Извержение вулкана Эйяфьятль в 2010 году

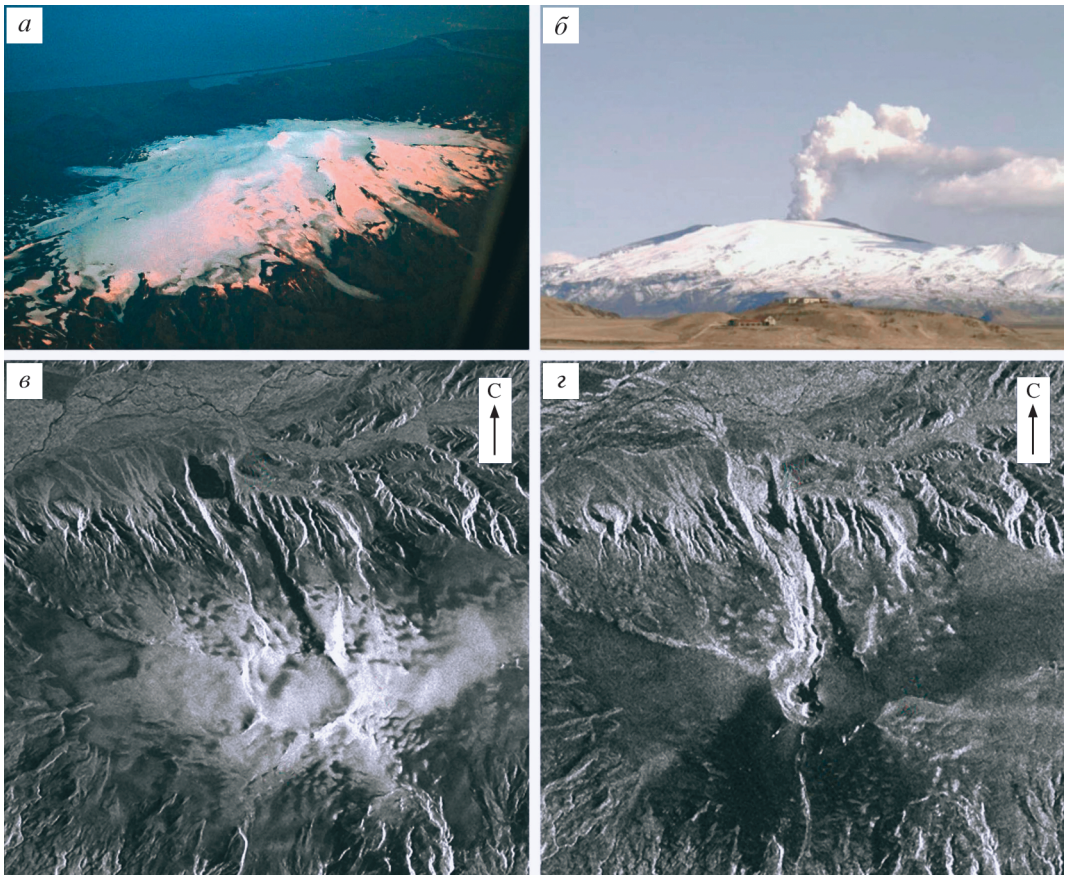
А.Ю. ОЗЕРОВ,
кандидат геолого-минералогических наук
Е.И. ГОРДЕЕВ,
академик
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский

По данным исландских вулканологов описано современное извержение вулкана Эйяфьятль, которое вызвало мощнейший транспортный коллапс в Европе. Выделено три этапа извержения: 20 марта – эффузивно-эксплозивный, 13–20 апреля и 1–21 мая – фреатомагматические. В результате взаимодействия магматических расплавов с кальдерным ледником происходило образование значительных объемов тонкодисперсного вулканического пепла, который переносился воздушными массами на расстояние более 4 тыс. км.

Для вулкана Эйяфьятль в современной исландской геологической литературе используются несколько названий (Eyjafjaöll, Eyjafjallaj) и полное название – **Эйяфьятлакутль** (Eyjafjallajökull). Вулкан высотой 1666 м находится в южной части Исландии в 200 км восточнее Рейкьявика. Его постройка в плане представляет эллипс, вытянутый в широтном направлении, большая ось эллипса – 30 км, малая – 14 км. Это крупный пологий стратовулкан, сложенный базальтами и андезитами, его вершину венчает кальдера (диаметр – 3–4 км, глубина – 50–70 м). Склоны покрыты ледниковым панцирем, особенно значительные объемы

© Озеров А.Ю., Гордеев Е.И.

