

- [21] Chislennost' postoyannogo naseleniya v razreze municipal'nyh obrazovaniy Leningradskoj oblasti po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2017 goda. Oficial'nyj sajt Upravleniya federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Sankt-Peterburgu i Leningradskoj oblasti. http://petrostat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/petrostat.ru/statistics/Leningradskaya_area/population/ (data obrashcheniya 30.05.2017 g.).
- [22] *Atkinson G., Duburg R., Pearce D. and others.* Measuring sustainable development: macroeconomics and the environment. Edvard Elgar Publishing, UK, 1997.
- [23] *Bossel H.* Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications. A Report to the Balaton Group. International Institut for Sustainable Development. Winnipeg, Manitoba, Canada, 1999.
- [24] *Hamilton K.* Genuine Savings as a Sustainable Indicator. The World Bank, Washington DC, 2000.
- [25] *Pearce D., Atkinson G.* Capital Theory and the Measurement of Sustainable Development: An Indicator of «Weak» Sustainability. Ecological Economics. 1993. Vol. 8. N 2. P. 103—108.
- [26] The changing wealth of nations: measuring sustainable development in the new millennium. The World Bank, Washington DC, 2011.
- [27] *Venables A. J.* Spatial disparities in developing countries: Cities, regions, and international trade // Journal of Economic Geography. 2005. Vol. 5, Is. 1. P. 3—21.
- [28] *Vernon Henderson J. A., Shalizi Z. B., Venables A. J.* Geography and development // Journal of Economic Geography. 2001. Vol. 1. Is. 1. P. 81—105.
- [29] World Bank. 2009. World Development Report 2009: Reshaping Economic Geography.

Изв. РГО. 2017. Т. 149, вып. 6

ИЗЛИЯНИЕ ЛАВОВЫХ ПОТОКОВ НА КАМЧАТКЕ В XX И НАЧАЛЕ XXI ВЕКА: МАСШТАБЫ И ГЛУБИНА ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ

© **С. Ю. ГРИШИН**

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток
E-mail: grishin@ibss.dvo.ru, alaid@bk.ru

Рассматриваются лавовые потоки, излившиеся в течение последнего столетия в шести вулканических районах Камчатки. Потоки и поля лавы перекрыли территорию около 125 км²; в наибольшей степени были перекрыты высокогорные лавово-шлаковые пустоши, сформировавшиеся во время предыдущих извержений (около 77 км²). Потоками были уничтожены леса на площади около 28 км² (половина из них — хвойные, а другая половина — из березы каменной), а также около 20 км² субальпийских зарослей ольхового и кедрового стлаников и лугов. Максимальные площади излияний базальтовых лав произошли в районе Толбачинского дола (в сумме 85 км²) и на склонах вулкана Ключевской (35 км²). Андезизбазальтовые потоки вулканов Карымский и Кизимен разрушили экосистемы склонов вулканов на небольших площадях, а короткие андезитовые потоки на активных куполах вулканов Шивелуч и Безымянный вызывали только опосредованные разрушения, нередко на значительном удалении от центров извержений (через сход пирокластических потоков и обрушения частей купола). Лесные пожары в период извержений не зафиксированы, но потенциально в районах хвойных лесов они возможны. Становление лесной растительности на лаве происходит в течение крайне длительного периода (до 2000 лет), пеплопады в этот период могут ускорять или замедлять ход течения сукцессии.

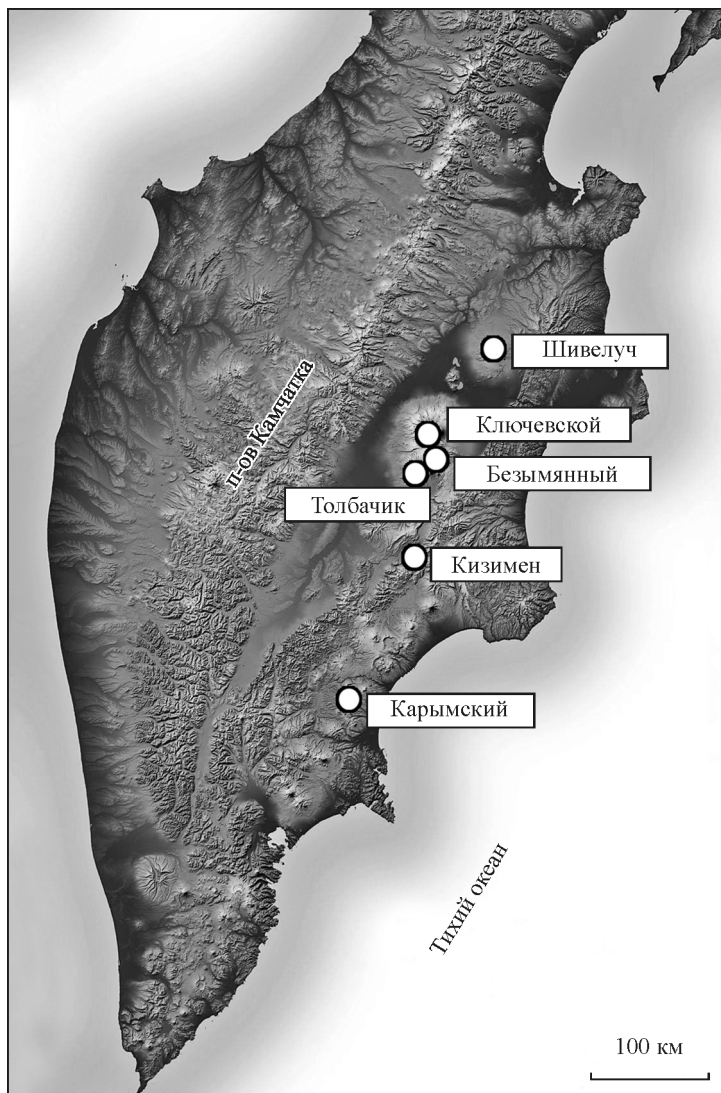
Ключевые слова: вулканы, извержение, лавовый поток, экосистемы, растительность, погребение, пожары, сукцессии, Камчатка.

Введение. В минувшее столетие на Камчатке произошла серия вулканических извержений, в ходе которых излияния лавы перекрыли значительные территории, уничтожив экосистемы высокогорий, субальпийского и лесного поясов. Сукцессии на лаве в условиях Севера — крайне медленнотекущие процессы [5]. Излияния лав, таким образом, не только уничтожают существующие экосистемы, но и надолго (на столетия и тысячелетия) превращают территории лавовых покровов в почти безжизненные бедленды. В данной статье кратко рассмотрены извержения последнего столетия на Камчатке, вызвавшие поражение экосистем лавовыми потоками, разнообразие погибших экосистем, масштабы поражения, угрозы лесных пожаров при излияниях высокотемпературных масс лавы, начало сукцессий на лаве.

