

УДК 581.524.323.(571.645)

ТЕМПЕРАТУРА ОТЛОЖЕНИЙ МОЩНОГО ПИРОКЛАСТИЧЕСКОГО ПОТОКА 2005 г. НА ВУЛКАНЕ ШИВЕЛУЧ (КАМЧАТКА) И НАЧАЛО ЕГО ЗАРАСТАНИЯ

© 2011 С.Ю. Гришин, И.В. Комачкова

Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток 690022; e-mail: grishin@ibss.dvo.ru

Мощные отложения пирокластического потока (февраль 2005 г.) вулкана Шивелуч остаются высокотемпературными в течение 6 лет после извержения. Несмотря на повышенную температуру поверхности отложений, растения в последние годы начали ее заселение. Для выявления особенностей сукцессии были изучены параметры необычного экотопа, в том числе распределение температурного фона поверхности пирокластического потока.

Ключевые слова: пирокластический поток, температура, тепловые пятна, растительность, Шивелуч, Камчатка.

ВВЕДЕНИЕ

Шивелуч – один из наиболее крупных вулканов Камчатки. Он включает три основных структуры: вулкан Старый Шивелуч, древнюю кальдеру и активный вулкан Молодой Шивелуч (Мелекесцев и др., 1991).

В ходе сильного извержения вулкана Молодой Шивелуч 27 февраля 2005 г., в юго-западном секторе вулканического массива сошел очень крупный пирокластический поток, заполнивший долину р. Байдарной (рис. 1). По оценке камчатских вулканологов, его длина достигла 25 км, площадь отложений – 31.5 км², средняя мощность – 15 м, а объем – примерно 0.5 км³ (Гирина и др., 2006).

Через три недели после извержения 27 февраля 2005 г. в толще отложений на глубине 21 см отмечена температура 67°C, а на глубине 167 см – 402°C. Отложения были очень рыхлыми и газонасыщенными, плотностью 1.65-1.79 г/см³. В июле 2005 г. отмеченная максимальная температура достигала 420° на глубине ~ 4 м (Гирина и др., 2006; Нуждаев и др., 2005).

В результате проведенных полевых исследований, а также дешифрирования космических снимков (ASTER/Terra, Landsat и др.), нами установлено, что мощные отложения этого потока в течение ряда лет после извержения остаются высокотемпературными. Несмотря на повышенную температуру поверхности отложений,

растения в последние годы начали ее заселение. Для выявления особенностей сукцессии изучены параметры необычного экотопа, в том числе распределение температурного фона поверхности потока спустя 5 и 6 лет после извержения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Природные изменения в районе исследований были зафиксированы в ходе кратких маршрутов в 2005-2008 гг. (Гришин, 2008). В 2009 г. начато изучение заселения растениями пирокластических отложений, а также исследование воздействия пирокластической волны на лесную растительность. Серии измерений температуры пирокластического потока с помощью цифрового термометра AR9250 со стальным щупом (диапазон измерений -50 ÷ +300°C, разрешение 0.1°C) проведены 2-3 августа 2010 г., 29-31 июля и 20-22 августа 2011 г. (рис. 2). Измерения выполнялись на поверхности отложений и на глубинах 10 см и 25 см, а в отдельных случаях – до 100 см. Серии измерений по профилям включали 20-60 замеров; в отдельных точках измерения проводились до 20-25 раз. Всего выполнено > 800 замеров, большинство из которых – в пасмурную погоду при температуре воздуха около 20°C. Положение точек замеров и трансектов зафиксировано с помощью GPS-навигатора.

