

УДК 551.311.8 (571.642)

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ РЕЛЬЕФА ЮЖНО-САХАЛИНСКОГО ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА (О-В САХАЛИН)

© 2021 г. Е. В. Лебедева^{1,*}, Д. В. Мишуринский^{1,2,**}

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

*E-mail: Ekaterina.lebedeva@gmail.com

**E-mail: mishurinsk@mail.ru

Поступила в редакцию 25.02.2020 г.

После доработки 24.03.2020 г.

Принята к публикации 06.10.2020 г.

Активность Южно-Сахалинского грязевого вулкана привела к трансформации рельефа как непосредственно самого холма, на вершине которого располагается современный эруптивный центр, так и окружающей территории, в частности, долин обрамляющих и дренирующих вулкан водотоков. Анализ данных малоглубинных сейсмических исследований, проведенных в конце 1990-х гг., свидетельствует о густом эрозионном расчленении территории поля современной грязевулканической активности в до/или ранневулканический этап. Установлено периодическое заполнение эрозионных врезов и перегораживание современных долин потоками сопочной брекчии, смещение и трансформация водоразделов, отжимание русел водотоков грязевыми потоками. Выявлено несколько разновидностей террас и террасовидных поверхностей в долинах прилегающих к вулкану рек: 1) эрозионные или цокольные террасы, выработанные в толще сопочной брекчии, 2) террасовалы, сформированные в результате перекрытия грязевыми потоками аллювиальных террас на прилежащих к вулкану склонах долин, 3) грязевулканические псевдотеррасы, сформированные разновозрастными потоками брекчии разной протяженности, 4) оползневые террасы в грязевулканических отложениях, 5) псевдотеррасы — фрагменты грязевулканических плотин.

Ключевые слова: грязевой вулканизм, сопочная брекчия, трансформация речной сети, миграция водораздела, террасы

DOI: 10.31857/S0435428121010090

ВВЕДЕНИЕ

На Дальнем Востоке России о-в Сахалин является единственным регионом, где известны наземные грязевые вулканы, хотя в принципе грязевой вулканизм достаточно широко распространен в пределах Тихоокеанского орогенического пояса. Районы грязевого вулканизма характеризуются большой мощностью осадочного чехла и обычно совмещаются с крупными нефтегазоносными бассейнами.

Сахалин представляет собой часть Хоккайдо-Сахалинского поднятия, которое соответствует одноименной позднемезозойско-кайнозойской складчатой системе. В строении острова принимают участие палеозойские, мезозойские и кайнозойские образования осадочного, эффузивного и интрузивного генезиса [1]. Основные орографические элементы острова протягиваются в направлении, близком меридиональному, и являются прямым выражением его тектонических структур. С востока остров окаймляют Восточно-

Сахалинские горы, с запада — Западно-Сахалинские. Хребты разделены системой межгорных впадин Центрально-Сахалинской депрессии, приуроченной к одноименному разлому, также протягивающемуся с севера на юг. Амплитуда этого взбросо-надвига достигает многих сотен метров, его плоскость падает на запад под углом от 20 до 80° [2].

Грязевой (осадочный) вулканизм обусловлен фокусированными потоками подземных флюидов, находящимися под действием аномально высоких пластовых давлений. В результате на земную поверхность извергаются переработанные осадочные породы — сопочная брекчия, вода и газ. Часто это явление свойственно разломным зонам земной коры. Так, из четырех участков проявления грязевого вулканизма, выделяемого на Сахалине [3], три наиболее мощных — группа Пугачевских вулканов, Восточный и Южно-Сахалинский грязевые вулканы — приурочены к Центрально-Сахалинскому разлому — одной из

самых крупных дизъюнктивных дислокаций острова.

Деятельность грязевых вулканов имеет циклический характер: этапы кратковременного бурного извержения чередуются с длительными (годы и десятки лет) периодами грифоновой активности, когда происходит медленное истечение флюидов на земную поверхность через систему грифонов и сальз.

Грязевой вулканизм Сахалина в целом изучен еще недостаточно полно, хотя первые работы, посвященные самому доступному Южно-Сахалинскому грязевому вулкану (ЮСГВ), появились почти сто лет назад. Ежегодно сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН и другими специалистами проводится геолого-геофизический и геохимический мониторинг деятельности этого грязевого вулкана, изучение динамики растительности грязевых полей [4–9].

Цель данной работы — геоморфологический анализ грязевулканического рельефа ЮСГВ, а также определение особенностей и масштабов влияния его деятельности на рельеф прилегающей территории. Для этого нами было проведено геоморфологическое дешифрирование разновременных космических и аэрофотоснимков; в 2015, 2018–2019 гг. совместно с сотрудниками ИМГиГ в процессе маршрутных геоморфологических исследований изучены морфологические особенности строения современного грязевулканического поля ЮСГВ, проведено опробование отложений сопочной брекчии и аллювия прилегающих рек, впервые составлена геоморфологическая карта территории вулкана.

РЕЛЬЕФ И СТРОЕНИЕ ЮЖНО-САХАЛИНСКОГО ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА

Южно-Сахалинский грязевой вулкан расположен в южной части Западно-Сахалинского хребта в поле распространения мощной (до 3000 м) высокопластичной алевролита-аргиллитовой верхнемеловой толщи — быковской свиты [2, 10]. Он представляет собой сдвоенный субмеридионально ориентированный плосковершинный холм размером примерно 1–1.2 на 2–2.5 км с радиально расходящимися промоинами от каждой из его вершин (рис. 1). На северной вершине холма расположено вытянутое с ЮЮЗ на ССВ действующее грязевое поле размером примерно 50 на 150 м, от которого отходят радиально ориентированные разновозрастные потоки грязевой брекчии, покрытые преимущественно травянистой растительностью. Остальная часть холма заросла густым лиственным лесом с участием хвойных пород, что маскирует основные морфологиче-

ские черты вулкана и затрудняет дешифрирование его границ.