Лавовые излияния являются существенной частью протекающих извержений, и нередко составляют их основу. Базальтовые лавы извергали два вулкана с максимальной продуктивностью — Ключевской и Толбачинский дол, андезибазальтовые, андезитовые и дацитовые — Кизимен и Карымский, андезитовые — Шивелуч и Безымянный. Из перечисленных пород базальты отличаются наименьшей вязкостью, они пластичны, текучи, могут двигаться с относительно высокой скоростью, благодаря этому потоки проходят по склонам вулканов максимальные расстояния — до двух десятков километров. Извергнутый объем лавы в ходе разных извержений зависит от мощности магматического очага. Мощность потоков варьирует от долей метра до первых десятков метров. Иногда образуются мощные напластования лавы — до 60—80 м. Андезитовые потоки обычно очень вязкие, короткие (десятки или первые сотни метров) и очень мощные (иногда до 100—200 м). Центрами излияний являлись вершинные кратеры, боковые прорывы на склонах вулканов, а также районы трещинных излияний, находящиеся на вулканическом плато на значительном расстоянии от ближайших активных вулканов. Зачастую лавовые потоки располагаются в обширном диапазоне высотно-климатических условий (при этом эффузивный центр находится в высокогорной зоне каменных пустынь или ледников, а язык потока достигает пояса хвойного леса).

В 1983—2015 гг. автор провел полевое изучение экосистем районов описываемых вулканов (кроме вулкана Кизимен) (см. рисунок). Обследованы все описанные ниже потоки вулканов Ключевской и Толбачинский дол, частично — вулкана Карымский. В ходе двух извержений удалось наблюдать движущиеся лавовые потоки, находясь в непосредственной близости от лавы на вулканах Карымском (1997 г.) и Толбачинском прорыве (2013 г.). Детальное представление о расположении, размерах, высотных отметках потоков получено при анализе аэрофото- и спутниковых снимков. Были определены пионеры зарастания начального этапа на потоках XX в., а также параметры экотопов и доминанты растительности последующих стадий сукцессии (на потоках, имеющих возраст сотни и тысячи лет). В данной статье рассматриваются лавовые потоки, вторгшиеся в «зону жизни» — как правило, это территории ниже 2000 м над ур. м. (поэтому у Ключевского, крупнейшего вулкана региона, рассмотрены потоки только боковых прорывов, а небольшие потоки активных куполов Шивелуча и Безымянного лишь кратко упоминаются).

Природные условия. *Расположение вулканов.* Излияния произошли на шести вулканах, один из которых находится в восточной части Камчатки (вулкан Карымский), а остальные пять — в центральной части Камчатки.



Районы исследований (обозначены и подписаны вулканы).

Шивелуч (56.6° с. ш.) — наиболее северный действующий вулкан в дуге Японские острова—Курилы—Камчатка. В северной группе вулканов Камчатки, наряду с Шивелучем, находятся еще три крупных вулканических образования — Ключевской, Толбачинский дол и Безымянный, которые дали серию лавовых излияний за минувшие сто лет. Особняком находится вулкан Кизимен, расположенный в отрогах хребта Тумрок. Вулкан Карымский, наиболее южный из данной серии, находится к югу от Шивелуча на расстоянии около 300 км. Вулканы северной группы расположены от побережья Тихого океана на расстоянии 77—97 км, Кизимен — 72, Карымский — 32 км.

Климат. Климат центральной Камчатки, в которой находятся Шивелуч и Ключевская группа вулканов, нередко сравнивают с континентальным климатом Средней Сибири [20]. По сравнению с побережьями Камчатки в цент-

ральной части полуострова отмечаются большая амплитуда годовых температур, меньшее количество осадков, более низкие среднегодовая температура и влажность воздуха. Имеющиеся данные по климату Ключевской группы вулканов показывают увеличение степени континентальности к юго-западной части (Толбачинский дол), тогда как для склонов вулканов Ключевской и Безымянный, ориентированных на восток, характерны некоторые черты климата восточной Камчатки [6]. Приокеаническое положение восточной Камчатки определяет мягкость климата, высокую степень избыточного увлажнения, но очень низкую теплообеспеченность. Климат в целом типично морской — с относительно мягкой зимой и холодным летом. Характерные черты климата — преобладание зимних осадков и мощный снеговой покров, стаивающий в основном лишь к июлю. Летом отмечаются высокая влажность воздуха, низкая облачность, частые туманы и дожди. Условия района вулкана Карымского несколько суровее условий побережья, учитывая его высотное положение (выше 600 м над ур. м.) и некоторое удаление от океана.

Растительность. Хвойные леса из ели *Picea ajanensis* и лиственницы *Larix cajanderi* встречаются лишь в районах вулканов Толбачик (Толбачинский дол) и Шивелуч. В обоих районах доминируют лиственничники, а ельники встречаются массивами или участками, как правило до 500 м над ур. м. Верхнюю границу леса на этих вулканах образует полоса лесов из березы каменной *Betula ermanii*, а местами — лиственничные редколесья, чередующиеся со стланиками. В ненарушенных вулканизмом территориях граница леса достигает высоты 900—1000 м. На остальных четырех вулканах лесной пояс складывается только лиственными лесами, преимущественно из березы каменной; граница леса при этом снижается до 500—700 м. Выше, до 900—1100 м, может быть выражен стланиковый пояс из ольхового (*Alnus fruticosa*) и в меньшей степени кедрового стланика (*Pinus pumila*), а также лугов. В районах активного вулканизма структура высотной поясности сильно искажена. Так, поверхность Толбачинского дола на значительном протяжении образована лавовыми потоками, спускающимися местами до 200 м, серийная растительность на этих потоках почти не дифференцирована на высотные полосы. Выше 1000 м на активных вулканах преобладают, как правило, вулканогенные «полупустыни» с разреженной кустарничково-травяной растительностью. В районе вулкана Карымский в условиях низкогогорного рельефа (преобладающие высоты 600—1200 м над ур. м.) господствуют субальпийская растительность на склонах и болотно-ивняковые комплексы в долинах рек, сочетающиеся с инверсионными тундрами на сухих местообитаниях.

Новейшие лавовые потоки вулканов Камчатки. Ключевской — крупнейший (высота 4688 м) вулкан Евразии, молодой стратовулкан с рекордной продуктивностью. Среднегодовой вынос вещества составляет 60 млн т — это половина всех вулканитов Курило-Камчатского региона [18]. На склонах вулкана располагаются около 100 побочных прорывов, образовавшихся за последние 4 тыс. лет. Из них излились лавовые потоки, которые образуют сплошные разновозрастные покровы в высотном интервале 1500—500 м. Ювенильные материалы вулкана представлены в основном магнезиальными и глиноземистыми базальтами [18]. За период наблюдений (с 1697 г.) вулкан извергался из центрального кратера десятки раз. Извержения центрального кратера были эксплозивными или эффузивно-эксплозивными, т. е. происходили преимущественно в виде выбросов раскаленной тефры (совокупность пепла, шлака, лапилли и бомб), в меньшей степени — в виде лавовых излия-

ний. За период 1932—1987 гг. на склонах вулкана произошло 12 побочных извержений. Они были эффузивными или эксплозивно-эффузивными, среди продуктов извержений преобладала лава. Суммарный объем лавы составил 0.76 км³, она покрыла площадь более 35 км², протягиваясь потоками длиной от 1 до 12 км; их средняя мощность составила 15—25 м [18]. Они относятся к крупноглыбовым и шлакоглыбовым лавам типа «аа». Типичный прорыв являет собой шлаковый конус (или серию конусов и кратеров), лавовый поток, вытекший из конуса, и локальную территорию вокруг конуса, перекрытую тефрой данного извержения. Перечислим прорывы, потоки которых наиболее существенно воздействовали на экосистемы.

