

ПЕПЛОПАД ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ (КАМЧАТКА) 29 АВГУСТА 2019 г.
И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

© 2021 г. С. Ю. Гришин^{а, *}, П. А. Перепелкина^{а, **},
М. Л. Бурдуковский^{а, ***}, А. Г. Лазарев^{б, ****}

^аФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

^бКамчатский центр информатизации и оценки качества образования,
Петропавловск-Камчатский, Россия

*E-mail: grishin@biosoil.ru

**E-mail: polly2004@list.ru

***E-mail: mburdukovskii@gmail.com

****E-mail: cabal66@mail.ru

Поступила в редакцию 09.08.2021 г.

После доработки 30.08.2021 г.

Принята к публикации 31.08.2021 г.

Изучены отложения умеренного извержения вулкана Шивелуч (Камчатка) 29 августа 2019 г. и их воздействие на растительность. По спутниковым данным выявлена динамика выброса тefры и развития пеплового облака. Пепловое облако, двигаясь на запад до Срединного хребта, достигло длины 150 км и покрыло тefрой территорию около 4000 км². Объем тefры, выпавшей на этой территории, можно оценить величиной 10–20 млн м³. Через 12–18 ч после пеплопада проведены краткие полевые наблюдения за его последствиями в долине р. Байдарной (юго-западный сектор вулкана), где отложилось 10–13 мм тонкого пепла. Тefра полностью покрыла кроны деревьев и кустарников; нагрузка на крону зрелого дерева березы каменной (*Betula ermanii*) составила сотни килограммов, ветви под тяжестью пепла прогнулись. Нагрузка на субстрат на открытых пространствах составила около 10 кг/м²; травостой в таких местах полег. Приведены данные химического и гранулометрического состава пеплов. Дана оценка эффекта извержения для экосистем района вулкана Шивелуч в ряду других его извержений последних десятилетий.

Ключевые слова: извержение, вулкан, пеплопад, тefра, воздействие на среду, спутниковые данные, растительность, *Betula ermanii*, Шивелуч

DOI: 10.31857/S0869607121050049

ВВЕДЕНИЕ

Воздействие пеплопадов на растительный покров Камчатки непосредственно в ходе извержения (или сразу после него) описывалось редко, в виде кратких замечаний. Эти заметки можно встретить при описании последствий извержений Ключевского вулкана в 1932 г. [17] и в 1945 г. [10], вулкана Безымянный в 1956 г. [2], вулканов Шивелуч в 1964 г. [3], Толбачик в 1975–1976 гг. [1] и в 2012–2013 гг. [6], Карымский в 1996 г. [23]. Выразительное описание пеплопада 1962 г. на о. Кунашир и его влияние на биоту дано в заметке [14]. На вулкане Шивелуч изучались последствия для растительности лишь одного извержения – масштабного выпадения тefры в ходе разрушительного извержения 1964 г., причем исследование проведено спустя 32 года после этого события [5]. В целом последствия влияния пеплопадов вулкана Шивелуч на

биоту до сих пор мало изучены, хотя пеплопады оказывают воздействие на природу обширных окрестностей вулкана на расстоянии многих десятков километров от эруптивного центра.

В августе 2019 г. нам удалось наблюдать последствия умеренного извержения вулкана Шивелуч. Поскольку публикации о воздействии малых и умеренных пеплопадов вулкана на растительный покров отсутствуют, в данном сообщении приведены краткие наблюдения, выполненные “по горячим следам”, приблизительно через 12–18 ч. после выпадения тефры. Они дополнены анализом спутниковых данных о динамике пеплового облака и масштабах пеплопада, а также анализом состава тефры.

Природные условия. Шивелуч – один из наиболее активных вулканов Камчатки; в продуктах его извержений преобладают андезиты [15, 24, 25]. Извержения Шивелуча масштабны и опасны своими разрушительными последствиями. По данным вулканологов, с 1980 г. вулкан находится в состоянии почти непрерывного извержения, отмеченного эксплозивной активностью и ростом активного купола [11]. Рост последнего сопровождается эпизодическими обвалами и сходом пирокластических потоков, а также лахаров [19]. Эруптивные колонны поднимаются на высоту более 10 км, пеплопады распространяются во все стороны, согласно направлениям ветра в период извержения (анализ спутниковых снимков показывает, что шлейфы пеплопадов чаще ориентированы в восточном и юго-восточном направлении). Шивелуч – самый северный действующий вулкан Камчатки. Очень крупный массив вулкана (диаметр основания достигает 45–50 км, высота – 3283 м [15]) частично закрывает с севера обширную депрессию центральной Камчатки с ее континентальным климатом и хвойными лесами (рис. 1).

Некоторые данные о растительности территории приведены в работах [4, 5, 12]. После крупного извержения 2005 г., когда мощный пирокластический поток заполнил своими отложениями долину р. Байдарной (юго-западный сектор вулкана), террасы ее правого берега с участками хвойных лесов оказались погребенными, поэтому хвойные леса сохранились лишь на пологом левобережье долины [8, 9]. В результате, к настоящему времени на склонах, примыкающих к правому берегу долины, растут леса преимущественно из березы каменной (*Betula ermanii*).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На следующий день после извержения 29 августа 2019 г. мы провели обследование в долине р. Байдарной в лесу, окаймляющем зону отложений обширного пирокластического потока 2005 г. На этой же территории нами проводились исследования (обзор некоторых результатов наших многолетних работ в долине р. Байдарной дан в работе [9]) непосредственно перед пеплопадом. Помимо наблюдений над эффектом воздействия пеплопада на растительность, проведена аэрофотосъемка ландшафтов долины р. Байдарной с помощью квадрокоптера, замерена мощность отложений и отобраны образцы пепла (в двух точках: пос. Ключи и долина р. Байдарной) для химического и гранулометрического анализа. Определение валовых содержаний элементов проводилось на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре Shimadzu EDX-800HS в специализированной лаборатории ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН. Для анализа гранулометрического состава образцов пепла применялся лазерный дифракционный анализатор “Analysette-22” фирмы FRITZSCH GmbH; учитывали средний размер частиц и их процентное распределение в образцах. Кроме того, была проанализирована серия спутниковых изображений, характеризующая динамику и масштаб извержения, а также изучены метеорологические данные в период извержения и последующие дни.