Высота холма немногим более 300 м над уровнем моря и 80–100 м над урезом р. Алат, долина которой обрамляет холм с СЗ (рис. 2). С СВ находится долина ее притока — ручья 1-го Вулканного; южные склоны грязевого вулкана дренируют притоки р. Путы (ручьи Придорожный, Западный и др.). Все водотоки относятся к бассейну р. Сусуй.

Современное активное грязевое поле имеет овальную форму, оно покрыто разреженной травянистой растительностью (рис. 3). На нем расположены несколько вовсе лишенных растительности пятен — зон скоплений грифонов — размерами 5–7 на 12–15 м, которые в плане образуют полосу ССВ простираения. В центре поля в настоящее время наблюдается округлое возвышение высотой до 1–2 м — частично уже разрушенный диапир диаметром до 20–30 м — следы выдавливания сопочной брекчии во время извержения 2017 г. Размер действующих грифонов составляет от 10 до 70 см в высоту и до 30–40 см в диаметре (рис. 4), а их общее количество достигает нескольких десятков. Рядом с грифонами располагаются единичные грязевые лужи-сальзы. Изливаемая из них сопочная брекчия серовато-сизого цвета имеет преимущественно алевроито-пелитовый состав с включением обломков песчаника размером до 0.3 м, как неокатанных, так и хорошей окатанности.

К востоку от современного вулканического поля в приконтактной зоне с обрамляющими его с юга сопками находится плоское заболоченное понижение, в котором берут начало притоки Путы и Алата — ручьи Придорожный и 1-й Вулканный. Понижение заполнено сопочной брекчией вскрытой мощностью не менее 2.5 м; крутые (до 20°) склоны обрамляющей его с юга сопки сложены уже песчаниками и алевролитами (рис. 5). При извержениях ЮСГВ сопочная брекчия спускается в понижение, упираясь в сопку, и далее направляется по долине одного или же обоих водотоков. В зависимости от этого водораздел между бассейнами Путы и Алата смещается в ту или иную сторону на десятки метров.

По периферии свежего грязевого поля травянистая растительность становится более плотной, но на пологих привершинных склонах холма фиксируются радиально расходящиеся эрозионные борозды и промоины глубиной 0.5–1.0 м. С увеличением крутизны склонов они углубляются и расширяются, сохраняясь даже под пологом леса. Обилие выпадающих осадков способствует их постепенному росту и формированию оврагов как на свежих грязевых потоках, так и на более древних (уже залесенных) полях сопочной брекчии. Следов суффозии, которая по свидетельству

