

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ, ИСПЫТАВШЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ 30 МАРТА 1956 г. (КАМЧАТКА)

© С. Ю. ГРИШИН

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

Рассмотрены основные черты динамики растительного покрова в зоне воздействия гигантского (VEI 5) извержения 1956 г. на территориях, перекрытых различными отложениями. Растительность испытала воздействие ряда вулканических проявлений (погребение материалом постройки вулкана вследствие гигантской обвальной лавины, образование эруптивной тучи и пеплопадов, сход пирокластической волны направленного взрыва, пирокластических потоков, а также лахаров). Объем извергнутого, исходно высокотемпературного, продуктов составил, по разным оценкам, в сумме 1.35—1.5 км³, холодных отложений обломочной лавины — 0.5—0.8 км³, лахара — 0.5 км³. Площадь территории, перекрытой отложениями пирокластической волны направленного взрыва составила около 500 км². В пределах данной зоны поражения отложения пирокластических потоков заняли 30—40 км², а отложения обломочной лавины — от 35 до 60 км². Ниже 900 м над ур. м. эти отложения погребли стланиковую (доминант — *Alnus fruticosa*) и горнолуговую растительность, а также лесную растительность (доминант — *Betula ermanii*) на ее верхнем пределе. Лесная и частично стланиковая растительность были разрушены на огромном пространстве в основном под воздействием пирокластической волны (в высотном интервале от 700—800 до 200 м), а также лахаров (в интервале 250—50 м). На этой территории протекают вторичные сукцессии. Первичные сукцессии протекают в альпийском и частично субальпийском поясе на отложениях обломочной лавины и пирокластических потоков, а также в верхней части зоны воздействия пирокластической волны направленного взрыва. Наиболее медленно зарастают отложения обломочной лавины; причины связаны с неблагоприятными эдафическими факторами. Несколько эффективнее процесс идет на отложениях пирокластических потоков (такое же соотношение отмечалось нами и на вулкане Шивелуч). Сравнительно быстро заселяется поверхность, перекрытая отложениями пирокластической волны. Восстановление растительности до прежнего состояния займет от 50 до ~500 лет на разных отложениях и в разных частях зоны воздействия.

Ключевые слова: растительность, вулкан, извержение, пирокластическая волна, пирокластические потоки, пеплопады, лахары, сукцессии, Камчатка.

Введение. Более 60 лет минуло со дня грандиозного извержения, которое многие специалисты оценивают как одно из крупнейших в дальневосточном регионе России за период наблюдений (последние три столетия). Невероятной мощности катаклизм частично наблюдался, а одна из его фаз была даже сфотографирована [7]. Он вызвал существенные изменения природной среды, в первую очередь, в виде поражения растительного покрова на площади около 500 км², но при этом ни один человек не пострадал. Вулканологическим аспектам извержения посвящено большое число работ, включая монографию Г. С. Горшкова и Г. Е. Богдавленной [9]. Обсуждение характера извержения продолжается уже несколько десятилетий. Существенный стимул дискуссии дало мощное извержение вулкана Сент-Хеленс (США) в мае 1980 г. [32]. По характеру проявлений и основным последствиям оно оказалось очень схожим с извержением Безымянного и было детально изучено. Отметим, что экологические последствия извержения 1980 г. повлекли разносторонние исследования и большое количество публикаций, включая ряд сводок (например, [29]). Извержению 1956 г. «повезло» значительно меньше — кроме кратких замечаний в работах вулканологов, выполненных по горячим следам, некоторые

данные об экологических последствиях (главным образом, схода лахаров) можно найти лишь в работах ихтиологов (особенно в статье [18]). В данном сообщении показаны некоторые результаты исследований поражения и восстановления растительности, выполненных в ходе ряда посещений обширного района извержения в период 1986—2010 гг. В центре внимания — масштабы и факторы поражения растительного покрова, а также тенденции начавшихся сукцессий (на различных вулканических отложениях).

Природные условия района извержения. Вулкан Безымянный [4, 6, 19] находится в Ключевой группе вулканов (центральная часть Камчатки) — крупнейшем и наиболее активном вулканическом центре Дальнего Востока России. В постройке вулкана и в извергаемых им продуктах преобладают андезиты [4]. До извержения 1955—1956 гг. Безымянный считался недействующим, и как малоизвестный, получил соответствующее название [9, 16, 25]. Высота вулкана до извержения составляла 3085 м; с севера с ним контактирует спящий гигант Камень (4585 м), а за ним — Ключевой (4750 м) — крупнейшая вершина и активнейший вулкан региона. К югу от Безымянного находится массив неактивных Зиминых вулканов. В макрорельефе восточного склона Ключевой группы вулканов выделяются гигантские конусы стратовулканов и относительно пологие склоны подножий, которые являются вулканогенно-пролювиальными равнинами [21]. Основные структуры рельефа этого района показаны на фото ([17], рис. 48, 49, 73) и схеме ([21], рис. 3). О климате восточной части Ключевой группы вулканов можно судить по положению климатически обусловленной верхней границы леса, которая до 1956 г. здесь располагалась на высоте приблизительно 600 м, тогда как на западном макросклоне — на 800—900 м [13]. Сезонная динамика становления и стаивания снежного покрова, которую можно наблюдать по сериям спутниковых изображений Terra/MODIS, показывает, что восточный макросклон Ключевой группы вулканов, в отличие от западного и южного, отличается более низкими температурами и более высоким количеством осадков. По этой же причине на восточном макросклоне распространены только наиболее холодостойкие леса из березы каменной (*Betula ermanii*) и сопутствующих лиственных пород, а хвойные леса, характерные для центральной части Камчатки, отсутствуют. Состояние растительности вулкана до извержения специально не исследовалось, некоторые ботанические наблюдения 1927 г. сделаны П. Т. Новограбленовым [23]. Судя по топокартам съемки конца 1940-х гг., высотная поясность растительности соответствовала структуре, характерной для восточного макросклона Ключевой группы вулканов [13]: лесной пояс, представленный березняками из березы каменной и сопутствующими породами, поднимался приблизительно до 600 м, выше располагался обширный экотон между лесной и стланиковой растительностью. Последняя была представлена в основном покровом ольхового стланика (*Alnus fruticosa*) и поднималась приблизительно до 800—900 м. Стланики сменяли луга субальпийского типа (до 900—1000 м), выше располагалась горнотундровая растительность, по-видимому, разреженная выше 1500 м. Почвы вулкана детально не изучались. Под отложениями 1956 г. в условиях частых пеплопадов соседних вулканов формировались, по-видимому, типичные слоистые вулканические почвы. Вероятно, они достаточно близки к изученным почвам Ключевой сопки [26], но имеют менее мощные горизонты пирокластики.