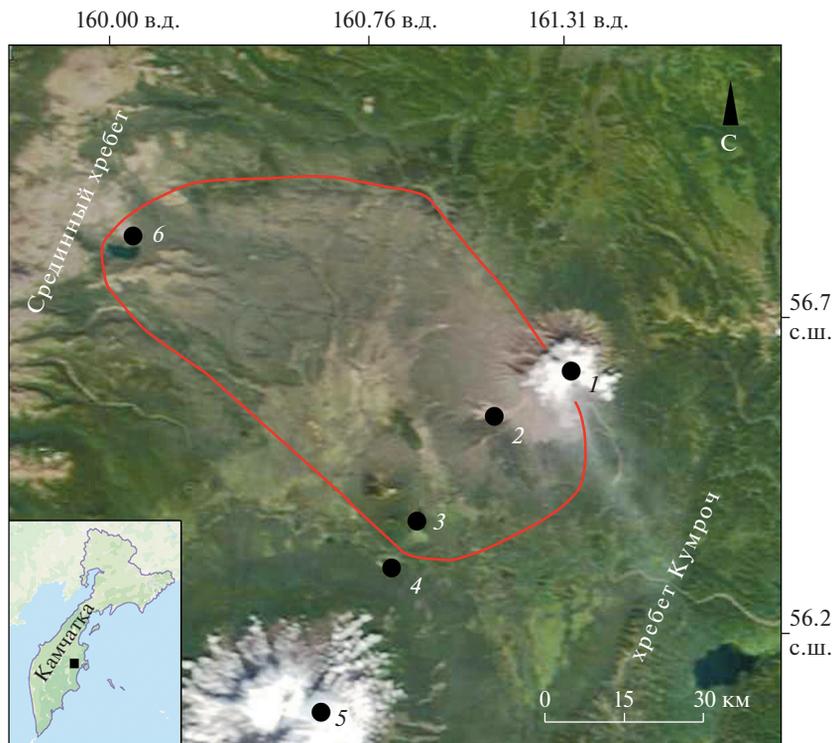


Рис. 1. Территория, покрытая пеплом извержения 29 августа 2019 г. (оконтурена красной линией). 1 – вулкан Шивелуч, 2 – долина р. Байдарной (район полевых наблюдений), 3 – Заречный хребет, 4 – пос. Ключи, 5 – вулкан Ключевской, 6 – оз. Двухюрточное. Изображение со спутника Terra/MODIS от 1 сентября 2019 г.

Fig. 1. The territory covered by the ash of the eruption on August 29, 2019 (outlined by a red line). 1 – Shiveluch volcano, 2 – Baydarnaya River valley (area of field observations), 3 – Zarechny ridge, 4 – Klyuchi settlement, 5 – Klyuchevskoy volcano, 6 – Dvukhyurtochnoye Lake. Terra/MODIS satellite image. September 1, 2019.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полевые наблюдения. Вечером 29 августа 2019 г. с территории Ключевской вулканостанции (п. Ключи, находится на расстоянии около 45 км к югу от активного купола вулкана Шивелуч) наблюдалась большая туча, необычного сиренево-бежевого цвета, медленно надвигавшаяся с севера в сторону поселка. К сумеркам она достигла склонов Заречного хребта. На метеостанции “Ключи” в 21:00 (здесь и далее время камчатское) зафиксировано явление “дым”, которое очевидно было сильным запылением от слабого пеплопада на периферии его ареала (это явление фиксировалось также 30 и 31 августа, причем во второй половине 31 августа добавилась “пыльный поземок”).

Утром 30 августа на листьях растений во дворе вулканостанции был обнаружен серый пепел. Тогда же мы выехали из п. Ключи к вулкану Шивелуч для проведения запланированных исследований. Уже через 1–2 км после переезда через р. Камчатка (42–43 км от активного купола) листва деревьев стала терять зеленый цвет – она была покрыта серым тонким пеплом. Широко распространенные вдоль дороги на Шивелуч древостой ив и ольхи пушистой (*Alnus hirsuta*), формирующие долинные леса на отложениях выносов сухих рек, были заметно присыпаны пеплом, под тяжестью которого изгибались ветви и кроны. По мере приближения к району наших работ в долине



Рис. 2. Березовый (*Betula ermanii*) лес на правом берегу долины р. Байдарной. Кроны деревьев, сплошь покрытые пеплом, потеряли зеленую окраску. Снято с квадрокоптера.

Fig. 2. Birch (*Betula ermanii*) forest on the right bank of the Baydarnaya River valley. Crowns of trees, completely covered with ash, have lost their green color. Photo taken from a quadcopter.

р. Байдарной лесная растительность практически утратила зеленый облик, ландшафт в условиях пасмурной погоды первой половины дня выглядел монохромным (рис. 2, 3, 4б).

На поле пирокластических отложений 2005 г. (13–15 км от активного купола) стоял легкий специфический запах сернистого газа. Свежевывавший материал был представлен слегка влажным, очень тонким, как пудра, пеплом. Во влажном состоянии он имел серо-коричневатый цвет. Мощность отложений пепла в долине р. Байдарной составила 10–13 мм. В период пеплопада была пасмурная, с эпизодическим туманом и моросью погода. После выпадения пепла прошел дождь, капли которого “перфорировали” поверхность отложений. Пепел перекрыл песчано-каменистый субстрат пирокластических отложений, водно-грязевые отложения, валеж деревьев, погибших в 2005 г., молодой подрост древесных растений, возобновляющихся по окраинам обширного поля пирокластики.

Перед пеплопадом лесная растительность долины находилась в нормальной фазе вегетации, соответствующей концу лета. Листва деревьев и подлеска березового леса была преимущественно зеленой, на ее фоне ярко выделялись плоды кустарниковой рябины (*Sorbus sambucifolia*), обильно растущей в подлеске (рис. 4а).

