

ПОГРЕБЕНИЕ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЛАВОВЫМИ ПОТОКАМИ ТОЛБАЧИНСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ (КАМЧАТКА, 2012—2013 гг.) И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ

© С. Ю. ГРИШИН

Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток
E-mail: grishin@ibss.dvo. u, alaid@bk.ru

В 2012—2013 гг. в северной части Толбачинского дола (центральная часть п-ова Камчатка) произошло крупное вулканическое извержение. В результате протекавшего около 10 месяцев извержения произошли серьезные изменения в природе вулканического района. Лавовые потоки перекрыли 36 км² территории природного парка. Вторжение лавовых потоков в пояс леса — достаточно редкое событие на Камчатке, поэтому процесс контакта огромной массы раскаленного материала и живых растений фактически не был еще описан, специфика его последствий почти неизвестна. В ходе такого вторжения возникает угроза лесных пожаров (СМИ в начале декабря 2012 г. неоднократно давали такие сообщения); в статье рассмотрена реальность этой угрозы. Другой аспект появления лавовых потоков — превращение продуктивных лесных земель обширных территорий на многие столетия и даже тысячелетия в безжизненный бедленд. В статье кратко рассматривается разнообразие растительности территорий, перекрытых лавой. Погребение лавой огромного объема древесно-растительной массы (в статье впервые дана оценка ее объема) и термическое воздействие на нее вызвали определенные экологические последствия; некоторые из них кратко рассмотрены.

Ключевые слова: извержение, лавовый поток, растительность, деревья, погребение, пожары, Толбачинский дол, Камчатка.

Введение. В начале зимы 2012 г. в северной части Толбачинского дола (центральная часть п-ова Камчатка) началось крупное вулканическое извержение. Толбачинский дол — голоценовое базальтовое лавовое плато площадью около 900 км² [1]. Эруптивное событие 2012—2013 гг. является лишь эпизодом в многотысячелетней истории развития уникального центра современного вулканизма Камчатки. В XX в. здесь произошли извержения в 1941 г. и в 1975—1976 гг. Если первое из них описано лишь кратко, то второе, Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ), было значительно более масштабным событием. Оно привлекло внимание широкого круга специалистов и было детально исследовано, главным образом вулканологами Камчатки [1]. В ходе изучения последствий БТТИ был обследован растительный и почвенный покров данного района [4–7, 9]. В результате протекавшего около 10 месяцев извержения 2012—2013 г. [10] произошли серьезные изменения в природе вулканического района, в частности перекрывание лавовыми потоками обширной (десятки квадратных километров) территории дола. В ходе извержения сформировались 3 лавовых поля, названные вулканологами Водопадным, Ленинградским и Толудским; в данной статье основное внимание уделено Ленинградскому полю — как наиболее крупному и протяженному из них [11].

Вторжение лавовых потоков в пояс леса — достаточно редкое событие на Камчатке, последний раз оно наблюдалось в ходе БТТИ в 1975—1976 гг. Сам процесс контакта огромной массы раскаленного материала и живых растений фактически не был у нас описан, специфика его последствий почти неизвестна. В ходе такого вторжения возникает угроза лесных пожаров (СМИ в начале декабря 2012 г. неоднократно публиковали такие сообщения); в статье рассмотрена реальность этой угрозы. Другой аспект появления лавовых пото-

ков — превращение продуктивных лесных земель обширных территорий на многие столетия и даже тысячелетия в безжизненный бедленд. В статье кратко рассматривается разнообразие растительности территорий, перекрытых лавой. Погребение лавой огромного объема древесно-растительной массы (в статье впервые дана оценка ее объема) и термическое воздействие на нее вызвали определенные экологические последствия; некоторые из них кратко рассмотрены.

Методика и материал. Летом 2013 и 2014 гг. мы провели обследование части территории, оказавшейся на контакте с лавовыми потоками. Предварительно зоны поражения анализировались по спутниковым снимкам, полученным как до извержения, так и в период извержения. Наши полевые наблюдения и исследования проводились в районе западной части Ленинградского лавового поля в августе 2013 и 2014 гг. на высоте ~ 500—1000 м над ур. м., с южной стороны поля, а также у языка (крайней нижней части) потока. Кроме этого, была осмотрена западная сторона Толудского поля. На контакте с лавой мы с коллегами из Биолого-почвенного института ДВО РАН (Владивосток) заложили несколько трансектов, на которых изучались изменения среды (растительности, почв, геохимических показателей и др.) в связи с появившимися массивами лавы. В данной статье речь пойдет только о растительности.

Ранее нами изучалось воздействие на растительный покров данного района извержения 1975 г. [4–7, 9]. Так, в 1984 г. была заложена серия пробных площадей размером 40 × 50 м, на которых измерялись характеристики древостоя и другие параметры леса из березы каменной [5]. Изучались вторичные сукцессии в распадающемся древостое; повторные обследования выполнялись через каждые 10 лет (в 1995 и 2005 гг.); однако 5 пробных площадей из этой серии были погребены лавой в 2012 г. Также были погребены несколько сотен площадок размером 1 × 1 и 5 × 5 м, заложенных на трансектах в субальпийском поясе в 1995 [9] и 2006 гг.

Помимо этого, собирались свидетельства очевидцев, наблюдавших движение лавового потока в лесном поясе. Свидетелям извержения была разослана анкета с серией вопросов; получен ряд ответов, в том числе и развернутых. Особенно полезным и было изучение многочисленных фото (всего около 500 шт.), опубликованных в Интернете, а также переданных нам авторами снимков. Авторами фото были вулканологи, фотографы и туристы (всего около 30 чел.). Ряд снимков получен при облетах района извержения на вертолете. Очень важным материалом было наземное видео, снятое некоторыми из очевидцев. Анализировался также большой массив фото и видео, выполненных автором данной статьи и его коллегами (около 1500 шт.).