Ход извержения и оценки его параметров. Характеристика событий извержений приводится в работах [2—5, 7—9, 17—22, 30]. 30 марта 1956 г. произо-

шла кульминационная фаза извержения вулкана Безымянный, верхняя часть сооружения была сильно разрушена, высота снизилась более чем на 200 м [9]. Выделяют пять основных категорий событий: перемещение огромного объема материала постройки конуса на большое расстояние в результате гигантского взрыва (либо обвала, согласно другой точке зрения), сход взрывной пирокластической волны направленного взрыва, сход пирокластических потоков, образование гигантской эруптивной тучи и пеплопадов, а также сход лахаров. Вопрос о механизме перемещения отложений постройки вулкана и последовательности событий извержения является предметом дискуссии. Первоначально доминировала точка зрения Г. С. Горшкова о взрывном (по баллистической траектории) перемещении материала постройки, которая поддерживалась рядом авторов. Однако после извержения вулкана Сент-Хеленс в 1980 г. [32], которое наблюдалось, было зафиксировано фото- и киносъемкой, а затем детально изучено, стало формироваться представление об обвале постройки Безымянного и обломочной (обвальной) лавине [2, 19]. Объем извергнутых, исходно высокотемпературных отложений составил, по разным оценкам, в сумме 1.35—1.5 км³, объем холодных отложений агломерата направленного взрыва ([5, 9], в иной трактовке — обломочной лавины [2]) — 0.5—0.8 км³. Площадь территории, перекрытой отложениями пирокластической волны направленного взрыва, была оценена по данным, полученным в ходе первых полевых сезонов после 1956 г. (когда были хорошо видны погибшие деревья на окраинах зоны поражения), ее размер составил около 500 км² [9]. В пределах этой зоны поражения отложения пирокластических потоков заняли 30—40 км² [5, 9, 15], а отложения обломочной лавины — от 35 до 60 км² [2, 5, 19, 21]. Объем лахара составил 0.5 км³ [9]; площадь, перекрытая его отложениями, не оценивалась.

Последующие извержения. Активность Безымянного, начавшаяся в 1955 г., и прервавшая тысячелетний покой вулкана [6], не прекращается почти 65 лет. За это время произошли десятки событий, включающих рост купола Новый на месте кальдеры, образовавшейся в 1956 г., сход пирокластических потоков и волн, излияние коротких лавовых потоков (в основном покрывающих поверхность купола), пеплопады [15, 19]. Наиболее крупное извержение со сходом пирокластических потоков и волн произошло в 1985 г., когда пирокластические потоки проходили до 13 км от вулкана [1, 19]; существенный пеплопад, охвативший и западный макросклон Ключевской группы вулканов, произошел в 1979 г. В то же время, на склонах Безымянного в заметных количествах выпадала тефра вулканов Ключевской в 1994 г. [24] и Шивелуч в 2005 г.

Материалы и метод. В период между 1986 и 2010 г. проводилось изучение растительного покрова северной половины района, охваченного воздействием извержения. Поскольку после катастрофы прошло несколько десятилетий, ее следы фиксировались наиболее объективно по отложениям взрывной волны. На маршрутах была выполнена серия описаний и около 40 почвенных разрезов и прикопок с фиксацией отложений 1956 г. Серия геоботанических трансект заложена в 1986 и 1996 гг. на северной окраине древнего лавового потока Пещерный, характеризующегося стабильностью рельефа (в отличие от крайне динамичного рельефа вулканогенно-пролювиальных равнин, распространенных в данном районе). Особое внимание на трансектах уделялось составу и сложению растительных сообществ, а также характеристикам древесной растительности (размеры, возраст, приуроченность к рельефу, особенно для растений, переживших извержение). Отдельно изучено зарастание отложений обломочной лавины (близ центральной части зоны поражения), где на профиле

длиной 1700 м, пересекающем эту зону, заложена серия из 340 регулярных учетных площадок размером 1 × 1 м. Для анализа изменений растительного покрова использовались топографические карты масштаба 1:100 000 (съёмка около 1950 и 1980 гг.), 1:25 000 (съёмка 1977—1978 гг.), аэрофотоснимки 1977 г. и спутниковые снимки 2000—2015 гг.

Результаты. Ниже кратко, в общем виде, рассмотрена динамика растительного покрова (РП) в зоне воздействия извержения 1956 г. [33], на территориях, перекрытых различными отложениями. Детальные материалы по характеристике РП будут даны в отдельных публикациях.

Отложения обломочной лавины (обвальные отложения). Обвальные отложения занимают около 35—40 км² [21] на трех участках [2]. Ранее их называли агломератом направленного взрыва [5]. Нами обследован центральный, самый крупный участок отложений, расположенный южнее р. Сухая Хапица, на высоте 700—900 м над ур. м. Территория обследована рекогносцировочно в 1988 г., а в августе 1996 г. был заложен профиль (совместно с П. В. Крестовым и В. В. Якубовым) на высоте 800—900 м (см. рисунок, А) в направлении север-юг, между р. Родниковый Ключ и р. Ключ Ягодный [34]. Рельеф на протяжении 1700 м профиля представляет собой чередование конусовидных холмов, высотой от 15 м в начале профиля до 2—3 м к его концу, а также лощин. Этот специфичный рельеф резко выделяет зону отложений среди окружающих пространств как на местности, так и на спутниковых снимках. Результат отложения мощных толщ материала постройки — полное погребение существовавшего растительного покрова, преимущественно зарослей ольхового стланика и единичных деревьев березы каменной. Холмы сложены обломочным материалом, имеющим размер отдельностей в поперечнике от первых сантиметров до 20—30 см, и неоднородным по составу заполнителем песчаной размерности. Основания холмов и лощины между ними перекрыты темной тефрой Ключевской сопки, выпавшей в 1994 г. Мощность ее отложений достигает 10 см и более. На расстоянии 400—600 м от начала профиля временные водотоки образовали плоскую долину шириной около 200 м с неявно выраженными сухими руслами. Здесь был отмечен минимум живых растений, но местами обнаружены участки аккумуляции полупогребенных стволов и ветвей ольховника и берез. На расстоянии 1300—1400 м от начала профиля холмистый рельеф замещается выположенной поверхностью с щебнистыми отложениями (под мелкой щебенкой размером около 1 см, максимум 3—4 см, залегают песчаные отложения). На расстоянии 1800 м начинается сомкнутая горно-луговая растительность. На окраинах зоны погребения есть участки, перекрытые, по-видимому, маломощным чехлом отложений. Травяно-кустарниковая растительность восстановилась там достаточно быстро, сукцессия на этих участках вторичная.

Во время маршрутных наблюдений 1988 г. на холмистых отложениях обломочной лавины было отмечено почти полное отсутствие растений. На 320 площадках 1700-метрового профиля, заложенного в 1996 г., мы зафиксировали 55 видов сосудистых растений, мхов и лишайников. В среднем на площадке 1 × 1 м встречалось 4 вида растений (чаще всего травянистые растения и мхи: *Poa malacantha*, *Leymus interior*, *Stellaria eschscholtziana*, *Politrichum piliferum* и др.), которые имели проективное покрытие 8 %. Отложения базальтовой тефры Ключевского вулкана (пеплопад 1994 г.) образовали в понижениях между холмами рыхлый, относительно доступный для ряда пионеров субстрат. Наиболее обильный вид на тефре — злак колосняк мягкий (*Leymus*



interior), образующий местами куртины до 3—5 м в диаметре. Древесные растения представлены немногочисленными экземплярами подроста ивы удской (*Salix udensis*) и тополя (*Populus suaveolens*). Высота их не превышала 1—1.5 м, на ветробойных местах — до 0.3—0.5 м, а возраст — 10—20 лет. Доминант субальпийской растительности — ольховник — встречался редко, на площадках не отмечен.