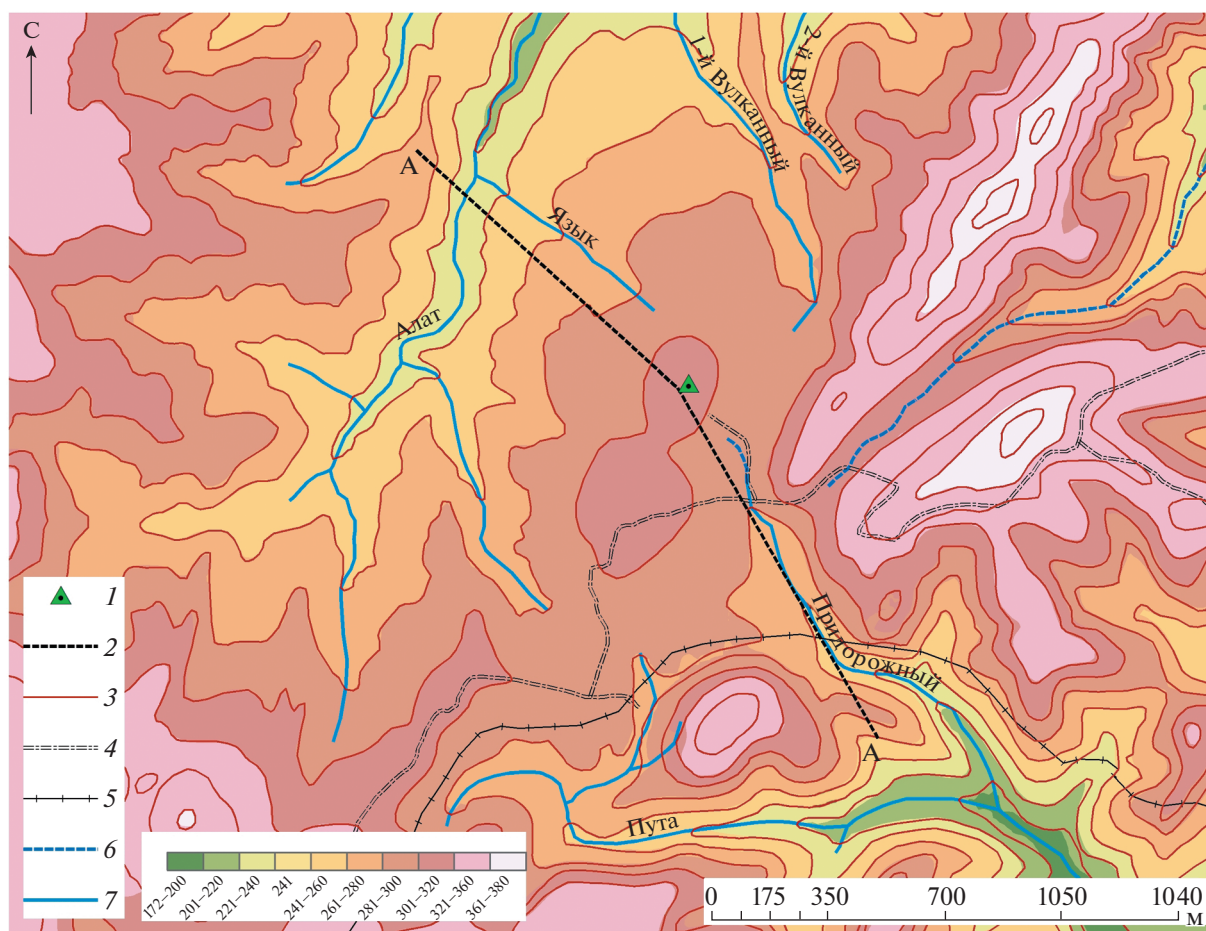


Рис. 1. Гипсометрическая карта и положение линии профиля через ЮСГВ. Тон заливки соответствует различным высотным уровням рельефа.

1 – современный эруптивный центр; 2 – линия профиля; 3 – горизонтали (проведены через 20 м); 4 – грунтовые дороги; 5 – железная дорога; 6 – временные водотоки; 7 – реки.

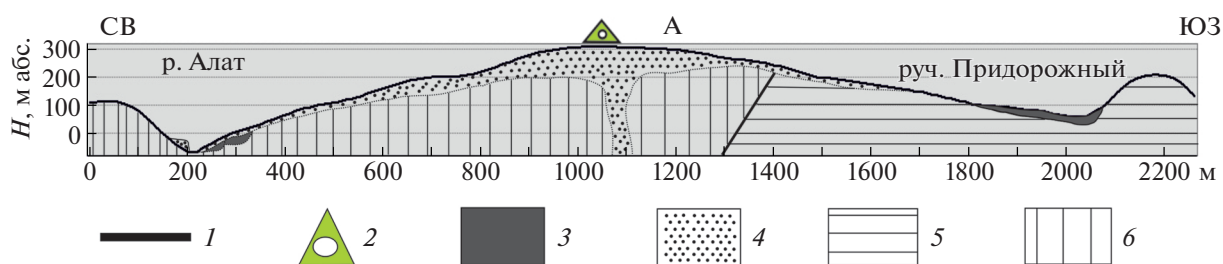


Рис. 2. Схематический геолого-геоморфологический профиль через вулкан (с использованием данных [10]).

1 – Центрально-Сахалинский разлом; 2 – современный эруптивный центр; 3 – аллювиальные отложения; 4 – сопочная брекчия; 5 – слабосцементированные песчаники, алевролиты и аргиллиты эоцен-олигоценного возраста; 6 – тонкослоистая алевролитово-аргиллитовая верхнемеловая толща (быковская свита). Положение профиля – см. рис. 1.

Ю.Р. Беляева, типична для многих грязевых вулканов Азербайджана (устное сообщение), в пределах полей развития вулканической брекчий ЮСГВ не наблюдается.

На СЗ склоне холма располагается протяженный (длиной более 550 м) прочес – “язык” сопочной брекчий, образовавшийся при извержении вулкана 2001 г. Двигаясь вниз по склону, мощный



Рис. 3. Общий вид (с севера) современного эруптивного центра Южно-Сахалинского грязевого вулкана с квадрокоптера (фото Р.В. Жаркова, 2018 г.).

1 — зоны скопления грифонов; 2 — диапир, сформированный во время извержения 2017 г.

поток глинистых отложений с включением обломочного материала заполнил долину небольшого притока р. Алат — ручья Язык, уничтожил древесную растительность по ее бортам и, спустившись в долину р. Алат, временно перегородил ее плотиной высотой до 5 м [10]. В настоящее время на границе грязевого потока сохранились сломанные деревья, а его поверхность расчленена эрозионными промоинами на глубину до 2 м (рис. 6). В нижней части языка сопочной брекчии эрозия уже частично вскрыла погребенную долинку водотока и сформировала в глинистых отложениях новый V-образный врез глубиной до 4–5 м с порожиисто-водопадным руслом. В месте впадения водотока в р. Алат сохранились следы бывшей плотины из грязевулканических отложений: на правом борту это террасовидная поверхность в приустьевой части ручья Язык, на левом — прислоненные отложения сопочной брекчии на отметках около 5 м над современным урезом.

Как показали материалы предыдущих исследований [2, 10], сильные извержения Южно-Сахалинского грязевого вулкана (с объемом выброшенной брекчии порядка 100 тыс. м³), подобные извержению 2001 г., происходят достаточно редко — примерно один раз в 20–30 лет. При этом потоки сопочной брекчии стекают то по одному, то по другим склонам холма в зависимости от конкретного места излияния и от существующего в тот момент рельефа вершинной поверхности. При прекращении вулканической деятельности отложения брекчии быстро расчленяются свежей эрозионной сетью — бороздами, промоинами и небольшими овражками.

На ЮЗ от современного эруптивного центра располагается вторая вершина этого полого-



Рис. 4. Действующие грифоны ЮСГВ (фото Е.В. Лебедевой, 2015 г.).

