

УДК 551.594

ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ АНОМАЛИЯ В ВАРИАЦИЯХ ГРАДИЕНТА  
ПОТЕНЦИАЛА АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ,  
ВОЗНИКШЕГО ОТ СИЛЬНОГО ЭКСПЛОЗИВНОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ  
ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ 16 НОЯБРЯ 2014 Г.

*Акбашев Р.Р.*

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский*

*Научный руководитель: д.ф.-м.н. Фирстов П.П.*

Высокая чувствительность электрического поля к атмосферным процессам определяет перспективность и эффективность его мониторинга для целей заблаговременного обнаружения признаков развития различных атмосферных явлений, а так же состояния загрязненности атмосферы, мониторинга мощных эруптивных выбросов в зонах активного вулканизма их количественная оценка, оценка дисперсности эруптивного облака. В результате непрерывной регистрации вариаций градиента потенциала атмосферного электрического поля ( $V'$  АЭП) в п. Козыревск, зафиксирована положительная аномалия, длительностью  $\sim 1,5$  час превышающая уровень фона на  $V' \approx 90$  В/м. отражающая атмосферно-электрический эффект, который возник при распространении вулканического шлейфа от сильного эксплозивного извержения вулкана Шивелуч 16 ноября 2014 г.

*Ключевые слова: градиент потенциал атмосферного электрического поля ( $V'$  АЭП), эксплозивное извержение, пепловый шлейф, аэрозоли.*

## ВВЕДЕНИЕ

Как показали экспериментальные исследования, большую роль в электризации эруптивных облаков играет процесс фрагментации (разрушения) магмы [5, 8, 9, 10]. Основными причинами электризации эруптивного облака при фрагментации магмы и формирования эруптивной колонны могут быть [5]:

1. Причиной заряжения продуктов непосредственно при фрагментации магмы может быть разная подвижность катионов  $\text{Na}^+$  в примесных центрах на поверхности фрагментированных частиц с разной структурой. Частицы с аморфной структурой поверхности заряжаются положительно, а с кристаллической – отрицательно.

2. В дальнейшем разделение частиц разных размеров в эруптивной колонне и образующегося затем шлейфа, приводит к их разнополярному заряджению и пространственному разделению зарядов, как в эруптивной колонне, так и под шлейфом эруптивного облака. В первом случае разделение обусловлено газодинамическим сопротивлением при инъекции пеплогазовой струи в атмосферу, а во втором в результате гравитационной дифференциации.

Наиболее тяжелая фракция пепла выпадает вблизи постройки вулкана, а легкая и аэрозоли начинают двигаться вблизи высоты тропопаузы (рис. 1) [10].

