 ч. Анализ группы аномалий ВИПЗ-I показывает, что сначала значительно возрастает действующая высота, с которой наблюдаются отражения, а затем (с задержкой порядка часов) резко возрастают частоты $fbEs$ и $foEs$ (а не только $fbEs$), что свидетельствует о развитии выраженной неоднородности структуры слоя в горизонтальных направлениях. При этом горизонтальные размеры отдельных крупных «облаков» с повышенной электронной концентрацией составляют несколько сотен километров, а электронная концентрация распределена неоднородным образом внутри каждого такого «облака» (см. монографию [1]). Таким образом, над станцией зондирования ионосферы появляются более плотные и более неоднородные «облака» плазмы внутри регулярного слоя E , собственно и составляющие спорадический слой Es .

Следует также отметить еще одно обстоятельство. Для группы аномалий ВИПЗ-I резкое начальное уменьшение высоты слоя $h'Es$ коррелирует с одновременным «выбросом» $foF2$ (нижняя

панель), однако, так как длительность этого возмущения составляет менее получаса (всего одна точка), то по принятому ранее условию, этот «выброс» в $foF2$, совпадающий с резким понижением в $h'Es$, не попадает (формально) под определение аномалии.

Группа ВИПЗ-II проявляется только в спорадическом слое Es практически синхронно (в $h'Es$ и $foEs$) за ~ 6.4 ч до толчка и длится ~ 1.5 ч. Здесь корреляция возрастания $foEs$ с уменьшением высоты слоя $h'Es$ свидетельствует о том, что неоднородность отражающего слоя возрастает одновременно с его понижением, при этом нельзя однозначно говорить об увеличении плотности слоя, так как $fbEs$ практически не изменяется.

Рисунок 2 выполнен по аналогии с рис. 1, но для соответствующих электрических параметров приземного слоя атмосферы. Аномалии на этом рисунке также объединены в две группы (эллипсы АПАЭПЗ-I и АПАЭПЗ-II), и отдельно показана существенная относительная аномалия $\Delta Jz/Jz_{med}$ в начале суток 28.01.2016 г.

В группе АПАЭПЗ-I начало положительных аномалий в приращении коэффициента униполярности $\Delta\gamma$ совпадает с началом отрицательных относительных приращений вертикального тока $\Delta Jz/Jz_{med}$, при этом не наблюдаются аномалии в относительных изменениях вертикальной компоненты КАЭП Ez . По времени группа АПАЭПЗ-I примерно соответствует группе ВИПЗ-I рис. 1.

В группе АПАЭПЗ-II развитие положительного относительного приращения вертикального тока $\Delta Jz/Jz_{med}$ примерно на час запаздывает от такого же относительного приращения КАЭП $\Delta Ez/Ez_{med}$, причем в это время положительное абсолютное приращение коэффициента униполярности $\Delta\gamma$ приближается к верхней границе своего разброса. По времени эллипс АПАЭПЗ-II соответствует эллипсу ВИПЗ-II рис. 1.

Отдельно выделена значительная аномалия в $\Delta Jz/Jz_{med}$, существующая с 01:00 по 03:00 UT 28.01.2016 г., которая не сопровождается аномалиями в других электрических параметрах приземного слоя воздуха, однако в $\sim 01:30$ UT регистрируется отрицательный «выброс» приращения действующей высоты $\Delta h'Es$ (см. рис. 1). К сожалению, ионосферные данные по слою Es на этом интервале времени далее (вблизи этого момента времени) слишком фрагментарны. Можно только отметить, что этот «выброс» приращения действующей высоты $\Delta h'Es$ в ионосфере возникает по времени несколько позже, чем возмущение в приземном электричестве, когда аномалия в $\Delta Jz/Jz_{med}$ уже успела развиться.

Более детальное сопоставление рис. 2 с рис. 1 (путем совмещения их временных осей) обнаруживает следующее. Аномалии в группе ВИПЗ-II появляются практически синхронно с началом аномалии в КАЭП $\Delta Ez/Ez_{med}$, с незначительной задержкой. В группе ВИПЗ-I ситуация несколько сложнее. Аномальные изменения частотных параметров ионосферы, тесно связанные со структурой спорадического слоя Es , также начинаются с задержкой (незначительной для $\Delta foEs/foEs_{med}$, $\Delta fbEs/fbEs_{med}$, и около 4 часов для $\Delta foF2/foF2_{med}$) после начала аномалий в группе АПАЭПЗ-I величин $\Delta Jz/Jz_{med}$ и $\Delta\gamma$. Однако высотная его характеристика $\Delta h'Es$, начинает свой аномальный ход раньше примерно за три часа до того, как значения $\Delta Jz/Jz_{med}$ станут аномально низкими (оставаясь отрицательными). Тем не менее, на рис. 2 видно, что на протяжении этих трех часов величина $\Delta Jz/Jz_{med}$ не только отрицательна, но и проходит существенно ниже «теоретической» кривой для $\Delta Jz/Jz_{med}$, т.е. несмотря на то, что возмущение $\Delta Jz/Jz_{med}$ по своей величине еще не выходит за нижнюю границу своего разброса, высота ионосферного слоя Es растет, прежде чем в нем начнутся существенные его структурные изменения, что конечно, требует какого-то времени.

