

Е.И.ГОРДЕЕВ, Я.Д.МУРАВЬЕВ, В.А.ДРОЗНИН

Извержения вулканов Камчатки в 2005 г.

Приведены данные активности вулканов Камчатки в 2005 г. Выполнены предварительные оценки геологического и экологического эффектов наиболее крупных извержений.

Eruptions of volcanoes of Kamchatka in 2005. V.I.GORDEEV, Y.D.MURAVYEV, V.A.DROZNIN (Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky).

This paper provides some data on activity of volcanoes of Kamchatka in 2005. Tentative estimations of geological and ecological effects of the largest eruptions of the year are presented.

В 2005 г. в состоянии эруптивной активности на п-ове Камчатка находилось четыре вулкана.

С 16 января по 15 апреля, после двухлетнего заполнения вершинного кратера, происходило сильное вершинное эффузивно-эксплозивное извержение влк. Ключевской, причем с 31 января началось излияние лавовых потоков на внешние склоны. Пепловые выбросы из кратера достигали высоты 9 км над у. м., пеплопады отмечались на расстоянии до 200 км. Излияние лавовых потоков в Крестовский желоб до 3,5 км в длину вызвало образование мощных фреатических взрывов до 8–9 км и сход грязевого потока протяженностью до 27 км.

11 января произошло эксплозивное извержение влк. Безымянный, сопровождавшееся пепловыми выбросами до 8–10 км над у. м., сходом на 5 км крупноглыбового пирокластического потока и формированием отложений пирокластических волн протяженностью до 15 км. На вершине купола образовался кратер диаметром 300 м и глубиной до 200 м. Это извержение связано с продолжающимся ростом лавового купола, который возник после катастрофического извержения в 1956 г. После очередного межпароксизмального извержения влк. Безымянный 30 ноября 2005 г. в эксплозивном кратере на куполе Новый началось выжимание нового экструзивного блока.

В ночь с 27 на 28 февраля произошло очередное кульминационное эксплозивное извержение влк. Шивелуч – сильнейшее после его катастрофического извержения в 1964 г. Пепловые выбросы достигали 8,5–11 км, пеплопад в западном секторе от вулкана охватил площадь более 25 000 км², пирокластический поток сошел на 27 км к юго-западу от купола. Суммарный объем изверженных продуктов достигал 0,5 км³. 22 сентября состоялось еще одно, более слабое эксплозивное извержение этого вулкана, сопровождавшееся пепловыми выбросами до 7,5 км и сходом пирокластического потока до 15 км.

Ключевской, Безымянный и Шивелуч входят в Северную группу вулканов. За пределами этой группы находится влк. Карымский, чье вершинное извержение, начавшееся еще 1 января 1996 г., продолжалось в течение всего 2005 г. 7-километровые пепловые выбросы формировали пеплопады в радиусе до 50 км. Разброс бомб достигал 1–1,5 км от кратера, изредка происходил сход небольших пирокластических потоков. В августе режим

ГОРДЕЕВ Евгений Ильич – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, МУРАВЬЕВ Ярослав Дмитриевич – кандидат географических наук, ДРОЗНИН Валерий Аркадьевич – кандидат технических наук (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский).

извержения изменился. В кратере начался рост лавового купола, частично разрушаемого редкими мощными эксплозиями.

Все эти извержения изучались как с помощью дистанционных методов, так и наземными экспедициями. Первые результаты приведены в сообщениях [1–3].

Активность вулканов

Вулкан Ключевской. Согласно геодезическим измерениям, с 2002 г. наблюдался подъем северо-восточного склона вулкана. Подъем участка склона на ближайшей к кратеру вулкана площадке (в 9 км от вершины) достиг к 2004 г. 0,16 м. С начала 2003 г. постепенно стал заполняться кратер, образовавшийся после пароксизмального извержения 1994 г. В итоге к 2005 г. кратер полностью был заполнен, и с 16 января по 15 апреля произошло извержение, сопровождавшееся излиянием лавы на северо-западный склон вулкана, мощными фреатическими взрывами (рис. 1, 3-я сторонка обложки), грязевыми потоками, а также пеплопадами в пос. Ключи.