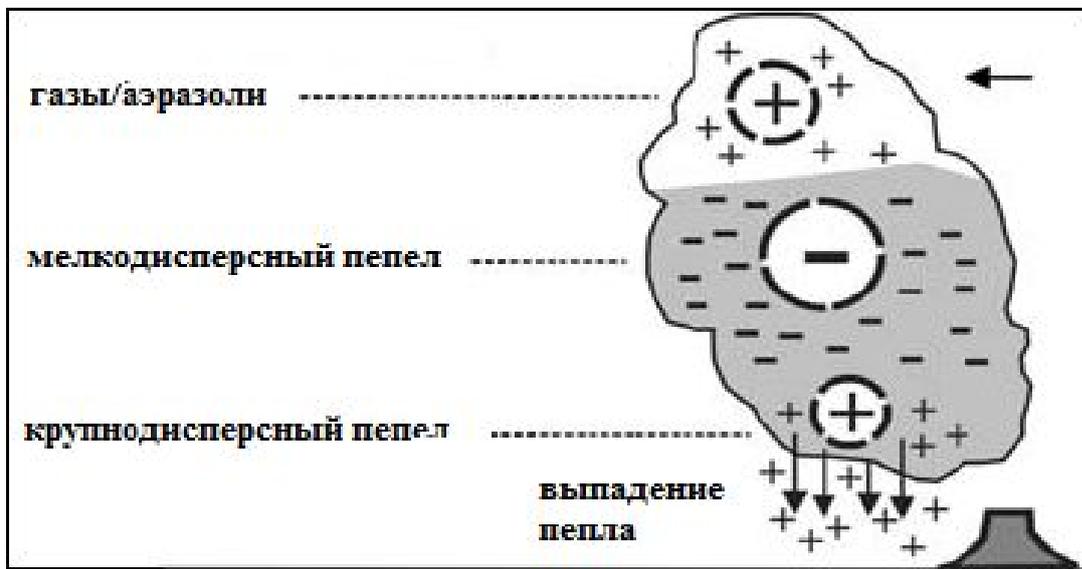


Рис. 1. Схема образования эруптивного пеплового облака его электризация [10].

Таким образом, пепловые облака, шлейфы от мощных эксплозивных извержений представляют собой аэроэлектрические структуры, которые могут отражаться в вариациях  $V'$  АЭП.

Мониторинг распространения эруптивных аэрозольных облаков, возникающих во время сильных эксплозивных извержений вулканов мира, в последнее десятилетие успешно осуществляется с использованием спутниковых и наземных данных на основании регистрации диоксида серы ( $SO_2$ ). На сегодняшний день наиболее успешным проектом по мониторингу вулканогенного диоксида серы является сеть измерительных станций,

созданная в рамках проекта Европейского союза с привлечением спутниковых снимков [7].

В свою очередь, контролируя градиент потенциала атмосферного электрического поля ( $V'$  АЭП) в приземном слое атмосферы можно обнаружить присутствие даже слабонасыщенных пеплом эруптивных облаков. Поэтому регистрация электрических процессов в эруптивных облаках может быть как одна из составляющих комплексных наблюдений за вулканическими извержениями с целью оценки пепловой опасности для авиатранспорта. Кроме того, по мнению авторов, наземные измерения  $V'$  АЭП под вулканическими шлейфами в ближней зоне (до 500 км) могут дать ответ об объёме самой легкой фракции вулканического пепла в эруптивных образованиях.

#### АППАРАТУРА И МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ



Рис. 2. Общий вид эквипотенциальной поверхности, на которой установлен флюксметр «Поле-2» на обсерватории ПРТ (а), флюксметр ЭФ-4, установленный в KZY обтюратором вниз (б).

На Камчатке изучение электрического поля атмосферы АЭП ведется с начала 90 годов прошлого века, когда на обсерватории «Паратунка» ИКИР ДВО РАН, которая расположена на юге Камчатского полуострова к западу от Авачинской бухты ( $52^{\circ}58,33'$  с.ш.,  $158^{\circ}5,02'$  в.д.), был установлен флюксметр «Поле-2» (рис.2а). [6].

Необходимо отметить, что регистрация V'АЭП в континентальной части полуострова представляет особый интерес. Интерес в сопоставлении унитарной и годовой вариаций записей V'АЭП зарегистрированных в прибрежной и континентальной частях полуострова. Кроме того представляет интерес расположение датчика V'АЭП в районе северной группы вулканов, к которой относятся Ключевская группа вулканов с четырьмя активно действующими, а так же в. Шивелуч самый северный действующий вулкан полуострова Камчатка (рис.3б). Это повысит вероятность прохождения шлейфов от сильных эксплозивных извержений над зоной регистрации датчика V'АЭП, что является необходимым для изучения электризации пепловых шлейфов. Поэтому в пос. Козыревск на сейсмической станции «KZY» Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) был установлен флюксометр ЭФ-4 (рис. 2б), конструкция которого описана в работе [2].

