

сб. "Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов". М.: ОИФЗ РАН, 1998. С. 88-98.

9. Гохберг М.Б. Некоторые аспекты акустического воздействия на ионосферу//В сб. "Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов". М.: ОИФЗ РАН, 1998. С. 138-141.

10. Liperovskaya E.V., Meister C.-V., Bogdanov V.V., Liperovsky V.A., On the space scales of seismo-ionospheric effects based on data of the critical foF2-frequency observed by the VS-stations Tokyo, Petropavlovsk-Kamchatsky and Tashkent, this volume.

**ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В
ТРОПОСФЕРЕ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ
GENERATION OF ELECTRIC FIELD AND INFRARED RADIATION IN THE
TROPOSPHERE BEFORE EARTHQUAKES**

В.В. Михайлин¹, В.А. Липеровский², А.С. Силина²,
В.В. Богданов³, К.-В. Мейстер⁴, Е.В. Липеровская²

¹Физический факультет МГУ, г. Москва, Воробьевы горы, д. 1

²ИФЗ РАН, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10

³ИКИР ДВО РАН, Камчатская обл., Елизовский район, с. Паратунка

⁴Технологический Университет, Германия, Дармштадт, Шлоссенгартен штрассе, 9

Some years ago, a model of the generation of local electric fields in the atmosphere a few days before earthquakes and up to a few days after the seismic shock was proposed. The process of the electric fields generation occurs due to increased ionization in the atmosphere at the presence of aerosols. The electric field arises because the larger aerosols which are mainly negatively charged fall down with a larger velocity than the smaller, mainly positively charged aerosols. The ionization in such atmospheric regions is caused by radon, the concentration of which increases in earthquake preparation regions. The formation of mosaic-likely distributed regions of electric fields with intensities of $3 \cdot 10^2$ -- 10^5 V/m, and on the other hand, large areas with increased electrical conductivity should cause a series of physical effects which may be studied using earth-based, atmospheric and satellite observations.

The theoretical analysis of the possible infrared emission spectra showed, that the most important spectral bands, from which information is obtained on electric fields in the night-time ionosphere, possess wavelengths in the interval between $7.0 \mu\text{m}$ and $17.0 \mu\text{m}$. A hypothesis is proposed according to which the infrared emissions are not only connected with the electron acceleration, but also with the heating of the light ions in the electric field.

1. Работы в направлении поиска прогноза землетрясений на основе традиционных сейсмологических методов ведутся уже около 150 лет. Считается, что в принципе проблема долгосрочного прогноза решена. Проблема же оперативного прогноза землетрясений за несколько десятков часов до события была и остается одной из нерешенных проблем. Заметим, что для успешного оперативного прогноза необходимы не только сейсмологические исследования, а всестороннее исследование физики землетрясений и комплекса различных явлений, связанных с подготовкой землетрясения, в частности, вариаций квазистационарного электрического поля, вспышек света и других световых явлений в атмосфере. Эти явления неоднократно наблюдались в ночных условиях перед сильными разрушительными землетрясениями [1, 2, 3]. Однако хорошо наблюдаемые невооруженным глазом световые явления перед землетрясениями бывают достаточно редко – при магнитудах $M > 6$ в 5% случаев [4]. Двадцать лет назад при исследовании со спутников уходящего равновесного инфракрасного излучения над Среднеазиатским регионом на основе анализа ежесуточных ночных космических тепловых снимков в диапазоне 10,5-11,3 мкм в периоды подготовки землетрясений впервые были обнаружены аномалии [5]. Аналогичные наблюдения были и в последние годы [6]. Однако для решения проблемы прогноза землетрясений интересно исследовать спектры инфракрасного **неравновесного** излучения.

Области ионизации в атмосфере над областью подготовки землетрясений можно диагностировать также при помощи радиолокации, анализируя помехи [7, 8]. Вопрос о том, какие физические механизмы приводят к свечению в атмосфере перед землетрясениями, является очень непростым и рассматривался в работе [9], при этом привлекалось несколько гипотез, см. например, [1]. В большинстве гипотез предполагалось, что причиной свечения является аномальное электрическое поле.