склонного холма, превышающая по высоте действующее грязевое поле на 5–10 м и отделенная от него небольшой седловиной. Пологие склоны ее залесены, но при этом расчленены промоинами глубиной до 1–1.5 м, в которых с поверхности и на всю глубину вскрывается сизовато-серая сопочная брекчия. На вершинной поверхности холма располагается несколько луж-сальз диаметром до 1.0–1.5 м со слабыми выходами газа; по данным [10], они активно действовали в 1960–1970-е годы. Сейсмические исследования [11], проводившиеся для изучения внутреннего строения Южно-Сахалинского грязевого вулкана, показали, что под современным эруптивным центром с действующими грифонами и сальзами в интервале глубин от 5 до 40 м находится приповерхностный грязевулканический резервуар, а под холмом со слабоактивными сальзами — древний эруптивный центр. Таким образом, грязевым вулканом действительно является весь сдвоенный холм. При этом поле развития сопочной брекчии от железной дороги Южно-Сахалинск — Холмск вплоть до р. Алат и ручья 1-го Вулканного в длину достигает 2200 м при ширине около 1000–1200 м. Однако небольшие участки грязевулканической активности — слабоактивные сальзы, обрамленные зонами чахлой травянистой растительности диаметром 8–10 м, прослеживаются и южнее железной дороги — на низких террасовых уровнях левого притока р. Путы — ручья Западного (рис. 5).

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЮСГВ И ФЛЮВИАЛЬНОЕ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЕ

Грязевые вулканы — достаточно редкие формы рельефа, тем не менее, есть интересный опыт изучения их морфологии в различных регионах мира. Так, некоторые крупные вулканы Азербай-

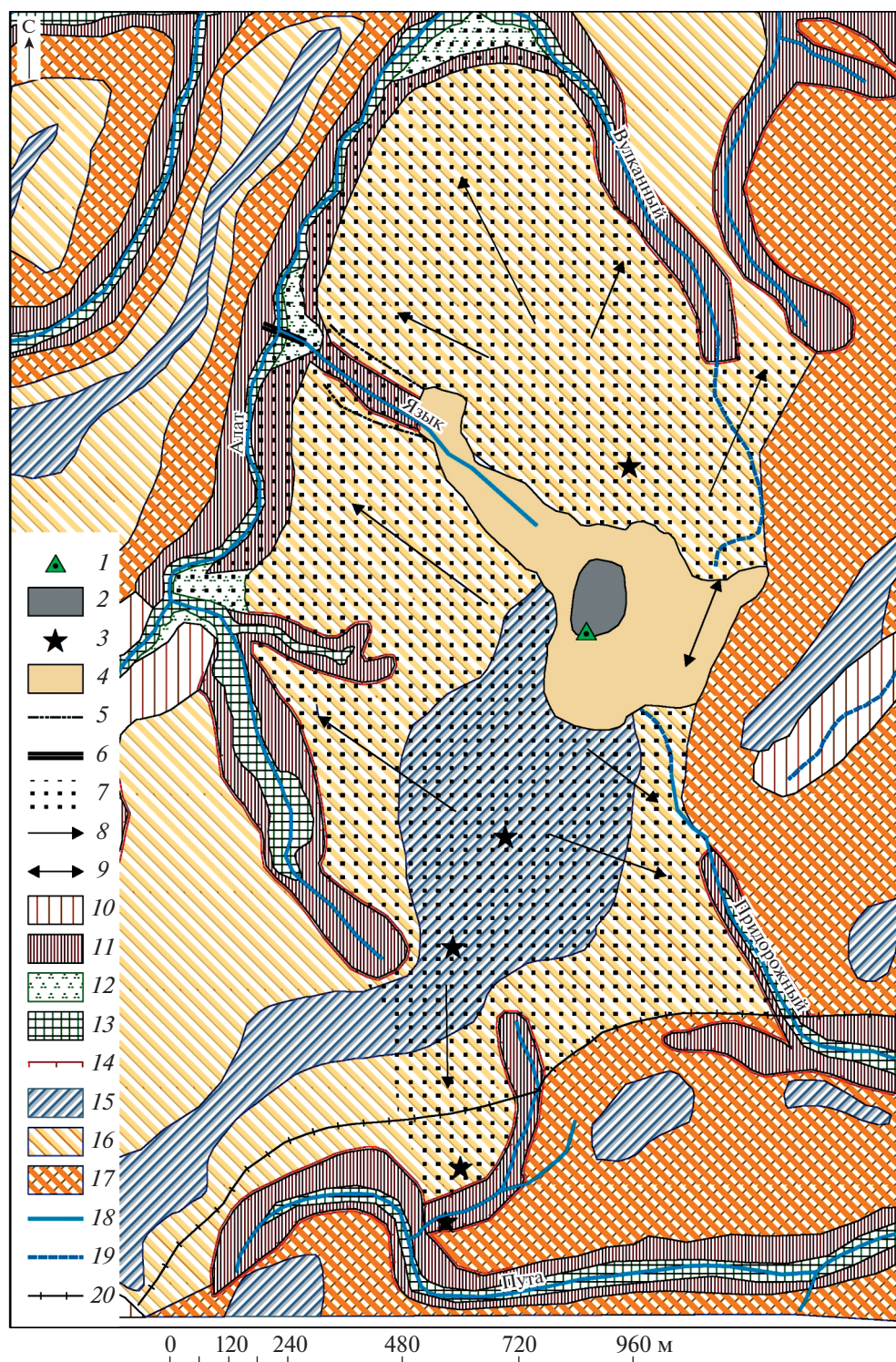


Рис. 5. Геоморфологическая карта ЮСГВ.

Грязевулканический рельеф: 1 – современный эруптивный центр, 2 – поля современных грифонов, 3 – отмершие и слабоактивные грифоны и сальзы, 4 – поток сопочной брекчии 2001 г., 5 – граница размытого потока сопочной брекчии 2001 г., 6 – положение грязевулканической плотины, 7 – поля аккумуляции разновозрастной сопочной брекчии, 8 – направление движения потоков сопочной брекчии и смещения долин, 9 – зона миграции межбассейнового водораздела Пути и Алата. *Эрозионный рельеф.* Склоны крутизной: 10 – $<8^\circ$, 11 – $>8^\circ$; 12 – нерасчлененный комплекс террас; 13 – днища долин; 14 – эрозионные уступы. *Денудационный рельеф:* 15 – плосковершинные поверхности; склоны крутизной: 16 – $<8^\circ$, 17 – $>8^\circ$. *Прочие обозначения:* 18 – реки, 19 – временные водотоки, 20 – железная дорога.