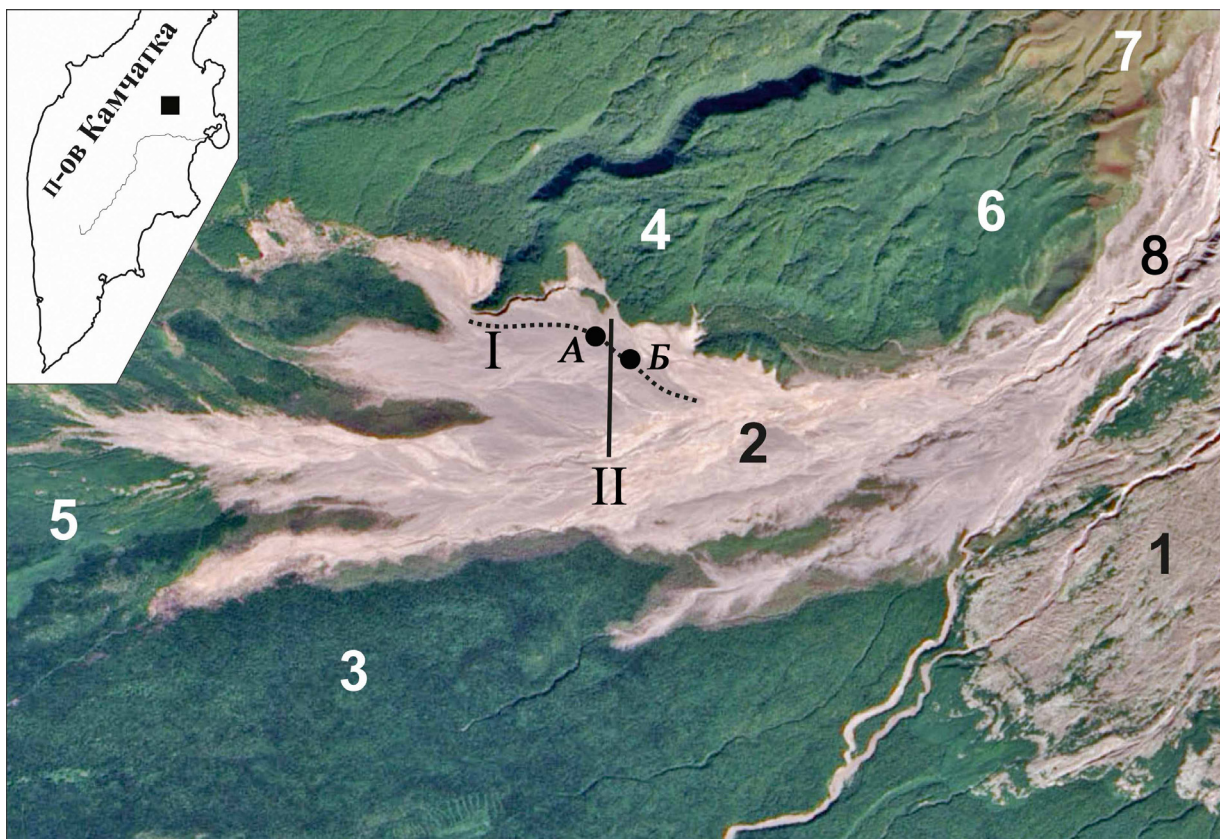


Рис. 1. Юго-западный склон вулкана Шивелуч (спутниковый снимок 2010 г.): 1 – фрагмент поля отложений извержения 1964 г.; 2 – отложения пирокластического потока 2005 г.; 3 – хвойный лес; 4 – каменноберезовый лес; 5 – смешанные долинные леса; 6 – субальпийские стланики; 7 – горные тундры; 8 – русло р. Байдарной. I – осевая часть гряды мощных пирокластических отложений 2005 г., II – трансект, пересекающий эту гряду; А, Б – тепловые пятна.



Рис. 2. Измерения температуры 30.7.2011 г. на тепловой площадке поля пирокластических отложений 2005 г. Фото С.Ю. Гришина.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Растительность юго-западного сектора вулканического массива Шивелуч представляет собой хвойный лес из ели и лиственницы, на высоте около 500 м сменяемый березняками, которые поднимаются примерно до 700 м по склонам правобережья р. Байдарной. Выше располагаются заросли подгольцовых стлаников (ольхового и кедрового), горные луга и тундры (Гришин и др., 2000). Пирокластический поток 2005 г. несколькими рукавами глубоко (до высот 190-250 м) внедрился в лесной пояс (рис. 1). Отложения потока погребли лесную растительность в долине р. Байдарная, резко расширив долину (от 100-200 до 1000-2500 м), а раскаленные пирокластические волны вызвали гибель леса вдоль его бортов (Гришин, 2008, 2009).