Прорыв Туйла. В течение 1932 г. на верхней границе леса (около 500 м над ур. м.) один за другим образовались три конуса, достигавших до 50 м в высоту и 160 м в диаметре. Тефра разлеталась в радиусе 1—2 км в виде вулканического шлака, песка, лапилли и бомб. После эксплозивного этапа у каждого прорыва начинался эффузивный: три излившихся потока лавы имели длину до 4 км, суммарная площадь их составила 4.1 км². Объем тефры составил 6 млн м³, лавы — 90 млн м³ [18]. *Прорыв Билюкай* — нижний из серии кратеров извержения 1938 г. Извержение происходило в течение целого года. Шлаковый конус высотой 200 м расположен на высоте 900 м. Из него излился мощный лавовый поток длиной 12 км и шириной от нескольких сотен метров до 1—2 км, который пересек субальпийский пояс и глубоко проник в каменноберезовый лес [23]. *Юбилейный прорыв* — серия кратеров, нижний из которых — кратер Заварицкого — образовался в 1945 г. на высоте 1200 м. Из этого кратера излился лавовый поток длиной около 5.1 км, при ширине 500—600 м, который достиг субальпийского пояса на высоте около 800 м [29]. *Прорыв Анахончич* произошел на высоте 1600 м в 1946 г. Лавовый поток длиной 12 км достиг верхней границы леса на высоте 740 м. *Прорыв Былинкиной* — в ноябре 1951 г. на высоте 900 м образовался шлаковый конус и относительно небольшой (площадь 0.5 км²) поток глыбистой лавы. Объем тефры составил 2.5 млн м³, лавы — 10 млн м³ [28]. *Прорыв Пийпа* — в 1966 г. на высоте около 2000 м образовался ряд взрывных кратеров; из нижних вытек мощный поток площадью 4.7 км², который достиг субальпийского пояса. Объем тефры составил 10 млн м³, лавы — 90 млн м³ [18].

Лавовыми потоками группы Туйла оказались залиты территории, покрытые главным образом лесами из березы каменной, а также субальпийские стланики и луга. Пожаров при этом также не было зафиксировано. Очевидец летом 1932 г. наблюдал, как лавовый поток Киргурича, «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» [25, с. 392]. На лаве Туйлы в 1988 г. было отмечено небольшое количество поселившихся растений (иван-чай узколистный *Chamaenerian angustifolium*, камнеломка *Saxifraga chlerlerioides*, тополь, ольховник). Растения селились в трещинах и полостях, где скапливался мелкозем, древесный мусор и другая органика, имелся доступ к местам аккумуляции влаги. Распределение растений на лаве было редким и случайным [7]. Изучение спутниковых снимков последних лет показало, что р. Крутенькая, пробившая русло по поверхности потока Киргурич, своими наносами на поверхности лавы создала условия для заселения травяной и кустарниковой растительностью, включая, вероятно, ольховник и ивы. Контуры почти сомкнутой растительности, состоящей, вероятно, из куртин кустарников, превысили в поперечнике 100 м.

Поверхность соседних потоков Туйла и Биокось на тех же спутниковых снимках выглядит безжизненной.

Краткая характеристика поверхности лавы и начала ее зарастания потоков Билукай, Былинкиной и Пийпа дана в работе [10]. Из имеющихся наблюдений следует, что для лавовых потоков Ключевского характерны быстрое перекрытие вулканитами неоднородностей нано- и микрорельефа, накопление мелкозема в трещинах и микродепрессиях на лаве. Через 50—60 лет после образования лавовых потоков наблюдаются образование прослоя мелкозема на лаве, захват поверхности лавы лишайниками и мхами. Отмечается случайный характер расселения сосудистых растений, в первую очередь злаков, преимущественно на мелкоземе. Единично встречены и древесные растения, они небольшие — субстрат для них явно не готов. Заметны различия в скорости накопления мелкозема, особенно в северо-восточном и юго-восточном секторах вулкана; в последнем он значительно выше, что связано, видимо, с активностью вулкана Безымянный начиная с 1955 г. и, возможно, интенсивным переносом вулканического пепла во время пылевых бурь выше границы растительности. Периодические отложения тефры Ключевского (например, в 1911(?), 1938, 1994 гг.) также существенно изменили ситуацию в высотных зонах, соответствующих альпийскому и субальпийскому поясам [10].

Толбачик. Толбачинский дол — обширное голоценовое лавовое плато площадью около 900 км². Безлесная поверхность дола плавно понижается от вулкана Толбачик на юго-восток приблизительно от 1800 до 200 м, а местами и ниже. Растительность дола весьма гетерогенна, что связано с разнородными вулканическими образованиями, формирующими поверхность дола. В основном это лавовые потоки разного возраста — от раннеголоценовых до современных, поля аккумуляции тефры, а также шлаковые конусы. Детальное изучение генезиса дола и возраста лавовых потоков проведено методом тефрохронологии [1, 3].

Извержение 1941 г. В мае 1941 г. на южном склоне вулкана Плоский Толбачик, на высоте около 2000 м образовался шлаковый конус. В течение недели было выброшено около 12 млн м³ тефры. Излившиеся на расстояние 5 км лавовые потоки имели объем около 14,4 млн м³ [27], площадь — около 4 км².

Извержение 1975—1976 гг. Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) стало крупнейшим базальтовым извержением последних столетий в Курило-Камчатском регионе. Оно протекало с 6 июля 1975 г. по 10 декабря 1976 г.

Извержение началось в 18 км к юго-западу от кратера активного вулкана Плоский Толбачик, центр его находился на высоте около 900 м над ур. м., в высотной полосе субальпийского пояса. В результате извержения было выброшено 0,7 км³ базальтовой тефры, которая покрыла территорию площадью 470 км² слоем мощностью 10 см и более. Образовались также 3 шлаковых конуса высотой до 300 м и излились лавовые потоки общей площадью около 9 км² [1]. После окончания этого извержения, которое получило название «Северный прорыв», в 10 км к югу от него, на высоте около 400 м возник второй центр — «Южный прорыв». Последнее извержение было преимущественно эффузивным; из изверженных пород преобладала лава, покрывшая территорию около 36 км².

Лавы Северного прорыва изливались в течение полутора месяцев, в виде комплекса из 15 потоков, сформировавших лавовое поле площадью около

9 км². Потоки двигались от осевой части Толбачинского дола на высоте 900—1000 м на запад до высоты 390 м. Если в верхней части своего пути они почти не задели сомкнутую древесную растительность, то в нижней части — глубоко вторглись в лесной пояс. Возгорания деревьев и кустарников в разгар лета 1975 г. случались неоднократно, но лава Северного прорыва БТТИ поджигала деревья лишь на определенном расстоянии от эффузивного центра, а далее возгорания не отмечались [1]. При этом лесных пожаров не возникало. Вулканологи отметили, что «на поверхности лавы часто наблюдались зеленовато-голубые вспышки и горящие факелы. Возможно, это сгорали остатки растительности, захваченные лавой, или газ, выделявшийся из лавовых карманов и полостей в лавовом потоке». Однако растительность, как известно, не горит зеленовато-голубыми вспышками или факелами. Проведенное автором небольшое исследование у борта лавового потока 2012—2013 гг., где были обнаружены взрывные воронки и следы горения, позволило выяснить [12], что выгорал метан, образующийся в ходе пиролиза погребенной древесины; он же был причиной взрывов, взламывающих поверхность лавы.