Рис. 6. Промоины на поверхности грязевого потока 2001 г. (фото Е.В. Лебедевой, 2015 г.).

джана имеют высоты 400–450 м, а общий объем твердых выбросов в момент извержения у них превышает 2400 млн м³. При этом площадь покровов их сопочной брекчии может достигать 10–40 км² (например, Бол. Кянизадаг, Ахтарма-Пашалы и др.) при длине ее потоков до трех км, ширине до 200 м и толщине покрова в 5 м [12, 13]. На этом фоне ЮСГВ выглядит относительно небольшим образованием.

Согласно классификации В.Н. Холодова [14, 15], грязевые вулканы подразделяются на 4 морфогенетических типа (или стадии единого процесса): это вулканы с диапировым ядром (1), с конусовидной постройкой (2), с покровами полужидкой грязи (3) и вулканы-озера (4). Для всех них характерны различные соотношения твердой и жидкой составляющих в выбросах. ЮСГВ скорее всего можно отнести к вулканам, образующим полужидкий покров (3-й тип), но на действующем грязевом поле в настоящее время наблюдается и полуразрушенный грязевой диапир (1-й тип), а склоны холма хранят следы достаточно мощных и протяженных потоков густой сопочной брекчии (2-й тип). Возможно, ЮСГВ следует отнести к вулканам сложного (комплексного) типа.

Рассматривая кайнозойский грязевой вулканизм в Израиле, И.С. Новиков [16] установил, что сопочная брекчия крупных грязевых вулканов может выполнять и перекрывать речные долины, вызывая тем самым трансформацию окружающей речной сети. И Сахалин в этом плане не является исключением. Так, группа Пугачевских грязевых вулканов окружена дугowymi участками речной сети, что явно обусловлено воздействием на них грязевулканической деятельности [1, 17].

Как же обстоит дело с Южно-Сахалинским вулканом? Очевидно, что для рассматриваемой территории развития грязевых отложений в целом характерен более сглаженный пологосклонный слаборасчлененный рельеф (см. рис. 1). В то же время проведенные в 1999 г. малоглубинные сейсмические исследования в районе поля современной грязевулканической активности [18] позволили составить карту рельефа фундамента грязевого вулкана — кровли быковской свиты — и, соответственно, мощности чехла суммарных выбросов сопочной брекчии, которая в привершинной части холма колеблется в пределах от 12 до 24 м (рис. 7). На карте фундамента (погребенного рельефа) хорошо видны многочисленные эрозионные врезы, радиально расходящиеся от современного эруптивного центра, что позволяет предполагать существование на месте нынешнего плосковершинного холма достаточно интенсивно расчлененного “догрязевого” рельефа. Однако, в принципе, подобное расчленение могло не только предшествовать первичной активизации грязевулканической деятельности на данном участке, но также формироваться периодически — в эпохи затухания активности вулкана и доминирования эрозионно-денудационных процессов.

О слабой устойчивости отложений сопочной брекчии к эрозии свидетельствует обилие современных эрозионных борозд и промоин как на молодом грязевулканическом поле (рис. 3, 6), так и на залесенных склонах холма вокруг эруптивных центров. Полевые наблюдения показали, что заложение первичной эрозионной сети на склонах вулкана происходит по трещинам, возникающим при высыхании брекчии, которые концентрируют сток и постепенно формируют систему ложбин временных водотоков.

Современный эруптивный центр с грифонами расположен на вершине холма, поэтому, в зависимости от локализации конкретного излияния и его мощности, потоки вулканической брекчии стекают то по одному, то по другому его склонам, воздействуя на долины и междуречья бассейнов Путы и Алата. Не зря рядом с построенной в 30-е годы XX века железной дорогой Южно-Сахалинск—Холмск были возведены подпорные стенки, защищавшие ее со стороны вулкана.