Отметим, что все наблюдения контакта лавы с лесной растительностью происходили только на одном лавовом поле — Ленинградском, на трех высотных уровнях: 1) в верхней части лесного пояса (750—850 м над ур. м.), фотосъемка вулканологов с вертолета 29.11. 2012 г.; 2) наземные наблюдения на языке потока на высоте ~ 550 м (съемка 1—2.12. 2012 г.) и на ответвлении потока на высоте ~ 650 м (съемка 15.12. 2012 г.); 3) наземные наблюдения на языке потока на высоте ~ 300 м в период 4—17.12. 2012 г. На этом наземные наблюдения у языка Ленинградского потока в декабре 2012 г. закончились, так как путь к потоку из пос. Козыревск через р. Студеная стал непреодолимым для автомашин. Лишь в начале января у потока появилась группа туристов-лыжников, сделавших полезную фотосъемку. Остальные фото Ленинг-

радского потока вплоть до лета 2013 г. выполнены с вертолетов, пролетающих над потоком из Козыревска в сторону эруптивных центров протекавшего извержения.

Природная ситуация до начала извержения 2012—2013 гг. На лаве позднеголоценовых потоков дола протекают крайне длительные сукцессии, в ходе которых растительность восстановилась на лавовых покровах, имеющих возраст не менее 2000 лет [4]. На более молодых потоках (возраст 1500, 1000 лет и др.) растительность находилась в состоянии редколесно-стланикового покрова (из лиственницы и кедрового стланика), причем чем моложе был поток, тем разреженней и ниже был покров. Пестрая структура ландшафтов дола, включающая чередование лавовых потоков разного возраста, одноактных вулканических конусов и шлаковых полей, обусловила формирование к 1975 г. сложной структуры растительности.

Извержение 1975 г. явилось мощным фактором динамики современных экосистем дола. Тефра 1975 г. рассеялась на большой площади: бомбы диаметром до 30 см разлетались на расстояние до 2 км от эруптивных центров, а тефра покрыла территорию площадью 470 км² слоем мощностью 10 см и более [1]. Центральная часть дола превратилась в вулканическую пустыню. Извержение длилось в течение большей части вегетационного периода, что повлекло за собой максимально возможный ущерб для растительности. Наиболее очевидными были механические и химические факторы поражения растительности [2, 5, 18]. Полная гибель растительности верхней части лесного пояса (600—800 м) произошла при отложениях тефры мощностью более 100 см, субальпийского пояса — более 40 см, альпийского пояса — 20 см. Камменноберезовые леса погибли на площади около 12 км², лиственничные — 21 км², растительность субальпийского пояса — 12 км², альпийского — 20 км² и разреженный растительный покров — на площади 30—40 км². Общая площадь полностью погибшей растительности достигла около 100 км² [6]. В районе извержения 2012—2013 гг., в северо-западной части дола, лежат отложения тефры мощностью 10—30 см, а в зонах аккумуляции — и большей мощности. Они повлекли частичную гибель лесной растительности (в меньшей степени лесов из лиственницы, в большей — лесов из березы каменной), а также сильно разрушили стланиковую растительность субальпийского пояса.

В ходе последующих сукцессий, длящихся уже 40 лет, растительность, как и экосистемы в целом, начали восстанавливаться. Сукцессии идут как первичные на лаве 1975—1976 гг. и на обширной шлаковой пустыне, образовавшейся после мощных пеплопадов 1975 г. Вторичные сукцессии протекают в районах преимущественно погибшей растительности в зоне сильных пеплопадов: в поясе горных тундр, субальпийской и стланиковой растительности [9]. На ряде территорий сильный пеплопад резко изменил ход ранее протекавшей сукцессии на лаве [7]. В краевых зонах воздействия пеплопада происходит восстановление частично пострадавшей растительности.

Ход и особенности извержения 2012—2013 гг. Последнее извержение началось 27 ноября 2012 г. внезапно, почти без сейсмической подготовки [22]. В результате протекающего извержения произошли серьезные изменения в экосистемах вулканического района. Существенный пеплопад был отмечен лишь в самом начале, когда, судя по спутниковому снимку, тонкий пепел отложился в северо-восточном направлении, достигнув отрогов Срединного хребта, на расстоянии около 85 км в полосе шириной 10—12 км. В течение

зимы—весны 2012—2013 гг. пеплопады, судя по слабому тонуированию снегового покрова темной тефрой, были редкими и небольшими (по объему отложений) и оказали воздействие главным образом на разреженный растительный покров высокогорной части района.

Лавовые потоки из двух центров извержения, расположенных на высоте 1900 и 1650 м, в первые дни устремились на юг и затем повернули на запад. Из верхнего центра потоки двигались только в первые дни извержения и к 1 декабря достигли высоты около 700 м над ур. м. в русле руч. Водопадный, пройдя примерно 10 км. Сформированное ими лавовое поле названо вулканологами Водопадным [11, 22].

Из нижнего центра извержения потоки особенно интенсивно вытекали в течение первых 2—3 недель и формировали лавовое поле Ленинградское. Они прошли более 15 км через зону высокогорных вулканических пустынь, пересекли полупустынный сниженный субальпийский пояс. Затем потоки глубоко внедрились в лесной пояс, пройдя в нем 8 км и достигнув высоты около 300 м. Благодаря зимнему периоду и снеговому покрову лесных пожаров не возникало, но на контакте с раскаленной лавой деревья загорались, согласно фото- и видеосъемкам очевидцев. В субальпийском поясе (на высоте 800—1100 м) ширина лавового поля составила в среднем 1500 м, в лесном поясе (ниже 800 м) — от 300 до 1000 м. В высокогорной части дола (1100—1600 м) постепенно сформировалось сплошное поле лавы, длиной (сверху вниз) до 5 км и шириной 2.5—3 км. Поле было полностью залито лавой и разрывалось лишь старыми шлаковыми конусами, возвышающимися над ней. В дальнейшем излияния проходили в виде перекрывания и наслаивания новых порций лавы, увеличивших мощность отложений потоков до нескольких десятков метров.

После завершения первой, наиболее интенсивной, стадии извержения (условно до конца января 2013 г.) активность проявлялась главным образом в юго-восточном секторе (Толудское лавовое поле), где лава к концу лета 2013 г. достигла отметки 1050 м над ур. м.