Лавовые потоки Северного прорыва существенно различаются по размерам, сложению и мощности толщи. Крупнейший поток имеет крутые и высокие фронт и борта (до 50 м высотой), сложенные угловатыми глыбами красновато-бурого цвета, частично перекрытые осыпью из мелкообломочного материала. Автор пересек этот поток в его нижней части в 1985 г. и обнаружил незавершившиеся поствулканические процессы, о которых свидетельствовали тепловое излучение, запах вулканических газов, неустойчивость поверхности. Тем не менее на потоке были обнаружены единичные сосудистые растения [5]. Двадцать лет спустя, в 2005 г., ситуация заметно изменилась, и на высоте 450 м были отмечены маленькие кустики кедрового стланика (до 0.2 м высотой) и подрост тополя (до 0.5 м высотой), а также миниатюрные (до 5 см в диаметре) латки мхов и лишайников.

Маломощные лавовые потоки (местами мощность застывшей лавы была менее 1 м) растекались с высокой скоростью (сотни м/час), обжигая и обугливая стволы деревьев. Перегоревшие стволы берез падали на остывающую и затвердевшую поверхность лавы и в таком виде сохранились по крайней мере до 1985 г., когда их наблюдал автор. К 2013 г. большинство из этих стволов превратились в древесную труху, а мелкоглыбистая лава маломощных потоков в значительной мере (до 70 % проективного покрытия) заросла мхами и лишайниками.

Разрушительное воздействие лавовых потоков на экосистемы усугублялось мощными пеплопадами, нанесшими основной ущерб растительности Толбачинского дола и погубившими растительность на площади около 100 км² [8, 9, 15].

Излияние лав Южного прорыва началось по окончании Северного прорыва, происходило 15 мес и было заметно иным по характеру. Лавы преобладавшего типа пахоехое постепенно, в течение 450 дней, покрыли обширную территорию (36 км² при средней мощности 27 м) в южной части дола. Судя по топокартам, как на Южном, так и на Северном прорыве потоками были перекрыты участки леса площадью по 3—4 км². Пеплопад здесь был значительно менее интенсивным, чем на Северном прорыве; растительность пострадала от него лишь локально, в пределах 2—3 км от центра извержения. По нашим наблюдениям 2006 и 2012 гг., на лаве Южного прорыва достаточ-

но успешно идет зарастание: растения осваивают в первую очередь трещины на плитах лав и пустоты между плитами, где аккумулируется мелкозем и стабильней режим влажности субстрата. Отмечены мхи, лишайники и сосудистые растения.

Извержение 2012—2013 гг. В конце ноября 2012 г. в северной части Толбачинского дола началось крупное вулканическое извержение, в результате которого произошло перекрытие лавовыми потоками обширной (десятки квадратных километров) территории дола. Лавовые потоки из двух трещинных центров извержения, расположенных на высоте 1900 и 1650 м, в первые дни устремились на юг и затем повернули на запад [32]. Из верхнего (северного) центра поток двигался только в первые дни извержения и к 1 декабря достиг высоты около 700 м над ур. м. в русле руч. Водопадный, пройдя примерно 10 км. Из нижнего центра извержения потоки особенно интенсивно вытекали в течение первых 2—3 недель. 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 ряду причин, в первую очередь 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 напластований потоков составила в среднем 1500 м, в лесном поясе (ниже 800 м) — от 300 до 1000 м.

В высокогорной части дола (1100—1600 м) 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 ней. В дальнейшем излияния проходили в виде перекрытия и наслаивания новых порций лавы, увеличивших мощность отложений потоков до 80 м.

После завершения первой стадии извержения (условно — до конца января 2012 г.) активность проявлялась лишь в северо-восточном секторе дола. Здесь во второй стадии извержения (первая половина 2013 г.) также сформировалось обширное поле лавы, длиной до 4 км и шириной до 3 км.

К июню 2013 г. территория, перекрытая лавовыми потоками, по измерениям автора на спутниковых снимках достигла ~ 35 км² [14]. В августе лавовые потоки по каналам-лавоводам, находящимся под твердым покровом застывшей лавы, проходили несколько километров вниз от зоны активного кратера и находили себе выходы на поверхность в виде выжимающихся «подушек» красной пластичной лавы. Температура ее, измеренная пирометром в одной из периферийных точек выхода лавы, составляла 650—700 °С. Лава выжималась небольшими порциями и медленно (около 1 м/ч) наступала на смежную территорию, выжигая и погребая под собой контактирующую с ней растительность. В сентябре 2013 г. извержение завершилось.

Обследовав в августе 2013 г. 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-кустарниковой растительностью с участием мхов и лишайников; 2) старые (возраст около 1000 лет) лавовые потоки конуса Клешня, с частично сформировавшейся травяно-кустарниковой растительностью, которые спускаются до вы-

соты 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 петрофитными 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.

Рельеф северной части дола резко и непоправимо изменился, растительный покров был уничтожен на большой площади, но фактически только на той, где он был 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. Массивов усохшей или поврежденной растительности, массовой гибели животных не наблюдалось. Более детальные наблюдения за воздействием лавовых потоков на природу северной части дола приведены в наших публикациях [12—14, 16].

Карымский. Вулкан Карымский представляет собой правильный конус (около 1500 м над ур. м., относительная высота около 700 м), расположенный в центре кальдеры диаметром около 5 км. Это один из активнейших вулканов Камчатки. Наиболее мощные извержения последнего времени были 400, 200—250 л. н. и в 1962—1981 гг. [2]. Изверженные материалы представлены андезитовой пирокластикой и лавами. Новейший эруптивный цикл, начатый в 1996 г., протекал в виде взрывных пеплово-газовых выбросов из центрального кратера, происходящих несколько раз в час, и лавовых потоков, очень медленно стекающих по склонам конуса [22, 24]. Собственно конус вулкана Карымский (1000—1500 м над у. м.) и нижележащие склоны в интервале 750—1000 м свободны от растительности. Лишь к нижней границе этого интервала появляются сначала разреженные, а потом смыкающиеся куртины ольховника и реже кустарниковой рябины, а также травянистые группировки [33]. Отсутствие растительности, очевидно, связано с высокой активностью вулкана: конус и прилегающие склоны перекрыты многочисленными лавовыми потоками, как историческими (XX в.), так и имеющими возраст 200—400 лет, а также пирокластикой исторических извержений [2].

Основная часть западного, северного и восточного склонов конуса перекрыта комплексом лавовых потоков, излившихся в период 1962—1980 гг. [18, т. II, рис. 123]. На основании северо-восточного склона выделяется нижняя часть обширного потока, излившегося в 1908 г. В ходе последнего извержения, начавшегося в 1996 г., комплекс потоков перекрыл юго-западный сектор вулкана, образовав обширное поле [24, рис. 5.47]. Один из потоков, крайне медленно двигавшийся по склону, автор наблюдал в непосредственной бли-

зости в 1997 г. Движение опознавалось лишь по потрескиваниям и эпизодическим обрушениям обломочного материала на бортах потока. Тепловое излучение на расстоянии 2 м от борта почти не ощущалось.

