

УДК 581.524.323.(571.645)

С.Ю. ГРИШИН, А.А. ОВСЯННИКОВ, П.А. ПЕРЕПЕЛКИНА

Возгорание древесной растительности и опасность лесных пожаров в ходе Толбачинского извержения (Камчатка, 2012–2013 гг.)

Приводится информация о возгорании леса при контакте с раскаленной лавой в ходе Толбачинского извержения (Камчатка) 2012–2013 г. Обсуждается реальная вероятность возникновения лесных пожаров при извержениях.

Ключевые слова: лавовые потоки, извержение 2012–2013 гг., экосистемы, лесные пожары, вулкан Толбачик, Камчатка.

Ignition of woody vegetation and the danger of forest fires in the Tolbachik eruption (Kamchatka, 2012–2013). S.Yu. GRISHIN (Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok), A.A. OVSYANNIKOV (Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky), P.A. PEREPELKINA (Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok).

The information on the ignitions of forest trees in contact with red-hot lava during the Tolbachik eruption (Kamchatka, 2012–2013) is published for the first time. A real chance of forest fires during volcanic eruptions is discussed.

Key words: lava flows, eruption 2012–2013, ecosystems, forest fires, Tolbachik volcano, Kamchatka.

Толбачинский дол – крупное (площадь около 900 км²) лавовое плато, сформировавшееся в голоцене [1, 3]. Мощное эруптивное событие – Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) – произошло здесь в 1975–1976 гг. [1]. Новое крупное 10-месячное извержение в северной части Толбачинского дола в 2012–2013 гг. привело к перекрытию огромной площади (около 36 км²) лавовыми потоками [6]. В ходе этого события раскаленные массы лавы залили высокогорную зону и вторглись в подгольцовый и лесной пояса. Конечная точка лавового потока достигла высоты около 300 м над ур. м.; поток прошел через стланиковую и лесную растительность, включая массивы хвойного леса из лиственницы. 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 древесных растений фактически не был у нас описан, специфика его последствий почти неизвестна. В данном сообщении кратко рассмотрены имеющиеся данные о поражении лесной растительности движущейся лавой. Магматический вулканизм считают одной из природных причин пожаров, наряду с молниями и самовозгоранием торфа [13]. Так, крупные (до 15 км²) участки тропического леса неоднократно выгорали в ходе излияний лавовых потоков на Гавайских островах [15]. Российские СМИ в декабре 2012 г. неоднократно давали

*ГРИШИН Сергей Юрьевич – кандидат биологических наук, заведующий сектором, ПЕРЕПЕЛКИНА Полина Александровна – младший научный сотрудник (Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток), ОВСЯННИКОВ Александр Александрович – заместитель директора (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский). *E-mail: grishin@ibss.dvo.ru

сообщения об угрозе лесных пожаров; в данной публикации рассмотрена реальность этой угрозы.

Летом 2013 г. мы обследовали часть бортов потока Ленинградский (суммарно на протяжении около 3 км) непосредственно в полевых условиях [6]. Один из авторов (А.А. Овсянников) посетил язык этого лавового потока 10 декабря 2012 г. – в финальный период его продвижения. Все остальные участки контакта лавовых потоков с лесной и стланиковой растительностью были обследованы по спутниковым снимкам. Просмотрены фото и видео, снятые очевидцами извержения, в том числе с вертолета. Изучены метеоданные в период извержения для станции Козыревск (ближайшей к району лавового потока).

Результаты и обсуждение

Особенности лавовых излияний. Извержение началось 27 ноября 2012 г. Лавовые потоки из двух центров, расположенных на высоте около 1900 и 1650 м, сразу устремились на юг и затем повернули на запад. Центры представляли собой радиальные трещины длиной в сотни метров [8].

Потоки из верхнего центра двигались только в первые дни извержения и к 1 декабря спустились до высоты около 700 м над ур. м. в русле ручья Водопадный, пройдя около 10 км. По названию этого ручья лавовое поле, сформировавшееся из напластований потоков, было названо вулканологами Водопадным [8, 14].