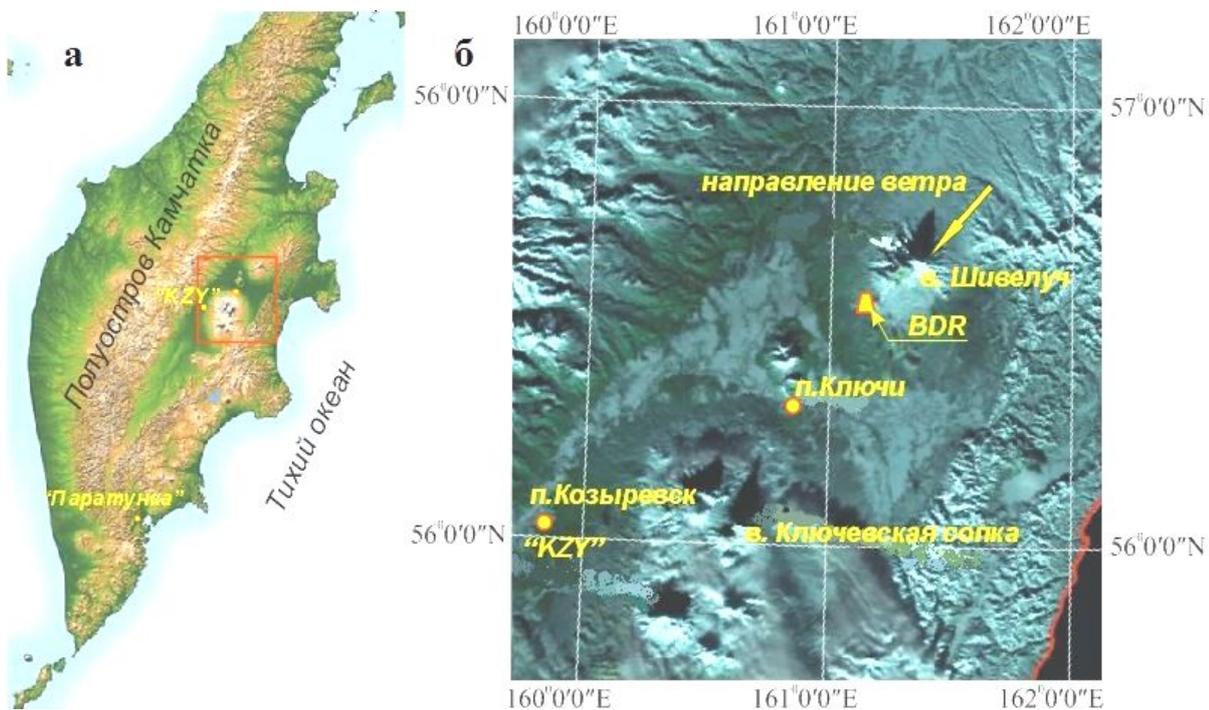


Рис. 3. Схема расположения пунктов регистрации V'АЭП на полуострове Камчатка (а), Северная группа вулканов, РТСС BDR (б).

Кроме того на данной станции установлен комплекс метеорологической аппаратуры Vaisala wxt520, позволяющий регистрировать основные параметры состояния атмосферы (давление, температура, влажность, скорость ветра). Эти данные необходимы для качественного анализа и интерпретации данных V'АЭП.

### ЭКСПЛОЗИВНОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ 16 НОЯБРЯ 2014Г.

Вулкан Шивелуч самый северный из действующих вулканов Камчатки ( $56^{\circ}47'$  с.ш.,  $157^{\circ}56'$  в.д.) с андезитовым составом лавы и высотой экструзивного купола 2500 м н. у. м. В последние десятилетия его извержение, обусловленное медленным выжиманием магмы и формированием экструзивного купола, периодически сопровождается сильными пепловыми эксплозиями. При этом эруптивное облако может подниматься до высот тропопаузы (для полуострова Камчатка – 10-12 км летом и 8-10 км зимой). Эруптивное облако, состоящее из мелкой фракции вулканического пепла и аэрозоля, по мере движения на высотах в несколько километров сохраняет электрическую структуру на удалении до 1000 и более километров. В этом случае, по геологическим оценкам [4], подтвержденным количеством пепла, рассчитанным на основании акустического излучения [1], в атмосферу выбрасывается не менее  $3 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup> вулканического пепла.