Zeml_Vsel_1_2011_Verst_1.indd 21 12/27/10 1:54:44 PM



Вулкан Эйяфьятль (Исландия) до извержения (а, в) и во время трещинного извержения 21 марта 2010 г. (б, г). Вулканические бомбы во время извержения фонтанировали на высоту около 150 м. Внизу – снимки из космоса.

ледниковых масс располагаются в глубокой котловине кальдеры.

Первое исторически зарегистрированное извержение этого вулкана началось в 1612 г., продолжительность его неизвестна. Следующее извержение продолжалось с 19 декабря 1821 г. по 1 января 1823 г. В процессе извержения отмечались периоды усиления и ослабления, которые происходили с двухнедельным интервалом. Признаки подготовки извержения 2010 г. фиксировались около двух десятилетий. С 1991 г. по август 2006 г. под вулканом Эйяфьятль зарегистрировано 860 землетрясений на глубинах до 25 км. Можно полагать, что такой уровень сейсмичности обеспечивался активизацией магматических расплавов в питающей системе вулкана.

В конце декабря 2009 г. было зафиксировано повышение уровня сейсмической активности с гипоцентрами на глубине 7–10 км. В это же время станции навигационной спутниковой системы GPS начали регистрировать деформации земной поверхности. Закономерное их возрастание в совокупности с увеличением числа землетрясений позволило исландским ученым 26 февраля 2010 г. дать прогноз предстоящего извержения. Позднее продолжалось закономерное возрастание деформаций и сейсми-

Zeml_Vsel_1_2011_Verst_1.indd 22 12/27/10 1:54:45 PM

ческой активности готовящегося извержения. 3–5 марта было зарегистрировано до 3 тыс. сейсмических событий в сутки. 19–20 марта отмечен подъем роя землетрясений, они начали фиксироваться уже на глубинах 4–7 км.

20 марта – 9 апреля произошло побочное извержение (первый, эффузивно-эксплозивный этап). Извержение началось 20 марта 2010 г. около 23 ч (здесь и далее исландское время) из трещины, образовавшейся на высоте 1 км над уровнем моря. Трещина открылась на северо-восточном склоне вулкана и простиралась в северо-восточном направлении. Воздушные и наземные наблюдения, проведенные 21 марта, показали, что вдоль 700-м трещины из 17 *эксплозивных центров (бокк)* происходило интенсивное фонтанирование базальтовых бомб. Высота фонтанов достигала 150 м. На второй день извержения у основания центральных фонтанов появились узкие жидкие лавовые базальтовые потоки.

К 24 марта фонтанирование бокк, расположенных в краевых частях трещины, стало затихать, и всю эруптивную нагрузку взяли на себя семь *эффузивно-эксплозивных центров*. Высота фонтанирования в отдельные моменты достигала 200 м. Бомбы и шлак, выбрасываемые в процессе фонтанирования, начали формировать шлаковый конус, а у его основания образовалось лавовое поле. Скорость движения лавовых потоков на истоке составляла 400–500 м в час. Высота фронтальных частей лавовых потоков достигала 10 м. Спускаясь по склонам, лавовые потоки взаимодействовали с ледниками. Происходило интенсивное таяние, образовывались паровые облака, а вниз устремлялись грязевые потоки (*лахары*). С небольшими вариациями такая активность сохранялась до 30 марта. К этому времени высота шлакового конуса достигла 60–70 м, а площадь лавового поля – 1 км^2.

31 марта, спустя 11 дней после начала извержения, около 19 ч открылась вторая трещина длиной 300 м. Она располагалась в 200 м северо-восточнее и выше описанной трещины. В течение пяти дней фонтанирование наблюдалось одновременно из двух трещин. Пик активности пришелся на 7 апреля; фонтаны бомб достигали высоты 300 м, значительно увеличился расход лавовых потоков. По оценкам исландских вулканологов, к этому времени лавовое поле покрыло площадь 1,3 км^2, средняя мощность его оценивалась в 10–15 м. На трещинах образовались шлаковые конусы, наибольший из них достиг высоты 82 м. После этого фонтанирование лавы постепенно прекратилось, и уровень сейсмической активности снизился. В извержении наступила пауза, которая продолжалась несколько дней. Согласно визуальным наблюдениям, 13 апреля в районе извержения регистрировались только слабые паровые струи.