Пирокластическая волна направленного взрыва. Высокотемпературная волна взрыва была самым масштабным разрушительным фактором извержения. Фрагментарное описание воздействия волны взрыва на растительность дано Г. С. Горшковым и Г. Е. Богоявленской [9], которые после извержения обследовали территорию зоны поражения. Авторы пишут, что «на расстоянии до 25—30 км от кратера стволы деревьев и кустарников были гладко ободраны со стороны вулкана». На расстоянии до 25 км были сломаны и повалены деревья диаметром 25—30 см. Песок «обжигал кору деревьев и кустарников на расстоянии до 27—29 км, а некоторые стволы, по-видимому, сухостоя, сжигал...» (там же, с. 43). Отмечается, что границы области, захваченной взрывом, достаточно резко выражены и выделяются по поврежденной растительности. По берегам р. Сухая Зими́на (до 25 км от кратера) лес сломан, а местами обуглен взрывом (25 % деревьев), мощность песчаных отложений — до 15 см. Восточная и северо-восточная граница воздействия располагаются на расстоянии

Ландшафты и растительность района, испытывавшего воздействие извержения вулкана Безымянный (1956 г.). (А—Ж — фото автора).

А — Зона отложений обломочной лавины. Основания и склоны конусовидных холмиков покрыты черной тэфрой Ключевского вулкана, выпавшей в 1994 г. На дальнем плане в центре — вулкан Безымянный, справа — вулкан Камень. **Б** — Зона полного поражения растительности воздействием пирокластической волны направленного взрыва. Высота около 1000 м над ур. м. (съемка 2008 г.). **В** — Правый борт ущелья, прорезанного руслом р. Сухая Хапица. Видны светлые отложения пирокластической волны и перекрывающие их отложения пирокластических потоков 1956 г. (съемка 2008 г.). **Г** — Склон ущелья, прорезанного руслом р. Сухая Хапица, левый борт. Виден слой голубовато-серых отложений пирокластической волны (съемка 2008 г.). **Д** — Отложения пирокластической волны направленного взрыва (съемка 2008 г.). **Е** — Пень березы каменной, оставшийся после крупного дерева, снесенного пирокластической волной направленного взрыва 1956 г. На дальнем плане — молодые березки и кусты ольховника, поселившиеся после извержения (съемка 1996 г.). **Ж** — Береза поселилась на отложениях пирокластической волны, но корни ее быстро проникли в погребенную почву (съемка 1986 г.). **З** — Река Большая Хапица (нижнее течение, перед впадением в р. Камчатку), текущая по пути лахара 1956 г. на заболоченной равнине. Окаймляющие русло бортовые валы сформированы отложениями лахара 1956 г. и заросли древесной растительностью. Спутниковый снимок.

Landscapes and vegetation of the area affected by the eruption of Bezmyanny volcano (1956). (A—Ж — photo by author).

A — area of debris avalanche. The bases and slopes of the cone-shaped mounds are covered with black tephra of the Klyuchevskoy volcano, fell in 1994. In the background: in the center is Bezmyanny volcano, to the right is Kamen' volcano. **B** — the zone of complete damage to the vegetation by the impact of the pyroclastic surge of a direct blast. Altitude is about 1000 m a. s. l. 2008. **V** — the right side of the gorge, cut by Sukhaya Hapitsa River. Visible are light gray deposits of the 1956 pyroclastic surge, overlapped by deposits of 1956 pyroclastic flows. 2008. **G** — the upper part of the left slope of the gorge, cut by Sukhaya Hapitsa River. A layer of bluish-gray 1956 pyroclastic surge deposits is visible. 2008. **D** — sandy deposits of the pyroclastic surge of 1956 direct blast. 2008. **E** — the stump remaining after a large birch tree, demolished by the pyroclastic surge of 1956 direct blast. In the background are young birch trees and alder bushes that settled after the eruption. 1996. **ZH** — birch tree settled on the deposits of the 1956 pyroclastic surge; birch roots quickly penetrated in the buried soil. 1986. **Z** — the Bolshaya Khapitsa River (lower reaches, before flowing into the Kamchatka River), flowing along the 1956 lahar path on a swampy plain. The side banks bordering the channel were formed by deposits of 1956 lahar and overgrown with woody vegetation. Satellite image.

до 30 км от кратера, на высоте 200—150 м. В результате прохождения высокотемпературной волны взрыва была уничтожена и повреждена древесная и кустарниковая растительность на огромной территории — 500 км². Контур имеет форму овоида с осью длиной около 29 и 25 км в поперечнике ([⁹], рис. 37). Распределение отложений волны направленного взрыва было показано в работах [^{3, 9}]. Авторы [³] промеряли мощность и характер отложений на профиле, идущем по осевой линии воздействия, на восток-юго-восток от вулкана до зоны почти не пострадавшего леса. Выявлена неоднородность структуры отложений. Несмотря на сложную закономерность распределения мощности отложений в рельефе, уменьшение мощности с удалением от вулкана прослеживается достаточно ясно. Был отмечен и характер поражения деревьев с удалением от вулкана [^{3, 9}], наблюдался переход от разрушенного к уцелевшему древостою.

Обширная зона прохождения пирокластической волны направленного взрыва может быть разделена на три подзоны. В первой подзоне, где наблюдались максимально интенсивное воздействие, растительность и даже часть почвенного покрова были содраны [³], отложился относительно мощный (по-видимому, в среднем более 0.5 м) слой «песка направленного взрыва» (см. рисунок, Б). Участок такого рода показан на рис. 1 в книге [¹⁷]; он расположен на левом берегу р. Сухая Хапица, территория выглядит совершенно пустынной (фото сделано, по-видимому, в начале 1960-х гг.). Это место, расположенное на абсолютной высоте ~900 м, было обследовано нами в 2008 г. Почва в 1956 г. там уцелела и была перекрыта толщей голубовато-серого песка с включением камешков (см. рисунок, Г, Д), мощностью 50 см; поверх песка отмечено 5—6 см палево-коричневого пепла. На этом субстрате начались первичные сукцессии, нарушенные пеплопадом Ключевского в 1994 г. (отложилось 4—5 см черной тефры с частичками 2—5 мм, иногда до 10—20 мм). В итоге, к 2008 г. на пологом участке сформировалась травяно-кустарниковая растительность сомкнутостью 70 %, с доминированием *Leymus interior*, *Oxytropis kamtschatica*, а также *Chamaenerion angustifolium*, *Aster sibiricus* и др. (в окрестностях встречались участки как сомкнутого травяного покрова, так и «проплешины», покрытые вулканическими отложениями). Высота травяного яруса — до 0.6 м, кустиков *Salix udensis* до 1—2 м. В целом, площадь этой подзоны (расположенной в интервале от 950—1000 м до 1700 (?) м), где начались первичные сукцессии, составляет в первом приближении около 40—45 км².

