

УДК 581.524.323.(571.645)

С.Ю. ГРИШИН, М.Л. БУРДУКОВСКИЙ, А.Г. ЛАЗАРЕВ,  
И.В. КОМАЧКОВА, П.А. ПЕРЕПЕЛКИНА, А.Н. ЯКОВЛЕВА

## Гибель растительности в результате прохождения пирокластической волны (вулкан Шивелуч, Камчатка, 2010 г.)

*Рассматривается воздействие высокотемпературной пирокластической волны на древесную растительность вулкана Шивелуч (Камчатка, октябрь 2010 г.). Выявлен крайне опасный вариант – автономное прохождение волны в отрыве от пирокластического потока. Показано, что максимально интенсивным разрушительное действие было по дну долины, где крупные стволы ольхового стланика превращались в обточенные и обугленные остовы, развернутые по направлению движения волны. Сила воздействия и температура были столь высоки, что заросли ольхового стланика и березы погибали на расстоянии более 100 м от русла. Волны прошли по долине р. Кабеку на расстоянии ~4200 м. Всего в результате воздействия волн извержения 2010 г. растительность погибла на площади около 1 км<sup>2</sup>.*

*Ключевые слова: пирокластическая волна, пирокластический поток, растительность, извержение, природные катастрофы, вулкан Шивелуч, Камчатка.*

**Devastation of vegetation as a result of the impact of pyroclastic surge (Shiveluch volcano, Kamchatka, 2010).** S.Yu. GRISHIN, M.L. BURDUKOVSKY (Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok), A.G. LAZAREV (Ministry of Natural Resources and Ecology of the Kamchatka Territory, Petropavlovsk-Kamchatsky), I.V. KOMACHKOVA, P.A. PEREPELKINA (Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok), A.N. YAKOVLEVA (Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok, Far Eastern Federal University, Vladivostok).

*The impact of a high-temperature pyroclastic surge on wood vegetation of Shiveluch volcano (Kamchatka, October 2010) is considered. An extremely dangerous option – autonomous surge in isolation from the pyroclastic flow has been revealed. It is shown that the maximum intensity of devastating effect had been on the valley floor where the large trunks of alder elfin wood turned into lathed and charred skeletons that were deployed towards the motion of the surge. The dynamic impact and temperature were so high that the thickets of alder elfin wood and birch trees had died at a distance of more than 100 m from the river bed. Surges passed along the Kabeku river valley for a distance ~ 4,200 m. All in all, as a result of impact of the surges of the 2010 eruption the vegetation was killed over an area of about 1 km<sup>2</sup>.*

*Key words: pyroclastic surge, pyroclastic flow, vegetation, eruption, natural disasters, Shiveluch volcano, Kamchatka.*

---

\* ГРИШИН Сергей Юрьевич – кандидат биологических наук, заведующий сектором, БУРДУКОВСКИЙ Максим Леонидович – младший научный сотрудник, КОМАЧКОВА Ирина Владимировна – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, ПЕРЕПЕЛКИНА Полина Александровна – младший научный сотрудник (Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток), ЛАЗАРЕВ Александр Геннадьевич – главный специалист-эксперт (Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края, Петропавловск-Камчатский), ЯКОВЛЕВА Анна Николаевна – кандидат биологических наук, доцент (Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). \*E-mail: grishin@ibss.dvo.ru.

Экспедиция проведена при финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 11-05-98604, 12-04-32031 и 13-05-00686), гранта ДВО РАН (№ 12-II-УО-06-012).

В конце октября 2010 г. на Камчатке произошло крупное извержение влк. Шивелуч. В результате извержения мощные массы вулканических материалов были отложены на юго-восточных склонах вулкана. Обширные пространства оказались погребены высокотемпературными отложениями. Растительность на этой территории была уничтожена, а в краевых частях зоны воздействия повреждена.