Через полгода после извержения, в августе 2005 г., при первом кратком обследовании на поверхности отложений потока местами нами были отмечены воронки диаметром 0.5-1 м, из которых выходил пар. На поверхности отложений во многих местах были обнаружены обугленные ветви и обломки древесины. Стенки обнажений, возникших в результате размывания пирокластике весенне-летними водотоками, были горячими. Однако температура горизонтальной поверхности обширного поля отложений февральского пирокластического потока субъективно (на ощупь) воспринималась соответствующей температуре окружающей среды. Часть этого поля была перекрыта материалом грязевых потоков. В дальнейшем водотоки проделали в отложениях 2005 г. врезы глубиной более 20 м, обнажившие тело пирокластического потока, содержащего обугленные остатки погребенных деревьев.

По данным проведенного нами гранулометрического анализа, отложения пирокластического потока в приповерхностных горизонтах (до 70 см глубиной) представлены средне- (50-53% (здесь и ниже – проценты от массы образца)) и мелкозернистым (33-39%) вулканическим песком с существенной (10-15%) примесью пылевой фракции. Отбор образцов был проведен в наиболее возвышенной части гряды из мощных отложений пирокластике, на высоте около 400 м на расстоянии ~ 15 км от купола. Цвет рыхлых отложений в сухом состоянии серый и серо-коричневый, во влажном – коричнево-бежевый. В массе песка обильно представлены включения лапиллей серого и коричневого цвета размером 1-2 см. Часто встречаются окатанные куски светло-серого пемзовидного материала размером от 2-5 до 10-15 см, иногда достигающие 30 см. Их доля в составе поверхности отложений составляет 5-10%, достигая иногда 30%.

Обследование района показало, что мощность отложений пирокластического потока неоднородна – от долей метра на шлейфах отложений краевых частей потока до десятков метров (судя по рельефу) в крупной гряде с пологими склонами, которая расположена в пределах 300-400 м над у.м., в поясе хвойного леса (рис. 1). Здесь пирокластический поток шел по старому руслу р. Байдарная. Напластования его отложений сформировали крупное, неявно выделяющееся в рельефе образование типа продольной гряды размером около 0.8 × 2 км. В 2008 г. на этой гряде были обнаружены миниатюрные кольцевые полосы растительного покрова, расположенные на площадках, которые были ощутимо нагреты. Дальнейшие измерения показали, что вся гряда интенсивно излучает тепло, несмотря на то, что после извержения прошло несколько лет. Изучение спутниковых снимков, выполненных начиная с 2005 г., показало, что тепло излучает и значительная часть обширной поверхности пирокластических отложений 2005 г., заполнивших долину р. Байдарной, что ясно видно по протаиванию снегового покрова.

Для исследования сукцессии растительности на свежей пирокластике вкост гряды был заложен трансект протяженностью 1000 м (рис. 1), на котором также были выполнены измерения температуры. По данным барометрического нивелирования, перепад высот на трансекте составил 25 м между северным краем отложений, где на контакте со склоном свежая пирокластика выклинивалась, и наиболее возвышенной осевой частью гряды. Судя по спутниковым снимкам, в месте осевой части гряды до извержения располагалось одно из старых русел р. Байдарная, поэтому мощность отложений 2005 г. здесь, по нашей оценке, может превышать 30 м.

Проведенные нами измерения показали, что температура отложений увеличивается с глубиной. Так, в 100-сантиметровом вертикальном профиле, выполненном в верхней части гряды, отмечен плавный рост температуры с глубиной от 15 до 40°C (рис. 3). Измерения были выполнены 22 августа 2011 г. при сильном ветре и температуре воздуха 13-14°C. Согласно регулярным промерам на трансекте, средняя температура пирокластике, измеренная 30.7.2011 на поверхности и глубинах 10 см и 25 см, составляла, соответственно, 21.6, 24.2 и 27.6°C. Отмечено, что эта закономерность в поверхностном горизонте в отдельные дни могла нарушаться в связи с нагревом субстрата инсоляцией или вследствие его охлаждения после дождей и/или резкого похолодания.