Вторая подзона расположена ниже первой, либо в краевых частях зоны воздействия. Здесь отложился, по нашим измерениям, слой песка направленного взрыва мощностью ~5—45 см. Отмечены сильные вариации мощности отложения в рельефе [³]. В этой подзоне в 1986 и 1996 гг. в северной части зоны поражения, на древнем лавовом потоке Пещерном вдоль руч. Ключ Лавовый была заложена серия 100-метровых трансектов. Трансекты заложены в интервале высот 300—800 м над ур. м. и характеризуют аспекты как разрушения древесной (лесной и стланиковой) растительности, так и начавшегося восстановления. Деревья и заросли стлаников погибли; редкие исключения были связаны с укрытием небольших древесных растений в пересеченном мезорельефе лавового потока. Во всем исследованном высотном интервале деревья были переломлены волной в нижней части ствола и упали; несколько десятилетий спустя их древесина в основном разложилась, была частично погребена тефрой разных извержений или стала перекрываться нарастающей дерниной. Пни, тем не менее, 30—40 лет спустя после извержения оставались

стоять (см. рисунок, Е), являясь маркерами предшествующей растительности, а также характеризуя ее катастрофическую смену и направление идущих сукцессий. Почвы здесь уцелели, как и часть зачатков растений (травянистых, кустарничковых, отчасти кустарников). Небольшие кустики и мелкий подрост древесных растений уцелели за складками рельефа и крупными глыбами, которые экранировали ударное воздействие волны. К 1986 г. эти территории были преимущественно покрыты почти сомкнутым растительным покровом, из травяно-кустарниковой и, отчасти, стланиковой растительности. Однако это были серийные сообщества на месте погибшего леса. Сразу после взрыва поселилась береза (см. рисунок, Ж); 30 лет спустя молодые березки выделялись над покровом луговой и стланиковой растительности [13]. Стланики интенсивно разрастались, захватывая новые участки, включая пятна (пустоши) вулканических отложений. С удалением от центра извержения, снижением по склону и ближе к краям зоны воздействия, разрушительная сила волны ослабевала. Высота пней берез постепенно повышалась; в нижней части зоны, на высоте ~300 м, стали встречаться целые стволы, которые, вероятно, погибли от опаливания пирокластической волной, но не были сломаны и остались стоять. В целом, процессы динамики растительности во второй подзоне соответствуют вторичной сукцессии; для восстановления основных черт растительного покрова, предшествующего извержению, потребуется 1—2 столетия.

Третья подзона расположена в нижней части зоны поражения и на ее боковых окраинах, близ контакта с ненарушенной растительностью. РП здесь был нарушен; частично погибла или была сильно повреждена основная часть древостоя, но стланики, подрост и часть древостоя уцелели. Здесь наблюдался переход от разрушенного к уцелевшему древостою [3, 9]. РП здесь в основном восстановится в пределах периода достижения зрелости доминирующей лесной породы — березы каменной. Это займет предположительно еще 50—100 лет.

Важным следствием прохождения высокотемпературных пирокластических волн было сверхинтенсивное таяние снега на территории около 250—300 км² [9], в результате чего образовавшаяся вода (~300 млн м³) понеслась по промерзшим склонам, объединяясь во все более мощные потоки. Возможно, часть воды не попала в формирующиеся лахары: испарилась под воздействием высокотемпературного вихря, впиталась в субстрат, а также в снежный покров смежных территорий, попала в локальные понижения (например, на обширном лавовом потоке Пещерном с пересеченным мезорельефом).

Пирокластические потоки. Пирокластические потоки сошли вслед за обрушением постройки и перекрыли территорию площадью 30—40 км². Объем их оценен величиной 0.7—1.0 км³ [5, 9, 21]. Высокотемпературный материал отложений заполнил русла ряда рек, мощность толщ составил местами десятки метров [9, 21]. Горячие отложения весной-летом 1956 г. стали размываться потоками талых и дождевых вод, при этом происходили фреатические взрывы [7—9, 30]. В руслах мощные толщи пирокластических отложений были быстро размыты водой и видны лишь в обнажениях. Так, в обнажении правого борта р. Сухая Хапица (высота около 900 м над ур. м.) над руслом видна снизу вверх многометровая толща обвалных отложений вулкана Камень, выше — почвенно-пирокластический чехол мощностью около 1 м, сформировавшийся за ~1000 лет; над ним перекрывающая толща голубовато-серого песка направленного взрыва (мощностью 1—2 м) и сверху — несколько метров светло-се-

рых отложений пирокластических потоков (см. рисунок, В). Соответственно, по правому берегу располагается участок первичных отложений пирокластических потоков (данные об общей площади сохранившихся к настоящему времени первичных участков этих отложений отсутствуют). Отложения, перекрывшие русло р. Сухая Хапица и ее притоков, были размывы, вынесены водно-грязевыми потоками и переотложились в 10—20 км ниже, где образовалась обширная безлесная пустошь площадью около 20 км².

Заращение отложений пирокластических потоков специально не изучалось. Их поверхность в значительной мере подверглась эрозии поверхностными водотоками [21], а также (выше 1200 м над ур. м.) многократному прохождению пирокластических потоков новых, небольших и умеренных извержений [15]. Осмотренные отложения пирокластических потоков 1956 г. вдоль правого берега р. Сухая Хапица (высота 850—950 м), предположительно не подвергавшиеся перекрытию новыми потоками, в настоящее время постепенно зарастают. Так, на одном из участков отмечен несомкнутый травяно-кустарниковый покров (покрытие около 50 %), включающий невысокие (до 1—1.5 м выс.) кусты ивы удской.

Пеплопады. Пеплопады вулкана Безымянный проходили осенью, зимой и весной 1955—1956 гг. [7—9]. Гигантская эруптивная туча, возникшая в ходе извержения 30 марта, была сфотографирована из поселков Козыревск (центральная часть Камчатки) и Усть-Камчатск (восточное побережье полуострова). Эта туча, верхняя кромка которой, по некоторым оценкам, достигла высоты около 40 км, двигалась от вулкана на северо-восток, оставляя шлейф пеплопада. Тефра представлена тонким светло-серым материалом, она покрыла восточный и, частично, северный макросклоны Ключевской группы вулканов. Мощность отложений была невысокой; в районе пос. Ключи отложилось приблизительно 2 см; ранее, осенью 1955 г. там также зафиксированы отложения тефры Безымянного ~2 см [7, 9]. Тефра была отмечена автором на склонах Ключевского вулкана в десятках разрезов и прикопок, вплоть до прорыва Туйла (32 км от Безымянного) [11]. Поскольку тефра выпадала в холодный период на снежный покров, эффект непосредственного воздействия на растительность был, по-видимому, незначительным. Однако, судя по последовательности протекавших событий [7, 9] несколько миллионов кубометров этой тефры выпало над зоной прохождения лахара в долине р. Большая Хапица, опередив лахар на короткое время (менее часа). Данный объем тефры вошел в состав твердого материала лахара, и затем, по-видимому, был вынесен и отложен в зоне аккумуляции.