По предварительным оценкам, объем изверженных продуктов составлял около 0,2 км³. Макроскопически порода лавовых потоков представлена базальтом, типичным для современного этапа деятельности вулкана. Умеренные пеплопады отмечались как в окрестностях вулкана, так и на расстоянии до 200 км. Внедрение лавовых потоков в ледник Эрмана привело к формированию и сходу по р. Киргурич мощного лахара, который нанес ущерб поселковым лесозаготовкам.

Вулкан Безымянный. Сейсмическая активность под вулканом начала расти с 25 декабря 2004 г., когда было зарегистрировано 3 землетрясения с магнитудой 1,2–1,4. 27 декабря произошло 5 землетрясений с $M = 0,6–1,7$. В последующую неделю сейсмичность ежедневно превышала уровень фона, регистрировалось в день по 2–7 землетрясений (6 января – 10) с $M = 0,7–2,2$. Выжимания экструзивных блоков, предвещающие сильные эксплозии, обычно сопровождаются ростом сейсмической активности, и в этот раз землетрясения были спровоцированы выжиманием на куполе Новый очередного блока. В эти дни термальная аномалия на куполе возросла с 2 до 6 пикселей. С 7 по 10 января количество землетрясений увеличилось с 14 до 46, максимальная магнитуда составила 2,7. 10 января появилось спазматическое вулканическое дрожание с амплитудой 0,2 мкм/с. Службы мониторинга за вулканами дали краткосрочный прогноз возможного извержения влк. Безымянный, и 7 января в Камчатское отделение федерального центра прогноза землетрясений было передано сообщение о высокой степени вероятности эксплозивного извержения.

11 января в 20:02 (здесь и далее время местное) извержение началось. По сейсмическим данным, наиболее активная фаза с подъемом пепловой тучи на высоту 8–10 км была с 20:02 до 20:45. Амплитуда непрерывного вулканического дрожания достигала 0,5 мкм/с и $A/T_{\max} \geq 17,1$ мкм/с, было зафиксировано 30 поверхностных землетрясений с $M = 1,0–2,2$. Перемещение пепловых облаков отмечалось по спутниковым снимкам AVHRR, GOES и MODIS. В 22:14 было зафиксировано пепловое облако диаметром 50 км в 160 км к западу-юго-западу от вулкана. В 23:54 это же облако, но уже диаметром 30 км, переместилось в том же направлении на 360 км от вулкана (рис. 2). Предположительно в 22:14 облако находилось на высоте 8–9 км, а в 23:54 – 7 км.

12 января в 14:35 по спутниковому снимку на западном побережье Камчатки были обнаружены отложения пепла, протянувшиеся широкой полосой на границе Камчатской области и Корякского автономного округа от влк. Ичинский до Охотского моря. Площадь отложений пепла на территории Камчатки составила около 5 000 км².

С 17 января высокая сейсмическая активность под влк. Ключевской не позволяла получать корректные сейсмические данные для влк. Безымянный, но характер предыдущих его извержений позволил предположить, что в ближайшие месяцы будет происходить

**Ash cloud from Bezymianny eruption, January 11 at 08:02--08:45 UTC.
Sat.data - KCCM, processing - KEMSD GS RAS, Senyukov S.L.**

NOAA17, 10:14 UTC, band 4-5.

Ash cloud:
location - 160km from volcano, azimuth 250;
size - 50 km; t= -50 gradC, Altitude=9km ASL.

NOAA17, 11:54 UTC, band 4-5.

Ash cloud:
location - 400km from volcano, azimuth 260;
size - 30 km; t= -40 gradC, Altitude=7km ASL.