Первый, эффузивно-эксплозивный этап извержения закончился 9 апреля 2010 г. Он характеризовался фонтанированием раскаленных бомб и излиянием лавовых потоков, пепловая нагрузка была незначительной. Особое беспокойство вызывали грязевые потоки, которые могли разрушить мосты через реки у подножия вулкана. Чтобы снизить воздействие грязевых потоков на мостовые опоры и пролеты, правительство Исландии приняло решение срезать насыпи дорог, вплотную примыкающие к мостам. Это расширило потенциальный створ грязевым потокам и минимизировало ущерб для транспортных магистралей. Извержение первого этапа было относительно безопасным и представляло большой интерес для туристов. За первые десять дней в районе извержения побывало 25 тыс. человек, которые любовались феерией раскаленных фонтанов с расстояния 800–1000 м.

13–20 апреля произошло вершинное извержение вулкана (вто-

Zeml_Vsel_1_2011_Verst_1.indd 23 12/27/10 1:54:46 PM

Шлаковый конус (черный массив слева). Из жерла конуса происходят выбросы раскаленных бомб. 27 марта 2010 г.

Лавовый поток вулкана Эйяфьятль. 27 марта 2010 г.

Zeml_Vsel_1_2011_Verst_1.indd 24 12/27/10 1:54:46 PM

Туристы у вулкана Эйяфьятль. 12 апреля 2010 г.

рой, фреатомагматический этап). 13 апреля около 23 ч значительно усилилась сейсмическая активность уже непосредственно под вершинной кальдерой вулкана, западнее прекративших свою деятельность вышеописанных центров трещинного извержения. Час спустя в южной части кальдеры на поверхность стали поступать андезитовые магмы, началось вершинное извержение. Ясным утром 14 апреля над вулканом наблюдалась мощная пепловая колонна высотой от 2–3 до 8 км. В кальдере, в основании эруптивной колонны, практически непрерывно происходили мощные фреатомагматические взрывы, образующиеся в результате взаимодействия раскаленных магматических расплавов с водой. Верхняя часть выбрасываемого облака взрыва состояла из множества острых стреловидных образований, которые, поднимаясь, видоизменялись, и выбросы приобретали классическую форму “цветной капусты“. Клубящиеся тугие облака сносились ветром в юго-восточном и восточном направлениях, образуя пепловый шлейф на высоте несколько километров над землей. 14 апреля пепел фиксировался над южной частью Исландии и начал перемещаться в сторону Британских островов.

15–16 апреля интенсивность извержения нарастала, а устойчивый ветер формировал протяженный линейный шлейф вулканического пепла. 15 апреля пепел достиг Британских островов и Скандинавского полуострова. 16 апреля его фиксировали уже над северной частью Европы на высоте 4–10 км. Здесь, в зоне материковой турбулентности, доминировали процессы площадного распространения – не только в южном, но и в западном и восточном направлениях.

17–18 апреля наблюдалась кульминация *фреа-*

Zeml_Vsel_1_2011_Verst_1.indd 25 12/27/10 1:54:47 PM

Пепловая туча над вулканом Эйяфьятль. 16 апреля 2010 г.

томагматической деятельности. Густая устрашающая пепловая колонна, пронзаемая молниями, в отдельные моменты достигала высоты 10 км, давая начало протяженному насыщенному пеплом шлейфу (см. стр. 3 обложки). Магматические расплавы, поступающие в основание ледника, и генерируемые ими непрерывные взрывы растопили огромные объемы ледника. По ледниковому трогу, направленному на север, двигались ревущие грязевые потоки (лахары). Они спускались в долину, ограничивающую вулкан с севера, и по ней устремлялись на запад, а потом, следуя направлению долины, – на юг, в океан.

Движение эруптивного шлейфа продолжалось в юго-восточном, восточном и северо-восточном направлениях, при этом концентрация пепловых частиц в шлейфе значительно возросла. Утром 17 апреля пеплопад наблюдался на территории Англии (размер частиц – 0,1 мм), а вечером зафиксировано выпадение пепловых частиц в Москве, на расстоянии 3200 км от места извержения (данные П.Ю. Плечева и Ю.В. Фроловой). Еще через несколько часов пепел достиг Черного моря. Таким образом, практически над всей территорией Европы на высоте 4–10 км сформировался атмосферный слой, насыщенный твердыми частицами пепла, привнесенными из района извержения.

