

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 551.509.22

doi: 10.26907/2542-064X.2021.4.643-654

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ОТКЛИКА АТМОСФЕРЫ НА ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ

*Е.А. Полянская, С.В. Морозова, Н.В. Короткова*

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, 410012, Россия*

### Аннотация

Исследован характер изменения с высотой температуры воздуха, относительной влажности, точки росы на стандартных изобарических поверхностях до и после вулканического извержения. Для анализа выбраны пять вулканов – Эйяфьядлайёкюдль, Этна, Гримсвоти, Руис и Ключевская сопка. Характеристики состояния атмосферы выбирались по данным ближайшей к району извержения аэрологической станции. Отмечена локальная реакция термодинамического состояния атмосферы на вулканическое извержение. Наиболее сильное снижение температуры воздуха после вулканического извержения фиксируется в слое от 3 до 5 км. Относительная влажность после вулканического извержения оказывается выше, чем до него, в слое от 3 км до тропопаузы. От Земли до 1.5 км значения точки росы до извержения оказываются выше, чем после него. Выше 1.5 км значения точки росы, наоборот, после извержения увеличиваются. В районе вулканического извержения отмечается падение высот стандартных изобарических поверхностей. Однако такие изменения геопотенциальных высот не вызывают возмущений синоптического масштаба.

**Ключевые слова:** вулканические извержения, влияние вулканов на климат, реакция атмосферы, вулканическая активность, региональный отклик

### Введение

В настоящее время на поверхности Земли насчитывается около 500 действующих вулканов. Все они оказывают различное влияние на окружающую среду. Во-первых, путем прямого воздействия на нее продуктов извержения (лава, пепел); во-вторых, через поступление тепла к обычно снежным и ледяным вершинам вулканов, что приводит к селям и оползням; в-третьих, вулканические извержения обычно сопровождаются землетрясениями. Наиболее долгосрочные и глобальные последствия вулканические извержения имеют для атмосферы.

Во многих работах показано, что вулканические выбросы могут влиять на климат Земли, вызывая его изменения [1–7]. Прежде всего это касается вулканического аэрозоля. Из-за аэрозольного облака уменьшается приток радиации к земной поверхности и после вулканического извержения температура воздуха понижается. Так, например, при извержении вулкана Этна в 2007 г. средняя глобальная температура понизилась на 0.7 °С [8]. В целом вулканизму приписывается отрицательное радиационное воздействие [8, 9]. Однако, по утверждению М.И. Бudyко [2], при сериях вулканических извержений на геологических масштабах

времени (тысячи лет) эффект похолодания, вызванный аэрозолем, перекрывается эффектом потепления, связанным с эмиссией большого количества диоксида углерода. Таким образом, неоднозначные радиационные эффекты на разных временных масштабах дополнительно усложняют изучение реакции атмосферы на вулканические извержения.

Помимо сведений о влиянии вулканизма на температурный режим, в ряде работ (см., например, [1, 10–13]) содержится информация о его влиянии на атмосферную циркуляцию. Так, в [14] указывается, что после извержения вулкана Эль-Чичон началась положительная фаза Арктической осцилляции. После извержения вулкана Пинатубо 1991 г. замечено ослабление индийского и африканского летнего муссонов [8, 13]. В [15] найдена связь вулканических извержений с элементарными циркуляционными механизмами. Однако эта связь далеко неоднозначна, и по-разному проявляется в зимний и летний сезоны.

При изучении региональных эффектов влияния вулканов на погоду и климат в [16] показано, что после вулканических извержений на Европейской территории России в зимний период формируется положительная аномалия приземной температуры воздуха и отрицательная аномалия в целом на Северном полушарии. После трех крупных извержений: Мон-Пеле (1902), Катмай (1912) и Безымянный (1956) – количество осадков на территории бывшего СССР увеличилось на 2% в теплый период года и на 5% в холодный [16]. Возрастание сумм осадков холодного периода после вулканических извержений отмечается и в [17].

Таким образом, анализ публикаций, посвященных влиянию вулканизма на атмосферу, показывает, что сложная временная ритмика вулканических извержений, неоднозначный отклик ЗКС на различных пространственно-временных масштабах, противоречивость реакции общей циркуляции атмосферы на вулканические извержения, делают проблему влияния вулканизма на погоду и климат актуальной и весьма важной для изучения.