Модель генерации квазиоднородного крупномасштабного аномального электрического поля в приземной атмосфере перед землетрясениями развивалась в работах [10, 11, 12, 13]. Эта

модель учитывает аномальную ионизацию при выделении радона из земной коры перед землетрясениями и процесс гидротации - притяжение молекул воды, всегда присутствующих в атмосфере, к образовавшимся ионам, формирование лиганд, предохраняющих заряженные частицы от рекомбинации и делающих их квазистабильными.

Предложенная модель процесса [14, 15, 16, 17] подразумевает образование мозаично разбросанных в атмосфере в зоне подготовки землетрясений френкелевских областей нестационарного электрического поля с характерными размерами порядка сотен метров, являющихся источниками неравновесного инфракрасного излучения в окне прозрачности для длин волн 7-17 мкм. Предполагалось, что если электрические поля – предвестники в периоды подготовки землетрясений в приземной атмосфере недостаточно велики для пробоя, то, вероятно, они будут достаточными для возбуждения неравновесного инфракрасного (ИК) излучения.

2. Испускаемые при радиоактивном распаде радона α -частицы с энергией порядка 6 МэВ отдают свою энергию при многократных воздействиях на молекулы атмосферы, вызывают ионизацию, а также и возбуждение молекул. Далее происходит процесс прилипания молекул воды к молекулярным ионам. В результате образуются легкие ионы (до 8 присоединенных молекул H_2O), средние и тяжелые, затем происходит образование заряженных аэрозолей, увеличение их размеров и количества при достаточной влажности [18]. На рис.1 представлена схема одного из наиболее вероятных случаев процесса ионизации и эволюции ионов N_2^+ и O_2^- атмосферы при участии молекул воды H_2O . При объединении молекулы H_2O с ионом возможна генерация инфракрасного излучения. Такая модель позволяет объяснить происхождение аэрозольных частиц, образующихся в зонах повышенной проводимости [18]