Лохары. Обычно пишут об одном, особо крупном лахаре 1956 г., сформировавшемся в ходе катастрофического извержения вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. Фактически, по морфологически неразделимым нижним частям склонов вулканов Безымянный, Камень и Ключевской, в зоне шириной 10—12 км, между р. Горно-Тополова и руч. Ключ Лавовый сошла серия лахаров. После впадения в р. Большая Хапица, вероятно покрытую в то время льдом, лахары образовали объединенный поток, который двинулся на север, до впадения в долину р. Камчатки, разрушая все на своем пути. В целом лахар прошел около 90 км [9]. Материалы о лахаре наиболее полно изложены в работах [7—9, 18]; они основаны на полевых наблюдениях весной и летом 1956 г. Интересно, что из 12 ландшафтных фото в статье [7], иллюстрирующих последствия извержения 30 марта 1956 г., большинство относятся именно к лахару.

Архивные данные о характеристиках климата зимы–весны 1955/1956 г. показали, что она была мягкой и многоснежной (количество осадков за период декабрь–март превысило среднее многолетнее значение на 41 %). Г. С. Горшков отмечал, что весна–начало лета 1956 г. были аномально многоводными [9]. Снег, растопленный на склонах вулканов (Безымянный, Камень, Ключевской и Зимина) дал огромный объем воды, формировавшей бурные потоки, а также был важным компонентом содержимого лахара и определил его рекордный объем, большую ширину и высоту фронта.

Ниже зоны массового таяния снега (которая была зоной питания лахара), расположенной, по-видимому, в высотном интервале ~250—1200 м над ур. м., образовалась серия трасс прохождения потоков, которые пронеслись в интервале 250—50 м около 10—12 км до впадения в р. Большая Хапица. Грязевые потоки расчистили от лесной растительности в восточном секторе 5—6 полос шириной от 0.5 до 2.5 км. Лахары сносили «густые, труднопроходимые леса, ... местами оставались только невысокие расщепленные пеньки» ([9]; с. 45). На территории, пройденной грязевыми потоками к востоку от Безымянного (общая площадь около 50—60 км²), был вынесен значительный объем переломанной древесины — до 1 млн м³, а главное — захвачен большой объем снега — около 150 млн м³.

Следующий участок находился в долине р. Большая Хапица, ориентирован на север, имеет длину ~12.5 км (до пункта, обозначенного на топокарте как «юрта Плотникова») и площадь ~25—30 км². После впадения серии грязевых потоков, двигавшихся с запада на восток, здесь сформировался единый поток лахара. Объем его резко увеличился, высота фронта превысила 15 м [7], и с каждым километром продвижения на север он становился все больше за счет поглощения снегового покрова, сдирания почвенно-пирокластического чехла, захватывания сломанной древесины снесенного леса, а также льда и воды самой реки. Все захваченное мощным турбулентным перемешиванием интегрировалось в пульпу из снеогрязевой массы и воды, с крупными включениями (стволы и обломки древесины, валуны и глыбы породы, пласты, глыбы и куски льда).

К северу от пункта «юрта Плотникова» долина р. Большая Хапица расширяется, появляются участки болотной растительности, а через 3 км начинается сплошной болотный массив. Лахар отклонился от русла р. Большая Хапица влево и стал двигаться далее на север через обширные низинные болота вдоль протоки Катлычь, сдирая, сменяя в складки и перемещая огромные (до 200 м длиной) пласты торфяника [7]. Лахар при этом оставлял широкую (до 3—5 км) полосу отложений (см. рисунок, 3) из снеогрязевой смеси, возможно усеянную стволами снесенного криволеся и долинного леса (как это было зафиксировано на фото в финальной части лахара [7, 18, 30]), одновременно поглощая и «перерабатывая» огромный объем снега. Обилие снега, по-видимому, приводило к тому, что он не успевал полностью интегрироваться в водоснеогрязевую массу, которая на фронте лахара постепенно «разбухала», становилась более рыхлой и объемной, с более высоким фронтом. В то же время растекание фронта до ширины 5 км на заболоченной равнине (и, по-видимому, до 10 км в приустьевой части), говорит о том, что лахар был еще достаточно насыщен водой и очень мобилен.

В финальной части своего прохождения лахар перекрыл своими отложениями замерзшие озера Катлыныч и Бочкарево и отчасти оз. Урукулон. Общая площадь этих водоемов превысила 17 км², а площадь перекрытой части —

около 8 км² (согласно схеме [9], рис. 1). Попадание масс лахара в р. Камчатка, по-видимому, произошло не напрямую, а через протоку Кривую (название приводится по топокарте; на схеме ([9], рис. 1) это протока Чистая) и оз. Урукулон. Отметим, что рельеф и положение озер и проток в районе контакта головной части лахара и территории вдоль правого берега р. Камчатки резко изменилось, судя по сравнению старых топокарт (съемка 1948 г.) и современных спутниковых изображений. Все три озера оказались большей частью погребены.

Участки прохождения серии лахаров (до их объединения в один поток) на высоте 50—250 м над ур. м. стали зарастать, по-видимому, ольховником, ольхой серой (*Alnus hirsuta*), тополем, ивой удской, и возможно, березой белой (*Betula kamtschatica*) и березой каменной на участках стабильного субстрата. Боковые гряды отложений лахара в долине р. Большая Хапица (нижнее течение, заболоченная равнина), судя по спутниковым снимкам, заросли кустарниками и быстрорастущими деревьями — в основном, по-видимому, ольхой серой. Скорость зарастания позволяет сделать вывод о вторичной сукцессии на этих участках.

Обсуждение. Извержение изменило ландшафтную структуру обширного района. Изменился рельеф на площади в десятки квадратных километров, в первую очередь, в зоне отложений материалов постройки вулкана, а также в заметной мере — в долине р. Большая Хапица. Частично изменилась структура гидрологической сети. Разрушения экосистем произошли на склонах вулканов Зимина, Безымянный, Камень и Ключевской. В высотной полосе, соответствующей альпийскому, субальпийскому и верхней части лесного пояса, образовались безжизненные вулканические бедленды разного генезиса. Произошло разрушение и понижение пояса древесной растительности по оси воздействия пирокластической волны направленного взрыва до 400 м по вертикали. Масштабы поражения экосистем в настоящее время можно реконструировать лишь приблизительно; приводимые разными авторами данные различаются в больших пределах. Так, зона, перекрытая многометровыми отложениями постройки вулкана, в 1956 г. не была обнаружена (она не упоминается в публикациях [7, 8, 30]); в работе [9] сообщается об этих отложениях на площади 7 км², в последующих публикациях эта площадь увеличивается до 35—40 км² [2, 21] и даже до 60 км² [5, 19]. Зона поражения растительности, испытывавшая воздействие пирокластической волны направленного взрыва, начиная с работы [9] определяется площадью 500 км². Эта величина выявлена по зоне поражения древостоя и отложениям «песка направленного взрыва», в дальнейшем она не корректировалась. Размер территории, пострадавшей от прохождения лахара и перекрытой его отложениями, не выявлен.

Русла, перекрытые обвальными отложениями, отложениями взрывной пирокластической волны и пирокластических потоков, начали в первую же весну (1956 г.) интенсивно размываться. Размытый материал выносился потоками и был переотложен ниже по течению. Этот процесс, по-видимому, продолжался ряд последующих лет, вероятно, с постепенным уменьшением интенсивности и количества выносимого материала. Очевидным результатом этого процесса стал крупный безлесный бедленд площадью около 20 км², образовавшийся в нижней части долины р. Сухая Хапица (на высоте 150—400 м над ур. м.). На схемах, выполненных по результатам полевых работ 1956 г. [7—9, 30] этот крупный участок (протяженность — более 10 км, ширина — до 3 км) не выделен; по-видимому, он еще не сформировался.