Из нижнего центра извержения потоки наиболее интенсивно вытекали в течение первых 2–3 недель. Они прошли 17,8 км, двигаясь сначала на юг через зону высокогорных вулканических пустынь. Затем повернули на запад и начали формировать лавовое поле Ленинградское (название дано по станции, испытывавшей на вулканических ландшафтах вездеходы для Луны; она была уничтожена лавой 2012 г.). Потоки пересекли полупустынный сниженный субальпийский пояс и затем глубоко внедрились в лесной пояс, пройдя в нем 8 км и достигнув высоты около 300 м над ур. м. В субальпийском поясе (в пределах 800–1100 м над ур. м.) ширина напластований потоков составила в среднем 1500 м, в лесном поясе (ниже 800 м над ур. м.) – от 300 до 1000 м. В высокогорной части дола (1100–1600 м над ур. м.) постепенно сформировалось обширное 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 лавой. В дальнейшем излияния происходили в виде перекрывания и наслаивания новых порций лавы, увеличивших мощность отложений потоков до нескольких десятков метров. От основных массивов потоков отходили также отдельные языки длиной 1–2 км, нередко пальчато-разветвлявшиеся.

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

Лава, по данным вулканологов [14], была представлена базальтами (содержание SiO_2 52–53 %), имела температуру на выходе более 1200 °С, а в районе языка, оценочно, – 700–850 °С. Лавовые поля Водопадное и Ленинградское представлены главным образом лавой аа (со шлаково-глыбовой поверхностью), тогда как Толудское поле в значительной мере сформировано лавой пахоевое (со сравнительно гладкой, иногда волнистой, поверхностью). Общий объем лавы извержения составил 0,54 км³ [8].

Растительность субальпийского и лесного поясов. Ранее, обследовав район извержения и дешифрировав ситуацию после извержения на спутниковых снимках, мы выделили 6 основных категорий растительного покрова, перекрытого лавовыми потоками 2012–2013 гг. [6]. Основная часть территории, подвергнувшейся воздействию лавы, представляет собой вулканогенные ландшафты с разреженной растительностью; их совокупная

площадь превышает 20 км². Древесная растительность, наиболее продуктивный компонент растительного покрова Толбачинского дола, была погребена лавовыми потоками на площади около 8 км². Кратко охарактеризуем древесную растительность описываемого района.

Субальпийские стланики и луга. Представлены зарослями ольхового *Alnus fruticosa* и кедрового *Pinus pumila* 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 березы каменной и их участков на верхнем пределе леса. Заросли ольховника обычно крупнее и выше кедрового стланика (3–5 и 2–3 м соответственно).

Леса из березы каменной Betula ermanii (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. В древостое встречаются лиственница, рябина, древовидные ивы. В подлеске, покрывающем 50–80 % площади, господствует ольховый стланик, в меньшей степени – кедровый стланик, а также кустарники (жимолист, смородина, таволга, шиповник, голубика). При мощности отложений тефры 25 см в 1975 г. погибло большинство деревьев березы, а лиственница уцелела [7].

Леса (ниже 600 м) и редины (в пределах 600–900 м над ур. м.) из лиственницы Larix cajanderi. Редины встречаются в верхней части лесного пояса; высота стволов лиственницы там не превышает 15–20 м. Ниже лиственница образует сомкнутый лес, в котором высота стволов достигает 25–30 м, а диаметр на высоте груди – 40–60 см. Подлесок разрежен, в нем встречаются куртины кедрового и ольхового стлаников и кустарники (жимолист, 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.

Особенности контакта лавовых потоков с древесной растительностью. Выявлено, что вторжение лавы в лесной пояс вызвало безусловно разрушительные последствия. Фото и видео очевидцев показали, что фронт движущегося потока 1–2 декабря 2012 г. имел высоту ~3–7 м, лава фронтальной стороны была красной, обваливалась камнями и глыбами размером до ~1 м в поперечнике. Снега было относительно немного, он таял 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 происходило выпаривание влаги, а также выгорание и пиролиз древесины (см. ниже); и над поверхностью потока в лесной зоне отмечалось огромное количество струй белых «дымков».