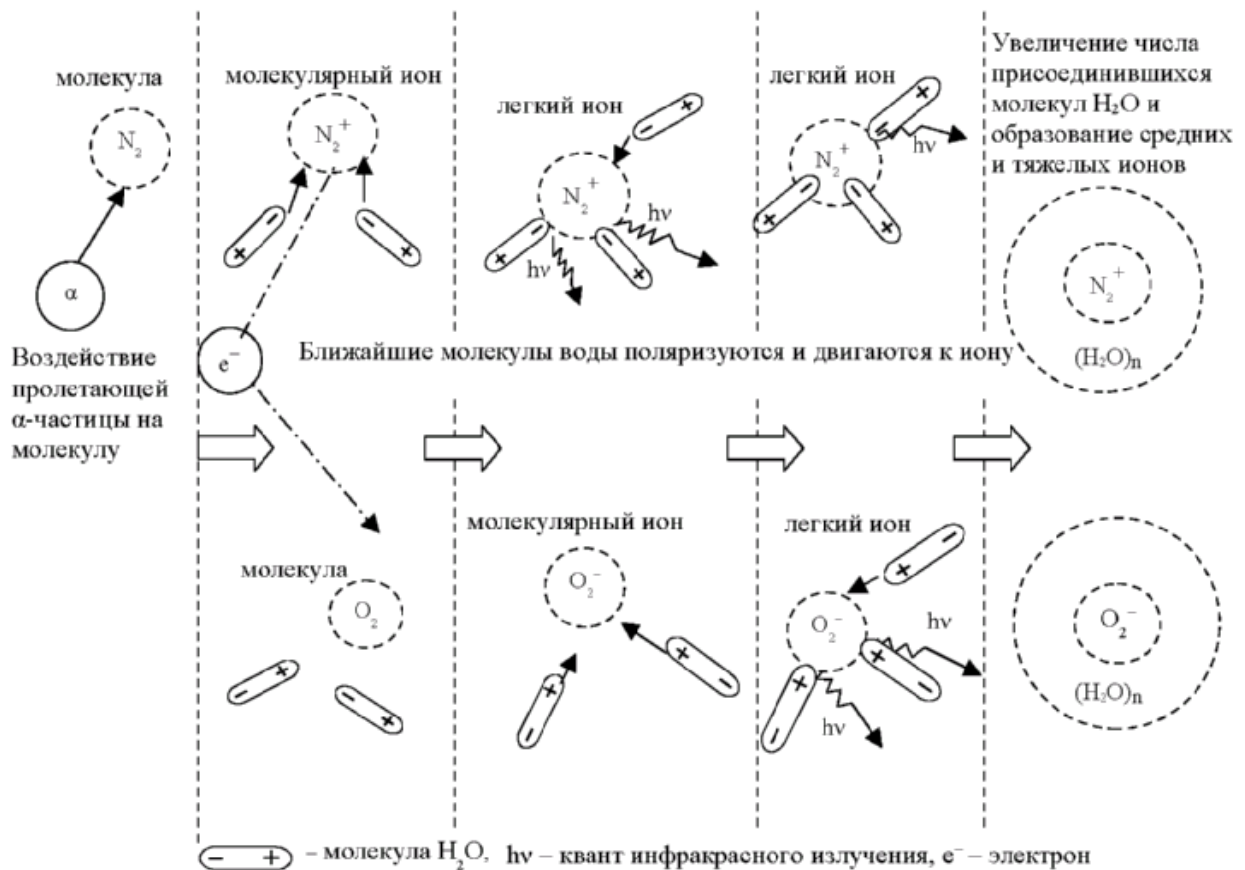


Рис.1 Один из наиболее вероятных случаев процесса ионизации.

Важно, что в природе имеет место экспериментально обнаруженная и теоретически обоснованная закономерность [19], заключающаяся в том, что мелкие аэрозоли преимущественно заряжены положительно, а крупные отрицательно.

Далее идет френкелевское гравитационное разделение зарядов и образование электрического поля [20]. В соответствии с [14] $E_{max} \sim V\rho_+/S\epsilon_0$, (где ρ_+ – плотность объемного положительного заряда, V - объем блинообразного облака, S - его площадь), т.е. максимальная амплитуда всплеска вертикального локального электрического поля в атмосфере определяется

средней плотностью положительного заряда на единицу площади проекции. Так происходит образование мозаично разбросанных в атмосфере нестационарных френкелевских областей электрического поля, причем в верхней части облака заряд положительный, а в нижней – отрицательный. Эти области являются источниками неравновесного инфракрасного излучения.

Если на высоте h образовалось электрическое поле, то оно вызывает электрический ток, уменьшающий это поле $j_{\text{полн}} = j_{\text{ли}} + j_{\text{ми}} + j_{\text{э}} + j_{\text{си}} + j_{\text{ти}}$, где $j_{\text{ли}}$ – ток легких ионов, $j_{\text{ми}}$ – ток молекулярных ионов, $j_{\text{э}}$ – ток электронов, $j_{\text{си}}$ – ток средних ионов, $j_{\text{ти}}$ – ток тяжелых ионов. Вклады этих компонент в полный ток, рассматривался в ряде книг и статей, в частности, в [13]. Основной вклад вносит ток легких ионов $j_{\text{ли}} = |q| \mu_{\text{ли}} E n_{\text{ли}}$, (где q – заряд электрона, $n_{\text{ли}}$ – концентрация легких ионов, $\mu_{\text{ли}}$ – подвижность легких ионов). Экспериментальное измерение подвижности легких ионов показало, что $\mu_{\text{ли}}$ находится в пределах от 0.5 до 5 см²/Вс.

Подвижность легких ионов увеличивается при увеличении высоты, поскольку уменьшается концентрация нейтральных молекул и увеличивается длина свободного пробега. В результате увеличивается электрический ток, уменьшающий разделение зарядов. Но скорость опускающихся крупных аэрозолей также увеличивается с высотой из-за уменьшения концентрации нейтральных молекул, и, следовательно, уменьшения вязкости. Вклады этих процессов практически компенсируют друг друга, и в результате электрическое поле во френкелевской области может быть такое же сильное, как и вблизи поверхности земли. Заметим, что ИК излучение с высот 10-15 км может быть зарегистрировано на космическом аппарате, в то время как излучение из приповерхностного слоя практически поглотится атмосферой. Предполагается, что радон может быть перенесен на высоты 10-15 км восходящими потоками в атмосфере над локально нагретыми областями, и на этих высотах может возникнуть область повышенной ионизации.