Отметим, что на более мелких пространственно-временных масштабах реакция атмосферы на вулканические извержения практически не изучена. В отдельных работах, например в [18], указывается, что в районе извержения, помимо изменения оптических свойств атмосферы, происходит увеличение облачности из-за конденсации паров воды на продуктах вулканических выбросов, что, в свою очередь, стимулирует процессы осадкообразования.

Цель настоящего исследования – изучить региональный отклик атмосферы на вулканические извержения, причем в еще более мелком пространственно-временном разрешении – непосредственно в районе извержения и в течение нескольких дней. Для этого было рассмотрено несколько характеристик термодинамического состояния атмосферы: температура воздуха, относительная влажность, точка росы на стандартных изобарических поверхностях и высоты этих поверхностей до и после вулканического извержения.

### Материалы и методы

Для исследования выбрано пять наиболее крупных вулканических извержений, произошедших в последнее время (за последние тридцать лет). Это четыре вулкана Северного полушария: Этна, время извержения сентябрь 2007 г.; Эйяфьяд-

лайёкюдль, извергавшийся в апреле 2010 г.; Гримсвоти, Исландия, время извержения – май 2011 г.; Ключевская сопка, проснувшаяся в августе 2013 г., и один вулкан Южного полушария – Руис, заявивший о себе в ноябре 1985 г. Извержения всех этих вулканов, кроме Этны, оцениваются по шкале вулканической активности (<http://www.astrolab.ru/cgi-bin/manager.cgi?id=3&num=286>) в 3–4 балла и относятся к сильным или катастрофическим. Извержению Этны присвоено 7 баллов, само извержение считается сверхколоссальным [19].

Отметим, что, поскольку в настоящей работе рассматривается региональный отклик на вулканические извержения в первую очередь в тропосфере, для анализа выбраны вулканы, выбросы которых практически не поступали в стратосферу. После извержений всех выбранных вулканов заметного изменения аэрозольного состава стратосферы не установлено.

Данные о состоянии атмосферы были получены по результатам зондирования на ближайшей к вулкану аэрологической станции. Аэрологические сведения по станциям взяты с сайта Университета Вайоминга (г. Ларами, США) (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>). Для Этны использовались данные по станции 16429 LICТ Trapani, расположенной в 200 км к западу от вулкана, для Эйяфьядлайёкюдль и Гримсвоти – по аэрологической станции 04018 ВIKF Keflavikflugvollur, находящейся западнее соответственно в 180 и 250 км от этих вулканов. Для Ключевской сопки данные взяты с аэрологической станции 32389 KLJUCHI, расположенной на подножии вулкана с северо-востока. Для вулкана Руис использовались данные по станции 78988 TNCC НАТО Airport Cragaco, находящейся на 750 км севернее вулкана.

На основе результатов радиозондирования строились графики изменения с высотой характеристик атмосферы, таких как температура, относительная влажность, точка росы, а также отмечались высоты стандартных изобарических поверхностей в каждый из трех дней до и после вулканического извержения в сроки 00 ч и 12 ч по Гринвичу. Для дальнейшего обобщения рассчитывались средние характеристики атмосферы для каждого уровня за три дня до и после вулканического извержения. Таким образом, для каждого вулкана имеется серия графиков изменений рассматриваемых характеристик до и после извержения.

Для количественной оценки изменения состояния атмосферы рассчитывалась величина  $\Delta I$

$$\Delta I = I - I',$$

где  $I$  – значение характеристики до вулканического извержения;  $I'$  – значение характеристики после вулканического извержения.

Отметим важность вопроса о том, как выявленные изменения соотносятся с обычной межсуточной изменчивостью рассматриваемых величин. Эти изменения окажутся выше, чем естественная изменчивость величин от суток к суткам, или будут соответствовать межсуточной изменчивости? Для ответа на этот вопрос проведена статистическая оценка значимости изменений величины на каждой выбранной изобарической поверхности с помощью расчета среднеквадратического отклонения. Расчет такого отклонения проводился по тридцатилетнему ряду (1987–2017 гг.) среднесуточных значений параметра месяца, одноименного с месяцем, в котором наблюдалось извержение. Например, для вулкана

Эйяфьядлайёкюдль, извергавшегося в марте 2010 г., ряд формировался из среднесуточных значений температур, относительной влажности и точки росы в марте по данным ближайшей аэрологической станции. Изменения считались значимыми, если они превышали межсуточную изменчивость соответствующего метеопараметра на величину  $2\sigma$  (два стандартных отклонения). Различия считали значимыми на уровне  $p < 0.05$  [20, 21]. В приведенных ниже таблицах жирным шрифтом выделены те значения метеовеличины, изменения которых до и после вулканического извержения показали статистическую значимость. Укажем также, что на всех графиках, приводимых по тексту, прямоугольником выделены уровни, на которых наблюдались самые сильные изменения исследуемого метеопараметра.