К июню 2013 г. территория, перекрытая лавовыми потоками, по нашим измерениям на спутниковых снимках [23] достигла около 35 км² [10]. Извержение закончилось в сентябре 2013 г., площадь лавовых излияний выросла до 36 км² [11]. Часть пробных площадей и площадок, заложенных нами ранее (в 1984, 1995, 2006 гг.) для изучения сукцессий растительности, оказалась перекрыта лавой.

Лава, по данным вулканологов, была представлена базальтами (содержание SiO₂ 52—53%), имела температуру на выходе 1080 °С [22], а в районе языка Ленинградского потока, по оценке А. А. Овсянникова, — 700—850 °С. Лавовые поля Водопадное и Ленинградское представлены главным образом глыбовой лавой «аа», тогда как Толудское поле было в значительной мере сформировано лавой пахоехое. Общий объем лавы извержения 2012—2013 гг. составил 0.54 км³ [11].

Масштабы поражения и разнообразие погибшего растительного покрова. Обследовав район извержения и дешифрировав ситуацию после извержения на спутниковых снимках, мы выделили 6 основных категорий растительного покрова, перекрытого лавовыми потоками 2012—2013 гг.: 1) Вулканический бедленд в альпийском и субальпийском поясах (800—1800 м над ур. м.), покрытый крайне разреженной травяно-кустарничковой растительностью с участием мхов и лишайников. 2) Старые (возраст около

1000 лет) лавовые потоки конуса Клешня, с частично сформировавшейся травяно-кустарничковой растительностью. Они спускаются до высоты 400 м и ниже сравнительно узкими (300—500 м), но длинными (до 12—15 км) полосами. 3) Шлаковые пустыни в районе извержения, представленные двумя крупными участками («поле Веснушки» и «поле Магуськина») с отдельными выходами лавы и петрофильными группировками растений на них. 4) Субальпийские стланики и луга. Заросли ольхового и кедрового стлаников чередуются с травяными луговинами и шлаковыми пустошами, зарастающими после пеплопада 1975 г. 5) Фрагменты каменноберезовых лесов (в интервале 600—900 м над ур. м.). На верхнем пределе распространения это участки разреженных древостоев. 6) Лиственничные леса (ниже 600 м) и редины (в пределах 600—900 м).

Основная часть территории, перекрытой лавой, представляет вулканогенные ландшафты, слабо покрытые растительностью (категории 1—3 из приведенного выше списка), их совокупная площадь превышает 20 км². Лесная растительность — наиболее продуктивный компонент растительного покрова Толбачинского дола — была перекрыта лавовыми потоками в целом на площади около 8 км². Кратко охарактеризуем древесную растительность описываемого района.

1. *Субальпийские стланики и луга*. Представлены зарослями ольхового и кедрового стлаников, чередующихся с травяными луговинами и шлаковыми пустошами, зарастающими после пеплопада 1975 г. Доминируют по площади заросли ольховника, образующие покровы на верхнем пределе древесной растительности и под пологом лесов из каменной березы и их участков на верхнем пределе леса. Заросли ольховника обычно крупнее и выше кедрового стланика (3—5 и 2—3 м соответственно).

2. *Каменноберезовые леса* (в интервале 600—900 м над ур. м.). На верхнем пределе распространения это участки разреженных древостоев. Деревья имеют раскидистые кроны, среднюю высоту 9—11 м, средний диаметр на высоте груди 20—25 см. Данные по параметрам древостоя и составу подлеска и травяно-кустарничкового яруса приведены в работе [5, таб. 3, 4]. В древостое встречаются лиственница, рябина, древовидные ивы. В подлеске, покрывающем 50—80 % площади, господствует ольховый стланик, в меньшей степени — кедровый стланик и кустарники (жимолость, смородина, таволга и др.). При мощности отложений тефры 1975 г. 25 см погибло большинство деревьев березы, а лиственница уцелела [5, 6].

3. *Лиственничные леса* (ниже 600 м) и редины (в пределах 600—900 м над ур. м.). Редины встречаются в поясе каменной березы; здесь лиственница достигает высоты 15—20 м. Ниже лиственница образует сомкнутый лес, в котором высота стволов достигает 25—30 м, а диаметр на высоте груди — 40—50 см. Подлесок разрежен, в нем встречаются куртины кедрового и ольхового стлаников и кустарники (жимолость, шиповник, можжевельник и др.). Травяно-кустарничковый покров обычно сомкнут. Лиственница массово погибла после пеплопада 1975 г. в зонах, где мощность тефры превысила 50—70 см. В поясе лиственничников широко распространены вторичные леса на месте старых гарей с участием березы белой *Betula platyphylla* и осины *Populus tremula*, там же встречаются разнотравные луга с кустарниками и куртины стлаников.

В результате извержения рельеф северной части дола резко и непоправимо изменился, растительный покров был уничтожен на большой площади, но

фактически только на той, где он непосредственно перекрыт лавой. Наиболее необычным для этого извержения было то, что при всех своих незаурядных масштабах за пределами территории, перекрытой лавовыми потоками, оно вызвало весьма умеренное воздействие на окружающую среду. В метре от борта лавового потока растут деревья без следов какого-либо угнетения.

Специфика контакта лавы и древесной растительности. По спутниковым снимкам оценена средняя скорость продвижения языка потока на четырех последовательных отрезках. Если в высокогорной зоне поток двигался со средней скоростью ~ 200 м/час, в субальпийском поясе скорость снизилась до ~ 100 м/час, а в лесном поясе она упала до менее 50 м/час. К 5 декабря фронт достиг района конуса Белая горка, но небольшое ответвление потока еще некоторое время, приблизительно до 9 декабря, двигалось по ложине на юго-запад. Наблюдатели отметили, что 9 декабря поток практически остановился. Вулканологи обследовали язык потока 10 декабря, отметили небольшие подвижки и оценили их скорость до 2—5 м/сут (личное сообщение А. А. Овсянникова).