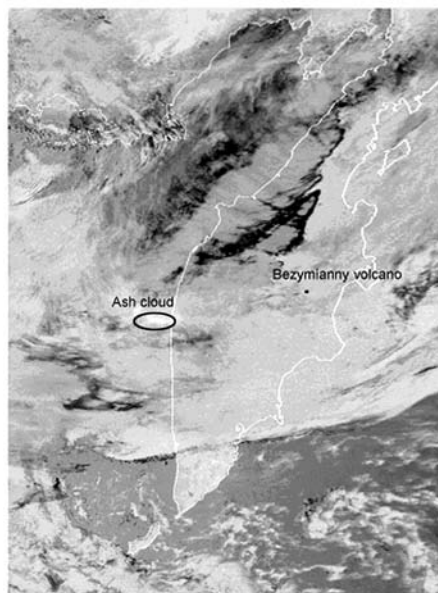
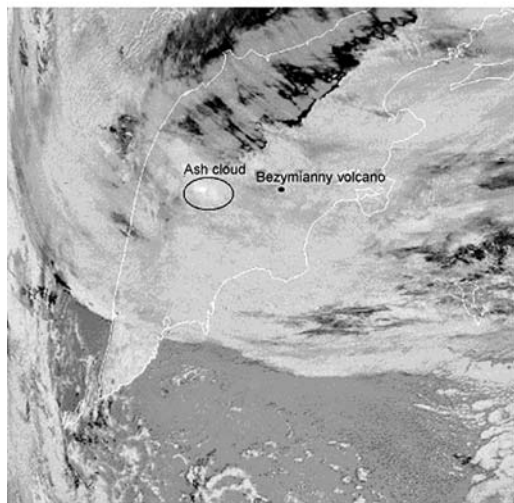


Рис. 2. Распространение пеплового шлейфа в юго-юго-западном направлении от влк. Безымянный при эксплозивном извержении 11 января 2005 г. Данные получены со спутника NOAA17 в 10:14 UTC (слева) и в 11:54 UTC (справа)

излияние вязкого лавового потока на куполе. Спутниковые данные косвенно подтвердили такое предположение: с 12 по 23 января в районе вулкана отмечалась термальная аномалия размером до 5 пикселей, которая, вероятно, и была связана с выжиманием лавового потока.

В марте из сезонного снежного покрова была отобрана тефра зимних извержений вулканов Северной группы. В районе переправы через р. Камчатка пепловые отложения влк. Безымянный достигали 0,5 см. На северо-западе группы (р. Бильченок) в разрезе был обнаружен пепел сразу трех вулканов: Ключевского, Шивелуча и Безымянного (0,1 см) (рис. 3).

При облете вулкана в июле 2005 г. выяснилось, что в результате эксплозии 11 января на вершине купола впервые в его современной истории образовался кратер диаметром около 300 м и глубиной до 200 м. Отмечено выжимание из кратера на южный склон купола небольшого лавового потока, в 15 км к юго-западу от вулкана обнаружены крупнообломочные продукты извержения.

На юго-восточном склоне наземной экспедицией исследованы протянувшиеся примерно на 5 км от купола отложения пеплово-глыбового потока, сложенного пористыми глыбами размером до 3–4 м. Лавовые блоки во время движения пирокластического потока были разогреты, о чем свидетельствуют следы деформаций на их поверхности. Все глыбы и крупные обломки частично окатаны, некоторые пронизаны многочисленными крупными трещинами, как бы «взорваны» изнутри находившимся в них газом.

Вулкан Шивелуч. Шивелуч – один из наиболее активных вулканов Курило-Камчатского региона, новый эруптивный цикл которого начался в 1980 г., когда в кратере появился экструзивный купол, рост которого с небольшими перерывами продолжается до настоящего времени. Сильные межпароксизмальные эксплозивные извержения в этот период

происходили в 1993, 2001 и 2004 гг. В целом в 2004–2005 гг. активность вулкана резко возросла. Видимо, к лету 2004 г. произошло изменение физико-химических условий кристаллизации магмы в очаге вулкана, так как в западной части купола стали выжиматься вязкие лавовые потоки. В 2005 г. состоялись два сильных извержения вулкана.