Отложения лахара в долине р. Большая Хапица, состоявшие в значительной мере из снеогрязевой массы, начали масштабно таять лишь в мае 1956 г.; процесс этот мог продолжаться значительную часть лета. Это неизбежно повысило уровень воды р. Камчатка в теплый период 1956 г. Мощный весенне-летний паводок 1956 г., который шел двумя волнами, в мае и июне–июле, сформировал в ложе отложений лахара новое русло р. Большая Хапица. Интенсивный сток по этому руслу изменил рельеф обширной многокилометровой полосы отложений, вынеся из нее материал центральной зоны. Сформировалась пониженная прирусловая зона, с блуждающими руслами и косами перемытого и переотложенного материала, а также две низкие (предполагаемая высота ~1—2 м) боковых гряды из оставшихся отложений. Вынесенные отложения, возможно, довершили погребение озер, а также постепенно частично попали в р. Камчатку. Вероятно, этот процесс продолжался ряд лет.

Тефра вулкана Безымянный, выпавшая в 1955/1956 г. в зоне открытых вулканических бедлендов разного генезиса (лавовые потоки и шлаковые поля) на склонах Ключевского вулкана, сыграла определенную роль в задернении голого субстрата, неблагоприятного для заселения растениями. Так, на лавовых потоках XX в. она аккумулировалась в трещинах, понижениях между глыбами лавы и в микродепрессиях, образовав сходный с мелкоземом субстрат с высокой водоудерживающей способностью, относительно благоприятный для заселения растениями. Чем ближе к Безымянному, тем выше задернение лавы, мощнее рыхлый субстрат, разнообразнее растительный покров на лаве [10].

Первичные сукцессии протекают в альпийском и частично субальпийском поясе на отложениях обломочной лавины, пирокластических потоков и в верхней части зоны воздействия пирокластической волны направленного взрыва (первая подзона). На части территорий, где были сформированы мощные отложения лахаров, возможно также протекали первичные сукцессии. Выявление этих территорий и их размеров (они подверглись размыванию водотоками, образовавшими врез русел, а также размывались нерусловыми водотоками) требует специальных исследований. Полученные данные свидетельствуют, что современный этап остается начальным в сукцессии и характеризуется попытками пионерных растений закрепиться на неблагоприятном для них песчано-каменистом субстрате [28]. В зоне первичных сукцессий наиболее медленно зарастают отложения обломочной лавины; причины связаны как с относительно суровым климатом субальпийского пояса (ветровой режим на открытых местах явно лимитирует развитие растительности), так и с неблагоприятными эдафическими факторами: водно-физическими, возможно химическими свойствами грунта и нестабильностью его поверхности. Несколько эффективней процесс идет на отложениях пирокластических потоков (такое же соотношение отмечалось нами и на вулкане Шивелуч [14]). Сравнительно быстро происходит заселение поверхности, перекрытой отложениями пирокластической волны; для формирующейся здесь почвы воздействие эпизодических присыпок тефры вулканов Безымянного, Ключевского, иногда Шивелуча, по-видимому, более эффективно, чем для других первичных экотопов.

Сравнение извержения Безымянного в марте 1956 г. с мощным извержением вулкана Шивелуч (ноябрь 1964 г.) показывает, что по некоторым параметрам они имели сходные черты — обрушение постройки, последующий затем сход пирокластических потоков и в результате — масштабное погребение растительности. Присутствовали и заметные различия. На Шивелуче

отсутствовала взрывная пирокластическая волна и ко дню извержения еще не сформировался мощный снежный покров, что не позволило образоваться особо крупным лахарам. В отличие от Безымянного, на Шивелуче произошло интенсивное масштабное выпадение тефры в виде крупных лапилли, которое привело к разрушению лесной и стланиковой растительности на обширной территории [12, 14]. Событие на вулкане Безымянный несколько уступает извержению вулкана Ксудач (1907 г., южная Камчатка) по объему изверженных материалов и площади поражения растительности [12, 27, 31]. Тем не менее, катастрофические для экосистем проявления извержения 1956 г. — такие как разрушительная пирокластическая волна, охватившая огромную территорию и последовавшее образование гигантского лахара — не имеют аналогов в нашей стране.

В сборе полевых материалов, которые использовали при написании данной статьи, в отдельные годы принимали участие В. П. Верхолат, А. П. Левус, П. В. Крестов, В. В. Якубов. Своими фотографиями района извержения и примыкающих территорий, изучение которых было полезно для осмысления масштабов и последствий уникального в нашей стране природного явления, поделились А. Б. Белоусов, М. Г. Белоусова, Ю. В. Демянчук, С. С. Черноморец. Автор признателен всем перечисленным коллегам. Полевые исследования 1996, 2002, 2008, 2010 гг. были поддержаны грантами РФФИ.

Список литературы

- [1] *Алидибиров М. А., Богоявленская Г. Е., Кирсанов И. Т.* и др. Извержение вулкана Безымянный в 1985 г. // *Вулканология и сейсмология*. 1988. № 6. С. 3—17.
- [2] *Белоусов А. Б., Белоусова М. Г.* Отложения и последовательность событий извержения вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. (Камчатка): отложения обломочной лавины // *Вулканология и сейсмология*. 1998. № 1. С. 25—40.
- [3] *Белоусов А. Б., Белоусова М. Г.* Отложения и последовательность событий извержения вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. (Камчатка): отложения направленного взрыва // *Вулканология и сейсмология*. 2000. № 2. С. 3—17.
- [4] *Богоявленская Г. Е., Брайцева О. А., Мелекесцев И. В.* и др. Вулкан Безымянный // *Действующие вулканы Камчатки*. Т. 1. / отв. ред. с. А. Федотов, Ю. П. Масуренков. М.: Наука, 1991. С. 166—197.
- [5] *Богоявленская Г. Е., Брайцева О. А., Мелекесцев И. В.* и др. Катастрофические извержения типа направленных взрывов на вулканах Сент-Хеленс, Безымянный, Шивелуч // *Вулканология и сейсмология*. 1985. № 2. с. 3—26.
- [6] *Брайцева О. А., Мелекесцев И. В., Богоявленская Г. Е.* и др. Вулкан Безымянный: история формирования и динамика активности // *Вулканология и сейсмология*. 1990. № 2. С. 3—22.
- [7] *Горшков Г. С.* Извержение сопки Безымянной (предварительное сообщение) // *Бюлл. вулканологической станции*. № 26. М.: Изд. АН СССР, 1957. с. 19—72.
- [8] *Горшков Г. С.* Необычайное извержение на Камчатке // *Природа*. 1958. № 1. С. 61—68.
- [9] *Горшков Г. С., Богоявленская Г. Е.* Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения. М: Наука, 1965. 170 с.
- [10] *Гришин С. Ю.* Влияние извержений вулкана Ключевского на растительность // *Изв. РГО*. 2011. Т. 143, вып. 5. С. 44—54.
- [11] *Гришин С. Ю.* Влияние на растительность извержения группы Туйла на Ключевской сопке (Камчатка) // *Вестник КРАУНЦ*. 2007. № 2. С. 9—16.