Было выявлено, что поток, двигаясь в лесном поясе достаточно быстро (по спутниковым снимкам определено, что 1–3 декабря 2012 г. фронт потока смещался со скоростью около 50 м/ч, после 5 декабря скорость упала, видимо, до 2–5 м/ч, к 10 декабря поток фактически остановился – скорость оценена 2–5 м/сут), накреньял, ломал и погребал крупные деревья. В то же время лава проявляла свойства пластичности, обволакивая стволы деревьев. В начале надвигания красной лавы, рассыпающейся и обваливающейся на фронте, крупные стволы стояли до определенного времени вертикально, при этом вспыхивала кора в нижней части дерева (рис. 1, 2, см. с. 2 обложки). Затем дерево накреньялось по ходу потока (рис. 3, см. с. 2 обложки) 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. Один из авторов (А.А. Овсянников) отметил 10 декабря, что местами перегорали комли деревьев. Их стволы валялись либо на поверхность лавового потока, либо на землю перед потоком. Перегорания у комля были при прямом контакте лавы с

деревом. Некоторые деревья, перегорая у комля, падали на поверхность потока, где под действием высокой температуры подсыхали и загорались (но, как правило, не сгорали полностью). Основную же массу деревьев поток просто валил. Крупные стволы либо сразу вовлекались внутрь лавового потока, либо перемещались вместе с агломератовой мантией, которая осыпалась на фронте, и в конечном итоге также погребались потоком.

Видеосъемка, выполненная наблюдателями 1, 2 и 5 декабря, когда поток активно наступал на хвойный лес, показала, что лес не горит; горят только те деревья, которые начинает погребать лава. То же сообщали и другие очевидцы, посетившие поток в период 1–17 декабря 2012 г.

Состояние деревьев на контакте с остановившейся лавой Ленинградский было изучено более подробно в августе 2014 г. На высоте около 580 м мы провели учет в полосе длиной 330 м вдоль фронта остановившегося лавового потока (новые порции лавы, дойдя до данного места, отвернули в сторону, на северо-запад, и далее двигались вниз, на запад). Высота борта здесь составляет около 10–12 м, крутизна ~ 50°. Борт потока перекрыт осypью из лавовых глыб, обломков и мелкообломочного материала (рис. 4). Локально, в местах крутого изгиба бортов, образовались участки нагромождения лавовых глыб. Произведен сплошной пересчет стволов лиственницы, контактировавших с лавой. При пересчете отмечались диаметр и высота ствола, жизненное состояние, степень повреждения, угол наклона ствола и степень погребения основания ствола обломочным материалом. Подножия деревьев были погребены лавовой осypью и глыбами, большая часть стволов накрена, часть опалена. Некоторые были переломлены или перегорели в комле. Выявлено, что в большинстве случаев (73,3 %) контакт с лавой вызвал гибель деревьев. Большинство погибших деревьев сильно повреждены механически, но лишь четверть из всех учтенных (23,8 %) имеют признаки термического воздействия – опал коры и древесины, перегоревший ствол.

Лавовым потоком Ленинградский, глубоко внедрившимся в лесной пояс, был погребен огромный объем древесной и растительной массы. Это стволы и кроны деревьев, подлесок и подрост, 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, корневые



Рис. 4. Изучение контакта лавы и лиственничного леса. Август 2014 г. Фото С. Гришина

системы деревьев, корневища и корни травянистых, кустарничковых растений и кустарников, а также органика погребенной почвы. По нашей приблизительной оценке, совокупный объем древесной и растительной массы, погребенной только потоком Ленинградский в лесной зоне на площади около 6 км², составил ~150 000 м³.

Древесно-растительная масса, перекрытая раскаленной толщей, в анаэробных условиях при температуре 200–450 °С подвергалась пиролизу и продуцировала метан. Выделяющийся метан аккумулировался в замкнутых полостях и трещинах внутри лавы. Вследствие больших объемов растительно-древесной массы в отдельных полостях возникало высокое давление газа, периодически приводящее к его прорывам. Газ уходил под давлением по трещинам старой подстилающей лавы за пределы нового потока и при достижении необходимой температуры (537 °С) воспламенялся на выходе из трещин, в результате чего возникали и действовали вертикальные факелы. В ходе извержения в декабре 2012 г. пламя на разных участках наблюдали свидетели, 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 – 1–2 м, глубина – до 0,5 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 ольховника толщиной до 3 см и оснований стволов диаметром до 10–15 см, пламя должно было опаливать промерзшую 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.