Эксплозивно-эффузивные извержения Карымского за последние полвека имели характер стромболианской активности [24]. Постоянные пеплопады, эпизодические пирокластические потоки, а также пылевые смерчи на склонах конуса повреждают растительность. Несомкнутая травяно-кустарничковая растительность, описанная в 1996 г. на юго-восточном склоне на высоте 750—1000 м, была заметно угнетена: листья пожелтели, перфорированы, усыхали. В результате растительность отсутствует на конусе, и лавовые потоки последних десятилетий почти не причастны к ее уничтожению.

В целом, судя по схеме [24], лавовые потоки 1996—2000 гг. перекрыли около 0.8 км², а с ранее излившимися потоками XX в. — около 2 км² (с учетом частичного перекрытия старых потоков более свежими).

Кизимен. Извержение вулкана Кизимен в 2010—2012 гг. оказалось достаточно крупным вулканическим событием, крупнейшим на Камчатке в интервале между Толбачинскими извержениями 1975—1976 и 2012—2013 гг. [17]. Данные об извержении получены вулканологами главным образом на основе дистанционных материалов. На 11 декабря 2011 г. было извергнуто 0.56 км³ андезитового материала, в том числе лавы объемом 0.195 км³. Остальной объемом материала пришелся на пеплопады и пирокластические потоки. Лавовый поток имел длину 3.05 км, площадь — 2.16 км², среднюю мощность — 90 м, а максимальная достигала 232 м [17]. Поток спускался с высоты 2330 м до 1300 м, где раздваивался на две лопасти, имеющие нижнюю отметку ~1200 м. Таким образом, поток мог перекрыть только высокогорную, вероятно несомкнутую, горнотундровую растительность. Пирокластические потоки и волны, а также лахары спустились заметно дальше, ниже 500 м, и уничтожили стланиковую, луговую и частично лесную растительность на бортах долин. Так, на имеющихся фотографиях очевидцев виден погибший каменноберезовый лес на склонах долины ручья Поперечного.

Шивелуч. Один из крупнейших и активнейших вулканов Камчатки [18]. Небольшие лавовые потоки отмечены только на активном куполе. Подножие современного активного купола расположено на высоте около 1900 м, купол поднимается приблизительно на 700 м. Периодические эксплозивные извержения и обвалы изменяют его форму и размеры. Первый современный лавовый поток зафиксирован на куполе в 2004 г. Это было очень небольшое образование, медленно спускавшееся по юго-восточному склону купола и приблизительно за 2.5 мес достигшее его подножия [4]. В последующие годы также были отмечены небольшие лавовые потоки в пределах конуса. Понятно, что в таких условиях сами потоки не могли нанести ущерба естественным экосистемам, однако нарастание объема купола и периодические обрушения его частей приводят к распространению отложений на большое расстояние — до 10—20 км. Одно из таких событий произошло в конце октября 2010 г. [19], когда отложения обвала распространились на ~ 15 км, а извергнутые пирокластические потоки и волны прошли ниже еще ~ 6 км. Обвальные и пирокластические отложения этого извержения погребли территорию более 20 км² и привели к гибели разреженной растительности, формирующейся после катастрофического извержения 1964 г.

Безымянный. Крупный вулкан (выс. 2882 м), расположенный в Ключевской группе вулканов, прославился своим гигантским извержением 1956 г.

В огромной кальдере, образовавшейся после извержения 1956 г., начал расти крупный купол Новый. В 1977 г. на нем впервые были зафиксированы лавовые потоки; к настоящему времени, по данным вулканологов, они покрывают почти всю поверхность купола [21]. Рост купола ведет к сходу пирокластических потоков, отложения которых распределяются на расстояние до 10 км от склонов купола. Таким образом, излияния лавовых потоков на Безымянном, по-видимому, происходят весьма сходно с вулканом Шивелуч, но воздействие на растительность этот процесс оказывает в еще меньшей степени.

Обсуждение. В ходе серии новейших извержений на Камчатке в XX и начале XXI в. был извергнут огромный совокупный объем эффузивов (~ 3 км³), перекрывший территорию около 125 км². Многометровые толщи раскаленных вулканитов уничтожили экосистемы склонов и подножий вулканов; погибли горные тундры, субальпийские луга и стланики, хвойные и лиственные леса. Были изменены рельеф и во многих случаях система стока горных рек. В результате образования нового, весьма неблагоприятного для заселения субстрата обширные территории фактически навечно (при сравнении с продолжительностью человеческой жизни) превратились в безжизненные бедленды. Излияния лавы произошли в безлюдных районах Камчатки; угрозы для жизни человека не возникали, но в некоторых случаях эффузивные извержения прямо или косвенно могут такую ситуацию создавать (через образование лахаров, лесные пожары, химическое загрязнение водоемов и др.). Кроме лесных, сельскохозяйственных земель и пастбищ, лавой уничтожаются дороги и инфраструктура (последнее произошло в ходе Толбачинского извержения 2012—2013 гг.).

Отметим некоторые крупнейшие лавовые излияния последних столетий. Гигантское извержение трещины Лаки, покрывшее лавой 565 км² (объем лавы 15 км³) в 1783—1784 гг., вызвало колоссальное воздействие на природные комплексы Исландии, привело к гибели урожая и массовой гибели населения. Сопутствующие излиянию кислотные дожди и аэрозольные облака резко повысили смертность людей в Европе [34]. В ходе недавнего извержения в Исландии (август 2014—февраль 2015 г.) лавы вулкана Холухраун перекрыли территорию 85 км². Крупнейшее излияние лавы последнего столетия произошло на вулкане Килауэ (Гавайские острова). Оно продолжается с 1983 г., за это время лавой покрыто более 125 км², объем лавы составил 4 км³ (быстротекущие лавовые потоки на Гавайях являются не только туристическим аттракционом, но и большой проблемой, поскольку уничтожают лесные и сельскохозяйственные земли, поселки и инфраструктуру). Можно отметить, что даже на фоне этих неординарных событий Толбачинские излияния 1975—1976 гг. и 2012—2013 гг. можно отнести к очень крупным современным эффузивным извержениям.

В результате излияний лав на вулканах Камчатки произошло погребение лесного растительного покрова на площади около 28 км², из них приблизительно половина пришлась на лес из хвойных (главным образом из лиственницы и местами с участием ели). Хвойный лес погиб только в районе Толбачинского дола, тогда как лес из березы каменной — в основном на склонах Ключевской сопки. Некоторая часть перекрытой территории (по приблизительной оценке ~ 20 км²) была занята субальпийской растительностью из стлаников (главным образом ольховника) и лугов, а также сомкнутой альпийской (горнотундровой) растительностью. Основная же часть погребенной территории (около 77 км²) относилась к вулканогенным бедлендам — участкам ранее из-

лившихся лавовых потоков и шлаковых полей. Часть старых потоков была занята серийной растительностью, обычно несомкнутой, представленной ниже 700 м над ур. м., главным образом разреженным низким кедровым стлаником в сочетании с мохово-лишайниковыми и травяными полянками.