Из кустарников в березняке встречались жимолость съедобная (*Lonicera edulis*), ж. Шамиссо (*L. shamisoi*), шиповник тупоушковый (*Rosa amblyotis*), смородина печальная (*Ribes triste*), княжик охотский (*Atragene ochotensis*). Травостой в березовом лесу, описанный нами непосредственно перед пеплопадом, был хорошо развит, сомкнут, высотой до 1 м, на опушках – до 1.5–1.8 м, в его составе встречены до 20 видов сосудистых растений. Основная часть его состояла из вейника Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*) и иван-чая узколистного (*Chamaenerion angustifolium*). Там же встречались какалия копьевидная (*Cacalia hastata*), бодяк камчатский (*Cirsium kamschati-*



Рис. 3. Лес из березы каменной, покрытый пеплом. Долина р. Байдарной.

Fig. 3. Forest of Erman's birch (*Betula ermanii*), covered with ash. Baydarnaya River valley.

cum), герань волосистоцветковая (*Geranium erianthum*), хвощ зимующий (*Equisetum hyemale*), стрептопус стеблеобъемлющий (*Streptopus amplexifolius*), триллиум камчатский (*Trillium camschatcense*), княженика (*Rubus arcticus*), голокучник обыкновенный (*Gymnocarpium dryopteris*), майник широколистный (*Maianthemum dilatatum*) и др. Стоит отметить, что следы тонкой серой тефры на листве были видны до 30 августа. Это говорит о том, что слабые пеплопады уже происходили летом 2019 г.

Извержение 29 августа 2019 г. оказало заметное воздействие на растительные сообщества лесного пояса. Листва деревьев была покрыта слоем пепла, который лежал повсеместно также на субстрате, валеже, растениях нижних ярусов (рис. 4б). У ели аянской (*Picea ajanensis*) структура ветвей кроны многоярусная мутовчатая, вследствие чего верхние ярусы ветвей перехватывали и задерживали на себе пепел. При этом на охвоенный ствол подрост ели пепел почти не попал, оставаясь на верхних веточках (рис. 5а).

Подрост и молодой древостой ивы удской (*Salix udensis*) в полосе, примыкающей с юга к полю пирокластических отложений 2005 г., круто изогнул свои стволы под тяжестью пепла, осевшего на кронах (генезис этих зарослей, заселивших полосу хвойного леса, погибшего в результате прохождения пирокластической волны 2005 г., описан в статье [8]). В то же время подрост тополя душистого (*Populus suaveolens*) оказался устойчивым к пеплу, стволы остались вертикальными. После извержения травянистая растительность была густо покрыта пеплом; на открытых местах высокотравье и травостой в основном полегли, высота травяного яруса уменьшилась с 1–2 до 0.3–0.5 м. Это произошло вследствие высокой нагрузки на растения, поскольку на один квадратный метр выпало около 10 кг увлажненного пепла (в соответствии с данными по удельному весу пеплов вулканов Камчатки в работе [16]).

Аэрофотосъемка показала, что кроны берез были густо покрыты пеплом и, как следствие, потеряли зеленую окраску (см. рис. 2). Под пологом леса это было также выражено (см. рис. 4б, 5в), но в меньшей степени, поскольку кроны деревьев экранировали воздействие и задержали основную часть пепла. Нагрузка на деревья была су-

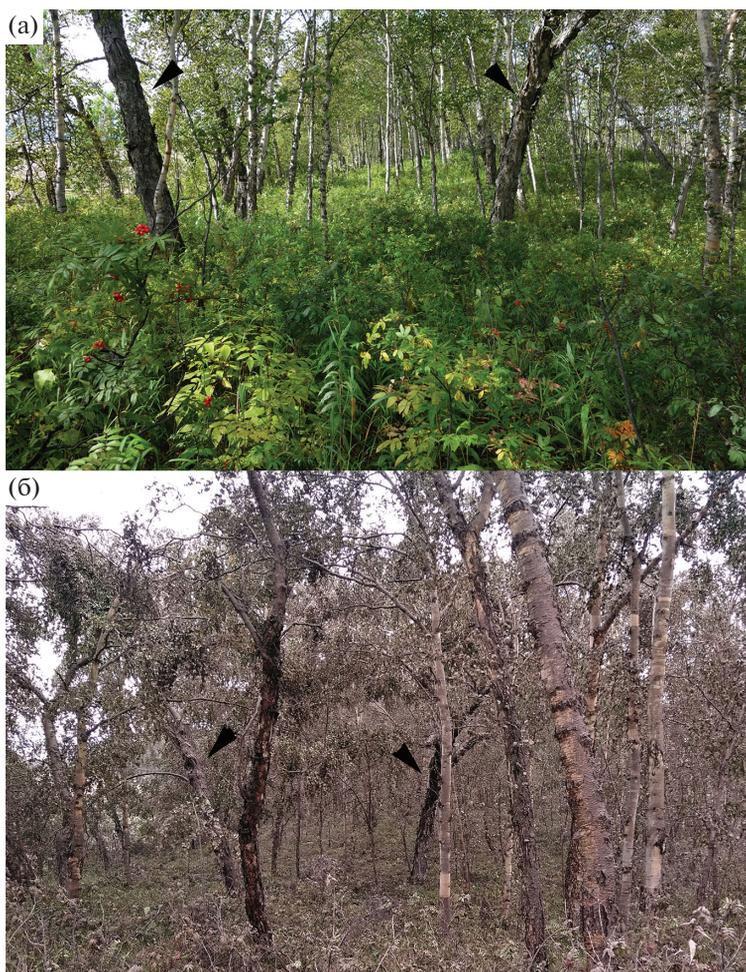


Рис. 4. Березовый (*Betula ermanii*) лес до и после пеплопада: а – 26.08.2019, б – 30.08.2019 г. Стрелки показывают одни и те же деревья.

Fig. 4. The birch (*Betula ermanii*) forest before and after the ashfall: а – August 26, 2019, б – August 30, 2019. The arrows show the same trees.

щественной: при площади кроны (определяется размером ее вертикальной проекции на субстрат) зрелой березы 30–75 м² [22], на дереве, включая ветви и листву, могли осесть несколько сотен килограммов пепла. Совокупная площадь листвы зрелых деревьев в 4–7 раз больше площади кроны. В результате большой нагрузки ветви берез согнулись. Круто изогнулись и стали “плакучими” плотные заросли из молодняка ивы удской, густо растущей по опушкам леса. Сильно нагнулись, а местами почти полегли заросли ольхового стланика (*Alnus fruticosa*).