- [12] *Гришин С. Ю.* Крупнейшие вулканические извержения XX столетия на Камчатке и Курильских островах и их влияние на растительность // Известия РГО. 2003. Т. 135, вып. 3. С. 19—28.
- [13] *Гришин С. Ю.* Растительность субальпийского пояса в Ключевской группе вулканов. Владивосток: Дальнаука, 1996. 156 с.
- [14] *Гришин С. Ю., Крестов П. В., Верхолат В. П.* и др. Восстановление растительности на вулкане Шивелуч после катастрофы 1964 г. // Комаровские чтения. Владивосток: Дальнаука, 2000. Вып. 46. С. 73—104.
- [15] *Жаринов Н. А., Демянчук Ю. В.* Оценка объемов изверженных продуктов вулкана Безымянный за 1955—2009 гг. // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 28—41.
- [16] *Конради С. А., Кель Н. Г.* Геологический отдел Камчатской экспедиции 1908—1911 гг. // Изв. РГО. 1925. № 57, вып. 1. С. 3—32.
- [17] *Краевая Т. С.* Генетические типы грубообломочных отложений стратовулканов. М.: Недра, 1977. 128 с.
- [18] *Куренков И. И.* Воздействие вулканизма на речную фауну // Природа. 1957. № 12. С. 49—54.
- [19] *Мальшев А. И.* Жизнь вулкана. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2000. 262 с.
- [20] *Мелекесцев И. В.* Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука. 1980. 212 с.
- [21] *Мелекесцев И. В., Краевая Т. С., Брайцева О. А.* Рельеф и отложения молодых вулканических районов Камчатки. М.: Наука. 1970. 104 с.
- [22] Новейший и современный вулканизм на территории России. М.: Наука, 2005. 604 с.
- [23] *Новограбленов П. Т.* Среди гигантов (путешествие вокруг Ключевского вулкана в 1927 г.) // Изв. ГРГО. 1929. Вып. 1. С. 25—39.
- [24] *Озеров А. Ю., Карпов Г. А., Дроздин В. А.* и др. Динамика извержения Ключевского вулкана 7 сентября — 2 октября 1994 г. (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1996. № 5. С. 3—16.
- [25] *Пуйн Б. И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944—1945 гг. и в прошлом // Тр. Лабор. вулканол. М.: Изд-во АН СССР, 1956. Вып. 11. 309 с.
- [26] *Шляхов С. А., Гришин С. Ю., Круголь К. С.* Почвы субальпийского пояса вулкана Ключевская сопка // Вестник КрасГАУ. 2011. Вып. 7. С. 52—57.
- [27] *Bursik M., Melekestsev I. V., Braitseva O. A.* Most recent fall deposits of Ksudach volcano, Kamchatka, Russia // Geophys. Res. Letters. 1993. Vol. 20. No. 17. P. 1815—1818.
- [28] *del Moral R., Grishin S.* Volcanic disturbance and ecosystem recovery // Ecosystems of Disturbed Ground. Amsterdam: Elsevier. 1999. P. 137—160.
- [29] Ecological Responses to the 1980 Eruption of Mount St. Helens / Ed. by V. H. Dale, F. J. Swanson, C. M. Crisafulli. Berlin: Springer, 2005. 342 p.
- [30] *Gorshkov G. S.* Gigantic eruption of the volcano Bezymianny // Bull Volcanol. 1959. 20: 77—109.
- [31] *Grishin S. Yu., del Moral R., Krestov P. V., Verkholat V. P.* The succession after catastrophic eruption of Ksudach volcano (Kanchatka, 1907) // Vegetatio. 1996. Vol. 122. P. 129—153.
- [32] The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, U. S. Geological Survey Professional Paper no. 1250, Washington, DC, 1981.
- [33] Общий вид зоны поражения. <https://bestmaps.ru/map/yandex/hybrid/12/55.9215/160.8871> (дата обращения: 10.08.2019).
- [34] Холмистые отложения обломочной лавины. <https://bestmaps.ru/map/yandex/hybrid/15/55.921/160.7924> (дата обращения: 10.08.2019).

The main trends in the dynamics of vegetation on the territory affected by the catastrophic eruption of Bezymyanny Volcano on March 30, 1956 (Kamchatka)

© S. Yu. Grishin

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok
E-mail: grishin@biosoil.ru, alaid@bk.ru

The transformation of the vegetation cover in the impact zone of the 1956 eruption, in territories covered by various deposits, is considered. As a result of a gigantic eruption (VEI 5), vegetation was exposed to a series of different volcanic impacts. Five main categories of events are distinguished: the movement of material of a huge volume of volcano edifice over a large distance as a result of a giant clastic avalanche, the pyroclastic surge of a direct blast, the pyroclastic flows, the formation of a giant eruptive cloud and ashfalls, as well as the lahars. The volume of erupted (initially high-temperature) deposits was, according to various estimates, in the amount of 1.35–1.5 km³, the volume of cold deposits of a clastic avalanche was 0.5–0.8 km³. The volume of lahar was 0.5 km³. The area covered by the pyroclastic wave of the directed explosion was about 500 km². Within this lesion zone, deposits of pyroclastic flows have occupied 30–40 km², and clastic avalanche deposits from 35 to 60 km². Below 900 m above sea level (a.s.l.) these deposits buried cover of subalpine dwarf alder (dominant species is *Alnus fruticosa*) and mountain meadow vegetation, as well as forest vegetation (dominant species is *Betula ermanii*) at its upper limit. Forest and partially dwarf alder vegetation was destroyed on a vast territory mainly under the influence of a pyroclastic wave (in the altitude range from 700–800 to 200 m a.s.l.), as well as lahars (in the range of 250–50 m a.s.l.). Primary successions occur in the alpine and partially subalpine zone on avalanche deposits and pyroclastic flows deposits, as well as in the upper part of the zone impacted by pyroclastic surge of the direct blast (40–45 km²). In part of the territories where thick deposits of the lahars were formed, primary successions also probably occurred. In the zone of primary successions, deposits of a clastic avalanche are settled by plants most slowly due to not-favourable edaphic factors. The process is somewhat more efficient on the deposits of pyroclastic flows (the same ratio was noted on the Shiveluch Volcano). The surface overlapped by deposits of the pyroclastic surge is populated relatively quickly. Secondary succession occurs in the zone of damage to the forest and dwarf trees by the influence of a pyroclastic wave, as well as in the zone of passage of the lahars. Restoring of vegetation to its previous state will take from 50 to ~500 years on different deposits and in different parts of an impact zone.

Key words: vegetation, ecosystems, volcano, eruption, pyroclastic surge, pyroclastic flows, ashfalls, lahars, successions, Kamchatka.