В Курило-Камчатском регионе погребение лесной растительности лавовыми потоками — явление нечастое. Погребение хвойных лесов на Камчатке в XX в. отмечалось только в ходе БТТИ, когда лавы двух центров извержения перекрыли небольшие участки хвойного леса (по нашей оценке, 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. [3]. Других излияний в поясе хвойных лесов за минувшие ~ 500 лет ни на Камчатке, ни на Курилах не происходило. Отметим, что лавовые потоки на Камчатке уничтожали также леса 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.) [7, 10]; лавовыми потоками было перекрыто суммарно около 15 км² лесной площади. Пожаров при этом не было зафиксировано [23, 25]. На соседних с Камчаткой Курилах лавовые потоки в лесной пояс в последние столетия не вторгались; потоки XX—XXI вв., перекрывшие суммарно ~ 4 км², образовались в ходе семи извержений на северных Курилах [11], где леса отсутствуют; пострадали лишь заросли стлаников и луга на ограниченной территории.

Изучение аспектов поражения естественных экосистем лавовыми потоками в Курило-Камчатском регионе не проводилось. В связи с этим остается открытым вопрос об опасности лесных пожаров при лавовых излияниях. Магматический вулканизм считают одной из природных причин пожаров, наряду с молниями и самовозгоранием торфа [31]. Так, крупные участки (до 15 км²) тропического леса неоднократно выгорали в ходе излияний лавовых потоков на Гавайских островах. В ходе Толбачинского извержения в декабре 2012 г. российские СМИ неоднократно давали сообщения об угрозе лесных пожаров. Мы получили первые данные об этой опасности; сделан вывод, что, несмотря на возгорания хвойных деревьев, пожары в 2012 г. не происходили [16]. Отметим, что пожары вследствие наступления лавы не зафиксированы и в ходе БТТИ в 1975—1976 гг. (хотя локально небольшие возгорания, возможно, имели место). При этом шансы на возникновение пожаров в ходе БТТИ были заметно выше (летний период, отсутствие снега, большее участие хвойных в растительном покрове юго-западной части Толбачинского дола, засушливые условия района Южного прорыва БТТИ). Для возникновения лесного пожара при вторжении лавы в пояс древесной растительности нужна комбинация определенных условий, включающих высокую температуру воздуха и отсутствие осадков; такие условия не всегда могут сложиться в ходе излияния, продолжающегося обычно несколько дней или недель. Однако стоит признать, что опасность возгораний от лавовых потоков потенциально существует в районах хвойных лесов Толбачинского дола и вулкана Кизимен.

В ходе медленнотекущей сукцессии на лавовых потоках сопряженно меняются состав, структура и продуктивность растительности, мощность почвенного покрова и его качественные и количественные параметры, характеристики микро- и мезорельефа лавовых потоков, а также другие параметры экосистем. Исследования на камчатских вулканах (Толбачинский дол, Ключ-

чевской, Карымский, Алней) показали, что длительность сукцессии на лаве продолжительностью около 2000 лет характерна для районов активного вулканизма центральной Камчатки; для высокогорий и районов слабых пеплопадов сукцессия может растянуться на многие тысячелетия. Так, проведенное изучение возраста ряда лавовых потоков вулканов Срединного хребта Камчатки [26] показало, что потоки, имеющие возраст 2.6—6.5 тыс. лет, были покрыты лишь разреженной растительностью, с единичными кустами низких стлаников. Разница в темпах сукцессии объясняется различной скоростью нарастания мощности почвенно-пирокластического чехла на лавах.

В заключение отметим, что изученные лавовые излияния последнего столетия заняли относительно небольшие территории Камчатки; в связи с ненаселенностью вулканических районов полуострова они создали незначительную угрозу инфраструктуре, однако при этом комплексы потоков, влекущие радикальные и глубокие трансформации экосистем, имеют большой научный и познавательный интерес. Как известно, вулканический бедленд Толбачинского дола использовался как полигон для испытаний лунохода; эти же территории могут быть полигоном для опытов рекультивации, все более актуальных с усилением антропогенного пресса на экосистемы тихоокеанского Севера. Большая часть перечисленных лавовых потоков находится в пределах охраняемой территории — Ключевского природного парка. Существенно, что лавовые и шлаковые «пустыни» Камчатки (в первую очередь Толбачика) являются одними из самых интересных туристических объектов Камчатки, ежегодно привлекающими тысячи туристов из России и из-за рубежа.

Список литературы

- [1] Большое трещинное Толбачинское извержение (1975—1976 гг., Камчатка). М.: Наука, 1984. 638 с.
- [2] *Брайцева О. А., Мелекесцев И. В.* Вулкан Карымский: история формирования, динамика активности и долгосрочный прогноз // Вулканология и сейсмология. 1989. № 2. С. 14—31.
- [3] *Брайцева О. А., Мелекесцев И. В., Пономарева В. В. и др.* Тефрохронологические и геохронологические исследования Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов // Вулканология и сейсмология. 1981. № 3. С. 14—28.
- [4] *Горбач Н. В.* Первый лавовый поток на экструзивном куполе вулкана Шивелуч, 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 2. С. 6—12.
- [5] *Гришин С. Ю.* Сукцессии подгольцовой растительности на лавовых потоках Толбачинского дола // Ботан. журн. 1992. № 1. С. 92—100.
- [6] *Гришин С. Ю.* Растительность субальпийского пояса в Ключевской группе вулканов. Владивосток: Дальнаука, 1996. 156 с.
- [7] *Гришин С. Ю.* Влияние на растительность извержения группы Туйла на Ключевской сопке (Камчатка) // Вестн. КРАУНЦ. 2007. № 2. С. 9—16.
- [8] *Гришин С. Ю.* Растительный покров района, испытавшего воздействие пеплопада Толбачинского извержения 1975 г. (Камчатка) // Изв. РГО. 2010. Т. 141, вып. 1. С. 32—40.
- [9] *Гришин С. Ю.* Смена растительного покрова под воздействием вулканического пеплопада (Толбачинский дол, Камчатка) // Экология. 2010. № 5. С. 389—392.
- [10] *Гришин С. Ю.* Влияние извержений вулкана Ключевского на растительность // Изв. РГО. 2011. Т. 143, вып. 5. С. 44—54.