В субальпийском поясе лава контактировала с зарослями субальпийских стлаников, ольховым, кедровым, ивами, а также субальпийскими лугами и единичными деревьями (береза каменная, тополь, лиственница и др.). На контакте лавы со стланиками мы наблюдали местами усыхание узкой (1—3 м) полосы ольховника и ивняка. Судя по фотосъемкам с вертолета в начале вегетационного сезона 2013 г., выполненным Д. В. Мельниковым, местами особенно хорошо выделялась рыжая хвоя усохшего кедрового стланика, очевидно, оказавшегося более уязвимым к воздействию.

Вторжение лавы в лесной пояс вызвало более разрушительные последствия. Хотя масштабных пожаров не возникало, но деревья на контакте с раскаленной лавой загорались, согласно фото- и видеосъемкам очевидцев. Фото и видео показывают, что фронт движущегося потока 1—2.12. 2012 г. имел высоту ~ 3—7 м, лава фронтальной стороны была красной, обваливалась камнями и глыбами размером до ~ 1 м в поперечнике. 12.12. 2012 г. А. А. Овсянниковым было отмечено (личное сообщение), что снега было относительно немного, он спокойно плавился при контакте с лавой; но при обрушении глыб в снег поднимались клубы пара. Подстилка на фронте лавового потока не выгорала, так как она напитывалась талой водой. Когда же она оказывалась под лавой, то там явно происходили выпаривание влаги, выгорание, а также пиролиз древесины (см. далее), и над поверхностью потока в лесной зоне отмечалось огромное количество струй белых «дымков».

Было выявлено, что поток, двигаясь в лесном поясе достаточно быстро (около 50 м/ч), накренил, ломал и погребал крупные деревья. В то же время лава проявляла свойства пластичности, обволакивая стволы деревьев. В начале надвигания фронта красной, отчасти пластичной лавы крупные стволы стояли до определенного времени вертикально, при этом вспыхивала кора в нижней части дерева, примыкающего к лаве. Затем дерево накренилось по ходу потока до горизонтального или субгоризонтального положения (если ствол опирался на скатившуюся перед этим лавовую глыбу), иногда ломаясь при этом. В ходе дальнейшего надвигания лавы ствол погребался ею. А. А. Овсянников отметил, что местами перегорали комли деревьев. Их стволы валились либо на поверхность лавы, либо на землю перед потоком. Перегорания у комля были при прямом контакте лавы с деревом. Практически все стволы полностью погребались лавой. Некоторые деревья, перегорая у комля,

падали на поверхность потока, где под действием высокой температуры высушались и загорались. Основную же массу деревьев поток просто валил. Крупные стволы либо вовлекались вовнутрь лавы, либо перемещались вместе с агломератовой мантией, осыпались на фронте и погребались потоком.

Состояние деревьев на контакте с остановившейся лавой было изучено более подробно в августе 2014 г. На высоте около 580 м мы заложили трансект длиной 330 м вдоль фронта остановившегося лавового потока (это была тупиковая часть потока; дойдя до данного места, лава остановилась, а следующие порции лавы отвернули несколько в сторону и затем двинулись вниз). Высота борта здесь составляет около 10—12 м, крутизна ~ 50°. Борт потока перекрыт осыпью из лавовых глыб, обломков и мелкообломочного материала. Произведен сплошной пересчет стволов лиственницы, контактировавших с лавой. Отмечены диаметр и высота ствола, жизненное состояние, степень повреждения, угол наклона ствола и степень погребения основания ствола обломочным материалом. Выявлено, что в большинстве случаев (73.3 %) контакт с лавой вызвал гибель деревьев. Большинство погибших деревьев сильно повреждены механически, почти четверть из всех учтенных (23.8 %) имеют признаки термического воздействия — опал коры и древесины, перегоревший ствол. У 28.3 % погибших деревьев отмечено наличие молодой сухой хвои от 0.5 до 2 см длиной. Это свидетельствует о том, что данные деревья, несмотря на полученные повреждения (механическое, термическое, а также вероятное химическое воздействие лавового потока), весной 2013 г. тронулись в рост, но затем, в начале вегетационного периода, погибли.

Причины отсутствия лесных пожаров. Несмотря на ряд сообщений в СМИ о лесных пожарах в зоне наступления лавовых потоков, реальных пожаров в лесу (в том числе и хвойном) не было. Этому был ряд причин, которые можно объединить в три группы. 1. Погодные ограничения: отрицательная температура воздуха и соответственно растительности, снеговой покров мощностью около 20—30 см, отсутствие сильного ветра в последних числах ноября и в течение всего декабря, высокая относительная влажность воздуха. 2. Группа причин в связи с типом лавы, расстоянием от эффузивного центра и т. п. Расстояние, которое прошел поток, было рекордным (17.8 км), скорость движения лавы в лесу была относительно невысокой (менее 1 м в минуту); вязкая аа-лава, перекрытая сверху и снизу чехлом обломочного материала, который обваливался на фронте (этот чехол в определенной мере служил барьером для возгорания); температура фронтальной части в конечной части была относительно невысокой (700—850 °С), происходило быстрое остывание бортов лавового потока. 3. Свойства самой растительности: преобладание на значительной части лесной территории, погребенной лавой, разреженных древостоев, реди и пустошей; значительное участие вторичных лесов с участием березы белой, а в верхней части лесного пояса — с участием березы каменной; относительное обилие ольховника, преобладающего над зарослями кедрового стланика; отсутствие ели в древостое этой части Толбачинского дола; преобладание в древостое весьма устойчивой к пожарам лиственницы, к тому же лишенной хвои. Кора камчатской лиственницы может достигать у основания ствола толщины 27 см и является сильным защитным средством от низовых пожаров [14].

Погребение растительности. Лавовыми потоками Ленинградского поля, глубоко внедрившимися в лесной пояс, был погребен огромный объем древесной и растительной массы. Это стволы и кроны деревьев, подлесок и по-

дрост, сухостой (в основном стволы деревьев, погибших в результате пеплопада 1975 г.), пни, валеж, кустарничковый ярус, мохово-лишайниковый ярус, травяная ветошь, опад, подстилка, дернина. Под лавой остались также подземные части стволов и ветвей, корневые системы деревьев, корневища и корни, а также органика погребенной почвы. Каков был объем погребенной древесно-растительной массы? Для этой оценки удалось собрать имеющиеся для Камчатки достаточно разнородные данные о продуктивности различных растительных сообществ — лесных, стланиковых, луговых.