Во второй половине дня 30 августа, когда сплошная облачность стала разрываться и появилось солнце, пепел стал подсыхать, приобрел светло-серый оттенок (см. рис. 5б, 5г) и начал пылить. При прикосновении в лесу к ветвям, стволикам и кустам, пепел с них осыпался, а при легких порывах ветра пепловая взвесь витала в воздухе и стояла над деревьями. Над лесом поднимались, казалось, неподвижные столбы пепла, окраши-

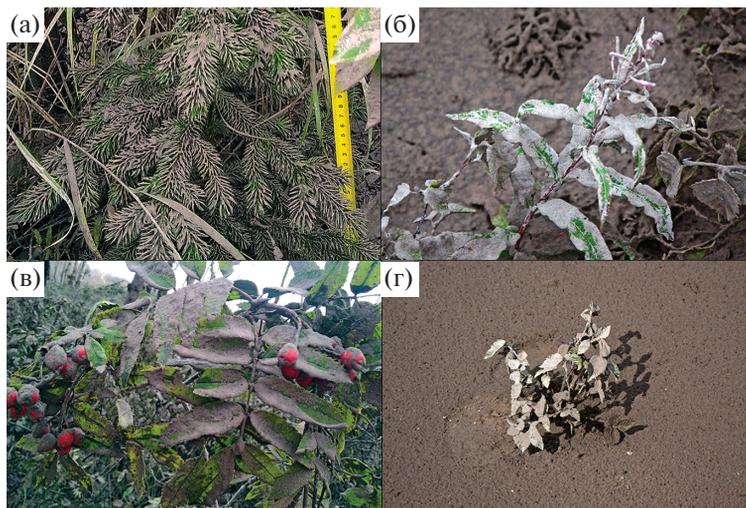


Рис. 5. Последствия пеплопада 29.08.2019 г.: а – подрост ели (*Picea ajanensis*); б – иван-чай (*Chamaenerion angustifolium*); в – кустарниковая рябина (*Sorbus sambucifolia*) под пологом березового леса; г – влажный пепел имел коричневатую окраску, а подсохший на листьях подроста березы (*Betula ermanii*) – светло-серую. Долина р. Байдарной, 30.08.2019.

Fig. 5. The effects of August 29 ashfall: а – spruce (*Picea ajanensis*) undergrowth; б – *Chamaenerion angustifolium*; в – shrubby wild ash (*Sorbus sambucifolia*) under the canopy of a birch forest; г – wet ash had a brownish color, and dried one on the leaves of undergrowth of *Betula ermanii* had a light gray color. Valley of the Baydarnaya River, August 30, 2019.

ваясь под воздействием солнечного света в розовато-желтый оттенок. Поскольку тонкий пепел при вдыхании представляет собой серьезную угрозу здоровью, находиться в лесу стало небезопасно и работу там пришлось прекратить.

Анализ спутниковых данных. На изображениях со спутника Himawari-8 от 29 августа 2019 г. видны: начало парогазового выброса в 14:30, начало пеплового выброса в 15:30 (рис. 6а), начало роста пеплового облака в 15:50. Максимальный размер плотного пеплового облака, с четко очерченными краями и видимой от него тенью наблюдался в 17:50 (рис. 6б). Длина облака достигла ~150 км, оно простиралось от хребта Кумроч (40–45 км к востоку от вулкана) до западных отрогов Срединного хребта (100–105 км к западу от вулкана). Вероятно, в период между 16 и 18 ч. происходил наиболее интенсивный пеплопад. После выпадения основного объема тefры в 18:50 происходило размывание и “расползание” пеплового облака. К 19:50 вынос пепла из вулкана, по видимому, закончился. Далее пепловое облако, перемещаясь на запад–северо-запад, достигло берега Охотского моря (рис. 6в) и в 20:40 начало движение над его акваторией (рис. 6г). Протяженность облака превысила 300 км; в целом оно размывалось, становилось диффузным, с нечеткими краями.

На изображениях со спутника Тегга/MODIS от 31 августа и 1 сентября 2019 г. видна обширная территория к запад–северо-западу от вулкана, покрытая пеплом (см. рис. 1). Контур пеплопада имеет форму неправильного овала площадью около 4000 км². Продольная ось (азимут 285°) длиной около 100 км расположена от южных склонов вулкана Шивелуч до отрогов Срединного хребта (в осевой части – оз. Двухюрточное); поперечная ось имеет длину около 60 км. Допуская, что пепел покрыл данный район слоем мощностью более 2–3 мм (вулканологи А.Ю. Озеров и Ю.В. Демянчук определили,

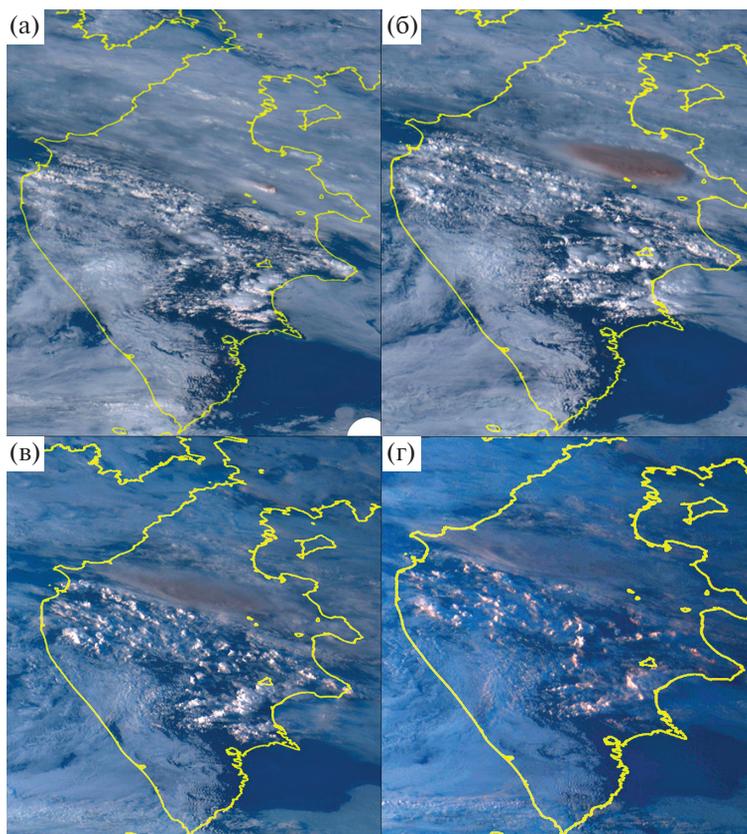


Рис. 6. Развитие пеплового облака на изображениях со спутника Himawari-8 от 29 августа 2019 г., указано местное время: а – 15:50, б – 17:50, в – 19:50, г – 20:40.