Регулярные промеры на трансекте показали также, что градиент роста температуры с глубиной грунта повышается с увеличением отметок высоты по профилю гряды. Увеличение темпе-

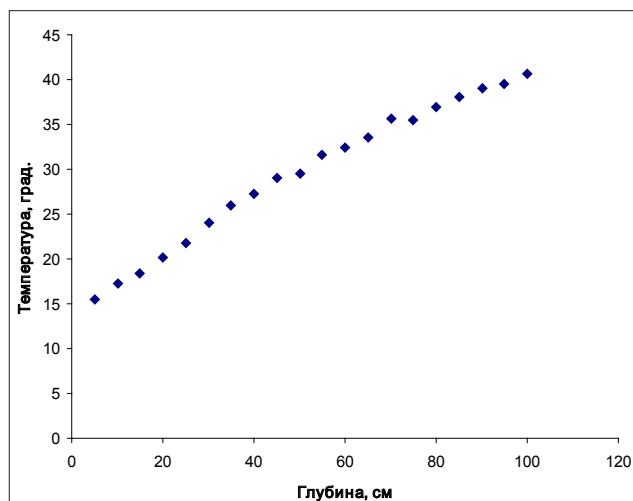


Рис. 3. Распределение температуры с глубиной в метровой толще пирокластических отложений.

ратуры коррелирует с ростом относительных превышений в рельефе, и, соответственно, с мощностью отложений. Разница в температуре отложений, расположенных на возвышенной части гряды и на нижележащих склонах, заметна уже на поверхности отложений, где составляет 2-4°C. Особенно она увеличивается с глубиной, достигая около 15°C на глубине 25 см (рис. 4). При этом серия измерений, сделанная по оси максимальной мощности потока, не показала столь существенных температурных различий в центральной и фронтальной частях гряды.

Тепловое излучение поверхности отложений неоднородно. К 2008 г. на гряде сформировались миниатюрные кольцевые структуры растительности, окаймляющие округлые пятна, которые достигают в поперечнике 0.5-2 м. Растительность сформирована низким и плотным покровом мха. Было обнаружено, что поверхность этих пятен ощутимо нагрета. Материал поверхности тепловых пятен (ТП) отличается от окружающей пирокластике однородностью гранулометрического состава, в котором заметно преобладает средний песок с существенной долей фракций 1-0.25 мм и отсутствием камней (рис. 2). Местами присутствуют корочки вознонов. ТП встречаются преимущественно в наиболее мощной части потока. Иногда они образуют группы. При раскапывании ТП на глубину 70 см вскрыт рыхлый, влажный и сильно нагретый песчаный субстрат, выделяющий пар. ТП, через которые происходит вынос пара и излучение тепла, по мнению вулканолога А.Б. Белоусова (устное сообщение), образовались в результате остывания фумарол, действовавших на поверхности отложений после остановки пирокластического потока. Парогазовая продувка фумарол способствовала выносу на поверхность песчаных фракций материала из толщи отложений.

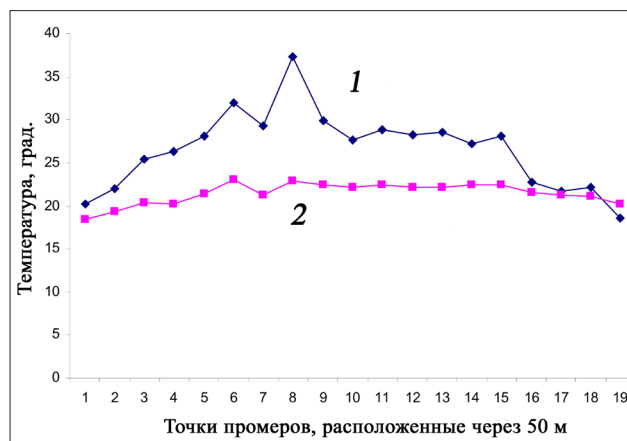


Рис. 4. Распределение температуры в приповерхностной толще пирокластических отложений на 1000-метровом трансекте: на глубине 25 см (1) и на поверхности (2)».