### Результаты

Анализ построенных графиков показал, что локальные изменения изучаемых параметров атмосферы при вулканических извержениях идентичны, за некоторым исключением по вулкану Руис (Южное полушарие). Вероятно, это связано с тем, что самая ближайшая к вулкану аэрологическая станция находится от него на расстоянии 750 км, что в 2–3 раза больше расстояний от выбранных метеостанций до остальных изучаемых вулканов.

Для примера приведем изменение характеристик атмосферы до и после извержения вулкана Эйяфьядлайёкюдль. На рис. 1 представлены изменения температуры воздуха на стандартных изобарических поверхностях до и после извержения. Из рисунка видно, что и до, и после вулканического извержения характер изменения температуры с высотой одинаков и соответствует обычной устойчивой стратификации атмосферы. Однако в падении температуры с высотой до и после вулканического извержения заметны различия. Выявляется слой толщиной от 5 до 13 км, в котором заметна реакция атмосферы на вулканическое извержение, проявляющаяся в характере изменения температуры. В этом слое (от 500 до 250 гПа) температура после извержения оказалась существенно ниже, чем до него. Наибольшее изменение заметно на уровне 9 км (АТ-300 гПа). Охлаждение на этом уровне произошло примерно на 10 °С.

В табл. 1 приведены изменения температуры при извержении других рассматриваемых вулканов. Как видно из таблицы, реакция атмосферы на извержение идентична с рассмотренным вулканом, падение температуры отмечается у Этны и Ключевской сопки. У Ключевской сопки наибольшее изменение температуры наблюдается, как и у Эйяфьядлайёкюдля, в слое от 5 до 9 км, у Этны же – от 1.5 до 3 км. Практически не обнаруживается реакция атмосферы по изменению температуры при извержении вулкана Руис. Как уже отмечалось, это связано с тем, что ближайшая к вулкану аэрологическая станция расположена от него гораздо дальше, чем у всех остальных вулканов. Интересно, что при извержении вулкана Гримсвоти в слое от 5 до 9 км температура после извержения повысилась.

Далее рассмотрим реакцию атмосферы до и после вулканического извержения на основе данных о том, как менялась влажность воздуха. На рис. 2 и 3 представлены изменения относительной влажности и точки росы соответственно (для вулкана Эйяфьядлайёкюдль).

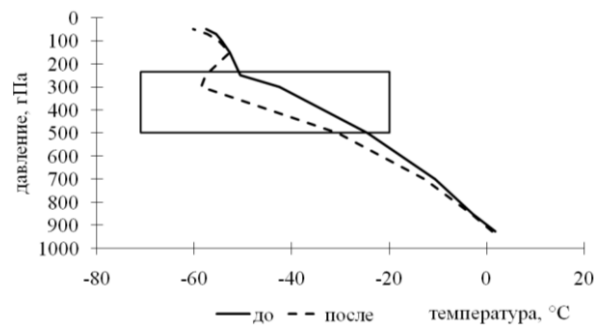


Рис. 1. Изменение температуры воздуха с высотой до и после вулканического извержения (для вулкана Эйяфьядлайёкюдль)

Табл. 1

Изменение температуры воздуха ( $\Delta t$ , °С) до и после вулканического извержения

Уровни (изобарические поверхности)	Вулканы				
	Эйяфья- длайёкюдль	Гримсвоти	Этна	Ключевская сопка	Руис
1000	–	2.3	1.8	0.8	–
925	0.7	0.9	3.4	0.3	–0.2
850	0.4	0.5	4.3	1.6	–0.1
700	2.2	0.1	<b>5.3</b>	2.6	–0.7
500	<b>6.1</b>	–1.9	0.3	<b>6.9</b>	–0.2
300	<b>16.2</b>	–2.1	0.7	<b>4.3</b>	2.1
250	<b>7.1</b>	1.9	–	3.1	0.1
150	0	1.2	–	0.9	–
100	–6.2	0.7	–	–1.2	–
70	–1.9	0.2	–	–	–
50	–3.7	0.3	–	–	–