В ночь с 27 на 28 февраля 2005 г. произошло самое сильное с ноября 1964 г. эксплозивное извержение, в результате которого пепел из эруптивной тучи отложился на площади около 25 000 км² к западу, часть выпала над Охотским морем, пирокластический поток пятью рукавами протянулся на 27 км от купола, образовались небольшие грязевые потоки. Явной предварительной сейсмической подготовки в районе влк. Шивелуч перед извержением не отмечалось, оно не было предсказано.

По сейсмическим данным Камчатского филиала Геофизической службы РАН, усиление эксплозивной активности началось 27 февраля в 18:25. В 23:50 резко возрос уровень сейсмичности под вулканом, и практически тогда же прекратила свою работу сейсмостанция «Байдарная», расположенная в 8 км от лавового купола. Дальнейшая деятельность влк. Шивелуч была оценена по записям сейсмических станций, удаленных от него на расстояние до 200 км. Продолжительность этого события составила около 6 ч 35 мин (с 18:25 27 февраля до 01:00 28 февраля).

Высота эруптивной колонны не превышала 10 км над у. м. Эруптивная туча перемещалась в основном на запад от вулкана, но пепел характерного рыжего оттенка обнаружен утром 28 февраля и в пос. Ключи. По данным метеорологического центра аэропорта Елизово, пеплопад происходил также в пос. Усть-Хайрюзово (западное побережье Камчатки) с 09:40 28 февраля до 07:40 1 марта. Поселковый аэропорт на это время был закрыт. На снегу отмечена слабая присыпка тонкого рыжего пепла. В движение циклона, перемещавшегося над Охотским морем в течение нескольких дней после извержения вулкана, была вовлечена и пепловая туча. 28 февраля в 14:48 спутником NOAA 16 AVHRR было отмечено пепловое облако, перемещавшееся над Охотским морем в сторону южной Камчатки. К сожалению, плотная облачность над полуостровом не позволила отслеживать динамику извержения вулкана в постоянном режиме.

28 февраля на спутниковом снимке в 04:56 NOAA16 AVHRR в районе вулкана отмечена термальная аномалия размером 45 пикселей. Аномалия была связана, вероятно, с отложениями большого пирокластического потока на юго-западном склоне вулкана, заполнившими долину р. Байдарная. По спутниковым снимкам TERRA MODIS, их протяженность была оценена примерно в 27 км. Очевидно, пирокластический поток сложен в значительной мере ювенильным веществом. Только этим можно объяснить его высокую мобильность и протяженность.

В середине марта при обследовании отложений потока были отмечены их высокие газонасыщенность и температура (на глубине 167 см выше 400 °С). На поверхности обнаружены многочисленные воронки фреатических взрывов.

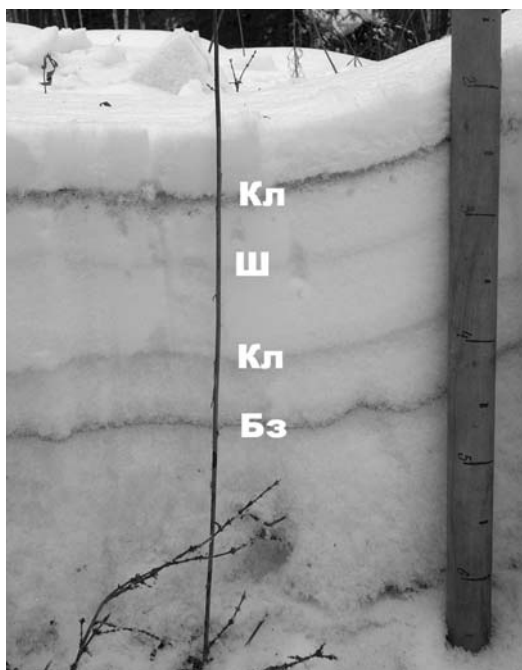


Рис. 3. Разрез снежного покрова в районе пос. Майский с отложениями пепла вулканов Ключевской (Кл), Шивелуч (Ш) и Безымянный (Бз)

Потоком уничтожено более 10 км² леса, по всему фронту встречаются навалы обожженных и обугленных деревьев.