19–20 апреля взрывы стали значительно слабее и реже, а концентрация пепла в шлейфе существенно уменьшилась. 20 апреля южнее вулкана фиксировалось два шлейфа: один – светло-серый, с незначительной концентрацией пепловых частиц, а другой – белый, состоящий из паров воды. Космическая съемка вулкана Эйяфьятль, выполненная 20 апреля, показала, что в вершинной кальдере вулкана

Zeml_Vsel_1_2011_Verst_1.indd 26 12/27/10 1:54:47 PM

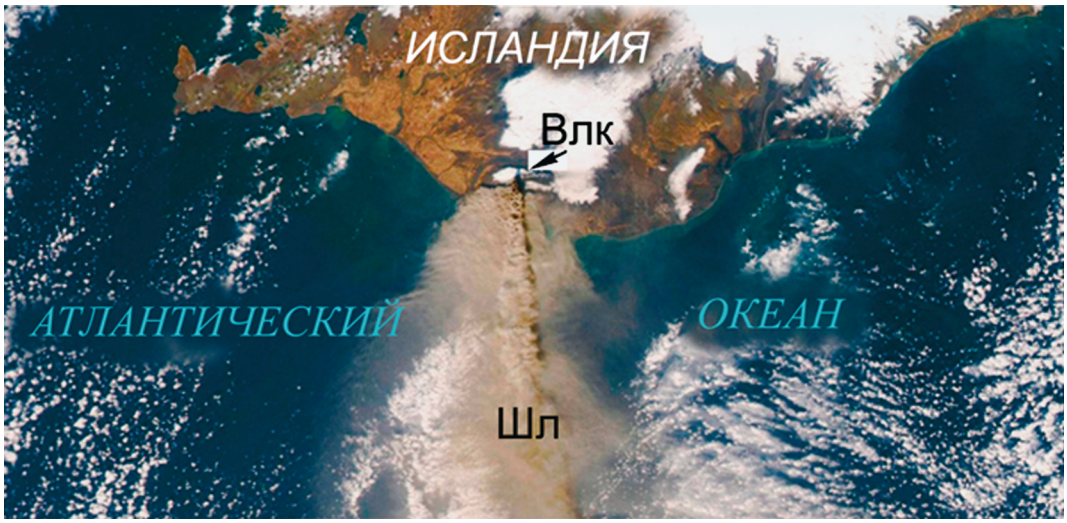
произошли значительные изменения. В теле ледника, заполняющего кальдеру, образовалось три кратера (южный, диаметром примерно 250 м, юго-западный – 500 м и центральный – 100 м), а ледниковые отложения в северном троге были прорезаны глубокими каньонами, сформированными грязевыми потоками. В это же время изменилось направление движения воздушных масс, которые начали перемещаться в сторону Атлантического океана. Небо над Европой стало постепенно очищаться от пепла. 21 апреля над вулканом наблюдался только столб пара, поднимающийся на высоту примерно 1 км. К 22 апреля область распространения пеплового шлейфа в атмосфере заметно сократилась.

Второй, фреатомагматический этап извержения закончился 20 апреля 2010 г. Главная особенность этого этапа – генерация огромного количества пепла, переносимого на значительные расстояния – до 4 тыс. км. Европа испытала глубокий транспортный коллапс: с 15 по 21 апреля было полностью блокировано авиационное сообщение. Примерно 10 млн пассажиров не смогли воспользоваться услугами воздушного транспорта. Прекратились грузовые авиаперевозки. Убытки авиакомпаний существенно превысили миллиард долларов. Со времени начала интенсивного развития воздушных перевозок (более 50 лет) это был первый случай столь значительного нарушения транспортного сообщения на территории европейских государств.

В Исландии от выпавшего пепла и грязевых потоков пострадали фермерские хозяйства в южном и западном секторах вулкана. Частично

Густые пепловые облака, образующиеся в результате взаимодействия магмы со льдом. 17 апреля 2010 г.

Zeml_Vsel_1_2011_Verst_1.indd 27 12/27/10 1:54:48 PM



Пепловый шлейф (Шл), распространяющийся в южном направлении от вулкана Эйяфьятль (Влк). Космический снимок 17 апреля 2010 г.