Далее при генерации электрического поля на высотах порядка 10 км при нагреве легких ионов в хвосте функции распределения появляется заметная фракция частиц с энергией порядка 0.1-0.2 ЭВ. Этой энергии достаточно для возбуждения и дальнейшего высвечивания квантов инфракрасного излучения, соответствующих колебательным спектральным полосам молекул N₂O, CH₄, CO, CO₂, O₃, NO₂ в интервалах длин волн от 7 до 17 мкм. Таким образом, генерация ИК свечения в связи с подготовкой землетрясения по-видимому, эффективна на указанных высотах.

Важно подчеркнуть, что основная энергия предвестников землетрясения при таком механизме черпается из атмосферы. Происходит усиление сигнала-предвестника за счет энергии атмосферы.

3. Остановимся на еще одном физическом процессе, приводящем к ИК излучению из областей дополнительной ионизации при повышении содержания радона. При этом процессе также происходит усиление сигнала-предвестника землетрясения. Энергия ИК сигнала по большей части черпается из атмосферы, усиливая энергию основного предвестникового эффекта над областью подготовки землетрясения.

Выделяющийся в атмосферу радон испускает альфа-частицы, которые ионизируют молекулы газов, см. рис.1. После ионизации происходит присоединение молекул воды к ионам N₂⁺ O₂⁻, и образование легких ионов, процесс достаточно длительный, продолжается десятки-сотни минут [13]. Энергия сродства легкого иона с присоединяющейся к ней молекулы воды порядка 0,5 Эв. Эта энергия может перейти как в энергию теплового движения частиц атмосферы, так и пойти на излучение квантов инфракрасного излучения при актах присоединения. Отметим, что кванты ИК излучения с длиной волны 7-17 мкм имеют энергию 0,1-0,2 ЭВ. Это излучение скорее всего будет иметь сплошной спектр, а не линейчатый, и будет добавляться к вызванному электрическим полем излучению, состоящему из отдельных спектральных линий.

4. Анализ показал, что для обсуждаемой проблемы возможны полосы излучения в окрестности спектральных линий с длинами волн (мкм) 7.7 (CH₄, метан) 4.6, 7.8, 17, (N₂O, закись азота), 4.7 (CO, окись углерода), 5.2, 9.4, полоса 4.2-4.4, полоса 13.5-16.5 (CO₂, углекислый газ), 4.8 5.8 9.6 (O₃ озон), 13.3 (NO₂), 5.5-7.5 (5.5-7.5). в соответствии с [21]. Отметим, что N₂-азот, O₂-кислород, H-атомарный водород, Rn – радон, He-гелий не имеют полос в ИК-спектре в диапазоне 7-20 мкм. Проверка предложенного механизма должна быть осуществлена как в лаборатории, так и при наземных наблюдениях френкелевских областей, расположенных на высотах 10-15 км, где длина свободного пробега молекул выше на порядок, чем у поверхности земли и будет достаточно эффективно работать предложенный механизм нагрева частиц из хвоста функции распределения легких ионов в электрическом поле.

При наблюдениях с космического аппарата френкелевских областей на высотах от 5 до 15 км по-видимому наибольший эффект можно ожидать в области прозрачности 4-18 мкм. При наземных наблюдениях на высотах приземного в безоблачном небе, по-видимому, интересен только участок спектра от 7 до 17 мкм.

Выводы

1. Перед землетрясениями можно ожидать образования в атмосфере мозаично разбросанных нестационарных областей повышенной ионизации за счет выбросов радона и квазистационарного электрического поля на высотах 10-15 км.

2. Можно ожидать появления спектральных полос ИК излучения для CO_2 , NO_2 , N_2O , H_2O , CH_4 , O_3 в диапазоне от 7 до 17 мкм в мозаично расположенных в атмосфере излучающих областях над зоной подготовки землетрясения.