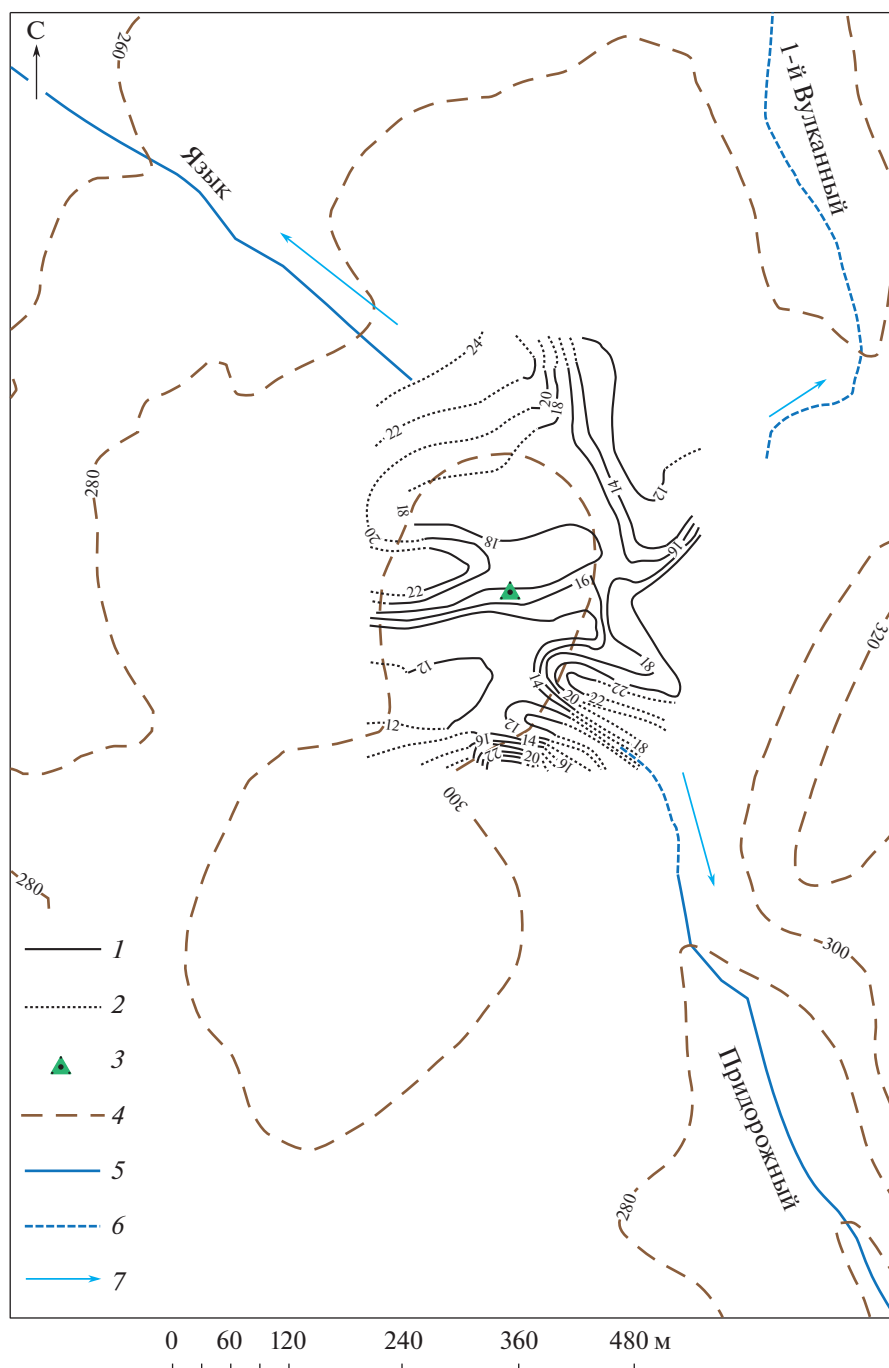


Рис. 7. Карта мощности чехла суммарных выбросов вулкана в районе современного грязевого поля (по [18]) с дополнениями).

Изопахиты (проведены через 2 м): 1 — установленные по сейсмоданным, 2 — предполагаемые (экстраполированные); 3 — современный эруптивный центр; 4 — горизонтали современного рельефа (проведены через 20 м); 5 — реки; 6 — временные водотоки; 7 — направление течения.

Конфигурации и размеры полей сопочной брекчии, формировавшихся при разновозрастных извержениях, сильно варьировали по своим размерам и локализации. Так, в 1959 г. [19] сформировалось 4 потока, 2 из которых двигались по северо-западному склону, достигнув длины в 100

и 50 м, а 2 — по восточному. Один из последних заполнил присопочное понижение и направился вниз по долине ручья 1-го Вулканного на север, его длина составила около 100 м. Второй почти достиг железной дороги, двигаясь вдоль русла ручья Придорожного на юг, его протяженность бы-

ла не менее 500 м. Общий объем извергнутой массы превысил 150 тыс. м³. Извержение 1996 г. было незначительным по объему (около 1 тыс. м³) и отложения сопочной брекчии покрыли лишь привершинную часть холма [10]. Однако в 2001 г. сформировался описанный выше протяженный грязевой язык на ССЗ склоне, спустившийся в долину Алата (объем излившейся брекчии около 100 тыс. м³); он до сих пор прекрасно выражен в рельефе. Второй поток тогда направился на восток — в присопочное понижение и к верховьям ручья 1-го Вулканного, его длина достигла 200 м от центра извержения [10].

Детальной информации о более древних извержениях у нас нет, но и эти примеры позволяют нам заключить, что в результате грязевулканической активности межбассейновый водораздел между Алатом и Путой периодически смещался в присопочном понижении то в одну, то в другую сторону. Очевидно также, что потоки сопочной брекчии периодически заполняют и долины водотоков, дренирующих склоны вулкана: в них сохранились следы грязевулканических отложений как в днище, так и на склонах; иногда они перекрывают аллювиальные отложения [20].

Террасы в долинах левых притоков Пути близ грязевого поля также перекрыты чехлом вулканической брекчии мощностью до 1.5 м и более, причем, судя по всему, это были потоки как из современного, так и из древнего вулканических центров. В ручье Придорожном грязевой поток 1959 г. из современного эруптивного центра оставил на крутом левом борту долины следы в виде небольших фрагментов прислоненных террас. Пластичность сопочной брекчии в условиях высокой влажности климата территории способствует развитию здесь процессов оползания и оплывания грязевулканических отложений, о чем свидетельствуют наклоненные вниз по склону стволы деревьев. Высоты оползневых террас составляют 4–7 м при ширине до 2–3 м. На правом борту долины ручья сопочная брекчия 1959 г. слилась с отложениями потоков брекчии из старого эруптивного центра, и они сформировали единую наклонную поверхность, прорезанную небольшими ручьями и V-образными промоинами — правыми притоками ручья Придорожного. Мощность сопочной брекчии, вскрывающейся в обрывах правого борта, не менее 5–6 м.