Из рис. 2 видно, что от 1 до 1.5 км относительная влажность растет, что объясняется общим падением температуры с высотой. Выше 1.5 км относительная влажность снижается в связи с уменьшением общего влагосодержания атмосферы. Однако замечены изменения относительной влажности до и после вулканического извержения. В слое от 3 до 13 км относительная влажность после извержения оказалась существенно выше, чем до него, что легко объяснимо поступлением водяного пара на эти высоты при извержении. Максимальная разница в относительной влажности отмечается в слое от 5 до 9 км и оказывается больше 20%.

В табл. 2 приведены изменения относительной влажности при извержениях всех рассматриваемых вулканов. Укажем, что изменения относительной влажности воздуха до и после извержения весьма неоднозначны, особенно это проявилось при извержении вулкана Этна. Аналогично рассмотренному выше изменение относительной влажности наблюдается при извержении вулкана Руис. После извержения вулкана Гримсвоти рост относительной влажности зафиксирован только на уровне 5 км. После извержения Ключевской сопки рост относительной влажности замечен только на уровне тропопаузы и несколько выше нее, но при этом рост невелик. Статистическая значимость изменения величины (см. табл. 3, выделено жирным шрифтом) выявлена в основном в слое от 5 до 9 км.

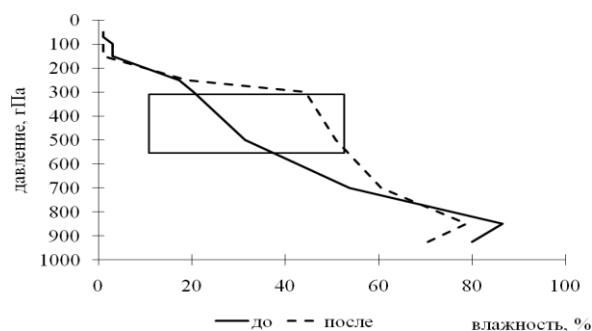


Рис. 2. Изменение относительной влажности с высотой до и после вулканического извержения (для вулкана Эйяфьядлайёкюдль)

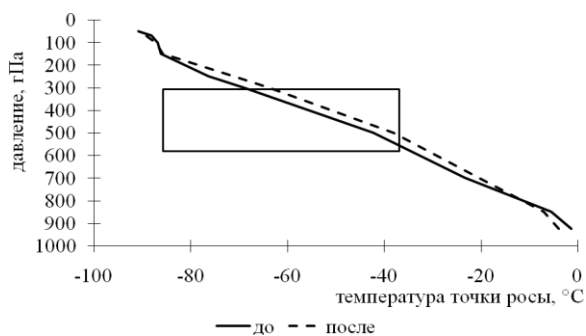


Рис. 3. Изменение точки росы с высотой до и после вулканического извержения (для вулкана Эйяфьядлайёкюдль)

Табл. 2

Изменение относительной влажности воздуха ( $\Delta f$ , %) до и после вулканического извержения

Уровни (изобарические поверхности)	Вулканы				
	Эйяфья- длайёкюдль	Гримсвоти	Этна	Ключевская сопка	Руис
1000	—	7	21	24	—
925	9	6	-3	25	3
850	8	13	8	10	0
700	-7	3	-9	<b>17</b>	3
500	<b>-20</b>	-5	0	11	<b>-32</b>
300	<b>-24</b>	<b>13</b>	<b>-11</b>	2	<b>-22</b>
250	-2	0	—	-2	-3
150	2	0	—	-7	—
100	2	0	—	-5	—
70	0	0	—	—	—
50	0	0	—	—	—

Таким образом, установлена локальная реакция атмосферы на вулканические извержения, проявившаяся в изменении относительной влажности на стандартных изобарических поверхностях.