Вдоль трансекта в полосе длиной 1000 м и шириной 20 м проведен учет распределения ТП. Выявлено 29 отчетливо выраженных пятен, приуроченных к склонам и верхней части гряды. Сравнение спутниковых снимков, сделанных до и после извержения 27 февраля 2005 г., позволяет предположить, что две основные зоны группирования ТП, выявленные на данном трансекте (рис. 5), могут быть связаны с руслами водотоков, погребенными пирокластическими отложениями. Стоит отметить, что спустя 10 дней после ноябрьского извержения 1964 г. вулкана Шивелуч, цепочки фумарол на горячей пирокластике были ориентированы линейно и приурочены к осевым частям долин (Горшков, Дубик, 1969). Поскольку полоса учета, выполненного вдоль трансекта, занимает всего ~ 1/80 от площади гряды, количество пятен на гряде, по-видимому, может достигать нескольких тысяч. Обмерянные на трансекте ТП в поперечнике составляют 0.5-1.5 м при средней величине ~ 0.9 м. Более половины из них имеют форму неправильного овала. Заращение мхами отмечено приблизительно у 2/3 ТП. Кайма из полосы мхов, окружающих пятна, у большинства ТП выражена фрагментарно, лишь у одного она имеет правильную форму.

Температура ТП заметно выше, чем фоновая температура окружающей поверхности пирокластических отложений. Так, во время измерений на трансекте 30 июля 2011 г. средняя температура на поверхности и на глубине 10 см составляла 21.6 и 24.2°C, тогда как средняя температура 29 обмерянных ТП составляла, соответственно, 43.6 и 64.4°C, а максимальная — 75.4 и 98.1°C. При этом в средней части северного склона гряды средняя температура в центре пятен на глубине 10 см (обмеряны 8 ТП) была 51.4, в верхней части того же склона (12 ТП) — 67.7, а на вершине гряды — 70.0°C (9 ТП). Таким образом, ТП показывают

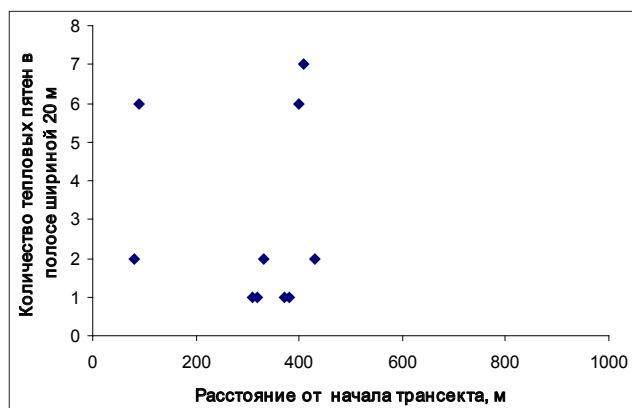


Рис. 5. Распределение тепловых пятен в полосе шириной 20 м, расположенной вдоль 1000-метрового трансекта.

ту же температурную закономерность: с повышением высотного положения в рельефе гряды (что соответствует увеличению мощности отложений) усиливается тепловой поток из глубин к поверхности отложений.

На рис. 6 представлены промеры, выполненные 3 августа 2010 г. через 10 см по микропрофилю через типичное теплое пятно (А). Пятно находится в верхней осевой части гряды (рис. 1), сформированной мощными отложениями пирокластики на склоне западной экспозиции крутизной $\sim 7^\circ$. Внешний диаметр кольца растительности 79, а внутренний – 50 см. Ширина каймы ~ 15 см. По микропрофилю, секущему ТП, температура, измеренная на глубине 10 см, повышается на протяжении 1.4 м (от измеренной

вне кольца растительности до середины пятна) на 60° (рис. 6). Некоторая асимметрия температурной кривой связана, возможно, с положением ТП на склоне: большие значения температуры в правой части кривой соответствуют верхней части склона. Средняя температура в зоне оптимума (середина моховой каймы) 3 августа 2010 г. составила на поверхности 36.7, а на глубине 10 см – 56.5°C .