- [11] *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.
- [12] *Гришин С. Ю.* Воронки взрывов у края лавового потока Толбачинского извержения (Камчатка, 2012—2013 гг.) // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 4. С. 72—79.
- [13] *Гришин С. Ю.* Погребение лесной растительности лавовыми потоками Толбачинского извержения (Камчатка, 2012—2013 гг.) и его последствия // Изв. РГО. 2015. Т. 147, вып. 6. С. 14—27.
- [14] *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.
- [15] *Гришин С. Ю., Крестов П. В., Верхолат В. П. и др.* Динамика растительного покрова Толбачинского дола (Камчатка) в течение последних десятилетий // Комаровские чтения. Владивосток. 2013. Вып. 61. С. 118—157.
- [16] *Гришин С. Ю., Овсянников А. А., Перепелкина П. А.* Возгорание древесной растительности и опасность лесных пожаров в ходе Толбачинского извержения (Камчатка, 2012—2013 гг.) // Вестн. ДВО РАН. 2015. № 5. С. 63—69.
- [17] *Двигалю В. Н., Мелекесцев И. В., Шевченко А. В., Свирид И. Ю.* Извержение 2010—2012 гг. вулкана Кизимен — самое продуктивное (по данным дистанционных наблюдений) на Камчатке в начале XXI века // Вулканология и сейсмология. 2013. № 6. С. 3—21.
- [18] Действующие вулканы Камчатки / Отв. ред. Федотов С. А. М.: Наука, 1991. Т. 1. 302 с.; Т. 2. 415 с.
- [19] *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.
- [20] *Кондратюк В. И.* Климат Камчатки. М.: Гидрометеиздат, 1974. 204 с.
- [21] *Малышев А. И.* Жизнь вулкана. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2000. 262 с.
- [22] *Муравьев Я. Д., Федотов С. А., Будников В. А. и др.* Вулканическая деятельность в Карымском центре в 1996 г.: вершинное извержение Карымского вулкана и фреато-магматическое извержение в кальдере Академии Наук // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С. 38—71.
- [23] *Набоко С. И.* Извержение Билокая, побочного кратера Ключевского вулкана, в 1938 г. Тр. Лаб. вулк. и Камч. вулк. станции. Вып. 5. 1947. 135 с.
- [24] Новейший и современный вулканизм на территории России. М.: Наука, 2005. 604 с.
- [25] *Новограбленов П. Т.* Извержение Пацана и Фаины на Камчатке // Изв. ГГО. 1933. Т. 65, вып. 5. С. 387—401.
- [26] *Певзнер М. М.* Голоценовый вулканизм Срединного хребта Камчатки. М.: Геос, 2015. 252 с.
- [27] *Пийп Б. И.* Деятельность вулканов Ключевской группы (с декабря 1940 г. по май 1941 г.) // Бюлл. вулканол. ст. на Камчатке. М.; Л., 1946. № 12. С. 74—78.
- [28] *Пийп Б. И.* Извержение кратера Былинкиной // Бюлл. вулканол. ст. М., 1954. № 20. С. 48—51.
- [29] *Пийп Б. И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944—1945 гг. и в прошлом // Тр. Лаб. вулканол. М., 1956. Вып. 11. 309 с.
- [30] Справочник по климату СССР. Выпуск 27. Камчатская область. Часть 2. Л.: Гидрометиздат, 1966. 184 с.
- [31] *Ходаков В. Е., Жарикова М. В.* Лесные пожары: методы и исследования. Херсон: Гринь Д. С., 2011. 470 с.

- [32] *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. N 307. P. 107—119.
- [33] *Grishin S. Yu., Krestov P. V., Verkholat V. P.* Influence of 1996 eruptions in the *Karymskiy* volcano group, Kamchatka, on vegetation // *Nat. Hist. Res.* 2000. N 7. P. 39—48.
- [34] *Taylor S., Durand M., Grattan J.* Illness and elevated Human Mortality in Europe Coincident with the Laki Fissure eruption / *Volcanic Degassing: Geological Society, Special Publication 213. Geological Society of London.* 2003. P. 410—414.

Поступило в редакцию
10 августа 2017 г.

Effusing of lava flows in Kamchatka in the XX and beginning of the XXI century: the scale and depth of impact on the ecosystems

© S. Yu. Grishin

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia
E-mail: grishin@ibss.dvo.ru, alaid@bk.ru

The lava flows of XX—XXI centuries at six volcanic areas of Kamchatka are considered. Lava flows and fields had overlapped area of about 125 km², most of the suffered territories had mountain and high-mountain barrens, formed by old lava flows and scoria areas of past eruptions (totally about 77 km²). These flows had destroyed forest at area of about 28 km² (half of the forest was coniferous and the other half was forest of Erman's birch), as well as about 20 km² of subalpine thickets of alder, Japanese stone pine and meadows. The largest effusions of basaltic lavas have occurred in the Tolbachik Dol volcano area (totaling 85 km²), and on the slopes of the Klyuchevskoy volcano (35 km²). Andesite-basalt flows of Karymsky and Kizimen volcanoes destroyed the volcanic ecosystems of the slopes in relatively small areas. Short andesite flows at the active volcano domes of Shiveluch and Bezymianny volcanoes caused only mediated devastation, often at a considerable distance from the eruptive centers (through the collapse of a dome and forming of pyroclastic flows). Forest fires during the eruptions were not noted, but potentially they may be possible in areas of coniferous forest. Restoring of forest vegetation takes place during an extremely long period (up to 2000 years), ash falls can speed up or slow down a succession during this period.

Key words: volcanoes, eruption, lava flow, ecosystems, vegetation, burial, fires, successions, Kamchatka.

References

- [1] *Bol'shoye treshhinnoye Tolbachinskoye izverzhenie (1975—1976 gg., Kamchatka).* M.: Nauka, 1984. 638 s.
- [2] *Brajceva O. A., Melekescev I. V.* Vulkan Karymskiy: istoriya formirovaniya, dinamika aktivnosti i dolgosrochnyy prognoz // *Vulkanologiya i seismologiya.* 1989. N 2. S. 14—31.
- [3] *Brajceva O. A., Melekescev I. V., Ponomareva V. V. i dr.* Tefroxronologicheskie i geoxronologicheskie issledovaniya Tolbachinskoy regional'noy zony shlakovykh konusov // *Vulkanologiya i seismologiya.* 1981. N 3. S. 14—28.
- [4] *Gorbach N. V.* Pervyy lavovyy potok na e'kstruzivnom kupole vulkana Shiveluch, 2004 g. // *Vulkanologiya i seismologiya.* 2006. N 2. S. 6—12.