Вулканологи 2 ноября 2010 г. осмотрели нижнюю часть долины р. Кабеку (на высоте около 300–350 м над ур. м.), по которой прошел пирокластический поток, и отметили его воздействие на растительность [7]. При полевом обследовании вышерасположенной части долины р. Кабеку и ее притоков (на высоте около 500 м над ур. м) и изучении спутниковых снимков нами было зафиксировано опасное природное явление, иногда возникающее в ходе эксплозивных вулканических извержений, – пирокластические волны. Эти волны не производят катастрофического изменения природной среды, как, например, лавовые потоки, но сходят с огромной скоростью, и все живое, попадающее в зону их действия, гибнет. В данном случае выявлен редкий вариант – волна, оторвавшаяся от пирокластических потоков и пронесшаяся далее автономно. Такой вариант особо опасен своей непредсказуемостью и высокой разрушительной мощностью. Мы обследовали зону прохождения волны, описали ее воздействие на растительность, изучили отложения и по этим данным оценили основные параметры волны.

**Активность вулкана.** Влк. Шивелуч (высота 3283 м) – самый северный, один из крупнейших и наиболее активных вулканов Камчатки. За последние столетия особо мощные извержения происходили в ~1430, ~1650, 1854 и 1964 гг. [8]. Извержение 1964 г. относится к сильнейшим историческим эксплозивным извержениям Камчатки. В результате этой катастрофы на южном склоне вулкана на площади около 100 км<sup>2</sup> образовалась вулканическая пустыня. Начиная с 1980 г. в кратере вулкана рос крупный купол. Периодические умеренные извержения (в 1993, 2001, 2004 гг. и др.) сопровождалась обрушениями частей купола, пеплопадами, сходом раскаленных лавин и пирокластических потоков. Из-за особенностей морфологии вулкана основные направления схода раскаленных пирокластических потоков и волн ориентированы в направлении южных склонов Шивелуча. Значительная часть изверженных материалов устремляется по долинам «сухих» речек: р. Байдарная в юго-западном секторе вулкана, а также р. Кабеку в юго-восточном секторе. Крупные извержения со сходом пирокластических потоков и волн произошли в 2005 и 2010 гг. [1, 4, 6].

Пирокластические потоки представляют собой смесь раскаленного пирокластического материала и газа, с высоким содержанием обломочного материала; они скатываются с большой скоростью по понижениям на склонах вулкана, погребая своими отложениями русла, долины и подножия. Потоки нередко сопровождают пирокластические волны – газонасыщенные турбулентные вихри с низким содержанием обломочного материала. Скорость движения волн составляет десятки метров в секунду, температура может достигать нескольких сотен градусов. Особую непредсказуемость волнам придает их свойство двигаться, зачастую не считаясь с рельефом, в отличие от пирокластических потоков, которые двигаются только по понижениям (руслам и т.п.). Это очень опасная и разрушительная форма вулканического воздействия на экосистемы, но в Камчатско-Курильском регионе она отмечалась относительно редко и почти не исследована. Краткое описание воздействия волны на лесную растительность приведено лишь для извержения 2005 г. на влк. Шивелуч [3, 4]. Выявлено, что растительность, особенно древесная, может быть хорошим индикатором, показывающим параметры и особенности прохождения волны.

**Растительность района.** На юго-восточном склоне до высоты 300–350 м над ур. м. распространены лиственничные леса, сменяемые выше каменноберезовыми лесами, зарослями ольхового стланика и несомкнутыми горными лугами. Растительный покров района исследований, примыкающего к долине р. Кабеку, и раньше, до 2010 г., был весьма гетерогенным, что объясняется сложной динамикой восстановительных смен растительности после разных типов вулканических нарушений. Верхняя граница сомкнутой

растительности в исследуемом районе была ограничена сверху вулканической пустыней, сформировавшейся в 1964 г., а после извержения 2010 г. – свежими пирокластическими отложениями, понизившими эту границу в районе трех притоков р. Кабеку, по которым прошли пирокластические потоки и волны, до высоты около 500 м. Сильный удар по растительному покрову района был нанесен мощным пеплопадом 1964 г. [2]. До сих пор, 50 лет спустя, в древостое юго-восточного склона вулкана выше 300 м над ур. м. повсеместно наблюдаются сухие стволы погибших лиственниц.