Fig. 6. The development of the ash cloud on the images from the Himawari-8 satellite dated August 29, 2019, local time is indicated: а – 15:50, б – 17:50, в – 19:50, г – 20:40.

что слой пепла, видимый на изображении со спутника Terra/MODIS, имеет мощность не менее 4–7 мм [18]), получим объем отложений на этой территории ~10–20 млн м³ (без учета пепла дальнего разноса). Поскольку этот обширный район преимущественно лесной, то основная масса пепла легла на кроны деревьев, в основном берез.

На изображении со спутника Terra/MODIS от 13 сентября 2019 г. цвет пепловых отложений уже почти не выделяется (просматривается легкая, как дымка, пелена). В период 29.08–11.09.2019 г. на метеостанции “Ключи” зафиксировано выпадение около 40 мм осадков (в горах, вероятно, их было больше). Дожди, а также сильный ветер 10–12 сентября (скорость на метеостанции “Ключи” – до 8–14 м/с, порывы – до 17 м/с) привели к тому, что основная масса пепла была, по-видимому, смыта и сдута с листвы и кроны, и затем смыта в лесную подстилку и поверхностный горизонт почв.

Результаты анализа пепловых отложений. Отобранный в двух местах (точки 2 и 4 на рис. 1) пепел был подвергнут химическому и гранулометрическому анализу. Результаты приведены на рис. 7 и в табл. 1; рН пепла (образец из района р. Байдарной) составил 5.7.



Рис. 7. Гранулометрический состав и процентное соотношение фракций в образцах пепла вулкана Шивелуч (классификация приведена по [13]).

Fig. 7. Particle size composition and percentage ratio of fractions in ash samples of the Shiveluch volcano (classification is given according to [13]).

Основу в отобранных образцах вулканического пепла составляет пылеватая фракция (рис. 7), причем в образце из п. Ключи ее содержание существенно выше.

Наибольшую долю (27.9%) пепла из района р. Байдарной составляет фракция 30–60 мкм – преимущественно это крупная пыль. Существенна примесь мелкого песка. Среднего и крупного песка приходится до 9.8%, при этом на долю фракции 300–600 мкм – около 7.5%. Встречаются очень крупные частицы (более 1 мм), но их доля не более 0.1%. Максимальный размер частиц в образце пепла из поселка Ключи не превышает 250 мкм. Его основу составляет фракция 30–60 мкм – до 39%.

Результаты РФА-анализа тонкого пепла, представленные в табл. 1, в целом соответствуют таковым для поля андезитовых тефр вулкана Шивелуч [24, 25].

ОБСУЖДЕНИЕ

В последние годы на вулкане Шивелуч часто фиксируются извержения, сопровождающиеся формированием крупных эруптивных туч с последующими пеплопадами. Так, в 2010 г. отмечено 25 пепловых выбросов Шивелуча [11]. Мощность отложений пепла большинства таких пеплопадов невелика; в лесном поясе на расстоянии 15–20 км от активного купола она редко превышала первые миллиметры. Посещая район Шивелуча в 2005–2019 г., мы наблюдали небольшие присыпки светло-серой тефры на листьях или тентах палаток достаточно часто, почти ежегодно. В ряде случаев отложения пепла хорошо видны на спутниковых снимках, особенно на снежном покрове; они ясно показывают направление и дальность разноса тефры.

Наиболее крупные пеплопады Шивелуча последних десятилетий зафиксированы в 1964, 2004, 2005 и 2010 гг. Грубая тефра (преимущественно разноразмерные лапилли пемзы) извержения 1964 г. выпала в юго-восточном секторе вулкана, а более мелкие фракции распространялись в восточном направлении вплоть до Командорских островов; общий объем тефры извержения составил 0.3 км^3 [3]. В высотном интервале 150–550 м мощность отложений достигала 10–27 см; выпадение крупных лапилли (до 5–8 см в поперечнике) привело к обломам крон и обдиранию коры деревьев, в результате чего они погибли на склонах выше 350 м (до 15–17 км от активного купола) [5]. Мертвые лиственницы стоят до сих пор в обширном районе среднего течения р. Кабеку [7].

Существенный пеплопад произошел в ходе извержения 10 мая 2004 г. Шлейф пепла был отложен к юго-востоку от вулкана вплоть до побережья Камчатки; объем тефры оценен величиной 10–20 млн м^3 [18]. Заметный пеплопад произошел в ходе сильного извержения в конце февраля 2005 г. Тефра была унесена сильным ветром на запад. Предположительно именно ее мы обнаружили в 2009 г. в виде пятен тонкого светло-

Таблица 1. Валовый состав тонкой тefры извержения вулкана Шивелуч 29.08.2019 г.
Table 1. The bulk composition of the fine tephra of the eruption of Shiveluch volcano on August 29, 2019

Компоненты	р. Байдарная	п. Ключи
	массовые %	
SiO ₂	61.98	62.90
TiO ₂	0.66	0.66
Al ₂ O ₃	20.62	19.68
Fe ₂ O ₃	5.30	5.18
MnO	0.10	0.11
MgO	2.11	2.10
CaO	6.47	6.34
Na ₂ O	0.36	0.64
K ₂ O	2.24	2.25
P ₂ O ₅	0.16	0.13
	ppm	
Co	45	44
Cr	93	102
Ni	30	18
Cu	34	44
V	35	44
Zn	37	59
Ga	8	9
Rb	16	18
Ba	363	362
Sr	591	572
Y	12	12
Zr	179	181

Примечание. Результаты анализов петрогенных оксидов пересчитаны на 100%. Содержание FeO не измерялось.