В обрамляющих ЮСГВ долинах картина несколько иная, так как здесь воздействие вулкана направлено преимущественно вкост простирания эрозионных форм. Например, в среднем течении ручья 1-го Вулканного под воздействием грязевулканических потоков, которые спускались в него с запада и отжимали русло к противоположному борту, его долина приобрела асимметричное строение: на левом, прилегающем к

вулкану склоне, сформировались локальные грязевулканические террасы, а крутизна подмываемого правого борта местами превышает 30°. Эрозия привела к постепенному смещению водотока к востоку с формированием дугового в плане участка долины. В результате этого водораздел между ручьями 1-м и 2-м Вулканным из плосковершинного (участки которого сохранились выше и ниже по течению) здесь превратился в островершинный гребень, который постепенно снижается, разрушаясь в результате склоновых процессов.

Долины, опоясывающие подножие вулкана, периодически перегораживаются. Мы уже упоминали выше, что в рельефе еще хорошо видны следы грязевулканической плотины в долине р. Алат близ устья ручья Язык, приведшей зимой-весной 2001 г. к формированию временного подпрудного озера. Озеро просуществовало лишь первые месяцы, в период снеготаяния плотина была прорвана и по долине сошел сель.

В среднем течении р. Алат ее долина имеет асимметричное строение: левый борт крутой (до 25–30°), а правый, обращенный к вулкану, — пологий и террасированный. На правом борту можно насчитать до трех террас с высотами около 5, 10 и 20 м над урезом, отличающихся наклоненными к руслу реки поверхностями и заплывшими тыловыми швами. Близ вулкана аллювий террас перекрыт отложениями потоков сопочной брекчии различной мощности, в результате чего они трансформировались в пологонаклонные террасоувалы.

Анализ морфологии и плановых очертаний долины р. Алат свидетельствует, что изначально она была ориентирована строго на ССВ — субпараллельно зоне Центрально-Сахалинского разлома, однако на участке близ ЮСГВ она постепенно приобретает дугообразное очертание: подмываемый в паводки левый борт отступает к СЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные геоморфологические исследования на склонах Южно-Сахалинского грязевого вулкана и в долинах прилегающих водотоков показали, что деятельность даже такого относительно небольшого грязевого вулкана оказывает существенное влияние на формирование флювиального рельефа территории и морфологию долин. В зависимости от ориентировки потоков сопочной брекчии отмечается периодическое смещение междолинных и межбассейновых водоразделов речной сети прилегающей к вулкану территории.

Под воздействием грязевулканических потоков, которые спускаются в обрамляющие долины и отжимают русло реки к противоположному

борт, погребая речные террасы на прилежащих к вулкану склонах долин, происходит постепенное смещение русел рек в противоположную от вулкана сторону с формированием дугообразного в плане рисунка долин. При этом плосковершинные междуречья, разделяющие водотоки, трансформируются в округло- и островершинные, которые в дальнейшем разрушаются под воздействием активных эрозионных и склоновых процессов.

Под влиянием грязевулканической деятельности в прилегающих к вулканам речных долинах террасовидные поверхности могут формироваться различным образом. Помимо того, что водотоки вырабатывают в толще сопочной брекчии эрозионные/цокольные террасы (1), грязевые потоки могут также перекрывать аллювиальные террасы на прилежащих к вулкану склонах долин, образуя слабонаклонные поверхности – террасоувалы (2). Кроме этого, в результате наложения разновозрастных потоков брекчии разной протяженности могут образовываться и грязевулканические псевдотеррасы (3). Благодаря глинистому составу, грязевулканические массы подвержены активному развитию оползневых процессов, поэтому на бортах долин часто формируются оползневые террасы, сложенные сопочной брекчией (4). Сохранившиеся фрагменты грязевулканических плотин, некогда перегораживавшие водотоки, также морфологически выглядят как фрагменты террас (5).

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках Госзадания ИГ РАН (№ 0148-2019-0005), сбор материала осуществлен при поддержке РФФИ (проект № 18-05-00967). Авторы выражают сердечную благодарность В.В. Ершову, А.В. Копаниной, И.И. Вла-совой, И.В. Абдуллаевой, А.И. Тальских и другим сотрудникам ИМГиГ, принимавшим участие в совместных работах на вулкане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров С.М. Остров Сахалин. М.: Наука, 1984. 184 с.
2. Мельников О.А. Структура и геодинамика Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. М.: Наука, 1987. 95 с.
3. Мельников О.А., Ершов В.В. Грязевой (газоводоли-токластитовый) вулканизм острова Сахалин: история, результаты и перспективы исследований // Вестник ДВО РАН. 2010. № 6. С. 87–93.
4. Ершов В.В. Флюидодинамические процессы в грязевулканических структурах и их связь с региональной сейсмичностью (на примере о-ва Сахалин). Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.: Ин-т динамики геосфер, 2013. 23 с.
5. Ершов В.В., Шакиров Р.Б., Мельников О.А., Копани-на А.В. Вариации параметров грязевулканической

деятельности и их связь с сейсмичностью юга ост-рова Сахалин // Региональная геология и металлогения. 2010. № 42. С. 49–57.