**Прохождение пирокластических потоков 2010 г.** Изучение спутниковых снимков показало, что

отложения 2010 г. были распределены в трех зонах. Часть вулканических материалов отложилась в пустынной зоне транзита (рис. 1, зона I) протяженностью около 9 км в интервале от ~2000 до 800 м над ур. м. Основная масса отложений 2010 г. сконцентрирована в компактной зоне аккумуляции (рис. 1, зона II) вдоль левого берега р. Кабеку, в пределах контура ~4 x 6 км, в высотном интервале ~ 800–500 м. Площадь многометровых отложений в зоне II – ~16–18 км<sup>2</sup>. Судя по высокой температуре отложений, что четко проявляется по протаиванию снегового покрова на зимних снимках 3,5 года спустя после извержения\*, можно полагать, что средняя мощность отложений составляет не менее 15–20 м. Они образовали обширное поле, перекрывшее комплекс мощных обвально-взрывных и пирокластических отложений 1964 г. Пирокластические потоки сошли ниже зоны II, пройдя по двум притокам р. Кабеку, а затем по ее долине до высоты 300 м (рис. 1, зона III). Протяженность пирокластического потока, который прошел по долине первого притока р. Кабеку и далее по долине Кабеку, ~ 6 км, а суммарно, с учетом мощного потока в долине ее второго притока, – около 8 км. Растительный покров погребен отложениями пирокластических потоков на ложах и частично на склонах этих долин. Ситуация была осложнена умеренным пеплопадом; его светлая тонкая тефра мощностью 2–10 см залегает в районе исследований повсеместно.

**Прохождение пирокластических волн.** Следы и интенсивность прохождения пирокластических волн обнаруживаются по поражению древесной растительности. Поражение древостоя и стланиковых зарослей четко прослеживается по бортам долин притоков р. Кабеку и ниже по собственно долине Кабеку (рис. 2). В целом воздействие пирокластических волн на древесную растительность отмечено до крутого изгиба р. Кабеку, расположенного на высоте 375 м, на расстоянии 1800 м от языка пирокластического потока; таким образом, волны прошли по долине Кабеку на расстояние ~4200 м. Суммарно, с учетом долин притоков, общая длина прохождения волн в этих долинах составляет ~7500 м.

Полевые исследования позволили выявить редкое явление: по третьему притоку Кабеку пирокластический поток не проходил, но прошла мощная пирокластическая волна, оторвавшаяся от потока. Отложения пирокластического потока отсутствовали там изначально, что хорошо видно на фото, сделанном Ю.В. Демянчуком с вертолета через три недели после извержения: дно и крутые склоны долины третьего

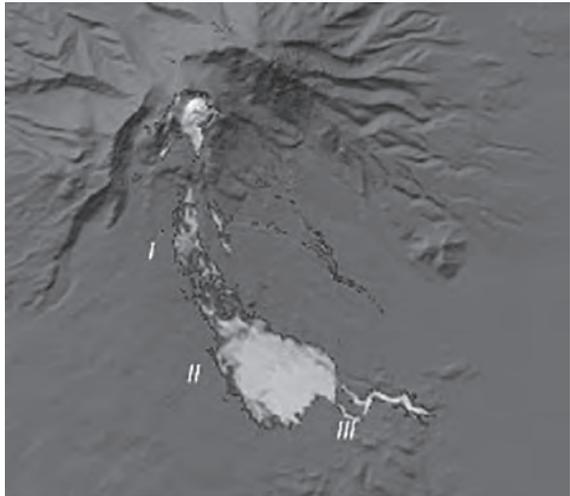


Рис. 1. Горячие отложения извержения 27 октября 2010 г. Цифрами показаны зоны распределения отложений. Фото со спутника ASTER/TERRA от 25 января 2011 г. (<http://earthobservatory.nasa.gov>)