были разрушены дороги, находящиеся на пути грязевых потоков. Из зоны риска эвакуировано около 700 жителей. В то же время жители столицы Рейкьявик практически не ощутили негативного воздействия пепловых масс, не прекращал работы и главный аэропорт Исландии – Кефлавик. Это произошло благодаря тому, что в течение всего извержения дул устойчивый ветер, перемещавший воздушные массы из северных широт в южном направлении.

Приведенные описания двух последовательных этапов извержения наглядно демонстрируют существенные различия в характере проявления вулканических сил и в их воздействии на сложившиеся инфраструктуры и экосистемы в ближней и дальней зонах от вулкана. Рассмотрим, чем обусловлены эти различия.

Вулкан Эйяфьятль – долгоживущий вулканический центр, в питающей системе которого существуют магматические очаги, имеющие различный химический состав расплавов – базальтовый и андезитовый. В результате активизации очагов сначала извергались жидкие, легко подвижные базальтовые магмы. Затем под вершинной кальдерой вулкана произошла мобилизация менее подвижных андезитовых расплавов, и уже они поступили на поверхность. В разных условиях выхода на поверхность базальтовых и андезитовых магм заключается основная причина, определяющая столь существенные отличия в характере извержения.

Во время первого, эффузивно-эксплозивного этапа извержения расплав достигал поверхности на склоне вулкана, где мощность ледникового покрова была невелика. Наблюдались выбросы бомб и излияние лавовых потоков. Здесь, в условиях взаимодействия с воздухом атмосферы, медленно остывали расплавленные породы. Фреатомагматическая деятельность проявлялась незначительно, в основном в результате взаимодействия фронтальных частей лавовых потоков с маломощными ледниками. Образующиеся при этом водные массы в условиях наклонного рельефа не могли накапливаться и стекали вниз, образуя протяженные лахары.

Zeml_Vsel_1_2011_Verst_1.indd 28 12/27/10 1:54:49 PM

Во время второго, фреатомагматического этапа условия выхода расплава на поверхность были совершенно иными. Прокладывая путь к поверхности, магма внедрилась в тело мощного ледника, расположенного в котловине глубокой кальдеры. Тысячеградусная магма растопила ледник, образовалось озеро талой воды. Попадая в воду, магма в результате мгновенного сброса давления и температуры дробилась на мельчайшие частицы. Окружающая вода превращалась в перегретый пар, вызывавший взрывы с выносом огромного количества мелкого вулканического пепла. Такой пепел может долгое время находиться в атмосфере и транспортироваться воздушными потоками на значительные расстояния. Для Исландии, где вулканы покрыты мощным ледниковым панцирем (более 20–30 м), такой сценарий эруптивной деятельности весьма характерен. Очень часто во время подледных извержений здесь образуются специфические породы – *гиалокластиты*. Это рыжие, сильно измененные туфы и туфобрекчии, в которых с трудом можно распознать магматические расплавы, их сформировавшие. Таким образом, дезинтеграция магматических расплавов в неглубоких водоемах обусловила сильное негативное влияние на Европу, которое эхом прокатилось по всему земному шару.

1–21 мая произошло вершинное извержение – внедрение магмы в тело ледника в кальдере вулкана. Третий этап, фреатомагматический, характеризовался теми же событиями, которые происходили во время второго этапа. Образующиеся пепловые шлейфы вновь блокировали работу авиатранспорта в Европе 6–12 и 16–18 мая. В июне – июле интенсивность извержения значительно уменьшилась, образование пепловых облаков больше не наблюдалось, но многокилометровые паровые шлейфы, появляющиеся над вершиной вулкана, свидетельствовали о том, что извержение рано считать закончившимся.

Поступление магматических расплавов на вулкане Эйяфьятль может длиться несколько лет, ледники в кальдере растаяли не полностью, а движение холодных фронтов воздушных масс, которые могут разносить пепловые шлейфы из северных широт в южные, – характерная климатическая черта этого региона. Суммарное проявление этих факторов может долгое время оказывать негативное воздействие на экосистему Северного полушария. В то же время следует указать, что научно-технический прогресс минимизировал воздействие извержения. Необходимо отметить замечательную работу исландских сейсмологов и вулканологов, которые точно предсказали начало извержения и его развитие. Великолепно проявили себя службы космического мониторинга, оперативно составляя детальные карты распространения пепловых масс. Жесткие требования, предъявляемые к безопасности воздушного сообщения аэронавигационными и диспетчерскими службами Европы, дали возможность заблаговременно остановить работу транспортных авиакомпаний. Расширение и оснащение этих служб – насущная необходимость, это позволит выбирать оптимальную стратегию как в настоящее время, так и в отдаленной перспективе.