Табл. 3

Изменение точки росы ( $\Delta t$ , °C) до и после вулканического извержения

Уровни (изобарические поверхности)	Вулканы				
	Эйяфья- длайёкюдль	Гримсвоти	Этна	Ключевская сопка	Руис
1000	–	2.3	1.9	4.0	–
925	2.6	2.3	7.2	5.0	4.4
850	1.6	3.2	3.4	2.9	0.1
700	–2.9	0.2	–1.3	5.4	<b>–8.7</b>
500	–4.1	–0.7	–1.8	<b>10.2</b>	–3.8
300	<b>–5.2</b>	<b>4.3</b>	–1.8	4.3	–1.2
250	<b>–5.1</b>	2.0	–	1.7	0.0
150	–0.5	1.0	–	–1.2	–
100	0.4	0.4	–	–2.1	–
70	1.1	0.2	–	–	–
50	0.6	0.3	–	–	–

Теперь рассмотрим другую характеристику влажности – точку росы. В отличие от предыдущей, показывающей, насколько полно воздух насыщен водяным паром, эта характеристика отражает фактическое количество водяного пара в атмосфере. Значения точки росы с высотой уменьшаются, что соответствует обычному физическому состоянию атмосферы. Как и в предыдущем случае, до и после вулканического извержения заметны различия в характере изменения точки росы с высотой. В слое от поверхности Земли до 1.5 км значения точки росы до извержения выше, чем после него, а в слое от 3 км до тропопаузы (250 гПа) значения точки росы, наоборот, становятся после извержения выше, чем до него (рис. 3). У вулкана Ключевская Сопка значения точки росы после извержения становятся выше, чем до извержения, начиная с уровня 15 км. Наиболее сильные изменения относительной влажности обнаруживаются в слое 500–300 гПа.

Согласно данным табл. 3, статистически значимые изменения точки росы наблюдаются, как правило, выше 3 км до тропопаузы. При извержении вулкана Этна статистически значимые изменения точки росы не обнаружены ни на каком стандартном изобарическом уровне.

Как уже отмечалось во многих исследованиях (см., например, [18]), вулканическая активность стимулирует процессы облако- и осадкообразования. Следовательно, должно происходить падение высот изобарических поверхностей. Проверим данное утверждение на примере рассматриваемых вулканов. В табл. 4 показано изменение высот стандартных изобарических поверхностей до и после вулканических извержений. Как видно из таблицы, падение высот изобарических поверхностей происходит далеко неоднозначно. При извержении вулкана Руис происходит рост высот изобарической поверхности 925 гПа на 2 гп. дам (гп. дам – геопотенциальные декаметры). Рост высот стандартных изобарических поверхностей в слое от Земли до 3 км (АТ-700 гПа) выявлен при извержении вулканов Эйяфьядлайёкюдль и Ключевская сопка. Однако если рост высот изобарических поверхностей Ат-925, 850 и 700 гПа при извержении вулкана Эйяфьядлайёкюдль почти не заметен, то при извержении Ключевской сопки

Табл. 4

Изменение высот стандартных изобарических поверхностей ( $\Delta h$ , м) до и после вулканического извержения

Уровни (изобарические поверхности)	Вулканы				
	Эйяфья- длайёкюдль	Гримсвоти	Этна	Ключевская сопка	Руис
1000	–	81	–14	–56	–
925	–1	78	–2	–53	–21
850	–3	75	27	–50	16
700	–3	74	48	–39	15
500	4	82	5	7	28
300	14	105	47	79	42
250	10	110	–	192	0
150	12	89	–	253	–
100	12	75	–	307	–
70	16	64	–	–	–
50	0	33	–	–	–

высоты изобарических поверхностей выросли примерно на 5 гп. дам. Выше уровня 3 км при извержениях всех вулканов высоты изобарических поверхностей падают. Наибольшее падение высот отмечается на уровне тропопаузы или несколько выше и соответствует в среднем 5–6 гп. дам. Статистически значимые падения высот изобарических поверхностей не выявлены.

Кроме того, было интересным посмотреть, могут ли такие изменения высот изобарических поверхностей вызвать возмущения синоптического масштаба. Для этого были выбраны случаи извержений, при которых наблюдались самые большие падения высот стандартных изобарических поверхностей. Это извержения вулканов Гримсвоти в мае 2011 г. и Ключевской сопки в августе 2013 г. Для каждого из указанных выше случаев проводился анализ соответствующих синоптических данных, который не выявил каких-либо изменений синоптического масштаба. По-видимому, падения высот изобарических поверхностей на 5–6 гп. дам не могут вызвать таких возмущений.