\* [http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/83000/83502/shiveluch\\_oli\\_2014104\\_lrg.jpg](http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/83000/83502/shiveluch_oli_2014104_lrg.jpg)

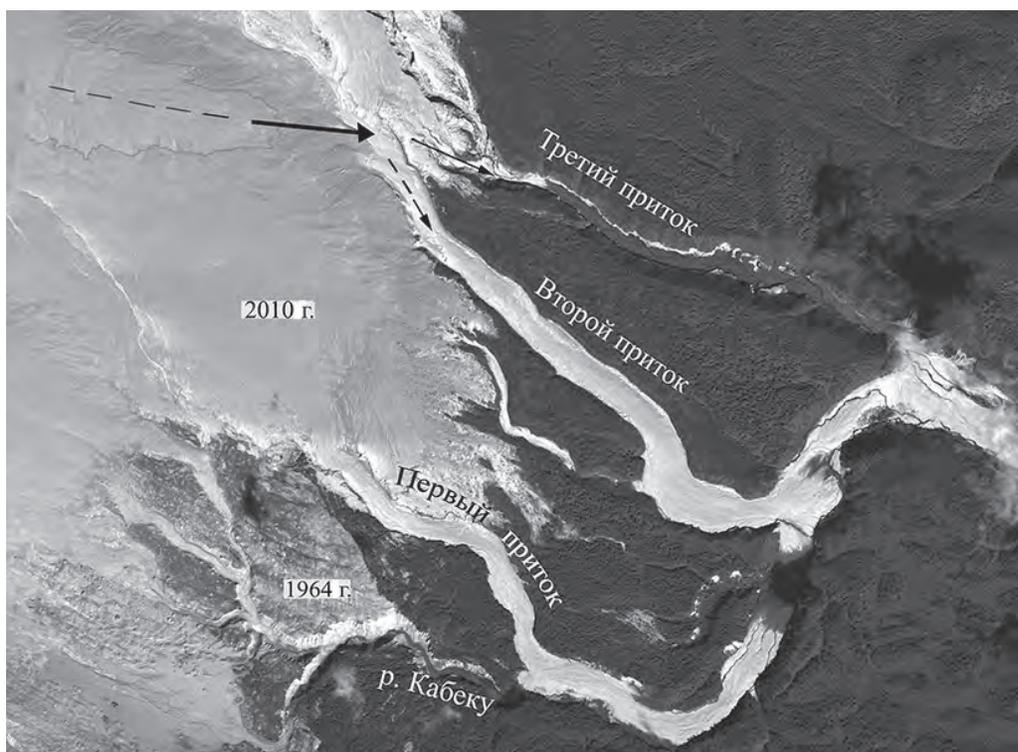


Рис. 2. Прохождение пирокластических потоков и волн по притокам и части долины р. Кабеку. Даты указывают поля отложений извержений 1964 и 2010 гг. Штриховой линией обозначена мощная гряда пирокластических отложений. Фото со спутника WorldView-2 от 4 сентября 2013 г.