По спутниковым снимкам MODIS, аэро- и наземным фотографиям, отложения этого потока занимают площадь около 31,5 км². Учитывая то, что глубина каньона р. Байдарная в среднем течении до извержения составляла 30–40 м, а на фронте потока отложения были приблизительно 0,5–1 м, средняя мощность была принята равной 15 м. Исходя из этого, объем изверженного и перемещенного материала последнего эруптивного события влк. Шивелуч оценен примерно в 0,5 км³. Незначительность снежного покрова в районе вулкана не позволила образоваться большим грязевым потокам.

По инструментальным измерениям, выполненным 5 марта из пос. Ключи (45 км от вулкана), видимая высота экструзивного купола в результате извержения уменьшилась приблизительно на 130 м. Объем разрушенной части составил 0,04 км³. Сразу после эксплозивного извержения в западной части купола было отмечено выжимание нового экструзивного блока, и к началу апреля 2005 г. высоты западной и восточной частей купола почти сравнялись.

С марта по сентябрь 2005 г. был выжат новый экструзивный блок, объем которого уже значительно превышал объем старого, сформированного ранее. С образованием этого блока было связано еще одно, меньшее по масштабам, эксплозивное извержение 22 сентября.

Вулкан Карымский. Вершинное извержение влк. Карымский в 2005 г. продолжалось в режиме предыдущего года, для которого характерны мощные выбросы (рис. 4), содержащие раскаленные вулканические бомбы размером до первых метров. Продукты извержения (бомбы и пепел) по химическому составу соответствовали андезитам. С конца лета начал расти лавовый купол на дне кратера. Объем конуса вулкана до извержения 1 января 1996 г. был 0,9585 км³ (1994 г.), а в конце 2004 г. – 1,0235 км³. По предварительным данным, извержение происходит в условиях опускания земной поверхности со скоростью первые миллиметры в год. По



Рис. 4. Влк. Карымский. Бомбы покрывают все склоны до высот 900–1000 м после мощного одиночного взрыва в кратере. Июль 2005 г. Фото А.Ауэра

аэрофотограмметрическим измерениям (данные В.Н.Двигало), объем излившейся лавы из кратера влк. Карымский за 1996–2005 гг. составляет 0,035 км³, а суммарная площадь лавовых потоков – 1,28 км². Объем пирокластики и вулканических бомб до гипсометрической отметки 900 м на конусе вулкана превышает 0,030 км³.

В 2005 г. влк. Карымский поставлял исключительно пепел и бомбы в виде обломков с гладкой поверхностью, реже – с поверхностью типа хлебной корки, иногда в виде остроугольных обломков. Размер их достигал 4 м, максимальная дальность разброса – 2 км от кратера, высота пепловых выбросов – 7–7,5 км. В темное время суток над кратером иногда было видно свечение, а раскаленные бомбы сохраняли красный цвет в течение первых минут. Крупные бомбы скатывались к подножию и оставались горячими в течение недели.