Леса из лиственницы в центральной части Камчатки имеют запас стволовой древесины 250—400 м³/га, в зависимости от типа леса [14]. У камчатской лиственницы отмечается аномально толстая кора, дающая запас 20—70 м³/га. Важно учитывать, что существенный объем фитомассы лесного фитоценоза занимают также корневые системы деревьев (до 25 % от объема стволов), ветви (до 10 % от объема стволов), а также растения нижних ярусов (кустарничкового, травяно-кустарничкового, мохово-лишайникового) — до 5 % [16]. Производные леса (растущие на месте вырубок и гарей, оставшихся после лиственничников) представлены лесами из березы белой и осины; запас древесины может составлять 80—100 м³/га у белоберезняков и достигать 310—390 м³/га у осинников [14]. В верхней части лесного пояса доминируют леса из березы каменной; запас древостоя, оцененный по измерениям на Толбачике [5, табл. 3] и данным по Камчатке в целом [21, табл. 31], составляет около 100—150 м³/га. При этом отмечено, что у березы каменной, имеющей раскидистую крону, аномально высока доля крупных (скелетных) ветвей, составляющих до 50 % объема древесины [21].

В условиях мощно развитого подлеска (ольховый, кедровый и реже рябиновый стланики), который местами, особенно в верхней части пояса древесной растительности, становится самостоятельным и преобладает в растительном покрове, высока доля фитомассы стлаников и кустарников. Запас древесины в сплошных зарослях кедрового стланика на Камчатке может превышать 100 м³/га, при этом над землей находится ~ 60 % объема, а 40 % — подземные части стволов и корни [20]. По-видимому, это не предел, так как в продуктивных кедровостланиках Магаданской области выявлен общий запас абсолютно сухой растительной массы 184 т/га, при соотношении надземной и подземной массы 46 и 54 % соответственно [13]. Можно допустить, что подобные объемы (массы) и соотношения присущи и для ольхового стланика.

Имеются данные и по фитомассе травянистой растительности в камчатских условиях. Так, наиболее распространенный доминант луговой растительности вейник Лангсдорфа может создавать запас надземной абсолютно сухой массы 6.1 т/га, а подземной — 30 т/га, а доминант высокотравья лабазник камчатский — соответственно 8.1 и 22.5 т/га [19]. Таким образом, даже в зимних условиях, когда травостой превращается в усохшую ветошь, подземная живая фитомасса травянистых многолетних растений (корневища и корни), находящаяся в условиях естественной влажности, может составлять очень значительную величину, например, для вейника достигать 150 т/га.

В целом, по приблизительной оценке, совокупный объем древесной и растительной массы, погребенной только лавовым потоком Ленинградским на площади около 6 км² составлял ~ 150 000 м³. Часть из них (кора и тонкие ветви деревьев, подрост, часть кустарников, травяная ветошь, опад и т. п.) выго-

рела или обуглилась при контакте с раскаленной лавой, но основная часть древесно-растительной массы была погребена толщей потока. Погребенный материал находился в трех ярусах вертикальной дифференциации: 1) в толще лавы, над поверхностью земли (условно — до 5 м по вертикали); 2) непосредственно над поверхностью земли: материал, придавленный отложениями потока, а также в самой верхней части почвенного профиля, в совокупности сжатый до минимального размера ~ 10—20 см; 3) под поверхностью земли: корневые системы древесных и травянистых растений, главным образом (по объему) деревьев; они располагались в верхних слоях почвенно-пирокластического чехла, в основном в пределах ~ 0.5 м.

Поствулканические явления. Влага, содержащаяся в погребенной древесине (включая корневые системы) и других растительных компонентах, снег, а также влага почвенно-пирокластического чехла выпаривались высоко-температурной толщей лавы. Доля влаги в свежей древесине достигает 50 % от массы. Процесс для разных компонентов происходил в различном режиме — от быстрого (минуты—часы) до крайне растянутого во времени, возможно на месяцы. В результате происходило образование огромного объема водяного пара, который вместе с газами лавы, а также газами, образующимися в процессе пиролиза, выходил в виде мощных вторичных фумарол. Они действовали главным образом в той части потока, где располагалась древесная растительность (это хорошо видно на спутниковых снимках), так что связь фумарол с последней достаточно очевидна. Фумаролы действовали по крайней мере до лета 2013 г. Наиболее мощные из них имели длину парогазовой струи в десятки метров. По-видимому, большинство из них было приурочено к бортам потоков. Так, на языке потока на участке длиной ~ 400 м (фото с вертолета от 13.12. 2012 г.) насчитывалось 10 струй. По наблюдениям вулканолога А. А. Овсянникова 10.12. 2012 г. (личное сообщение), выходы фумарол не имели выраженных отверстий, струи выходили из навалов камней, оставляя на них возгоны.

Древесно-растительная масса, перекрытая раскаленной толщей, в анаэробных условиях при температуре 200—450 °С подвергалась пиролизу и продуцировала метан CH_4 . Выделяющийся метан аккумулировался в замкнутых полостях и трещинах внутри лавы. Большие объемы растительно-древесной массы приводили к тому, что в отдельных полостях возникало высокое давление газа, в результате чего периодически происходили его прорывы. Газ уходил под давлением по трещинам старой подстилающей лавы за пределы нового потока, и при достижении необходимой температуры (537 °С) газ воспламенялся на выходе из трещин, в результате чего возникали и действовали вертикальные факелы. В ходе извержения в декабре 2012 г. пламя на разных участках наблюдал ряд свидетелей, в том числе специалист по вулканическим газам М. Е. Зеленский (личное сообщение). В одном случае горение пламени на участке ~ 20 м² наблюдалось очевидцами не менее нескольких часов. В определенный момент в некоторых полостях и трещинах в смеси с воздухом создавалась взрывоопасная концентрация газа; в результате происходили взрывы. Летом 2013 г. на высоте около 750 м в 10—15 м от края лавового потока нами были обнаружены воронки взрывов (размер в поперечнике до 1—3 м, глубина до 1 м), разрушивших почвенно-пирокластический чехол, а также частично вскрывших глыбы старой подстилающей лавы. Выявлены также следы мощного опаливания / перегорания на ветвях ольхового стланика, прилегающих к воронкам. Судя по перегоранию промерзших ветвей оль-

ховника толщиной до 5 см и оснований стволов диаметром до 10—15 см, пламя должно было опаливать холодную сырую древесину не менее нескольких десятков минут и бить при этом на высоту не менее 1—1.5 м. Однако эти источники интенсивного пламени не стали причиной пожаров: возгораний леса не обнаружено.