Все эксплозивные извержения вулкана Шивелуч сопровождаются сейсмическими сигналами. Мониторинг вулканической активности вулканов Северной группы осуществляется КФ ГС РАН на основании изучения сейсмичности отдельных вулканов. В районе северной группы вулканов работает сеть радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС). Ближайшая к вулкану Шивелуч РТСС «Байдарная» (BDR) находится в 10 км от кратера вулкана (рис. 3б). На сейсмических записях BDR 16 ноября 2014 г. выделяется сейсмический сигнал с максимальной скоростью смещения грунта на всех трех сейсмометрах (N-S, W-E, Z) более 200 мкм/с в

течение 13 минут (рис. 4). Время вступления сейсмического сигнала можно рассматривать как время начала эксплозивного процесса с точностью до секунды ( $t_0 \approx 10$  ч. 17 мин. 55 сек).

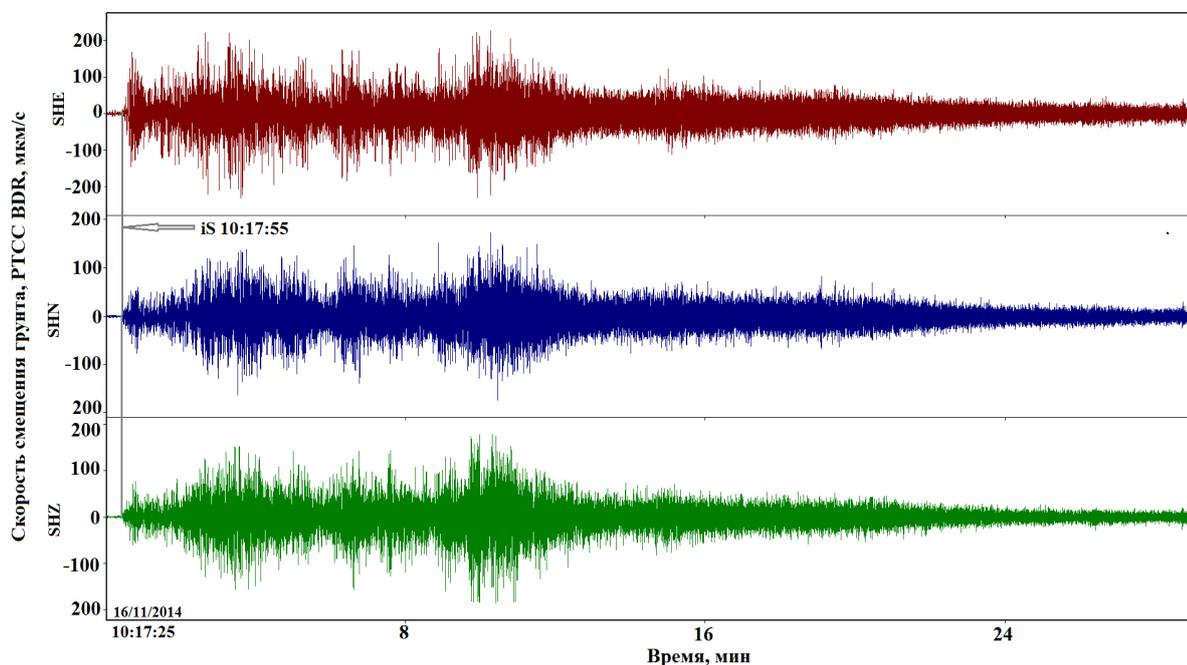


Рис. 4. Сейсмический сигнал, сопровождавший извержение вулкана Шивелуч 16.11.2014 г.

#### ХРОНОЛОГИЯ РАЗВИТИЕ ЭРУПТИВНОГО ШЛЕЙФА ОТ ИЗВЕРЖЕНИЯ, АНОМАЛИЯ V'АЭП

Направление течение эруптивное облако поднимающегося до высот тропопаузы определяется направлением ветра на данных высотах. На метеорологической обсерватории «Ключи» Камчатского управления по гидрометеорологии и контролю за окружающей средой, расположенной в поселке Ключи в 48 км от вулкана Шивелуч (рис.3б), ведутся наблюдения за метеорологическими величинами (атмосферное давления, температура воздуха, влажность) и два раза в сутки проводится высотное зондирование атмосферы. Данные высотного зондирования можно получить на сайте <http://www.esrl.noaa.gov/raobs/intl/intl2000.wmo>.