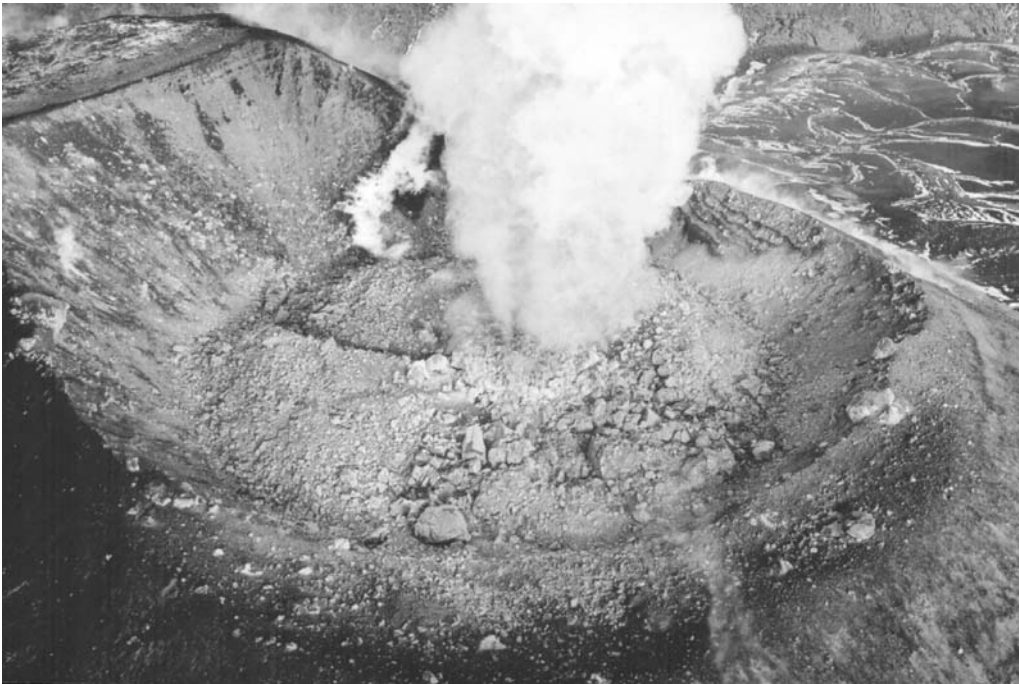


Рис. 5. Лавовый купол, с августа 2005 г. постепенно заполняющий кратер влк. Карымский. Парогазовая струя издает звук реактивного двигателя, а выходы ее указывают место выжимания лавы. 25 сентября 2005 г. *Фото А.В.Сокоренко*

В августе режим извержения изменился. На дне кратера началось выжимание лавового купола, пепловых выбросов стало гораздо меньше, зато стали интенсивно и с мощными звуковыми эффектами истекать газы (рис. 5), и возобновился приостановившийся рост абсолютной высоты вулкана (рис. 6).

Тепловая и аэрофотосъемка вулканов Камчатки

Съемка кратеров активных вулканов в инфракрасном диапазоне – один из видов дистанционного мониторинга, результаты которого имеют важное прогностическое значение.

В августе 2005 г. в рамках совместного российско-американского проекта под руководством Майка Рамсея (Mike Ramsey, University of Pittsburgh) тепловизором Thermo CAM P65 была выполнена плановая инфракрасная аэросъемка вулканов Безымянный, Шивелуч и Авачинский и сделаны перспективные снимки других камчатских вулканов. Одновременно проведена и плановая аэрофотосъемка. Материалы обрабатываются, но уже сейчас можно отметить некоторые интересные результаты.

В структуре ИК-излучения влк. Безымянный на съемках 21 августа отмечены тепловые аномалии между экструзивным куполом и западной стенкой кратера 1956 г., сохранившиеся предположительно со времени его образования и зафиксированные еще при первой ИК-съемке в 1993 г. Внутренняя



Рис. 6. Изменения высоты влк. Карымский за 35 лет (по измерениям М.А.Магуськина). За нулевую отметку принята высота вулкана в 1971 г.

поверхность образовавшегося 11 января 2005 г. кратера оказалась в основном холодной, повышенная температура сохранилась на его стенках только в тонких прослоях.