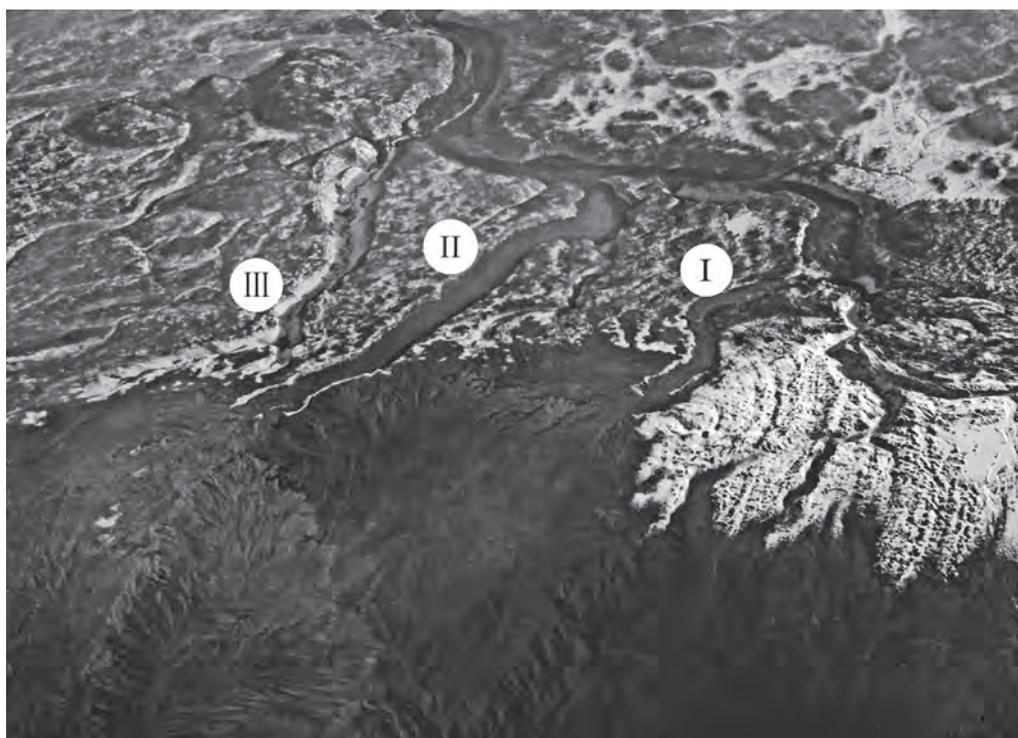


Рис. 3. Притоки р. Кабеку (цифрами показаны порядковые номера притоков) после извержения. Фото Ю.В. Демянчука с вертолета. 20 ноября 2010 г.

притока покрывает свежевывавший снег, тогда как долины первого и второго притоков перекрыты темной горячей массой пироклаستيку, снег отсутствует (рис. 3).

Каким образом произошел отрыв волны от потока? Ниже вулканических толщ (по-видимому, главным образом, обвального генезиса [6]), отложившихся в зонах I и II после обвала купола, пирокластические отложения образовали гряды, расположенную в восточной части зоны II. Осевая часть гряды показывает вектор мощного переноса вещества и энергии в ходе интенсивного схода пирокластических потоков. Вниз от гряды устремлялась мобильная газонасыщенная масса, образовавшая по понижениям рельефа пирокластические потоки. Осевая часть гряды направлена на восток-юго-восток, прямо на вход в русло второго притока (рис. 2). Однако истоки русел второго и третьего притоков находились очень близко друг от друга (~100 м). Пирокластический поток пошел по ближайшему понижению – руслу второго притока р. Кабеку, тогда как пирокластическая волна, двигавшаяся с огромной скоростью, оторвалась от потока, миновала узкий и невысокий водораздел и далее неслась по долине третьего притока. Сравнительно прямой и короткий (~1,6 км) отрезок V-образной долины не препятствовал прохождению волны, ее энергия и высокая температура в значительной мере сохранялись при движении по всей долине. Это ясно видно по поражению растительности.

**Воздействие пирокластических волн на растительность.** Растительность на склонах бортов долин и нередко за их пределами была уничтожена высокотемпературным вихрем. Распределение погибшей растительности изучено на четырех трансектах, заложенных на склонах. Две из них образовали профиль через противоположные склоны р. Кабеку, две других заложены на бортах долины ее третьего притока.