Обсуждение. Погребение хвойного леса лавовым потоком — явление нечастое. На Камчатке за последние столетия оно отмечалось только в ходе БТТИ, когда лавы двух центров извержения перекрыли небольшие участки хвойного леса (оценочно не более 3—4 км² в каждом из районов Северного и Южного прорывов). Предыдущее уничтожение елово-лиственничной тайги произошло в результате излияний прорыва Звезда, произошедшего предположительно в 1740 г. Других излияний в поясе хвойных лесов за минувшие ~ 500 лет ни на Камчатке, ни на Курилах не происходило. Крупнейшее излияние в Северном полушарии в этот период произошло в 1719—1721 гг. в ходе извержения вулканического центра Удалянчи (северо-восточный Китай), где лавы объемом ~ 1 км³ перекрыли 65 км² территории с лиственничным лесом. На соседних с Камчаткой Курилах в поясе хвойного леса лавовые потоки в последние столетия не появлялись; потоки XX—XXI вв., перекрывшие суммарно ~ 4 км², образовались в ходе семи извержений на северных Курилах [8], где леса отсутствуют.

Отметим рекордные параметры потока Ленинградский: он прошел ~ 17.8 км [11], начавшись в высокогорном поясе крайне разреженной горнотундровой растительности, пройдя через фрагментарно выраженные альпийский и субальпийский пояса и затем глубоко внедрившись в лесной пояс. При этом в лесном поясе была пересечена полоса горных лесов из каменной березы и далее поток шел и остановился в лиственничном лесу. Если бы высотная поясность здесь была представлена полно, с участием еловых лесов (как в смежных районах), то поток достиг бы и ельников. Таким образом, и по длине потока, и по диапазону пересеченных природных поясов лавовый поток Ленинградский не имеет аналогов на Дальнем Востоке России в течение последних столетий.

Возгорание хвойного леса в 2012 г. не происходило. Отметим, что пожары вследствие наступления лавы не зафиксированы и в ходе БТТИ в 1975—1976 гг., хотя локальные небольшие возгорания, возможно, имели место. При этом шансы на возгорание в ходе БТТИ были заметно выше (летний период, отсутствие снега, большее участие хвойных в растительном покрове юго-западной части Толбачинского дола). Существенны также засушливые условия района Южного прорыва БТТИ. По данным [3], в этом районе среднегодовое количество осадков составляет всего 370 мм. Интересно, что лава Северного прорыва БТТИ поджигала деревья лишь на определенном расстоянии от эффузивного центра, а далее возгорания не отмечались [1].

Отметим, что лавовые потоки на Камчатке уничтожали также леса наиболее распространенной формации — из березы каменной. Наиболее масштабное уничтожение березняков произошло в ходе двух извержений на склонах Ключевской сопки — прорыва Туйла (1932 г.) и прорыва Билукай (1938 г.), обследованных автором [5]. В ходе этих извержений лавовыми потоками было перекрыто суммарно около 15 км² лесной площади. Пожаров при этом также не было зафиксировано. П. Т. Новограбленов летом 1932 г. наблюдал, как лавовый поток Киргурича (один из трех центров прорыва Туйла), «пройдя по березовому лесу, не вызвал пожара; крупные березы были придавлены

глыбами лавы и засыпаны шлаками по бокам потока, причем обугленных деревьев обнаружено не было» ([¹⁷, с. 392].

По-видимому, для возникновения лесного пожара нужна комбинация определенных условий: бесснежный период, оптимально — сильный прогрев воздуха и иссушение подстилки, опадая, мохово-лишайникового покрова, а в процессе массового воспламенения — сильный ветер и отсутствие осадков. В ходе быстротекущего излияния лавы, продолжающегося обычно от нескольких дней до нескольких недель, они далеко не всегда могут сложиться. Отметим в связи с этим, что эпизодически обсуждаемый лесной пожар, будто бы возникший в связи с извержением в декабре 1740 г. (краткая и не вполне однозначная информация об этом приведена в работе С. П. Крашенникова [¹⁵]), по описанным ограничениям в целом весьма маловероятен. В то же время производные леса на месте гарей сильно распространены в лесном поясе (на высоте 50—400 м над ур. м.) к западу от Северного прорыва БТТИ; автор зафиксировал их, выполняя серию из 20 геоботанических описаний на профиле длиной 12 км (частично опубликованы в работе [¹⁸]).

Выявленные постэруптивные явления близ контакта лавы и растительности — метановые взрывы и факелы, могут представлять смертельную опасность для людей. Небольшие вспышки и сполохи горящего газа наблюдаются даже при перекрытии маломощной жидкой лавой низкой травянистой растительности. В отдельных случаях взрывы могут быть гораздо более опасными: взрывами выворачивает глыбы старой лавы массой, оценочно, не менее 100 кг. Камни и осколки породы при этом могут разлетаться на десятки метров. Крайне опасны также пламя и факелы, которые могут внезапно вспыхнуть прямо под ногами подошедших людей. Отметим, что на вулканах Гавайских островов эти явления внесены в список опасностей в памятках для туристов. Как показало извержение 2012—2013 гг., современные путешественники очень мобильны, достаточно образованны и способны быстро находить и распространять информацию о необычных или редких явлениях природы, чтобы искать и получать новые впечатления. Они могут в течение нескольких дней после начала первых сообщений добраться до труднодоступного места за сотни и тысячи километров от места своего проживания, сильно опередив представителей различных официальных организаций, в том числе и научных. Между тем ни те, ни другие в официальных объявлениях и интервью в СМИ в сооруженных на пути к лаве аншлагах не предупредили об этих возможных опасностях.