серого пепла мощностью до 1 см в 90 км к западу от активного купола Шивелуча. В конце октября 2010 г. произошло извержение, сопровождаемое обвалом купола и сходом пирокластических потоков по р. Кабеку и ее притокам. На юго-восточном склоне вулкана на высоте 350–550 м в двух десятках прикопок зафиксированы отложения тонкого светло-серого пепла мощностью 2–11 см [7]. Выпавший пепел парализовал жизнь п. Усть-Камчатск, расположенного на восточном побережье Камчатки (около 85 км от активного купола Шивелуча). По пробам пепла, взятым вдоль оси пеплопада, у автотрассы Ключи–Усть-Камчатск, масса тefры этого извержения оценена в 7.8 млн т [11].

Особо крупные пеплопады Шивелуча происходят один раз в несколько столетий. Так, в разрезе Черный Яр близ восточного побережья Камчатки (73 км от вулкана) за период около 6000 лет обнаружено 28 горизонтов пеплов вулкана Шивелуч [20]. Отложения наиболее крупных пеплопадов Шивелуча наблюдаются на удалении в несколько сотен километров, они датированы и в последние десятилетия используются как маркирующие горизонты [25].

Существенные и сильные пеплопады (мощность отложений более 10 см) приводят к погребению и уничтожению нижних ярусов растительных сообществ (мохово-лишайникового, травяного, кустарничкового), а для деревьев – к разрушительным по-

следствиям: обламыванию крон, обдиранию коры, почек, листы, погребению оснований стволов. Легкорастворимые соединения и адсорбированные пеплом газы могут привести к негативному химическому воздействию. Чехол тефры затрудняет аэрацию, изменяет водный и термический режим почв. Совокупность этих факторов может приводить к гибели и крупных деревьев с хорошо развитой корневой системой. На рубеж, отделяющий выживание от гибели, действует ряд факторов – мощность отложений, размер/вес частиц тефры, высота пеплового облака/скорость падения тефры, а также, возможно, интенсивность пеплопада. На поражение/выживание влияют также сезонность, высотное положение местообитания, возраст и состояние древесных растений, а также устойчивость к пеплопадам, заметно отличающаяся у разных видов древесных растений.

Пеплопады, даже умеренные, оказывают влияние на физиологическое состояние растений, через непосредственное воздействие на листву и хвою (запыление устьиц, перегрев и снижение интенсивности работы фотосинтетического аппарата и др.). Абразивной способностью обладает даже тонкая тефра (пепел), которая повреждает ткани растений. На обширных открытых пространствах вулканических пустошей возникают пыльные вихри, которые переносят большое количество тонкого материала (наблюдалась нами неоднократно на отложениях извержений 1964, 2005 и 2010 гг.), повреждающего листву и побеги. Это серьезная проблема для восстанавливающейся биоты вулканических районов. В то же время небольшие пеплопады стимулируют прирост древостоев. Так, было выявлено, что малое поступление тефры извержения вулкана Безымянный в 1956 г. (мощность отложений 0.5–5 см) вызвало увеличение прироста древесины лиственничных лесов, а более обильное – угнетение прироста [21].

Прошедший 29 августа 2019 г. пеплопад по масштабам и оцененному объему тефры можно отнести к умеренному. Основную часть выпавшей вулканической тефры составила пылеватая фракция. Пепел распространился на большой территории Камчатки и части акватории Охотского моря. Такие пеплопады, судя по изученным нами спутниковым изображениям Terra/MODIS за 2000–2020 г., повторяются на Шивелуче в текущий период его активности достаточно часто, возможно, ежегодно. В целом, частые пеплопады и поступления пепла в экосистемы – неотъемлемая черта природы обширного района, окружающего вулкан Шивелуч. Это привело к формированию слоисто-пепловых вулканических почв и, возможно, в какой-то мере, к отбору доминирующих видов растений в зоне максимального выпадения пепла (юго-восточные склоны и подножия вулкана). Тонкая тефра относительно маломощных (менее 10 мм) пеплопадов, попадая в почву, остается в ней в виде нечеткого прослоя, становясь частью быстро растущего почвенно-пирокластического чехла. Важно учитывать, что даже малые и умеренные пеплопады могут приводить к существенным экологическим последствиям [16]. Помимо прямого воздействия на экосистемы, возникающего при первичном поступлении тефры, после ее осаждения могут возникать вторичные эффекты, причем спустя месяцы, годы и десятилетия (пыление и ветровой перенос на открытых пространствах, эрозия отложений, вынос и последующее переотложение сухими речками, грязевыми потоками и лахарами).

Благодарности. Благодарим за содействие в проведении полевых работ администрацию ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, администрацию ИВиС ДВО РАН (Т.Ю. Самикова, О.Е. Боград), Ключевской вулканостанции ИВиС (В.А. Цветков). Очень полезными при подготовке данной работы были доброжелательные замечания и комментарии М.М. Певзнер (Геологический институт РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большое трещинное Толбачинское извержение (1975–1976 гг., Камчатка) / Под ред. С.А. Федотова. М.: Наука, 1984. 638 с.