Литература

1. Григорьев А.И., Гершензон Н.И., Гохберг М.Б. О природе свечения атмосферы при землетрясениях // Докл. АН СССР. 1988. Т.300. № 5. С.1087-1090.
2. Hedervari P., Noszticzus Z. Recent results concerning earthquake lights // Annales Geophysicae 1985. V.3 N.6, P.705-707.
3. Соболев Г.А., Демин В.М. Механоэлектрические явления в Земле. М.: Наука, 1980. 260 с.
4. Papadopoulos G. A. Luminous and fiery phenomena associated with earthquakes in the East Mediterranean // Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes / Ed. by M. Hayakawa, Tokyo: TERRAPUB. 1999. P.559-575.
5. Горный В.И., Сальман А.Г., Тронин А.А., Шилин Б.В. Уходящее инфракрасное излучение Земли – индикатор сейсмической активности // Докл. АН СССР. 1988. Т. 301, № 1. С. 67-69.
6. Пулинец С.А., Романов А.А., Урличич Ю.М., Романов мл. А.А., Дода Л.Н., Узунов Д. Первые результаты пилотного проекта по комплексному диагностированию предвестников землетрясений на Сахалине // Геомагнетизм и Аэронавигация. 2009. Т.49, №1. С.123-132.
7. Воинов В.В., Гуфельд И.Л., Кругликова В.В., Маренко В.Ф., Миранян Ф.П., Ледовский И.С. Эффекты в ионосфере и атмосфере перед Спитакским землетрясением 7 декабря 1988 г. // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1992. № 3. С. 96-101.
8. Сливинский А.П., Терехов А.С., Липеровский В.А. Геофизический радар для наблюдения образований с повышенной ионизацией в атмосфере над областью подготовки землетрясения // Сейсмические приборы. 2008. Вып. 44, № 2, С.41-49.
9. Шалимов С.Л., Гохберг М.Б. Неоднородности ионосферы сейсмически активных регионов, обусловленные прохождением атмосферных гравитационных волн, генерируемых в эпицентральной зоне // В сб. "Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов", ред. Страхов В.Н., Липеровский В.А., М.: ОИФЗ РАН, 1998. С. 88-98.
10. Pulinets S.A., Boyarchuk K.A., Hegai V.V., Karelin A.V. Conception and model of seismo-ionosphere-magnetosphere coupling // Seismo Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling / Ed. M. Hayakawa and O.A. Molchanov. Tokyo: Terrapub. 2002. P. 353-361.
11. Pulinets S.A., Boyarchuk K.A. Ionospheric precursors of earthquakes. Berlin: Springer, 2004. 215 p.
12. Сорокин В.М., Чмырев В.М. Электродинамическая модель ионосферных предвестников землетрясений и некоторых других видов катастроф // Геомагнетизм и Аэронавигация. 2002. Т.42, № 6. С. 820-830.
13. Смирнов В.В. Ионизация в тропосфере. СПб.: Гидрометеиздат, 1992, 312 с.
14. Липеровский В.А., Михайлин В.В., Давыдов В.Ф., Богданов В.В., Шевцов Б.М., Умарходжаев Р.М. Об инфракрасном излучении в атмосфере перед землетрясениями // Геофиз. исслед. 2007. Вып. 8. С.51-68.
15. Липеровский В.А., Умарходжаев Р.М., Михайлин В.В., Богданов В.В., Мальцев С.А., Липеровская Е.В., Кайсин А.В., Лексина Е.Г. Метод поиска предвестников землетрясений на основе дистанционной регистрации локальных электрических полей в атмосфере // Сейсмические приборы. 2009. Вып. 45, № 4. С. 58-68.
16. Liperovsky V.A., Meister C.-V., Liperovskaya E.V., Davidov V.F., and Bogdanov V.V. On the possible influence of radon and aerosol injection on the atmosphere and ionosphere before earthquakes // Natural Hazards and Earth System Sciences, 2005, V.5. N6 P. 783 – 789.
17. Liperovsky V.A., Meister C.-V., Liperovskaya E.V., Bogdanov V.V. On the generation of electric field and infrared radiation in aerosol clouds due to radon emanation in the atmosphere before earthquakes // Natural Hazard and Earth System Sciences, 2008. V.8 . P.1199-1205.
18. Смирнов В.В. Образование ядер конденсации в областях повышенной ионизации. Тр. ИМ, 1980, вып.24(89), стр. 80-98.