Причины отсутствия лесных пожаров. Несмотря на ряд сообщений в СМИ о лесных пожарах в зоне наступления лавовых потоков, в действительности пожаров в лесу (в том числе хвойном) не было. Причины этого можно объединить в три группы:

1. Обусловленные погодными ограничениями:

отрицательная температура воздуха и, соответственно, самих древесных растений. Это существенный момент, так как для воспламенения древесины ее поверхность должна прогреться до ~250 °С. С 12 декабря температура воздуха резко упала (в пос. Козыревск значения вечером 14.12.2012 г. достигали –26 °С, у потока, по измерению очевидцев, –38 °С). Тепловое излучение от красной лавы, имеющей температуру ~700–850 °С, субъективно ощущалось на расстоянии не более 2–3 м, т.е. возгорание через излучение почти не происходило;

снеговой покров мощностью 20–30 см (в Козыревске в период 1–15 декабря средняя мощность снегового покрова составляла 23 см) покрывал наиболее горючий материал. Поскольку снег плавился при контакте с лавой, подстилка на фронте лавового потока напитывалась талой водой и не загоралась;

отсутствие сильного ветра в последних числах ноября и в течение всего декабря (по данным метеостанции «Козыревск», средняя скорость ветра была 3,2 м/с, хотя в период прохождения лавы по лесу (2–5 декабря) отмечались порывы ветра до 10–20 м/с);

высокая относительная влажность воздуха – в период 1–15 декабря в среднем 85 %; отдельные замеры 2 и 4 декабря показали 100 %.

2. Связанные с типом лавы, расстоянием от эффузивного центра и т.п.:

быстрое остывание бортов лавового потока. Начиная с 5 декабря люди взбирались на стабилизированный борт лавового потока (в районе, где поток пересек дорогу, ведущую на Толбачик) и ходили по его верхней части (в то время как под этой поверхностью двигалась раскаленная лава), а второго января 2013 г. в этом месте на бортах и поверхности потока лежал снег;

тип лавы. По лесу двигалась вязкая аа-лава, перекрытая сверху и снизу чехлом обломочного материала, обваливающегося на фронте. Этот чехол в определенной мере служил барьером для возгорания;

скорость движения лавы в лесу была относительно невысокой – менее 1 м в минуту. Видео, снятое на вулканах Гавайских островов, показывает, что более пластичная лава, но растекающаяся с более высокой скоростью, гораздо эффективнее поджигает древесную растительность;

от расстояния, которое прошла лава, по-видимому, зависели тип лавы, ее вязкость, скорость движения и температура фронтальной части. К окончанию продвижения фронта терминальной части потока он был перекрыт обломочным материалом, а температура красной лавы была, по оценке А.А. Овсянникова, 700–850 °С, т.е. заметно снизилась.

3. Связанные со свойствами самой растительности:

преобладание на значительной части лесной территории, погребенной лавой, разреженных древостоев, редин и пустошей;

значительное участие вторичных лесов с участием березы белой, а в верхней части лесного пояса – с участием березы каменной; лиственные леса, как известно, заметно устойчивее к действию огня;

относительное обилие ольховника, преобладающего над зарослями единственного в этом районе вечнозеленого хвойного растения – кедрового стланика; отметим, что ольховник на Камчатке рекомендуют сажать в качестве противопожарных кулис [9];

отсутствие ели в древостое этой части Толбачинского дола (она распространена к югу от Северного прорыва БТТИ);

преобладание в древостое весьма устойчивой к пожарам лиственницы, к тому же лишенной хвои. Кора камчатской лиственницы может достигать в комле (у основания ствола) толщины 27 см и хорошо защищает деревья от пожаров, особенно низовых [10].

Заключение

Таким образом, возгорания хвойного леса в 2012 г. не происходили. 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 возгорания в ходе БТТИ были заметно выше (летний период, отсутствие снега, большее участие хвойных в растительном покрове юго-западной части Толбачинского дола, более длительный период истекания лавовых потоков). Существенны также засушливые условия района Южного прорыва БТТИ. По данным В.Н. Виноградова [2], 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, далее возгорания от лавы не отмечались [1].

Отметим, что лавовые потоки на Камчатке уничтожали не только хвойные, но и лиственные 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 ранее одним из авторов (С.Ю. Гришиным). 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 (одного 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» [12, с. 392].