### Заключение

Таким образом, в результате проведенного исследования выявлены изменения некоторых характеристик атмосферы до и после вулканического извержения.

1. Обнаружена локальная реакция атмосферы на вулканические извержения, которая проявляется в характере изменения температуры, влажности и высот стандартных изобарических поверхностей.

2. Выявлена локальная реакция атмосферы на вулканическое извержение в характере изменения температуры. Как правило, температура после извержения снижается, наибольшее снижение имеет место в слое от 5 до 9 км.

3. Изменение относительной влажности воздуха до и после извержения неоднозначно, однако рост относительной влажности фиксируется чаще всего в слое от 3 км и до тропопаузы в районе вулканического извержения.



4. Значения точки росы до извержения выше, чем после него, в слое от поверхности Земли до 1.5 км, а выше – наоборот.

5. Высота изобарических поверхностей после извержения падает, но не может провоцировать синоптическую неустойчивость.

### Литература

1. *Багров Н.А., Кондратович К.Я., Педь Д.А., Узрюмов А.И.* Долгосрочные метеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 248 с.
2. *Будыко М.И.* Климат в прошлом и будущем. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 352 с.
3. *Будыко М.И., Винников К.Я.* Современные изменения климата // *Метеорология и гидрология.* – 1973. – № 9. – С. 3–13.
4. *Кондратьев К.Я.* Вулканы и климат // *Итоги науки и техники. Метеорология и климатология.* – М.: ВИНТИ, 1985. – Т. 14. – 204 с.
5. Bradley R.S., Jones P.D. Records of explosive volcanic eruptions over the last 500 years // Bradley R.S., Jones P.D. (Eds.) *Climates since 1850.* – London: Routledge, 1992. – P. 606–622.
6. *Lamb H.H.* Climate: Present, Past and Future. V. 2: Climate History and Future. – London: Methuen; N. Y.: Barnes and Noble, 1977. – 835 p.
7. *Ogilvie A.E.J.* 1816 – a year without a summer in Iceland? // *The Year without a Summer? Climate in 1816 / Ed. by C.R. Harington.* – Ottawa: Can. Mus. Nat., 1992. – P. 331–354.
8. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – М.: Росгидромет, 2014. – 60 с.
9. IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson (Eds.). – Cambridge, United Kingdom; N. Y., USA: Cambridge Univ. Press, 2001. – 881 p.
10. *Логонов В.Ф., Пивоварова З.И., Кравчук Е.Г.* Изменчивость прямой солнечной радиации и температуры в Северном полушарии в связи с вулканическими извержениями // *Изв. Всесоюз. Географ. о-ва.* – 1983. – Т. 115, Вып. 5. – С. 401–411.
11. *Hansen J.E., Sato M., Lacis A., Ruedy R., Tegen I., Matthews E.* Climate forcings in the industrial era // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* – 1998. – V. 95, No 22. – P. 12753–12758. – doi: 10.1073/pnas.95.22.12753.
12. *Воловиков С.А., Коломеев М.П., Хмелевцов С.С., Шереметьев В.М.* Оценка изменения приземной температуры воздуха после извержения вулкана Эль-Чичон // *Труды Ин-та экспериментальной метеорологии.* – 1985. – Вып. 35. – С. 120–130.
13. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds.). – Cambridge, United Kingdom; N. Y., USA: Cambridge Univ. Press, 2013. – 1535 p.
14. *Robock A.* Volcanic eruption, El Chichon // *Encyclopedia of Global Environmental Change.* – Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2002. – P. 736.
15. *Чернавская М.М., Черенкова Е.А.* Исследование влияния вулканических извержений на циркуляционные процессы во внетропических широтах Северного полушария // *Элек-*

- трон. журн. «Исследовано в России». – 2004. – Вып. 141. – С. 1546–1556. – URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/141.pdf/>.
16. Григорьев А.С., Дроздов О.А. К вопросу о влиянии вулканических извержений на осадки северного полушария // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 1975. – Вып. 354. – С. 102–108.
  17. Черенкова Е.А., Чернавская М.М. Воздействие вулканических извержений на циркуляцию атмосферы и осадки в XX веке // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2008. – № 1. – С. 77–86.
  18. Kendzera A.V., Voloshchuk V.M., Boychenko S. Climatic and atmospheric effects from volcanic activity and possible consequences of regional scale // Int. Conf. “Global and Regional Climate Changes”: Conf. abstracts. – Kyiv, 2010. – P. 235.
  19. Гущенко И.И. Извержения вулканов мира. Каталог. – М.: Наука, 1979. – 476 с.
  20. Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 244 с.
  21. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 1972. – 368 с.