Согласно высотному зондированию 16 ноября 2014 г. в 12 часов на рис. 5 приведены температурная и ветровая стратификация до высоты 25 км на 12 ч. 00 мин. Температурная стратификация имела две инверсии на

высотах 9-10 и 12 км, где скорость ветра составляла 17 м/с и 11 м/с соответственно. Высота нижней инверсии соответствовала высоте тропопаузы характерной в осенне-зимний период для Камчатки. Для этих высот характерно юго-юго-западное направление ветра (азимут  $50^\circ$  и  $80^\circ$ , рис. 5б).

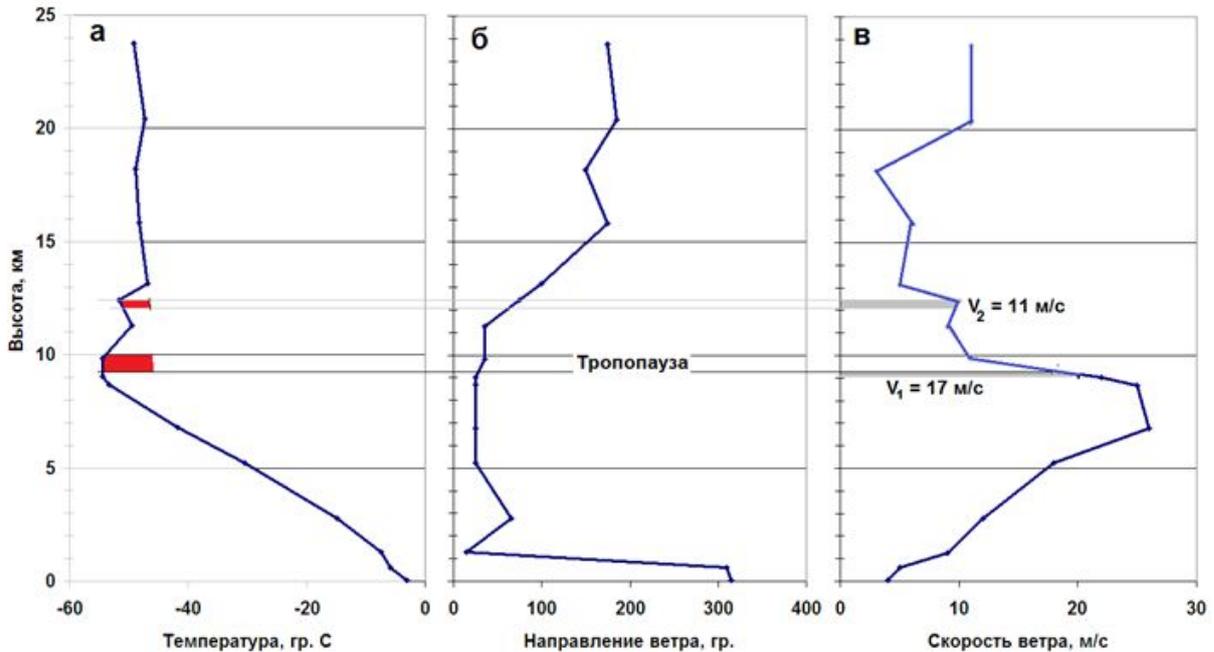


Рис. 5. Стратификация температуры (а), направления (б) и скорости (в) ветра по данным метеорологической обсерватории «Ключи» на 12 часов 16 ноября 2014 г.

Представление о структуре распространяющегося облака дает спутниковый снимок (Landsat 8), полученный через 22 минуты после начала извержения (рис. 6а). В это время головная часть шлейфа еще нагружена пеплом (темная окраска). На спутниковом снимке эруптивного шлейфа, любезно предоставленного О.А. Гириной из информационной системы VolSatView [3], видна конфигурация эруптивного облака. С определенной долей условности, можно выделить две границы по плотности облака (рис. 6б). Зная время съемки и начало эксплозивного процесса, определены скорости движения границ эруптивного облака 19 м/с и 13,7 м/с. Это дает основание предполагать, что распространение облака происходит на двух высотах.