На влк. Авачинский (съемка 26 августа) выделяются аномалии трех типов: соответствующие фумарольным выходам (наиболее интенсивные), радиальным и концентрическим трещинам на лавовом поле и типа «парящий грунт» на внутренних и внешних склонах кратера. Контуры последних такие же, какими были до извержения 1991 г. Особо отметим появившуюся в последнее время термоаномалию на месте бывшей режимной фумаролы «Серного гребня», прекратившей свою деятельность после извержения в 1991 г. (рис. 7, 3-я сторонка обложки). Представляет интерес сопоставление элементов летом (26 августа) и только что заснеженных (28 октября): термопроявлений на внешнем западном и внутреннем восточном склонах, трещины на юго-восточном склоне, видной на обычной фотографии, но с трудом дешифрируемой из-за солнечного прогрева на ИК-изображении, термоаномалии на поверхности лавы, обозначенной проталинами в снегу.

Максимальная (радиационная) температура 283 °С по снимкам на всех вулканах зафиксирована на куполе влк. Шивелуч 21 августа (рис. 8, 3-я сторонка обложки).

Выполненные аэро- и ИК-съемки позволяют выполнить калибровку изображений, полученных со спутников аппаратами ASTER и MODIS. После фотограмметрической обработки снимков могут быть количественно охарактеризованы морфологические изменения в кратере вкл. Авачинский за прошедший год, получены дополнительные данные о росте экструзивных куполов. Повторная плановая аэрофотосъемка действующих вулканов позволит установить тенденции морфологических изменений в их активных кратерах, количественно оценить геологический эффект извержений.

Резюмируем сказанное.

В 2005 г. в состоянии извержения находились четыре вулкана, три из которых (Безымянный, Ключевской и Шивелуч) входят в Северную группу.

На вершине купола влк. Безымянный образовался кратер диаметром около 200–300 и глубиной до 200 м. Такое событие со времени катастрофического взрыва в 1956 г. наблюдалось впервые. Также впервые обнаружены и изучены отложения пирокластических волн, которые находились отдельно от отложений пеплово-глыбовых пирокластических потоков. На вершине купола излился новый лавовый поток, сложенный плагиопорфировыми породами.

На влк. Шивелуч впервые после 1964 г. столь ярко и масштабно проявились отложения пирокластических волн, сопровождавших формирование отложений пирокластических потоков.

Количество изверженного материала отдельных эксплозивных событий оценивается от 0,01 до 0,50 км³. В 2000–2004 гг. камчатские вулканы поставляли на поверхность в среднем до 0,15 км³ эруптивного материала в год, а в 2005 г. объем составил около 0,70 км³. Наибольший вклад в загрязнение окружающей среды продуктами извержений вносят вулканы Шивелуч и Безымянный, на которых продолжается рост экструзивных куполов в сопровождении мощных эксплозий. Летучие и петрогенные вещества – основной источник геохимического загрязнения – составляют 2–3 млн т ежегодно, т.е. до 2% общей массы выбросов. Такое количество кислых химических соединений уже является стрессом для биоты в радиусе до 50 км от источника загрязнения.

В 2005 г. экспедиционные исследования на действующих вулканах Камчатки финансировались по программе № 13 Президиума РАН. Выражаем благодарность всем сотрудникам ИВиС ДВО РАН, принявшим участие в работах и составлении отчета об извержениях вулканов Камчатки в 2005 г. по ГНТП «Глобальные изменения природной среды и климата».

ЛИТЕРАТУРА

1. Гирина О.А. Изучение извержений вулканов Северной группы Камчатки (Безымянный, Ключевской, Шивелуч) в марте 2005 г. // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 5. С. 166-167.
2. Нуждаев А.А., Гирина О.А., Мельников Д.В. Некоторые результаты изучения пирокластических отложений извержений 28 февраля и 22 сентября 2005 г. вулкана Молодой Шивелуч наземными и дистанционными методами // Вестн. КРАУНЦ. Науки о земле. 2005. № 6. С. 62-67.
3. Muravyev Ya.D., Gordeev E.I. Activity of Kamchatka and Northern Kuriles volcanoes in the beginning of 21th century and their influence on an environment (including volcanic hazard) // Proc. Intern. Symp. on Volcanoes of the World, Jeju Is. Korea, 2006. P. 13-17.