В заключение отметим еще один важный аспект. Сукцессии на лаве (процесс естественного восстановления экосистем до первоначального состояния зрелой экосистемы) длятся в условиях Толбачинского дола не менее 2000 лет [⁴]. Последнее число верно для верхней части лесного пояса; для высокогорий сукцессия может растянуться на многие тысячелетия. В итоге новая обширная территория на бесконечно длительный (по сравнению с продолжительностью человеческой жизни) срок превратилась в безжизненный бедленд. В то же время в описываемом районе повысилось разнообразие ландшафтов, увеличилось количество объектов для научных исследований и экотуризма. Новые лавовые потоки, по-видимому, являются самыми доступными на территории России свежими (при этом еще длительное время они будут горячими) лавами, куда можно специально организовывать экскурсии — от научных до познавательных.

Благодарю за консультации коллег Ю. В. Демянчука, М. Е. Зеленского, А. А. Овсянникова, Д. В. Мельникова, А. Б. Белоусова, М. Г. Белоусову, а также наблюдателей и фотографов А. Лобашевского, А. Громова, Е. Сафонову, С. Главатских, А. Павлова, И. Полуэктова и др. Исследование поддержано РФФИ, грант 13-05-00686.

Список литературы

- [1] Большое трещинное Толбачинское извержение (1975—1976 гг., Камчатка). М.: Наука, 1984. 638 с.
- [2] *Быкасов В. Е.* Шлаково-пепловый чехол извержения 1975 г. и поражение растительности Толбачинского дола // *Вулканология и сейсмология*. 1981. № 1. С. 76—78.
- [3] *Виноградов В. Н.* Современное оледенение районов активного вулканизма. М., 1975. 104 с.
- [4] *Гришин С. Ю.* Сукцессии подгольцовой растительности на лавовых потоках Толбачинского дола // *Ботан. журн.* 1992. Т. 77, № 1. С. 92—100.
- [5] *Гришин С. Ю.* Растительность субальпийского пояса в Ключевской группе вулканов. Дальнаука: Владивосток, 1996. 156 с.
- [6] *Гришин С. Ю.* Растительный покров района, испытавшего воздействие пеплопада Толбачинского извержения 1975 г. (Камчатка) // *Изв. РГО*. 2010. Т. 141, вып. 1. С. 32—40.
- [7] *Гришин С. Ю.* Смена растительного покрова под воздействием вулканического пеплопада (Толбачинский дол, Камчатка) // *Экология*. 2010. № 5. С. 389—392.
- [8] *Гришин С. Ю.* Излияния лавовых потоков на Курильских островах в XX и начале XXI века: масштабы и глубина изменения экосистем // *Изв. РГО*. 2014. Т. 146, вып. 6. С. 1—13.
- [9] *Гришин С. Ю., Крестов П. В., Верхлат В. П. и др.* Динамика растительного покрова Толбачинского дола (Камчатка) в течение последних десятилетий // *Комаровские чтения*. Владивосток, 2013. Вып. 61. С. 118—157.
- [10] *Гришин С. Ю., Комачкова И. В., Тимофеева Я. О. и др.* Экспедиция в район Толбачинского извержения (Камчатка, август 2013) // *Вестн. ДВО РАН*. 2013. № 5. С. 173—178.
- [11] *Двигало В. Н., Свирид И. Ю., Шевченко А. В.* Первые количественные оценки параметров трещинного Толбачинского извержения 2012—2013 гг. по данным аэрофотограмметрических наблюдений // *Вулканология и сейсмология*. 2014. № 5. С. 3—11.
- [12] *Елагин И. Н.* Заросли ольхового стланика на Камчатке / *Леса Камчатки и их лесохозяйственное значение*. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 313—323.
- [13] *Иенатенко И. В., Котляров И. И., Нестеренко А. И. и др.* Запас и структура общего органического вещества в кедровостланиковых зарослях Охотского побережья // *Биология и продуктивность растительного покрова Северо-Востока*. Владивосток, 1976. С. 138—158.
- [14] *Кабанов Н. Е.* Типы лиственных лесов Камчатки / *Леса Камчатки и их лесохозяйственное значение*. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 12—125.
- [15] *Крашенинников С. П.* Описание земли Камчатки. М.; Л., 1949. 545 с.
- [16] *Мелехов И. С.* Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
- [17] *Новограбленов П. Т.* Извержение Пацана и Фаины на Камчатке // *Изв. государственного географического общества*. 1933. Т. 65, вып. 5. С. 387—401.
- [18] *Сидельников А. Н., Шафрановский В. А.* Влияние извержения вулкана Толбачик 1975—1976 гг. (Камчатка) на растительность // *Лесоводственные исследования на Сахалине и Камчатке*. Владивосток, 1981. С. 107—144.

- [19] *Степанова К. Д.* Луга Камчатской области. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 236 с.
- [20] *Хоментовский П. А.* Экология кедрового стланика на Камчатке. Владивосток: Дальнаука, 1995. 227 с.
- [21] *Шамшин В. А.* Каменноберезовые леса Камчатки: биология, экология, строение древостоев. М.: ГЕОС, 1999. 170 с.
- [22] *Belousov A., Belousova M., Edwards B. et al.* Overview of the precursors and dynamics of the 2012—13 basaltic fissure eruption of Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.06.013>
- [23] Monochromatic Lava Fields on Tolbachik Volcano. URL: http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/81000/81296/tolbachik_ali_2013157_lrg.jpg

Поступило в редакцию
6 августа 2015 г.