Поступила в редакцию  
15.04.2021

---

**Полянская Елена Александровна**, кандидат географических наук, профессор кафедры метеорологии и климатологии

Саратовский национальный исследовательский университет имени Н.Г. Чернышевского  
ул. Астраханская, 83, г. Саратов, 410012, Россия  
E-mail: [kafmeo@mail.ru](mailto:kafmeo@mail.ru)

**Морозова Светлана Владимировна**, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и климатологии

Саратовский национальный исследовательский университет имени Н.Г. Чернышевского  
ул. Астраханская, 83, г. Саратов, 410012, Россия  
E-mail: [swetwl@yandex.ru](mailto:swetwl@yandex.ru)

**Короткова Надежда Владимировна**, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и климатологии

Саратовский национальный исследовательский университет имени Н.Г. Чернышевского  
ул. Астраханская, 83, г. Саратов, 410012, Россия  
E-mail: [fonadia@yandex.ru](mailto:fonadia@yandex.ru)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI  
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2021, vol. 163, no. 4, pp. 643–654

## ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2021.4.643-654

**Research on the Regional Response of the Atmosphere to Volcanic Eruptions**

E.A. Polyanskaya\*, S.V. Morozova\*\*, N.V. Korotkova\*\*\*

Saratov State University, Saratov, 410012 Russia

E-mail: \*kafmeo@mail.ru, \*\*swetwl@yandex.ru, \*\*\*fonadia@yandex.ru

Received June 17, 2021

**Abstract**

This article considers height-related changes in air temperature, relative humidity, and dew point on the standard isobaric surfaces before and after volcanic eruptions. Five volcanoes that have erupted in the last 35 years were selected for analysis: Eyjafjallajökull, Etna, Grímsvötn, Ruiz, and Klyuchevskaya Sopka. For each volcano under study, the characteristics of the atmospheric state were chosen according to the data recorded at the aerological station closest to the eruption area. A local reaction of the thermodynamic state of the atmosphere to the volcanic eruption was noticed. After the volcanic eruption, the air temperature drops most considerably in a layer from 3 to 5 kilometers (by an average of 7–9°C), and the relative humidity is higher than before the eruption (by an average of 15–20%) in the layer from 3 km to the tropopause. From the Earth to 1.5 km, the dew point values before the eruption are greater than after it. Above 1.5 kilometers, the dew point values, on the contrary, increase after the eruption. In the area of the volcanic eruption, a drop in the heights of the standard isobaric surfaces occurs. However, such changes in the geopotential heights cause no synoptic-scale disturbances.

**Keywords:** volcanic eruptions, influence of volcanoes on climate, atmosphere reaction, volcanic activity, regional response

**Figure Captions**

Fig. 1. Height-related changes in the air temperature before and after the volcanic eruption (for Eyjafjallajökull volcano).

Fig. 2. Height-related changes in the relative humidity before and after the volcanic eruption (for Eyjafjallajökull volcano).

Fig. 3. Height-related changes in dew point with height before and after the volcanic eruption (for Zyafjallajökull volcano).

**References**

1. Bagrov N.A., Kondratovich K.Ya., Ped' D.A., Ugryumov A.I. *Dolgosrochnnye meteorologicheskie prognozy* [Long-Term Meteorological Forecasts]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985. 248 p. (In Russian)
2. Budyko M.I. *Klimat v proshlom i budushchem* [Climate in the Past and Future]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1980. 352 p. (In Russian)
3. Budyko M.I., Vinnikov K.Ya. Current climate change. *Meteorol. Gidrol.*, 1973, no. 9, pp. 3–13. (In Russian)
4. Kondrat'ev K.Ya. Volcanoes and climate. In: *Itogi nauki i tekhniki. Meteorologiya i klimatologiya* [Achievements of Science and Technology. Meteorology and Climatology]. Moscow, VINITI, 1985, vol. 14. 1985. 204 p. (In Russian)
5. Bradley R.S., Jones P.D. Records of explosive volcanic eruptions over the last 500 years. In: Bradley R.S., Jones P.D. (Eds.) *Climates since 1850*. London, Routledge, 1992, pp. 606–622.