В долине третьего притока волна прошла 1600–1800 м и уничтожила всю растительность на бортах долины и в полосе за перегибом склона. Здесь воздействие было выражено максимально интенсивно. Благодаря тому, что нижние части склонов здесь не были погребены отложениями пирокластических потоков, интенсивность воздействия можно проследить по растительности, которая наглядно менялась сверху вниз.

Растительность на склонах до извержения 2010 г. была представлена участками зарослей ольховника, группами деревьев и островками каменноберезового леса, а также луговыми участками. Нижние части склонов, особенно по левому борту, были обнажены вследствие размывов, эрозии и обвалов, в обнажениях видны пирокластические отложения извержений прошлого (рис. 4).

Рассмотрим изменения по трансекте, заложенной на склоне крутизной 35°, с перепадом высот по вертикали 55 м. В 2012 г. наблюдалось следующее, сверху вниз:

1. На водораздельной террасе погибшая растительность (кусты ольховника, отдельные березки и др.) находится на расстоянии до 5 м от перегиба склона, далее в узкой переходной полосе (шириной до 3–5 м) располагаются живые стланики, но с сухими (длиной до 0,5 м) верхушками, а затем и живые кусты.

2. В верхней половине склона ольховник, как и единичные березки, погиб. Явных следов опаливания нет, но отмечены мелкие темные пятна на коре.

3. Нижняя треть склона: ветви ольховника развернуты по течению русла (рис. 5), ободраны, ошкурены, слегка обуглены. В описанном



Рис. 4. Левый борт долины третьего притока р. Кабеку с погибшей древесной растительностью на склоне и водораздельной террасе. На дальнем плане – влк. Шивелуч. Рис. 4–7 – фото С.Ю. Гришина. 2012 г.



Рис. 5. Погибший ольховник на склоне долины (см. описание в тексте) и разросшийся вейник под его пологом. Все стволы развернуты по направлению действия волны, мелкие ветви оборваны, кора частично ободрана

ния, основу которых составляет тефра, выпавшая во время пеплопада, представлены на склоне тонким материалом серо-коричневого цвета во влажном состоянии, светло-серого – в сухом. Мощность отложений на склоне и вверху, за перегибом склона (точки 1–3), – 5–7 см. Основу материала отложений составила фракция крупной пыли (0,01–0,05 мм) – около 50 % по массе, а также мелкого песка (0,05–0,25 мм) – около 25–35 %. На средний и крупный песок приходится 5–8 %, на среднюю и мелкую пыль (0,001–0,01 мм) – 8–10 %. Распределение по склону не показывает четкой приуроченности разных фракций материала. Это, по-видимому, свидетельствует о вихревой турбулентности волны и связанном с ней хаотичном распределении пирокластического материала. Весьма вероятно также, что ситуация была осложнена сносом и смывом пирокластики на крутых (до 40°) склонах в течение 2–3 лет после извержения.



Рис. 6. В прирусловой части долины, в зоне максимального интенсивного воздействия: ободранные, обточенные и обугленные останки стволов ольховника лежат горизонтально. Внизу – стволы ольховника с ободранной и частично обугленной корой в нижней части склона

интервале (точки 1–3) сильно разрослись злаки (вейник Лангсдорфа), иван-чай узколистный и местами крапива плосколистная; высота густого травостоя – до 1,5 м.

4. Самая нижняя часть склона оголена от растительности, поверхность покрыта мелкими камешками. Единичные кусты стлаников обломаны, ветви полностью потеряли кору (рис. 6). На нижней прирусловой террасе крупные стволы ольховника после прохождения волны превратились в обугленные и обточенные останки стволов, прижатые к субстрату (рис. 6).