19. Русанов А.И. К термодинамике нуклеации на заряженных центрах. // ДАН СССР, 1978. Т.238, №4. С.831-834.
20. Френкель Я.И. Теория явлений атмосферного электричества. М.; Л.: ГИТТЛ, 1949. 155 с.
21. Зуев В.Е., Зуев В.В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 230 с.

**АНОМАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ В П. КАРЫМШИНА
(КАМЧАТКА) В СВЯЗИ С СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ**
**ANOMALOUS EFFECTS IN THE EARTH'S ELECTRIC FIELD DUE TO STRONG
EARTHQUAKES IN CASE OF KARYMSHINA SETTLEMENT, KAMCHATKA**

Ю.Ф.Мороз, Т.А.Мороз

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, e-mail: morozyf@kscnet.ru; moroz@irk.ru

Magnetotelluric impedance and low-frequency variations of the Earth's electric field were studied using data from electromagnetic monitoring. Abnormal changes have been revealed in the dynamics of the lithosphere conductivity and in the behavior of the average hourly tension of electric field. The abnormal variations might be related to large earthquakes. The origin of the anomalies was considered.

Анализ электрического поля внутриземных источников

Предполагается, что электрическое поле внутриземных источников вызвано электрохимическими, электрокинетическими, пьезоэлектрическими и другими процессами, протекающими в литосфере сейсмоактивных областей. Каким образом выделить вариации электрического поля внутриземных источников из электрического поля Земли? Для этого, по-видимому, целесообразно обратиться к низкочастотному диапазону электрического поля Земли, в котором интенсивность вариаций внешнего источника (ионосферного, магнитосферного) в значительной мере ослаблена.

Для грубой оценки интенсивности электротеллурического поля в низкочастотном диапазоне можно использовать соотношение $E_{гор.} = ZH_{гор.}$, справедливое для горизонтально-однородной среды, где E и H напряженности горизонтального электрического и магнитного полей, Z - импеданс (входное комплексное сопротивление среды). Рассмотрим электротеллурическое поле на периодах более суток. Оно содержит 27 – дневные вариации и их гармоники с периодами 13.5 и 9 дней, а также годовые и полугодовые вариации [1], [2]. Интенсивность вариаций геомагнитного поля, включая магнитные бури, в указанном низкочастотном диапазоне не более 10 нТл, импеданс не превышает 0.15. Следовательно, напряженность электротеллурического поля около 1.5 мВ/км. На линиях меньшей длины она соответственно уменьшается. По многолетнему опыту работ интенсивность электрического поля внутриземных источников составляет сотни мВ/км. Поэтому, в низкочастотном электрическом поле Земли на периодах более суток мы вправе проигнорировать вариации, связанные с внешним источником.

Рассмотрим результаты мониторинга низкочастотного электрического поля Земли в п. Карымшина, где временные ряды электрического поля в меньшей мере обременены помехами. Здесь мы располагаем временными рядами напряженности электрического поля в период с 01.01.2005 г. по 31.03.2009 г. Для анализа использованы среднечасовые значения напряженности электрического поля. Из временных рядов удалены высокочастотные вариации путем фильтрации с окном 50 часов. Наряду с этим отфильтрованы также низкочастотные вариации с окном 1000 часов. Полученные таким путем временные ряды напряженности электрического поля для линий 01, 02, 03 и 04, 05, 06 изображены на рис.1.

Для лучшей наглядности временные ряды показаны в одном и том же вертикальном м-бе в мВ/км. В поведении временных рядов выражены синхронные аномальные возмущения бухтообразной формы продолжительностью 1 – 2 месяца. Интенсивность возмущений составляет первые сотни мВ/км. Исключением является линия 0 – 6, на которой возмущения выражены слабо или практически не проявились. Характерно, что возмущения электрического поля имеют повышенную интенсивность на коротких линиях. Это свидетельствует, что они связаны с локальным близповерхностными эффектами в районе измерительных линий. Не исключено, что данные эффекты являются приэлектродными и могут быть связаны с изменением минерализации и уровня грунтовых вод в районе электродов.