6. Lamb H.H. *Climate: Present, Past and Future*. Vol. 2: Climate history and future. London, Methuen; New York, Barnes and Noble, 1977. 835 p.
7. Ogilvie A.E.J. 1816 – a year without a summer in Iceland? In: Harington C.R. (Ed.) *The Year without a Summer? Climate in 1816*. Ottawa, Can. Mus. Nat., 1992, pp. 331–354.
8. *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Obshchee rezyume* [The Second Assessment Report of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia on Climate Change and Its Consequences in the Territory of the Russian Federation. Overall Summary]. Moscow, Rosgidromet, 2014. 60 p. (In Russian)
9. *IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A. (Eds.). Cambridge, UK; New York, USA, Cambridge Univ. Press, 2001. 881 p.
10. Loginov V.F., Pivovarova Z.I., Kravchuk E.G. Variations in direct solar radiation and temperature of the Northern Hemisphere due to volcanic eruptions. *Izv. Vses. Geogr. O-va.*, 1983, vol. 115, no. 5, pp. 401–411. (In Russian)
11. Hansen J.E., Sato M., Laci A., Ruedy R., Tegen I., Matthews E. Climate forcings in the industrial era. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 1998, vol. 95, no. 22, pp. 12753–12758. doi: 10.1073/pnas.95.22.12753.
12. Volovikov S.A., Kolomeev M.P., Khmelevtsov S.S., Sheremet'ev V.M. Assessment of the changes in surface air temperature after the eruption of El Chichón volcano. *Tr. Inst. Eksp. Meteorol.*, 1985, no. 35, pp. 120–130. (In Russian)
13. *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y, Bex V., Midgley P.M. (Eds.). Cambridge, UK; New York, USA, Cambridge Univ. Press, 2013. 1535 p.
14. Robock A. Volcanic eruption, El Chichon. In: *Encyclopedia of Global Environmental Change*. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2002, p. 736.
15. Chernavskaya M.M., Cherenkova E.A. Effects of volcanic eruptions on the circulation processes in the extratropical regions of the Northern Hemisphere. *Issled. Ross.*, 2004, vol. 141, pp. 1546–1556. Available at: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/141.pdf>. (In Russian)
16. Grigor'ev A.S., Drozdov O.A. Influence of volcanic eruptions on the Northern Hemisphere precipitation. *Tr. Gl. Geofiz. Obs. im. A.I. Voeikova*, 1975, vol. 354, pp. 102–108. (In Russian)
17. Cherenkova E.A., Chernavskaya M.M. The impact of volcanic eruptions on atmospheric circulation and precipitation in the 20th century. *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2008, no. 1, pp. 77–86. (In Russian)
18. Kendzera A.V., Voloshchuk V.M., Boychenko S. Climatic and atmospheric effects from volcanic activity and possible consequences of regional scale. *Proc. Int. Conf. "Global and Regional Climate Changes": Conf. Abstr.* Kyiv, 2010, p. 235.
19. Gushchenko I.I. *Izverzheniya vulkanov mira. Katalog* [Volcanic Eruptions of the World: A Catalogue]. Moscow, Nauka, 1979. 476 p. (In Russian)
20. Isaev A.A. *Statistika v meteorologii i klimatologii* [Statistics in Meteorology and Climatology]. Moscow, Izd. Mosk. Univ., 1988. 244 p. (In Russian)
21. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moscow, Vyssh. Shk., 1972. 368 p. (In Russian)

**Для цитирования:** Полянская Е.А., Морозова С.В., Короткова Н.В. Исследование регионального отклика атмосферы на вулканические извержения // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2021. – Т. 163, кн. 4. – С. 643–654. – doi: 10.26907/2542-064X.2021.4.643-654.

**For citation:** Polyanskaya E.A., Morozova S.V., Korotkova N.V. Research on the regional response of the atmosphere to volcanic eruptions. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2021, vol. 163, no. 4, pp. 643–654. doi: 10.26907/2542-064X.2021.4.643-654. (In Russian)