Burial of forest vegetation by lava flows of the Tolbachik eruption (Kamchatka, 2012—2013) and its consequences

© *S. Yu. Grishin*

Institute of biology & soil science FEB RAS, Vladivostok
E-mail: grishin@ibss.dvo.ru, alaid@bk.ru

The large volcanic eruption occurred in the Northern part of the Tolbachinsky Dol (the central part of the Kamchatka Peninsula) in 2012—2013. As a result of the 10 months' volcanic eruption, the nature of the area has changed dramatically. The lava flows had overlapped 36 km² of the territory of nature park. The invasion of the lava flows into the forest zone is a rare event in the Kamchatka Peninsula, so the process of contact of the great mass of incandescent material and live plants was not actually even been described, specifics of its consequences is almost unknown. During this invasion there was a threat of forest fires (the media at the beginning of December 2012 repeatedly given such reports); the article deals with the reality of this threat. Another aspect of the appearance of the lava flows is the transformation of the productive forest land of vast territories into desolate badlands for many centuries and even millennia. The article briefly describes the variety of vegetation of areas covered with lava. Burial of huge amount of trees and plant mass by lava (an assessment of its volume is given in the article for the first time) and its thermal effects caused some environmental impacts; some of them are considered briefly.

Key words: eruption, lava flow, vegetation, trees, burial, fires, Tolbachinsky Dol, Kamchatka.

References

- [1] *Bol'shoe treshhinnoe Tolbachinskoe izverzhenie (1975—1976 gg., Kamchatka).* М.: Nauka, 1984. 638 с.
- [2] *Bykasov V. E.* Shlakovo-peplovyy chexol izverzheniya 1975 g. i porazhenie rastitel'nosti Tolbachinskogo dola // *Vulkanologiya i seismologiya.* 1981. N 1. S. 76—78.
- [3] *Vinogradov V. N.* Sovremennoe oledenenie rajonov aktivnogo vulkanizma. М., 1975. 104 с.
- [4] *Grishin S. Yu.* Sukcessii podgol'covej rastitel'nosti na lavovykh potokax Tolbachinskogo dola // *Botan. zhurn.* 1992. T. 77, N 1. S. 92—100.

- [5] *Grishin S. Yu.* Rastitel'nost' subal'pijskogo poyasa v Klyuchevskoj gruppe vulkanov. Dal'nauka: Vladivostok. 1996. 156 s.
- [6] *Grishin S. Yu.* Rastitel'nyj pokrov rajona, ispytavshogo vozdejstvie peplopada Tolbachinskogo izverzheniya 1975 g. (Kamchatka) // *Izv. RGO.* 2010. T. 141, N 1. S. 32—40.
- [7] *Grishin S. Yu.* Smena rastitel'nogo pokrova pod vozdejstviem vulkanicheskogo peplopada (Tolbachinskij dol, Kamchatka) // *E'kologiya.* 2010. N 5. S. 389—392.
- [8] *Grishin S. Yu.* Izliyaniya lavovyx potokov na Kuril'skix ostrovax v XX i nachale XXI veka: masshtaby i glubina izmeneniya e'kosistem // *Izvestiya RGO.* 2014. T. 146. N 6. S. 1—13.
- [9] *Grishin S. Yu., Krestov P. V., Verxolat V. P. i dr.* Dinamika rastitel'nogo pokrova Tolbachinskogo dola (Kamchatka) v techenie poslednix desyatiletij // *Komarovskie chteniya.* Vladivostok, 2013. Vyp. 61. S. 118—157.
- [10] *Grishin S. Yu., Komachkova I. V., Timofeeva Ya. O. i dr.* E'kspediciya v rajon Tolbachinskogo izverzheniya (Kamchatka, avgust 2013) // *Vestnik DVO RAN.* 2013. N 5. S. 173—178.
- [11] *Dvigalo V. N., Svirid I. Yu., Shevchenko A. V.* Pervye kolichestvennye ocenki parametrov treshhinnogo Tolbachinskogo izverzheniya 2012—2013 gg. po dannym ae'rofotogrammetricheskix nablyudenij // *Vulkanologiya i sejsmologiya.* 2014. N 5. S. 3—11.
- [12] *Elagin I. N.* Zarusli ol'xovogo stlanika na Kamchatke / *Lesa Kamchatki i ix lesoxozyajstvennoe znachenie.* M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. S. 313—323.
- [13] *Ignatenko I. V., Kotlyarov I. I., Nesterenko A. I. i dr.* Zapas i struktura obshhego organicheskogo veshhestva v kedrovostlanikovyx zaroslyax Oxotskogo poberezh'ya // *Biologiya i produktivnost' rastitel'nogo pokrova Severo-Vostoka.* Vladivostok, 1976. S. 138—158.
- [14] *Kabanov N. E.* Tipy listvennichnyx lesov Kamchatki / *Lesa Kamchatki i ix lesoxozyajstvennoe znachenie.* M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. S. 12—125.
- [15] *Krashenninikov S. P.* Opisanie zemli Kamchatki. M.; L., 1949. 545 s.
- [16] *Melexov I. S.* Lesovedenie. M.: Lesn. prom-st', 1980. 408 s.
- [17] *Novograblenov P. T.* Izverzhenie Pacana i Fainy na Kamchatke // *Izvestiya Gosudarstvennogo geograficheskogo obshhestva.* 1933. T. 65, vyp. 5. S. 387—401.
- [18] *Sidel'nikov A. N., Shafranovskij V. A.* Vliyanie izverzheniya vulkana Tolbachik 1975—1976 gg. (Kamchatka) na rastitel'nost' // *Lesovodstvennye issledovaniya na Saxaline i Kamchatke.* Vladivostok, 1981. S. 107—144.
- [19] *Stepanova K. D.* Luga Kamchatskoj oblasti. Vladivostok: DVNC AN SSSR, 1985. 236 s.
- [20] *Xomentovskij P. A.* E'kologiya kedrovogo stlanika na Kamchatke. Vladivostok: Dal'nauka, 1995. 227 s.
- [21] *Shamshin V. A.* Kamennoberezovye lesa Kamchatki: biologiya, e'kologiya, stroenie drevostoev. M.: GEOS, 1999. 170 s.
- [22] *Belousov A., Belousova M., Edwards B. et al.* Overview of the precursors and dynamics of the 2012—13 basaltic fissure eruption of Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.06.013>
- [23] Monochromatic Lava Fields on Tolbachik Volcano. URL: http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/81000/81296/tolbachik_ali_2013157_lrg.jpg