Приблизительно такие же параметры демонстрирует и второе теплое пятно (Б) также расположенное в осевой части гряды (рис. 1), на пологом ($3-5^\circ$) склоне южной экспозиции. Кольцо растительности из мохового покрова в поперечнике имеет внутренний диаметр 66, а внешний – 86 см. Ширина каймы ~ 10 см. Температура повышается от краев к центру пятна: от 30 до 45°C на поверхности и от 33 до 90°C на глубине 10 см (рис. 6). Средняя температура в середине каймы 3 августа 2010 г. составила на поверхности 37.2, а на глубине 10 см – 52°C .

На тепловом пятне Б удалось провести четыре серии измерений в разные дни. Если в теплое и сухое лето 2010 г. в середине моховой каймы на глубине 10 см отмечена средняя температура 52°C (измерения выполнены 3.8.2010 г.), то в прохладное и дождливое лето 2011 г. – 46.7°C (30.7.2011 г.). 21 августа 2011 г, после нескольких дождливых дней отмечена температура 35.6°C . 22 августа, через 18 часов после особо интенсивного дождя и снижения температуры воздуха до $13-14^\circ\text{C}$, температура грунта опустилась до 28.8°C . Таким образом установлено, что температура

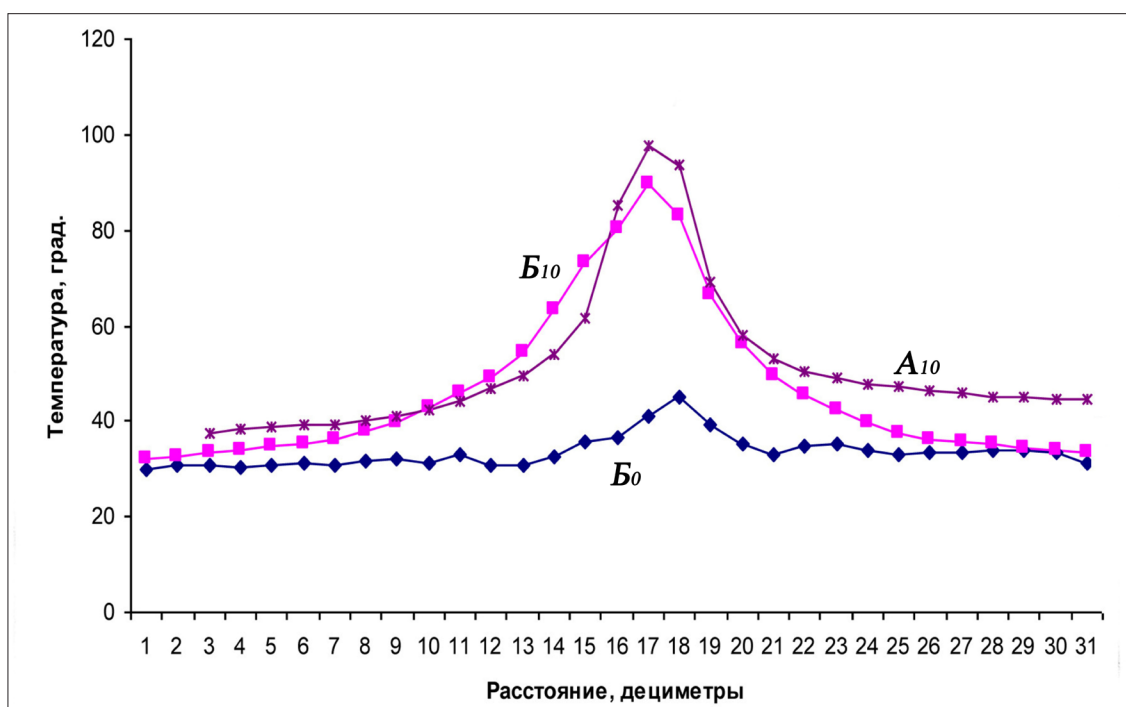


Рис. 6. Распределение температуры, измеренной на трехметровых микротрансектах, пересекающих тепловые пятна А и Б: на глубине 10 см (А10, В10) и на поверхности (В0).

поверхностных слоев отложений существенно зависит от погодных условий.