Для возникновения низового лесного пожара нужна комбинация определенных условий: бесснежный период, сильный прогрев воздуха и иссушение подстилки, опада, мхово-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. Крашенинникова [11]), судя по описанным выше ограничениям, в целом весьма маловероятен. Тем не менее можно полагать, что при совпадении соответствующих условий пожары в хвойных лесах Камчатки в ходе извержения потенциально могут возникнуть как в районе Толбачинского дола (источник возгорания – лава, бомбопады), так и в районе влк. Шивелуч (пирокластические потоки и волны). В связи с этим надо оценивать риски сохранения леса, а также разумно планировать как лесоохранные, так и лесовосстановительные мероприятия. Так, летом 2014 г. мы обнаружили молодые посадки особо пожароопасных хвойных (сосна) в районе схода раскаленных пирокластических потоков в долине р. Байдарная (Шивелуч). Такого рода уязвимые массивы леса будут находиться под угрозой возгорания или гибели от теплового воздействия и погребения высокотемпературным материалом, как это произошло в этом районе с ельниками в 2005 г. [4, 5].

Благодарим очевидцев извержения за фото, видео и информацию о своих наблюдениях, а коллег М.Г. и А.Б. Белоусовых, Ю.В. Демянчука, М.Е. Зеленского, Д.В. Мельникова также за обсуждение разных аспектов извержения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большое трещинное Толбачинское извержение (1975–1976 гг., Камчатка) / под ред. С.А. Федотова. М.: Наука, 1984. 638 с.
2. Виноградов В.Н. Современное оледенение районов активного вулканизма Камчатки. М.: Наука, 1975. 103 с.
3. Гришин С.Ю. Сукцессии подгольцовой растительности на лавовых потоках Толбачинского дола // Ботан. журн. 1992. № 1. С. 92–100.
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. Гибель леса на вулкане Шивелуч под воздействием палящей пирокластической волны (Камчатка, 2005 г.) // Экология. 2009. № 2. С. 158–160.
6. Гришин С.Ю., Кочачкова И.В., Тимофеева Я.О. и др. Экспедиция в район Толбачинского извержения (Камчатка, август 2013) // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 5. С. 173–178.
7. Гришин С.Ю., Крестов П.В., Верхолат В.П., Шляхов С.А., Яковлева А.Н., Якубов В.В. Динамика растительного покрова Толбачинского дола (Камчатка) в течение последних десятилетий // Комаровские чтения. Владивосток, 2013. Вып. 61. С. 119–158.
8. 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.
9. Елагин И.Н. Заросли ольхового стланика на Камчатке // Леса Камчатки и их лесохозяйственное значение. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 313–323.
10. Кабанов Н.Е. Типы лиственных лесов Камчатки // Леса Камчатки и их лесохозяйственное значение. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 12–125.
11. Крашенинников С.П. Описание земли Камчатки. М.; Л.: Изд-во Главсевморпути, 1949. 545 с.
12. Новограбленов П.Т. Извержение Пацана и Фанни на Камчатке // Изв. Гос. геогр. о-ва. 1933. Т. 65, вып. 5. С. 387–401.
13. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы и исследования. Херсон: Гринь Д.С., 2011. 470 с.
14. 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. Vol. 299. P. 19–34. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2015.04.009.
15. Eruptions and fires. Hawaiian Volcano Observatory. – http://hvo.wr.usgs.gov/volcanowatch/archive/2002/02_06_06.html (дата обращения: 2.09.2015).

К статье С.Ю. Гришина, А.А. Овсянникова, П.А. Перепелкиной
«Возгорание древесной растительности и опасность лесных пожаров
в ходе Толбачинского извержения (Камчатка, 2012–2013 гг.)»



Рис. 1. Кора молодых берез вспыхивает перед фронтом потока, на участке максимального теплового излучения (центр снимка), но у погребяемых березок (справа и слева от центра) возгорания едва выражены. 2 декабря 2015 г. Фото И. Полуэктова



Рис. 2. Береза загоралась редко, стволы при погребении лавой обычно перегорали в комле. Декабрь 2012 г. Фото Е. Сафоновой →



Рис. 3. Возгорание лиственниц. В центре виден ствол, наклоняемый потоком. Декабрь 2012 г. Фото Е. Сафоновой