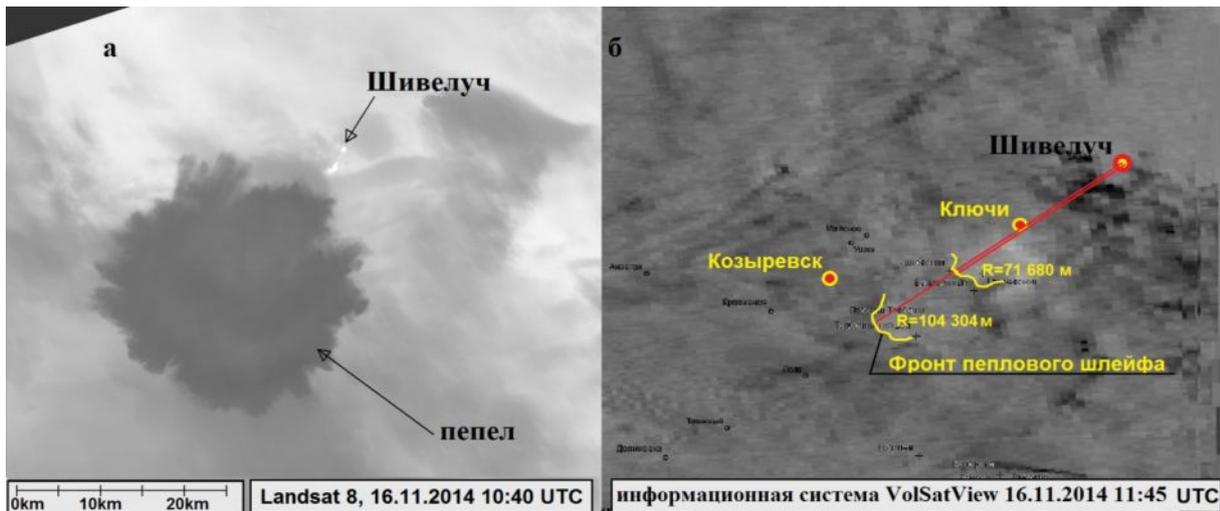


Рис. 6. Спутниковый снимок (Landsat 8) эруптивного облака эксплозивного извержения вулкана Шивелуч, выполненный в 10:40 16.11.2014 г. (а), спутниковый снимок эруптивного шлейфа из информационной системы VolSatView [3] в 11:45 16.11.2014 г.

Спустя 1 час 47 минут после начала эксплозивного извержения в пункте «KZY» на записи  $V'$  АЭП визуально хорошо выделяется аномалия длительностью 1.5 часа (рис. 7а). При этом поведение метеорологических величин достаточно спокойное, что говорит об условиях хорошей погоды (рис. 7в-д).