Сезонные климатические изменения также сильно сказываются на температуре поверхности отложений. Это выявлено нами на спутниковых изображениях, выполненных в период 2005–2011 гг.: зимой поверхность гряды сильно охлаждается и, несмотря на постоянное тепловое излучение снизу, снеговой покров не тает. Судя по спутниковым снимкам, такая ситуация наблюдается в разгар морозов (декабрь, январь и часть февраля). Когда баланс между поступлением тепла снизу и охлаждением сверху нарушается в сторону тепла, снег начинает протаивать. Этот процесс начинается в феврале в наиболее теплой, возвышенной осевой части гряды. Затем постепенно, до мая включительно, он распространяется на склоны и другие участки поля относительно мощных отложений, продолжающих излучать тепло. Аналогичный процесс, но идущий в обратном направлении, наблюдается осенью и в начале зимы (октябрь–декабрь).

Известно, что остывание пирокластики может происходить достаточно долго. Так, например, на мощных (более 20 м) отложениях извержения вулкана Пик Сарычева на о. Матуа в Большой Курильской гряде, произошедшего в 1946 г., в 1954 г. наблюдались многочисленные струи пара (Горшков, 1967).

При небольшой мощности отложений происходит быстрое остывание пирокластики. Так, например, потоки пемзовидных андезитов катастрофического извержения вулкана Шивелуч 1964 г. на периферии зоны отложений (близ р. Байдарная) были относительно маломощными – до 2–5 м и работавший там в 1972 г. лесовед Ю.И. Манько (устное сообщение) не отметил признаков повышенной температуры. В 1978 и 1995 гг. мы зафиксировали успешное зарастание этих отложений (Гришин и др., 2000). Пирокластические потоки на вулкане Сент-Хеленс (Каскадные горы, США) отложили материал в зоне горных ледников и, несмотря на исходно высокую температуру, достигающую 500°C (The 1980..., 1981), по-видимому, также вскоре остыли, поскольку повышенная температура не упоминалась как экологический фактор при исследовании сукцессии 6 лет спустя после извержения (Wood, del Moral, 1988).

Пирокластические отложения 2005 г. на вулкане Молодой Шивелуч, имевшие исходно колоссальный запас тепловой энергии, со временем неизбежно остынут. О постепенном остывании можно судить и по спутниковым снимкам, характеризующим динамику стаивания снегового покрова в разные годы, и по отдельным прямым измерениям. Так, если промеры в верхней осевой части гряды на поверхности и глубинах 10 см

и 25 см дали в 2010 г., соответственно, средние температуры 28.5, 32.6 и 35.6°C, то в 2011 г. при повторном изучении того же профиля они составили, соответственно, 22.5, 26.7 и 32.1°C. Замеры, выполненные в июле 2005 г. (Нуждаев и др., 2005), показали на глубине 1 м температуру около 150°C, а наши замеры в августе 2011 г. в наиболее прогреваемой возвышенной части гряды – всего около 40°C (рис. 3). Понижение температуры у детально обмерянного в 2010–2011 гг. теплового пятна Б, по-видимому, связано не только с погодными различиями двух летних сезонов, но и с общей тенденцией остывания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пирокластический поток 2005 г. с объемом отложений 0.5 км³, по-видимому, стал одним из крупнейших в историческое время в Камчатско-Курильском регионе. Для сравнения отметим, что в ходе двух гигантских извержений XX в. объем отложений пирокластических потоков достиг 0.3–0.5 км³ во время извержения вулкана Шивелуч в 1964 г. и 0.7–0.8 км³ во время извержения вулкан Безымянный в 1956 г. (Горшков, Дубик, 1969; Мелекесцев и др., 1991).

Столь разрушительные явления приводят к масштабному катастрофическому поражению экосистем с долговременными последствиями. По нашей оценке, в 2005–2011 гг. на Камчатке и Курилах пирокластические потоки вулканов Молодой Шивелуч, Безымянный и Пик Сарычева перекрыли своими отложениями территорию ~ 100 км². Например, в результате воздействия раскаленных потоков 2009 г. половина о. Матуа превратилась в пустыню (Гришин и др., 2010). В связи с этим, изучение радикальных трансформаций экосистем, в первую очередь, сукцессий растительности, начавшихся после извержений, становится актуальной задачей. Старт первичной сукцессии растительности на горячем вулканическом субстрате – редкое природное явление. Помимо повышенной температуры для сукцессий на безжизненных вулканических отложениях важнейшим препятствием является иссушение и уплотнение поверхностного субстрата, а также отсутствие источников питания для растений (Del Moral, Grishin, 1999).