References

- [1] Alidibirov M. A., Bogoyavlenskaya G. E., Kirsanov I. T. i dr. Izverzhenie vulkana Bezymyannyj v 1985 g. // Vulkanologiya i seismologiya. 1988. No. 6. S. 3—17.
- [2] Belousov A. B., Belousova M. G. Otlozheniya i posledovatel'nost' sobytij izverzheniya vulkana Bezymyannyj 30 marta 1956 g. (Kamchatka): otlozheniya oblomochnoj laviny // Vulkanologiya i seismologiya. 1998. No. 1. S. 25—40.
- [3] Belousov A. B., Belousova M. G. Otlozheniya i posledovatel'nost' sobytij izverzheniya vulkana Bezymyannyj 30 marta 1956 g. (Kamchatka): otlozheniya napravlennogo vzryva // Vulkanologiya i seismologiya. 2000. No. 2. S. 3—17.
- [4] Bogoyavlenskaya G. E., Brajceva O. A., Melekescev I. V. i dr. Vulkan Bezymyannyj // Dejstvuyushhie vulkany Kamchatki. T. 1. / Otv. red. S. A. Fedotov, Yu.P. Masurenkov. M.: Nauka, 1991. S. 166—197.
- [5] Bogoyavlenskaya G. E., Brajceva O. A., Melekescev I. V. i dr. Katastroficheskie izverzheniya tipa napravlennyx vzryvov na vulkanax Sent-Xelens, Bezymyannyj, Shiveluch // Vulkanologiya i seismologiya. 1985. No. 2. S. 3—26.
- [6] Brajceva O. A., Melekescev I.V., Bogoyavlenskaya G. E. i dr. Vulkan Bezymyannyj: istoriya formirovaniya i dinamika aktivnosti // Vulkanologiya i seismologiya. 1990. No. 2. S. 3—22.
- [7] Gorshkov G. S. Izverzhenie sopki Bezymyannoj (predvaritel'noe soobshhenie) // Byull. vulkanologicheskoy stancii. № 26. M.: Izd. AN SSSR, 1957. S. 19—72.
- [8] Gorshkov G. S. Neobychnoe izverzhenie na Kamchatke // Priroda. 1958. No. 1. S. 61—68.
- [9] Gorshkov G. C., Bogoyavlenskaya G. E. Vulkan Bezymyannyj i osobennosti ego poslednego izverzheniya. M: Nauka, 1965. 170 s.

- [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. Vliyanie na rastitel'nost' izverzheniya gruppy Tujla na Klyuchevskoj sopke (Kamchatka) // Vestnik KRAUNC. 2007. No. 2. S. 9—16.
- [12] Grishin S. Yu. Krupnejshie vulkanicheskie izverzheniya XX stoletiya na Kamchatke i Kuril'skix ostrovax i ix vliyanie na rastitel'nost' // Izvestiya RGO. 2003. T. 135, vyp. 3. S. 19—28.
- [13] Grishin S. Yu. Rastitel'nost' subal'pijskogo poyasa v Klyuchevskoj gruppe vulkanov. Vladivostok: Dal'nauka, 1996. 156 s.
- [14] Grishin S. Yu., Krestov P. V., Verxolat V. P. i dr. Vosstanovlenie rastitel'nosti na vulkane Shiveluch posle katastrofy 1964 g. // Komarovskie chteniya. Vladivostok: Dal'nauka, 2000. Vyp. 46. S. 73—104.
- [15] Zharinov N. A., Demyanchuk Yu. V. Ocenka ob'emov izverzhennykh produktov vulkana Bezmyannyj za 1955—2009 g. // Vulkanologiya i seismologiya. 2011. No. 2. S. 28—41.
- [16] Konradi S. A., Kell' N. G. Geologicheskij otdel Kamchatskoj e'kspedicii 1908—1911 gg. // Izv. RGO. 1925. № 57, vyp. 1. S. 3—32.
- [17] Kraevaya T. S. Geneticheskie tipy gruboobmolochnykh otlozhenij stratovulkanov. M.: Nedra, 1977. 128 s.
- [18] Kurenkov I. I. Vozdejstvie vulkanizma na rechnuyu faunu // Priroda. 1957. No. 12. S. 49—54.
- [19] Malyshev A. I. Zhizn' vulkana. Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2000. 262 s.
- [20] Melekescev I. V. Vulkanizm i rel'efoobrazovanie. M.: Nauka. 1980. 212 s.
- [21] Melekescev I. V., Kraevaya T. S., Brajceva O. A. Rel'ef i otlozheniya molodykh vulkanicheskix rajonov Kamchatki. M.: Nauka. 1970. 104 s.
- [22] Novejsij i sovremennij vulkanizm na territorii Rossii. M.: Nauka, 2005. 604 s.
- [23] Novograbenov P. T. Sredi gigantov (puteshestvie vokrug Klyuchevskogo vulkana v 1927 g.) // Izv. GRGO. 1929. Vyp. 1. S. 25—39.
- [24] Ozerov A. Yu., Karpov G. A., Droznin V. A. i dr. Dinamika izverzheniya Klyuchevskogo vulkana 7 sentyabrya — 2 oktyabrya 1994 g. (Kamchatka) // Vulkanologiya i seismologiya. 1996. No. 5. S. 3—16.
- [25] Pijp B. I. Klyuchevskaya sopka i ee izverzheniya v 1944—1945 gg. i v proshlom // Tr. Labor. vulkanol. M.: Izd-vo AN SSSR, 1956. Vyp. 11. 309 s.
- [26] Shlyaxov S. A., Grishin S. Yu., Krugol' K. S. Pochvy subal'pijskogo poyasa vulkana Klyuchevskaya sopka // Vestnik KrasGAU. 2011. Vyp. 7. S. 52—57.
- [27] Bursik M., Melekestev I. V., Braitseva O. A. Most recent fall deposits of Ksudach volcano, Kamchatka, Russia // Geophys. Res. Letters. 1993. Vol. 20. No. 17. P. 1815—1818.
- [28] del Moral R., Grishin S. Volcanic disturbance and ecosystem recovery // Ecosystems of Disturbed Ground. Amsterdam: Elsevier. 1999. P. 137—160.
- [29] Ecological Responses to the 1980 Eruption of Mount St. Helens / Ed. by V. H. Dale, F. J. Swanson, C. M. Crisafulli. Berlin: Springer, 2005. 342 p.
- [30] Gorshkov G. S. Gigantic eruption of the volcano Bezmyannyj // Bull. Volcanol. 1959. 20: 77—109.
- [31] Grishin S. Yu., del Moral R., Krestov P. V., Verxolat V. P. The succession after catastrophic eruption of Ksudach volcano (Kamchatka, 1907) // Vegetatio. 1996. Vol. 122. P. 129—153.
- [32] The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, U. S. Geological Survey Professional Paper no. 1250, Washington, DC, 1981.
- [33] Obshhij vid zony porazheniya. <https://bestmaps.ru/map/yandex/hybrid/12/55.9215/160.8871> (data obrashcheniya: 10.08.2019).
- [34] Xolmistye otlozheniya oblomochnoj laviny. <https://bestmaps.ru/map/yandex/hybrid/15/55.921/160.7924> (data obrashcheniya: 10.08.2019).

Поступила в редакцию 16.08.2019 г.
 После доработки 19.09.2019 г.
 Принята к публикации 22.09.2019 г.