- [5] *Grishin S. Yu.* Sukcessii podgol'covej rastitel'nosti na lavovyx potokax Tolbachinskogo dola // Botan. zhurn. 1992. N 1. S. 92—100.
- [6] *Grishin S. Yu.* Rastitel'nost' subal'pijskogo poyasa v Klyuchevskoj gruppe vulkanov.: Vladivostok: Dal'nauka, 1996. 156 s.
- [7] *Grishin S. Yu.* Vliyanie na rastitel'nost' izverzheniya gruppy Tujla na Klyuchevskoj sopke (Kamchatka) // Vestn. KRAUNC. 2007. N 2. S. 9—16.
- [8] *Grishin S. Yu.* Rastitel'nyj pokrov rajona, ispytavshogo vozdejstvie peplopada Tolbachinskogo izverzheniya 1975 g. (Kamchatka) // Izv. RGO. 2010. T. 141, vyp. 1. S. 32—40.
- [9] *Grishin S. Yu.* Smena rastitel'nogo pokrova pod vozdejstviem vulkanicheskogo peplopada (Tolbachinskij dol, Kamchatka) // E'kologiya. 2010. N 5. S. 389—392.
- [10] *Grishin S. Yu.* Vliyanie izverzhenij vulkana Klyuchevskogo na rastitel'nost' // Izv. RGO. 2011. T. 143, vyp. 5. S. 44—54.
- [11] *Grishin S. Yu.* Izliyaniya lavovyx potokov na Kuril'skix ostrovax v XX i nachale XXI veka: masshtaby i glubina izmeneniya e'kosistem // Izv. RGO. 2014. T. 146, vyp. 6. S. 1—13.
- [12] *Grishin S. Yu.* Voronki vzryvov u kraja lavovogo potoka Tolbachinskogo izverzheniya (Kamchatka, 2012—2013 gg.) // Vestn. KRAUNC. Nauki o Zemle. 2015. N 4. S. 72—79.
- [13] *Grishin S. Yu.* Pogrebenie lesnoj rastitel'nosti lavovymi potokami Tolbachinskogo izverzheniya (Kamchatka, 2012—2013 gg.) i ego posledstviya // Izv. RGO. 2015. T. 147, vyp. 6. S. 14—27.
- [14] *Grishin S. Yu., Komachkova I. V., Timofeeva Ya. O. i dr.* E'kspediciya v rajon Tolbachinskogo izverzheniya (Kamchatka, avgust 2013) // Vestn. DVO RAN. 2013. N 5. S. 173—178.
- [15] *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.
- [16] *Grishin S. Yu., Ovsyannikov A. A., Perepelkina P. A.* Vozgoranie drevesnoj rastitel'nosti i opasnost' lesnyx pozharov v xode Tolbachinskogo izverzheniya (Kamchatka, 2012—2013 gg.) // Vestn. DVO RAN. 2015. N 5. S. 63—69.
- [17] *Dvigalo V. N., Melekscev I. V., Shevchenko A. V., Svirid I. Yu.* Izverzhenie 2010—2012 gg. vulkana Kizimen — samoe produktivnoe (po dannym distancionnyh nablyudenij) na Kamchatke v nachale XXI veka // Vulkanologiya i sejsmologiya. 2013. N 6. S. 3—21.
- [18] *Dejstvuyushhie vulkany Kamchatki* / Otv. red. Fedotov S. A. M.: Nauka, 1991. T. 1. 302 s.; T. 2. 415 s.
- [19] *Zharinov N. A., Demyanchuk Yu. V.* Krupnye e'ksplozivnye izverzheniya vulkana Shiveluch (Kamchatka) s chastichnym razrusheniem e'kstruzivnogo kupola 28 fevralya 2005 g. i 27 oktyabrya 2010 g. // Vulkanologiya i sejsmologiya. 2013. N 2. S. 48—62.
- [20] *Kondratyuk V. I.* Klimat Kamchatki. M.: Gidrometeoizdat, 1974. 204 s.
- [21] *Malyshev A. I.* Zhizn' vulkana. Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2000. 262 s.
- [22] *Murav'ev Ya. D., Fedotov S. A., Budnikov V. A. i dr.* Vulkanicheskaya deyatel'nost' v Karymskom centre v 1996 g.: vershinnoe izverzhenie Karymskogo vulkana i freatomagmatischeskoe izverzhenie v kal'dere Akademii Nauk // Vulkanologiya i sejsmologiya. 1997. N 5. S. 38—71.
- [23] *Naboko S. I.* Izverzhenie Bilyukaya, pobochnogo kratera Klyuchevskogo vulkana, v 1938 g. Tr. Lab. vulk. i Kamch. vulk. stancii. Vyp. 5. 1947. 135 s.
- [24] *Novejshij i sovremennyy vulkanizm na territorii Rossii.* M.: Nauka, 2005. 604 s.
- [25] *Novograblenov P. T.* Izverzhenie Pacana i Fainy na Kamchatke // Izv. GGO. 1933. T. 65, vyp. 5. S. 387—401.

- [26] *Pevzner M. M.* Golocenovyj vulkanizm Sredinnogo xrebtа Kamchatki. M.: Geos, 2015. 252 с.
- [27] *Pijp B. I.* Deyatel'nost' vulkanov Klyuchevskoj gruppy (s dekabryа 1940 g. po maj 1941 g.) // Byul. vulkanol. st. na Kamchatke. M.; L., 1946. N 12. S.74—78.
- [28] *Pijp B. I.* Izverzhenie kratera Bylinkinoj // Byull. vulkanol. st. M., 1954. N 20. S. 48—51.
- [29] *Pijp B. I.* Klyuchevskaya sopka i ee izverzheniya v 1944—1945 gg. i v proshlom // Tr. Labor. vulkanol. M., 1956. Vyp. 11. 309 s.
- [30] *Spravochnik po klimatu SSSR.* Vypusk 27. Kamchatskaya oblast'. Chast' 2. L.: Gidrometizdat, 1966. 184 s.
- [31] *Xodakov V. E., Zharikova M. V.* Lesnye pozhary: metody i issledovaniya. Xerson: Grin' D. S., 2011. 470 s.
- [32] *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. N 307. P. 107—119.
- [33] *Grishin S. Yu., Krestov P. V., Verkholat V. P.* Influence of 1996 eruptions in the Karymskiy volcano group, Kamchatka, on vegetation // Nat. Hist. Res. 2000. N 7. P. 39—48.
- [34] *Taylor S., Durand M., Grattan J.* Illness and elevated Human Mortality in Europe Coincident with the Laki Fissure eruption / Volcanic Degassing: Geological Society, Special Publication 213. Geological Society of London. 2003. P. 410—414.

Изв. РГО. 2017. Т. 149, вып. 6

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДНОЙ ТОЛЩИ БОРЕАЛЬНЫХ ОЗЕР НА ФОНЕ ИЗМЕНЕНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА

© **Г. Э. ЗДОРОВЕННОВА,*¹ Г. Г. ГАВРИЛЕНКО,* Р. Э. ЗДОРОВЕННОВ,*
И. МАММАРЕЛЛА,** Ю. ОЯЛА,**,*** Ю. ХЕЙСКАНЕН,**,****
А. Ю. ТЕРЖЕВИК***

* Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,
Петрозаводск, Россия

** Department of Physics, University of Helsinki, Finland

*** Department of Environmental Sciences, University of Helsinki, Finland

**** ICOS ERIC, FI-00560 Helsinki, Finland

E-mail: ¹ zdorovennova@gmail.com

В статье приводятся результаты исследований влияния изменений регионального климата на динамику термического режима двух небольших бореальных озер с разным типом перемешивания в период открытой воды по данным многолетних наблюдений. Основное внимание уделено периоду весеннего перемешивания (включающего весеннюю подледную конвекцию и период гомотермии после взлома льда) и выявлению его роли в развитии термического режима озер на последующих этапах годового цикла. Показано, что в годы с аномально высокими зимними и весенними температурами воздуха весенняя подледная конвекция начиналась на исследованных озерах раньше и продолжалась дольше, чем в годы с близкими к климатической норме температурами этих месяцев, что могло спровоцировать формирование прямой стратификации к концу ледостава и исчезновение периода гомотермии после взлома льда. Продолжительность весенней гомотермии наиболее критична для димиктических озер, поскольку влияет на летнюю температуру гипolimниона и может, следовательно, определять как термический, так и газовый режимы на последующих этапах годового цикла. Полученные результаты позволяют заключить, что на фоне аномально теплых зим-