Сопоставление рисунков 1 и 2 показывает хорошую корреляцию между аномалиями групп ВИПЗ-I и АПАЭПЗ-I, равно как и групп ВИПЗ-II и АПАЭПЗ-II, и, в основном, более раннее развитие аномалий в приземном электричестве по сравнению с развитием аномалий в ионосфере. Наблюдение такого совпадения во временном ходе аномалий в ионосфере и электричестве приземной атмосферы перед землетрясением 30.01.2016 г. свидетельствует в пользу гипотезы о том, что эти аномалии могут быть связаны с процессом подготовки землетрясения и являются ионосферными предвестниками землетрясения (ИПЗ) и электрическими предвестниками (ЭПЗ) этого землетрясения соответственно.

Выводы

Проведен сопоставительный анализ данных пятнадцатиминутных измерений вертикального зондирования ионосферы и десятиминутных измерений вертикальной компоненты (Ez) приземного квазистатического атмосферного электрического поля (с соответствующими ему величинами электропроводности приземного слоя воздуха λ^+ и λ^-) на комплексной геофизической обсерватории "Паратунка" за период с 28.01.2016 г. по 30.01.2016 г. Цель состояла в обнаружении возможных

аномалий, предшествующих землетрясению магнитудой $M = 7.2$, произошедшему 30.01.2016 г. в 03:25 UT с эпицентральной дистанцией 117 км от обсерватории.

Выделенные группы возмущений в ионосфере, предшествующие землетрясению (ВИПЗ-I,-II), как оказалось, хорошо коррелируют по времени с аномалиями в приземном атмосферном электричестве, предшествующими землетрясению (АПАЭПЗ-I,-II). С учетом ранее проведенных исследований по обнаружению ионосферных предвестников землетрясений для Камчатского региона, выполненных в работе [2], с высокой степенью вероятности можно считать, что выделенные аномалии в ионосфере были ионосферными предвестниками землетрясения, а соответствующие им аномалии в приземном атмосферном электричестве были электрическими предвестниками землетрясения.

Список литературы

1. Гершман Б.Н. Динамика ионосферной плазмы. М: Наука, 1974. 256 с.
2. Корсунова Л.П., Хезай В.В. Об эффективности метода поиска ионосферных предвестников землетрясений по параметрам спорадического слоя E и регулярного слоя $F2$ / Сб. докл. VI Междунар. конф. "Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений". с. Паратунка, Камчатский край, 9–13 сентября 2013 г. / Отв. ред. Б. М. Шевцов. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2013. С. 412–417.
3. Липеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л. Ионосферные предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 303 с.
4. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Бузевич А.В., Смирнов С.Э. Особенности атмосферных шумов, наложенных на вариации квазистатического электрического поля в приземной атмосфере Камчатки // Геомагнетизм и аэронавигация. 2005. Т. 45. № 5. С. 690–705.
5. Руленко О.П. Оперативные предвестники землетрясений в электричестве приземной атмосферы // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 57–68.
6. Руленко О.П. Новая методика выявления и изучения предвестника землетрясений в электричестве приземной атмосферы // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2008. № 2. Вып. № 12. С. 42–47.
7. Сидорин А.Я. Предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 192 с.
8. Электромагнитные предвестники землетрясений / Ред. М. А. Садовский. М.: Наука, 1982. 69 с.
9. Freund F.T., Takeuchi A., Lau B.W.S. Electric currents streaming out of stressed igneous rocks – a step towards understanding pre-earthquake low frequency EM emissions // Phys. Chem. Earth. 2006. Parts A/B/C. V. 31. Iss. 4–9. P. 389–396.
10. Ouzounov D., Freund F.T. Mid-infrared emission prior to strong earthquakes analyzed by remote sensing data // Adv. Space Res. 2004. V. 33. Iss. 3. P. 268–273.
11. St-Laurent F., Derr J. S., Freund F.T. Earthquake lights and the stress-activation of positive hole charge carriers in rocks // Phys. Chem. Earth. 2006. Parts A/B/C. V. 31. Iss. 4–9. P. 305–312.