2. Горшков Г.С. Извержение сопки Безымянной (предварительное сообщение) // Бюлл. вулканологических станций. М.: Изд. АН СССР. 1957. № 26. С. 19–72.
3. Горшков Г.С., Дубик Ю.М. Направленный взрыв на вулкане Шивелуч / Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 3–37.
4. Гришин С.Ю. Воздействие извержений вулкана Шивелуч на растительный покров // Изв. Рус. геогр. о-ва. 2013. Т. 145. Вып. 6. С. 17–28.
5. 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.
6. Гришин С.Ю., Комачкова И.В., Тимофеева Я.О. и др. Экспедиция в район Толбачинского извержения (Камчатка, август 2013) // Вестник ДВО РАН. 2013. № 5. С. 173–178.
7. Гришин С.Ю., Бурдуковский М.Л., Лазарев А.Г. и др. Гибель растительности в результате прохождения пирокластической волны (вулкан Шивелуч, Камчатка, 2010 г.) // Вестник ДВО РАН. 2015. № 2. С. 101–108.
8. Гришин С.Ю., Перепелкина П.А., Бурдуковский М.Л. и др. Начало восстановления лесной растительности после воздействия пирокластической волны извержения вулкана Шивелуч (Камчатка) 27 февраля 2005 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 4. С. 28–38.
9. Гришин С.Ю., Перепелкина П.А., Бурдуковский М.Л. и др. Природные изменения в долине р. Байдарной (вулкан Шивелуч, Камчатка) после сильного извержения 27 февраля 2005 г. // Вестник ДВО РАН. 2018. № 6. С. 133–145.
10. Дневники вулканолога Бориса Пийпа. М.: ЛОГАТА, 2006. 160 с
11. 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. <https://doi.org/10.1134/S0742046313020061>
12. Карпачевский Л.О., Турков В.Г. К характеристике растительности и почв южного склона вулкана Шивелуч // Биологические науки. 1972. № 8. С. 119–126.
13. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 191 с.
14. Криволицкая Г.О., Нечаев В.А. Вулканический пеплопад // Природа. 1963. № 8. С. 126.
15. Мелекесцев И.В., Вольнец О.Н., Ермаков В.А. и др. Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. В 2-х т. 1991. Т. 1. С. 84–103.
16. Мелекесцев И.В., Карташева Е.В., Кирсанова Т.П. и др. Загрязненная свежесвыпавшей тефрой вода как фактор природной опасности (на примере извержения вулкана Корякский, Камчатка, в 2008–2009 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2011. № 1. С. 19–32. <https://doi.org/10.1134/S0742046311010064>
17. Новограбленов П.Т. Извержение Пацана и Фаины на Камчатке // Изв. ГГО. Т. LXV. Вып. 5. 1933. С. 387–401.
18. Озеров А.Ю., Демянчук Ю.В. Пароксизмальное извержение вулкана молодой Шивелуч 10 мая 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 5. С. 75–80.
19. Левзнер М.М., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. и др. Воздействие катастрофических эксплозивных извержений на природную среду (на примере вулкана Шивелуч) // Изв. АН СССР, серия географическая. 1994. № 1. С. 75–85.
20. Левзнер М.М., Пономарева В.В., Мелекесцев И.В. Черный Яр – реперный разрез голоценовых маркирующих пеплов северо-восточного побережья Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1997. № 4. С. 3–18.
21. Шамшин В.А. Влияние вулканических пеплопадов на леса Центральной Камчатки // Вопросы географии Камчатки. 1965. Вып. 3. С. 83–89.
22. Шамшин В.А. Каменноберезовые леса Камчатки: биология, экология, строение древостоев. М.: ГЕОС, 1999. 170 с.
23. Grishin S.Yu., Krestov P.V., Verkholat V.P. Influence of 1996 eruption in the Karymsky volcano group, Kamchatka, on vegetation // Natural History Research. 2000. № 7. P. 39–48.
24. Ponomareva V.V., Kyle P.R., Pevzner M.M. et al. Holocene eruptive history of Shiveluch volcano, Kamchatka Peninsula / Eds. J. Eichelberger, E. Gordeev, M. Kasahara et al. Volcanism and Tectonics of the Kamchatka Peninsula and Adjacent Arcs. Geophysical Monograph Series. 2007. V. 172. P. 263–282.
25. Ponomareva V., Portnyagin M., Pevzner M. et al. Tephra from andesitic Shiveluch volcano, Kamchatka, NW Pacific: chronology of explosive eruptions and geochemical fingerprinting of volcanic glass // International J. Earth Sciences. 2015. V. 104. P. 1459–1482. <https://doi.org/10.1007/s00531-015-1156-4>

Ashfall of Shiveluch Volcano (Kamchatka) on August 29, 2019 and Its Impact on Vegetation

S. Yu. Grishin^{1, *}, P. A. Perepelkina^{1, **}, M. L. Burdukovskii^{1, ***}, and A. G. Lazarev^{2, ****}

¹*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch
of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

²*Kamchatka Center for Informatization and Education Quality Assessment,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

*E-mail: grishin@biosoil.ru

**E-mail: polly2004@list.ru

***E-mail: mburdukovskii@gmail.com

****E-mail: cabal66@mail.ru

The deposits of the moderate eruption of Shiveluch volcano (Kamchatka) on August 29, 2019 and their impact on vegetation were studied. According to satellite data, the dynamics of tephra ejection and the extension of the ash cloud had been revealed. The ash cloud, moving westward to the Sredinny Range, reached a length of 150 km and covered an area of about 4000 km² with tephra. The volume of tephra that fell out in this area can be estimated at 10–20 million m³. 12–18 hours after the ashfall, brief field observations were made in the Baydarnaya River valley (southwestern sector of the volcano), where 10–13 mm of fine ash was deposited. Tephra has covered completely the crowns of trees and bushes; the load on the crown of a mature tree of the Erman's birch (*Betula emanii*) was hundreds of kilograms, the branches have bent under the weight of ash. The load on the substrate in open spaces was about 10 kg/m²; the herbage has fallen on the ground under ash weight in such places. The data on the chemical and particle size composition of ash are presented. An assessment of the effect of the eruption on the dynamics of ecosystems in the area of Shiveluch volcano in a number of other eruptions of the volcano of recent decades is given.