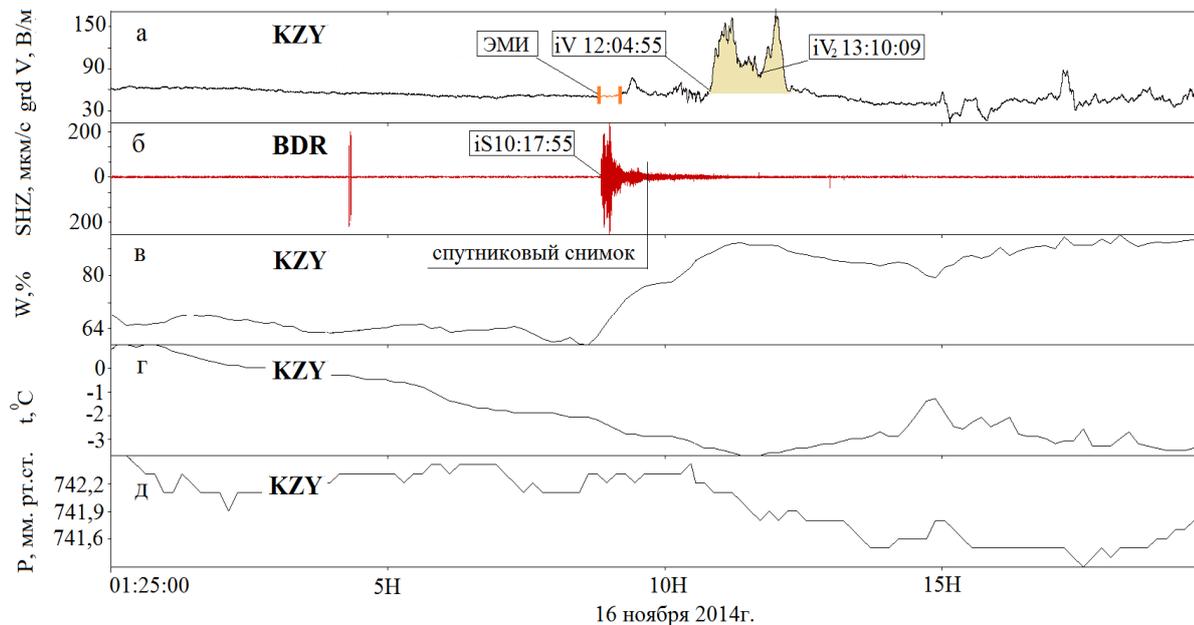


Рис. 7. Градиент потенциала АЭП в пункте KZY (а); запись сейсмического сигнала, сопровождавшего извержение вулкана Шивелуч 16.11.2014 г., на РТСС BDR (б); метеорологические параметры в пункте KZY (в, г, д).

Аномалия представляет собой возмущение с двумя бухтообразными максимумами, превышающими уровень фона на  $V' \approx 90$  В/м. Если рассматривать аномалию как эффект от эруптивного облака, распространяющегося на 25 км восточнее пункта «KZY», тогда по времени распространения с использованием разности времен между  $t_0$  (рис. 4) и временами прихода обоих максимумов аномалий  $V'$  АЭП, можно оценить скорость движения аэроэлектрических структур, которая составляет 17 м/с и 11 м/с соответственно. Совпадение скоростей распространения аэроэлектрических структур со скоростями ветра на определенных высотах указывает на то, что распространение пепла могло происходить на двух высотах, где существовали температурные инверсии (9-10 и 12 км).

В результате анализа данных на момент эксплозивного извержения вулкана Шивелуч 16.11.2014г. реализована хронология событий, которая заключалась в следующем. Сформировалось эксплозивное облако, поднявшееся до высот тропопаузы. Нижняя часть облака, представленная крупнодисперсными пепловыми частицами, заряжена, по всей видимости, положительно и выпадает вблизи постройки вулкана [10]. Верхняя часть облака, представленная аэрозолями и мелкодисперсными частицами пепла, с соответствующей градацией этих частиц по высоте в результате гравитационного воздействия. По всей видимости, имеет разнополярное заряджение частиц пепла и аэрозолей с преобладанием отрицательно заряженных частиц при формировании эруптивного облака и с постепенным увеличением преобладания при течении шлейфа на высотах тропопаузы положительно заряженных аэрозолей и мелкодисперсного пепла. Пункт «KZY», где установлен датчик «ЭФ-4» расположен в 113 км от вулкана Шивелуч. Вероятно, шлейф, который распространялся в 25 км восточней от пункта регистрации, на тот момент был представлен положительно заряженными аэрозолями, что и отразилось на вариациях  $V'$  АЭП в виде положительной аномалии. В таблице 1 представлена хронология событий.

Таблица 1. Хронология развития эруптивного шлейфа от вулкана Шивелуч  
16 ноября 2014 г.

№	событие	Время	$\Phi$ , с.ш.	$\lambda$ , в.д.	R, км	V, м/с	Примечание
1	Приход сейсмической волны на РТСС BDR	10:17:55 .3					Время начала эксплозивного процесса
2	Спутниковый снимок Landsat 8	10:40					головная часть шлейфа еще нагружена пеплом
3	Спутниковый снимок (2 фронта) системы VolSatView	11:45	55.93	160.1 9	104,3	19,9	Отсутствует заметная пепловая фракция, шлейф представлен аэрозолями
		11:45	56.06	160.7 4	71,6	13,7	
4	Аномалии на станции KZY	12:04			113.0	17,7	Положительная аномалия с двумя тах с превышением уровня фона на 90 V/m
5		13:10			113.0	10,9	

## ВЫВОДЫ

Физика эксплозивного процесса может быть понята и изучена только с помощью натуральных наблюдений комплексом геофизических методов. Атмосферное электричество, может существенно расширить наши знания о физических процессах, связанных с образованием эруптивных облаков.