Сейчас разрабатываются и внедряются новые методы динамической регистрации концентрации вулканического пепла в атмосфере. Например, авиакомпания “Easy Jet” (Великобритания) готовится поставить на своих самолетах датчики, определяющие количество пепловых частиц в воздухе. Прибор представляет собой радар, работающий в инфракрасном диапазоне. Изображение обнаруженного пеплового облака передается на экран в кабину пилотов, а также диспетчерским службам. Датчики способны обнаруживать вулканические облака

Zeml_Vsel_1_2011_Verst_1.indd 29 12/27/10 1:54:49 PM

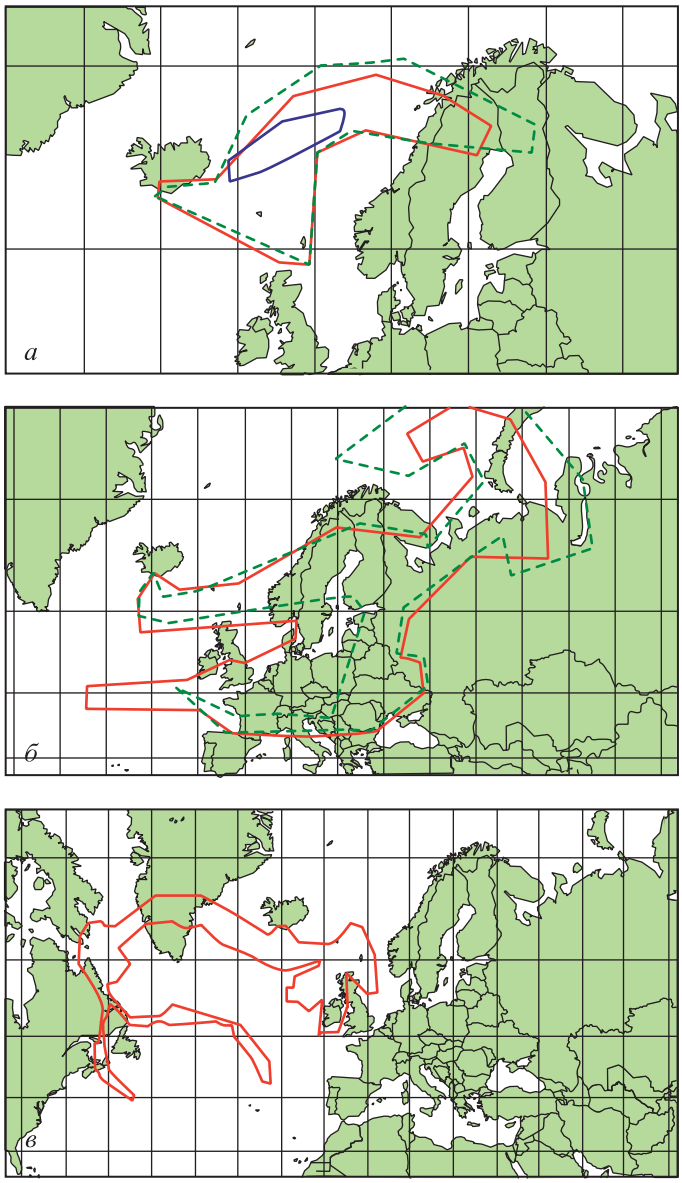


Схема распространения пеплового шлейфа 15, 17 и 22 апреля 2010 г. от вулкана Эйяфьятль (а, б, в). Зеленым контуром показана граница пеплового шлейфа на высоте 6000 м, красным – на высотах 6000–10 500 м и синим – на высотах до 16 500 м. Данные Национальной службы погоды Великобритании.

на расстоянии до 100 км на высотах до 15 тыс. м. Эти данные помогут пилотами заблаговременно скорректировать маршрут полета в обход вулканических облаков.

Вулканизм проявляется во многих регионах нашей планеты. Человечеству еще неоднократно придется испытать его мощь, и от того, какие действия будут предприняты, во многом зависит характер развития цивилизации на Земле.

Авторы глубоко признательны исследователям Института наук о Земле Исландии и Национальной службы погоды Великобритании за предоставленные материалы.

Zeml_Vsel_1_2011_Verst_1.indd 30 12/27/10 1:54:49 PM