Keywords: eruption, volcano, ashfall, tephra, environmental impact, satellite data, vegetation, *Betula emanii*, Shiveluch

REFERENCES

1. Bol'shoye treshchinnoe Tolbachinskoe izverzhenie (1975–1976 gg., Kamchatka) / Pod red. S.A. Fedotova. M.: Nauka, 1984. 638 s.
2. Gorshkov G.S. Izverzhenie sopki Bezymyannoj (predvaritel'noe soobshchenie) // Byull. vulkanologicheskikh stancij. M.: Izd. AN SSSR. 1957. № 26. S. 19–72.
3. Gorshkov G.S., Dubik Yu.M. Napravlennyy vzryv na vulkane Shiveluch / Vulkany i izverzheniya. M.: Nauka, 1969. S. 3–37.
4. Grishin S.Yu. Vozdejstvie izverzhenij vulkana SHiveluch na rastitel'nyj pokrov // Izv. Rus. geogr. o-va. 2013. V. 145. Vyp. 6. S. 17–28.
5. Grishin S.Yu., Krestov P.V., Verholat V.P. et al. Vosstanovlenie rastitel'nosti na vulkane Shiveluch posle katastrofy 1964 g. // Komarovskie chteniya. Vladivostok: Dal'nauka, 2000. Vyp. 46. S. 73–104.
6. Grishin S.Yu., Komachkova I.V., Timofeeva Ya.O. et al. Ekspediciya v rajon Tolbachinskogo izverzheniya (Kamchatka, avgust 2013) // Vestnik DVO RAN. 2013. № 5. S. 173–178.
7. Grishin S.Yu., Burdukovskij M.L., Lazarev A.G. et al. Gibel' rastitel'nosti v rezul'tate prohozhdeniya piroklasticheskoy volny (vulkan Shiveluch, Kamchatka, 2010 g.) // Vestnik DVO RAN. 2015. № 2. S. 101–108.
8. Grishin S.Yu., Perepelkina P.A., Burdukovskij M.L. et al. Nachalo vosstanovleniya lesnoj rastitel'nosti posle vozdejstviya piroklasticheskoy volny izverzheniya vulkana Shiveluch (Kamchatka) 27 fevralya 2005 g. // Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle. 2017. № 4. S. 28–38.
9. Grishin S.Yu., Perepelkina P.A., Burdukovskij M.L. et al. Prirodnye izmeneniya v doline r. Bajdarnoj (vulkan Shiveluch, Kamchatka) posle sil'nogo izverzheniya 27 fevralya 2005 g. // Vestnik DVO RAN. 2018. № 6. S. 133–145.
10. Dnevniky vulkanologa Borisa Pijpa. M.: LOGATA, 2006. 160 s.
11. Zharinov N.A., Demyanchuk Yu.V. Krupnye eksplozivnye izverzheniya vulkana Shiveluch (Kamchatka) s chastichnym razrusheniem ekstruzivnogo kupola 28 fevralya 2005 g. i 27 oktyabrya 2010 g. // Vulkanologiya i seismologiya. 2013. № 2. S. 48–62. DOI 10.1134/S0742046313020061
12. Karpachevskij L.O., Turkov V.G. K karakteristike rastitel'nosti i pochv yuzhnogo sklona vulkana Shiveluch // Biologicheskie nauki. 1972. № 8. S. 119–126.

13. *Kachinskij N.A.* Mekhanicheskij i mikroagregatnyj sostav pochvy, metody ego izucheniya. M.: Izd-vo AN SSSR, 1958. 191 s.
14. *Krivoluckaya G.O., Nechaev V.A.* Vulkanicheskij peplopad // Priroda. 1963. № 8. S. 126.
15. *Melekescev I.V., Volynec O.N., Ermakov V.A. et al.* Vulkan Shiveluch // Dejstvuyushchie vulkany Kamchatki. V 2-h t. 1991. V. 1. S. 84–103.
16. *Melekescev I.V., Kartasheva E.V., Kirsanova T.P. et al.* Zagryaznennaya svezhevypavshej tefroj voda kak faktor prirodnoj opasnosti (na primere izverzheniya vulkana Koryakskij, Kamchatka, v 2008–2009 gg.) // Vulkanologiya i sejsmologiya. 2011. № 1. S. 19–32. DOI 10.1134/S0742046311010064
17. *Novograblenov P.T.* Izverzhenie Pacana i Fainy na Kamchatke // Izvestiya GGO. T. LXV. Vyp. 5. 1933. S. 387–401.
18. *Ozerov A.Yu., Demyanchuk Yu.V.* Paroksizmal'noe izverzhenie vulkana molodoj Shiveluch 10 maya 2004 g. // Vulkanologiya i sejsmologiya. 2004. № 5. S. 75–80.
19. *Pevzner M.M., Melekescev I.V., Ponomareva V.V. et al.* Vozdejstvie katastroficheskikh eksplozivnyh izverzhenij na prirodnyu sredu (na primere vulkana Shiveluch) // Izvestiya AN SSSR, seriya geograficheskaya. 1994. № 1. S. 75–85.
20. *Pevzner M.M., Ponomareva V.V., Melekescev I.V.* Chernyj Yar – repornyj razrez golocenovyh markiruyushchih peplov severo-vostochnogo poberezh'ya Kamchatki // Vulkanologiya i sejsmologiya. 1997. № 4. S. 3–18.
21. *Shamshin V.A.* Vliyanie vulkanicheskikh peplopadov na lesa Central'noj Kamchatki // Voprosy geografii Kamchatki. 1965. Vyp. 3. S. 83–89.
22. *Shamshin V.A.* Kamennoberezovye lesa Kamchatki: biologiya, ekologiya, stroenie drevostoev. M.: GEOS, 1999. 170 s.
23. *Grishin S.Yu., Krestov P.V., Verkholat V.P.* Influence of 1996 eruption in the Karymsky volcano group, Kamchatka, on vegetation // Natural History Research. 2000. № 7. P. 39–48.
24. *Ponomareva V.V., Kyle P.R., Pevzner M.M. et al.* Holocene eruptive history of Shiveluch volcano, Kamchatka Peninsula / Eds. J. Eichelberger, E. Gordeev, M. Kasahara et al. Volcanism and Tectonics of the Kamchatka Peninsula and Adjacent Arcs. Geophysical Monograph Series. 2007. V. 172. P. 263–282.
25. *Ponomareva V., Portnyagin M., Pevzner M. et al.* Tephra from andesitic Shiveluch volcano, Kamchatka, NW Pacific: chronology of explosive eruptions and geochemical fingerprinting of volcanic glass // International J. Earth Sciences. 2015. V. 104. P. 1459–1482. DOI 10.1007/s00531-015-1156-4