Свежие вулканические отложения, основу которых составляет тефра, выпавшая во время пеплопада, представлены на склоне тонким материалом серо-коричневого цвета во влажном состоянии, светло-серого – в сухом. Мощность отложений на склоне и вверху, за перегибом склона (точки 1–3), – 5–7 см. Основу материала отложений составила фракция крупной пыли (0,01–0,05 мм) – около 50 % по массе, а также мелкого песка (0,05–0,25 мм) – около 25–35 %. На средний и крупный песок приходится 5–8 %, на среднюю и мелкую пыль (0,001–0,01 мм) – 8–10 %. Распределение по склону не показывает четкой приуроченности разных фракций материала. Это, по-видимому, свидетельствует о вихревой турбулентности волны и связанном с ней хаотичном распределении пирокластического материала. Весьма вероятно также, что ситуация была осложнена сносом и смывом пирокластики на крутых (до 40°) склонах в течение 2–3 лет после извержения.

Максимально выраженное разрушительное действие волн наблюдалось в прирусловой части склона; здесь древесные побеги были развернуты на 90° (по течению потока), ободраны, обуглены и распластаны. Крайне редуцированные останки стволов стланика были аналогичны побегам, наблюдавшимся на о-ве Магуа после извержения 2010 г. [3]. Выше по склонам воздействие ослабевало, это четко видно по зарослям ольхового стланика. Скорость волн там не превысила порога, при котором происходит вываливание деревьев. Температура волн в верхней

половине склонов не превышала, по-видимому, 250 °С, поскольку существенного опаливания и обугливания древесных растений не отмечено. Тем не менее в краевых частях зоны поражения древесная растительность погибла, вероятно, именно от термического воздействия, поскольку ветви и стволы не имеют видимых повреждений.

Пирокластические волны, уничтожившие древесную растительность на склонах, в меньшей степени воздействовали на травянистую растительность. Тем не менее, по-видимому, луговое разнотравье на склонах было угнетено слоем отложений мощностью 5–7 см, и конкурентное преимущество получили вейник и иван-чай, развивающие мощные корневища, пережившие погребение. Прямо на поверхности отложений поселились мелкие растения (мхи, хвощ), растущие под пологом крупных трав (рис. 7).



Рис. 7. На слое отложений пирокластической волны мощностью 5–6 см на тевом склоне поселились мхи и хвощ

Выявленная зона поражения растительности находится в вертикальном диапазоне до 60 м, а по горизонтали – около 200–250 м. На разных водоразделах (вдоль левого и правого бортов долины) местами выражено асимметричное поражение (на разном удалении от перегиба склона), связанное, видимо, с определенным изгибом долины, вследствие чего краевая часть волны прошла по инерции по водоразделу.

**Разрушительное действие волн и опасность для биоты.** Ранее (в течение XX столетия) влияние пирокластических волн на экосистемы на Дальнем Востоке России почти не фиксировалось (если не считать волны направленного взрыва влк. Безымянный в 1956 г., поэтому масштабы поражения, специфика воздействия и характер последующих восстановительных смен не изучались. Между тем пирокластические волны, наряду с пирокластическими потоками (с которыми они обычно ассоциированы), достаточно широко распространены и являются особо опасным не только для экосистем, но и для человека типом вулканического воздействия. По имеющейся статистике [9], за 215 лет (1783–1997) наибольшее число человеческих жертв при извержениях было вызвано именно пирокластическими потоками и волнами. Так, известна трагедия г. Сен-Пьер, все население которого погибло в 1902 г. под воздействием пирокластической волны («палая туча») влк. Мон-Пеле (Антильские о-ва); недавно люди погибли вследствие пирокластических волн влк. Мерапи (Индонезия, 2010 г.). Помимо многочисленных человеческих жертв и хозяйственного ущерба, пирокластические волны вызывают поражение естественных экосистем, что особенно наглядно видно на примере растительности. Поражение растительности пирокластическими волнами зафиксировано в последние десятилетия на вулканах Сент-Хеленс (США, 1980), Унзен (Япония, 1991), Мерапи (1994), Суфриер (о-в Монтсеррат, Сент-Винсент, 1997), Чайтен (Чили, 2008) и др. Благодаря слабой населенности Камчатско-Курильского региона, в нашей стране жертв не было, но разрушение экосистем, включая гибель растительности, произошло в последние годы на значительных территориях вулканов Шивелуч, Безымянный, Кизимен, Пик Сарычева [5]. Крайнюю опасность и непредсказуемость этого разрушительного фактора надо учитывать при планировании любой деятельности в данных и других вулканических районах потенциально высокого риска.