Несмотря на неблагоприятные экотопы вулканической пустыни, открытой ветрам и инсоляции, иссушающим поверхностные горизонты, пионерный мох нашел узкую, но приемлемую для заселения нишу. Появление на пирокластическом потоке вулкана Молодой Шивелуч мхов и сосудистых растений, растущих в настоящее время крайне разреженно, отмечено в 2008 г. По мере остывания и промывания осадками отложения пирокластического потока 2005 г. будут

постепенно заселяться как травянистыми, так и древесными растениями. В настоящее время условия для заселения еще достаточно неблагоприятные. Заметного прогресса в первичном заселении можно ожидать, судя по сукцессии на пирокластическом потоке 1964 г. (Гришин и др., 2000), по-видимому, не ранее, чем через 20–30 лет после извержения. Полное восстановление существовавшего ранее растительного покрова (хвойных и каменноберезовых лесов) займет несколько сотен лет. Это можно оценить по возрасту отложений пирокластического потока, на котором вырос хвойный лес в долине р. Байдарной. По устному сообщению М.М. Певзнер он составляет ~ 360 лет.

Авторы признательны А.Г. Лазареву за помощь в полевых измерениях, А.Б. Белоусову, О.А. Гириной и М.М. Певзнер – за обсуждение специфики пирокластических потоков. Исследование выполнено при поддержке РФФИ (гранты 10-05-01015, 11-05-98604).

Список литературы

- Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Мельников Д.В. и др.* Пароксизмальная фаза извержения вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка, 27 февраля 2005 г. (предварительное сообщение) // Вулканонология и сейсмология. 2006. № 1. С. 16-23.
- Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.
- Горшков Г.С., Дубик Ю.М.* Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 3-37.
- Гришин С.Ю.* Поражение растительности в результате крупного извержения вулкана Шивелуч (Камчатка, 2005 г.) // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 45-52.
- Гришин С.Ю.* Гибель леса на вулкане Шивелуч под воздействием палящей пирокластической волны (Камчатка, 2005 г.) // Экология. 2009. № 2. С. 158-160.
- Гришин С.Ю., Крестов П.В., Верхолат В.П. и др.* Восстановление растительности на вулкане Шивелуч после катастрофы 1964 г. // Комаровские чтения. 2000. Вып. 46. С. 73-104.
- Гришин С.Ю., Гирина О.А., Верещага Е.М. и др.* Мощное извержение вулкана Пик Сарычева (Курильские острова, 2009 г.) и его воздействие на растительный покров // Вестник ДВО РАН. 2010. № 3. С. 40-50.
- Мелекесцев И.В., Вольнец О.Н., Ермаков В.А. и др.* Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 84-103.
- 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 // Вестник КРАУНЦ. 2005. № 2. Вып. 6. С. 62-66.
- Del Moral R., Grishin S.* Volcanic disturbance and ecosystem recovery // Ecosystems of Disturbed Ground / Ed. Walker L. Amsterdam: Elsevier, 1999. P. 137-160.
- The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington.* U.S. Geological Survey Professional Paper 1250, 1981. 844 p.
- Wood D.M., del Moral R.* Colonizing plants on the pumice plains, Mount St. Helens, Washington // American Journal of Botany. 1988. V. 75. P. 1228-1237.

THE TEMPERATURE OF DEPOSITS OF POWERFUL PYROCLASTIC FLOW FROM THE 2005 SHIVELUCH VOLCANO ERUPTION, KAMCHATKA, AND BEGINNING OF COLONIZATION OF THE SUBSTRATE

S.Yu. Grishin, I.V. Komachkova

Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok

Thick deposits of pyroclastic flow from Shiveluch Volcano (February 2005) have remained high temperature for 6 years after the eruption. Despite the increased temperature of the deposits, plants began its colonization in recent years. To identify features of succession certain characteristics of unusual ecotope have been studied, including distribution of temperature background.

Keywords: pyroclastic flow, temperature, thermal spots, vegetation, Shiveluch, Kamchatka.