Регистрация V' АЭП в приземном слое атмосферы вблизи действующих вулканов позволяет обнаружить присутствие даже слабонасыщенных пеплом эруптивных облаков. Поэтому сеть пунктов регистрации V' АЭП вблизи извергающихся вулканов может дать возможность обнаружения и оценки электрических параметров эруптивного облака. Это дает основание считать, что регистрация электрических процессов в эруптивных облаках должна стать одной из составляющих комплексных наблюдений за вулканическими извержениями с целью оценки пепловой опасности для авиатранспорта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев Е.И., Фирстов П.П., Куличков С.Н., Махмудов Е.Р. Инфразвуковые волны от извержений вулканов Камчатки // ФАО. 2013. Т. 49. №4. С. 456-468.
2. Ефимов В.А., Орешкин Д.М., Фирстов П.П., Акбашев Р.Р. Применение электростатического флюксметра ЭФ-4 для исследований геодинамических процессов // Сейсмические приборы. 2013. Т.49, №4. С. 35-46
3. Ефремов В.Ю., Гирина О.А., Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Маневич А.Г., Матвеев А.М., Мельников Д.В., Прошин А.А., Сорокин А.А., Флитман Е.В. Создание информационного сервиса "Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил" // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С.
4. Малик Н.А. Импактный вклад вулканических извержений в формирование химического состава сезонного снежного покрова (Камчатка) / Лед и снег. 2010. № 3. С. 45-52.
5. Руленко О.П. Экспериментальное исследование электризации вулканических облаков. Автореферат на соис. уч. ст. к.ф.-м.н. Санкт-Петербург. 1994. 16 с.
6. Руленко О.П., Иванов А.В., Шумейко А.В. Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник Камчатского землетрясения 6.03.1992, M=6.1 / Докл. РАН. 1992. Т. 326. № 6. С. 980-982.
7. Galle B., Johansson M., Rivera C., Zhang Y., Kihlman M. at al. Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change (NOVAC)—A global network for volcanic gas monitoring: Network layout and instrument description // JGR. 2010. V. 115. D05304, P. 1-19.
8. James M. R., Lane S.J., Gilbert J.S. Volcanic plume monitoring using atmospheric electrical potential gradients // J. Geol. Soc. London. 1998. № 155. P. 587-590
9. James M. R., Lane S.J., Gilbert J.S. Density, construction, and drag coefficient of electrostatic volcanic ash aggregates // J. Geophys. Res, 2003. V. 108, № B9, P.
10. Mather T.A., Harrison R.G. Electrification of volcanic plumes // Serv Geophys. 2006. P. 387-432. DOI 10.1007/s10712-006-9007-2.

POSITIVE ANOMALY IN THE VOLTAGE VARIATION OF THE  
ATMOSPHERIC ELECTRIC FIELD, WHICH AROSE FROM  
A STRONG EXPLOSIVE ERUPTION SHEVELUCH  
NOVEMBER 16, 2014

*Akbashev R.R.*

*Kamchatka Branch of the Geophysical Survey RAS*

The high sensitivity of the electric field to atmospheric processes determines the prospects and the effectiveness of its monitoring for early detection of signs of development of various atmospheric phenomena, as well as the state of air pollution monitoring powerful eruptive emissions in areas of active volcanism quantitative assessment, evaluation of dispersion of the eruption cloud. As a result of the continuous recording of variations in atmospheric potential gradient of the electric field (PG) in Sec. Kozirevsk, recorded a positive anomaly, duration ~ 1,5 hour in excess of the background level at  $V' \approx 90 \text{ V / m}$ , reflecting the atmospheric-electric effect, which originated at distributing volcanic plume from a strong explosive eruption Sheveluch November 16, 2014.