**Выводы.** Выявлено, что пирокластические волны прошли по долинам трех притоков р. Кабеку и долине собственно р. Кабеку. Волны были в значительной мере автономны

и двигались ранее потоков. В третьем притоке р. Кабеку нами был обнаружен редкий случай полного отрыва пирокластической волны от пирокластических потоков. В этом случае волна была наиболее мощной. Трансекты, заложенные поперек склонов долин и на водоразделах, показали распространение зоны воздействия разрушительных факторов (термическое поражение, механическое и вероятное химическое воздействие). Судя по древесной растительности, максимально интенсивное воздействие волны было выражено в нижних, прирусловых частях долин. Зафиксированный вертикальный диапазон зоны воздействия (в котором произошла гибель древесной растительности) над уровнем дна долин достигал 50–60 м. Кроме склонов, волны прошли и по пологим водораздельным поверхностям над склонами. При этом, если пирокластические потоки следовали строго по руслам, включая их изгибы, и заполняли долины своими отложениями, пирокластические волны спрямляли путь, проносясь по инерции по прямой. В таких случаях волна двигалась через возвышенную водораздельную террасу, находящуюся на десятки метров выше прирусловой части долины. При изгибах долины возникал эффект наветренных и подветренных склонов. На первые приходилось максимально интенсивное воздействие пирокластической волны, включая лобовые удары в борта долины в местах крутых изгибов русла, тогда как на противоположных, «теневых» склонах долины воздействие было минимальным или отсутствовало. Всего в результате прохождения волн извержения 2010 г. растительность погибла на площади около 1 км<sup>2</sup>.

Благодарим Ю.В. Демянчука, М.М. Певзнер, А.А. Овсянникова и А.Г. Маневича за фотографии района р. Кабеку и обсуждение особенностей извержения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин С.Ю. Воздействие извержений вулкана Шивелуч на растительный покров // Изв. Рус. геогр. о-ва. 2013. Т. 145, вып. 6. С. 17–28.
2. Гришин С.Ю., Крестов П.В., Верховат В.П. и др. Восстановление растительности на вулкане Шивелуч после катастрофы 1964 г. // Комаровские чтения. Владивосток: Дальнаука, 2000. Вып. 46. С. 73–104.
3. Гришин С.Ю. Гибель леса на вулкане Шивелуч под воздействием палящей пирокластической волны (Камчатка, 2005 г.) // Экология. 2009. № 2. С. 158–160.
4. Гришин С.Ю. Поражение растительности в результате крупного извержения вулкана Шивелуч (Камчатка, 2005 г.) // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 1. С. 45–52.
5. Гришин С.Ю. Сильное извержение вулкана Пик Сарычева // Природа. 2013. № 6. С. 54–66.
6. Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В. Крупные эксплозивные извержения вулкана Шивелуч (Камчатка) с частичным разрушением экструзивного купола 28 февраля 2005 г. и 27 октября 2010 г. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 2. С. 48–62.
7. Овсянников А.А., Маневич А.Г. Извержение вулкана Шивелуч в октябре 2010 г. // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. Вып. 16, № 2. С. 7–9.
8. Ponomareva V.V., Pevzner M.M., Melekestsev I.V. Large debris avalanches and associated eruptions in the Holocene eruptive history of Shiveluch Volcano, Kamchatka, Russia // Bull. Volcanol. 1998. Vol. 59. P. 490–505.
9. Tanguy G., Ribiere J.-C., Scarth A. et al. Victims of volcanic eruptions: a revised data base // Bull. Volcanol. 1998. Vol. 60. P. 137–144.