6. Ершов В.В., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И. Изотоп-но-геохимические характеристики свободных га-зов Южно-Сахалинского грязевого вулкана и их связь с региональной сейсмичностью // Доклады Академии наук. 2011. Т. 440. № 2. С. 256–261.
7. Ершов В.В., Никитенко О.А. Изотопный и химиче-ский состав вод Южно-Сахалинского грязевого вулкана (по результатам опробования 2009 и 2010 годов) // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2017. № 4–1. С. 110–120.
8. Ершов В.В., Копанина А.В. Химический состав водных вытяжек из почв грязевулканических ландшафтов // География: развитие науки и обра-зования. Ч. I. / Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. LXX Герценовские чтения. С.-Пб: РГПУ им. А.И. Герцена, 2017. С. 142–147.
9. Корзников К.А. Растительные сообщества Южно-Сахалинского грязевого вулкана // Вестник Том-ского государственного университета. Биология. 2014. № 1. С. 56–65.
10. Мельников О.А. Южно-Сахалинский газоводоли-токластитовый (“грязевой”) вулкан – уникальный объект природы на Дальнем Востоке России. Юж-но-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2002. 48 с.
11. Жигулев В.В., Гуринов М.Г., Ершов В.В. Глубинное строение Южно-Сахалинского грязевого вулкана по результатам комплексных сейсмических иссле-дований // Тихоокеанская геология. 2008. № 4. С. 16–21.
12. Горин В.А. Грязевые вулканы Азербайджана // Природа. 1953. № 10. С. 83–87.
13. Холодов В.Н. Грязевые вулканы: распространение и генезис // Геология и полезные ископаемые ми-рового океана. 2012. № 4. С. 5–27.
14. Холодов В.Н. Грязевые вулканы: закономерности размещения и генезис. 1. Грязевулканические провинции и морфология грязевых вулканов // Литология и полезные ископаемые. 2002. № 3. С. 227–241.
15. Холодов В.Н. Грязевые вулканы: закономерности размещения и генезис. 2. Геолого-геохимические особенности и модель формирования // Литоло-гия и полезные ископаемые. 2002. № 4. С. 339–358.
16. Новиков И.С. Древние грязевулканические формы рельефа южного Леванта // Геоморфология. 2011. № 2. С. 90–102.
17. Мишурицкий Д.В., Ершов В.В., Жарков Р.В., Коз-лов Д.Н., Копанина А.В., Лебедева Е.В., Абдуллае-ва И.В., Власова И.И., Михалёв Д.В. Геолого-гео-морфологические и ландшафтно-экологические особенности Пугачевского грязевого вулкана как основа для организации и информационно-го сопровождения туристического маршрута // Геосистемы переходных зон. 2018. Т. 2. № 4. С. 398–408.
18. Аргентов В.В., Жигулев В.В., Мельников О.А., Пат-рикеев В.Н. Опыт применения малоглубинной

- сеймики для выяснения строения Южно-Сахалинского газодогрязевого вулкана // Тихоокеанская геология. 2001. Т. 20. № 5. С. 3–11.
19. Шилов В.Н., Захарова М.А., Ильев А.Я., Подзорнов А.В. Извержение Южно-Сахалинского грязевого вулкана весной 1959 г. // Тр. СахКНИИ СО АН СССР. 1961. Вып. 10. С. 83–99.
20. Лебедева Е.В. Виды воздействия вулканической деятельности на флювиальный рельеф // Геоморфология. 2019. № 4. С. 49–66.

Features of structure and development of the relief of the Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano (Sakhalin Is.)

E. V. Lebedeva^{a, #} and D. V. Mishurinskii^{a, b, ##}

^aInstitute of Geography RAS, Moscow, Russia

^bLomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

[#]E-mail: Ekaterina.lebedeva@gmail.com,

^{##}E-mail: mishurinsk@mail.ru

The activity of the Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano led to a transformation of the relief both directly of the hill itself, on top of which there is a modern eruptive center, and the surrounding territory, in particular, the valleys framing and draining the mud volcano. Periodic filling and blocking of the valleys with flows of mud breccias, displacement and transformation of watersheds, squeezing of watercourse channels with mud flows has been established. Several varieties of terraces and terrace-like surfaces in the valleys of rivers adjacent to the volcano were revealed: 1) erosion or basement terraces developed in the mud breccias deposits, 2) terrace-vals formed by mud flows overlapping alluvial terraces on the slopes of the valleys adjacent to the volcano, 3) mud volcanic pseudo-terraces formed by breccias of different ages and different lengths, 4) landslide terraces in mud volcanic deposits, 5) pseudo-terraces — fragments of mud breccias dams.

Keywords: mud volcanism, breccia, channel network transformation, interfluvial migration, terraces

ACKNOWLEDGMENTS

This work was made on the topic of the State Administration of the IG RAS (No. 0148-2019-0005), data were collected with support by the RFBR (project No. 18-05-00967). The authors are grateful to V.V. Ershov, A.V. Kopanina, I.I. Vlasova, I.V. Abdullaeva, A.I. Talskyh and other employees of IMG&G who took part in joint work on this mud volcano.

REFERENCES

- Aleksandrov S.M. *Ostrov Sakhalin*. (Sakhalin Island). M.: Nauka (Publ.), 1984. 184 p. (in Russ.)
- Melnikov O.A. *Struktura i geodinamika Khokkaido-Saxalinskoi skladchatoi oblasti*. (Structure and geodynamics of the Hokkaido-Sakhalin folded region). M.: Nauka (Publ.), 1987. 95 p. (in Russ.)
- Melnikov O.A. and Ershov V.V. *Gryazevoi (gazodolitovyi) vulkanizm ostrova Sakhalin: istoriya, rezultaty i perspektivy issledovaniy*. (Mud (gasolithoclastic) volcanism of Sakhalin island: history, results and prospects of research). *Vestnik DVO RAN*. 2010. No. 6. P. 87–93. (in Russ.)
- Ershov V.V. *Flyuidodinamicheskie processy v gryazevulkanicheskikh strukturakh i ikh svyaz s regionalnoi seismichnostyu (na primere o-va Sakhalin)*. (Fluid-dynamic processes in mud volcanic structures and their relationship to regional seismic activity (on the example of Sakhalin island)). *Avto-ref. diz. ... kand. fiz.-mat. nauk*. M.: In-t dinamiki geosfer, 2013. 23 p. (in Russ.)
- Ershov V.V., Shakirov R.B., Melnikov O.A., and Kopanina A.V. *Variatsii Parametrov gryazevulkanicheskoi deyatel'nosti i ikh svyaz s seismichnostyu yuga ostrova Sakhalin*. (Variations of mud-volcanic activity parameters and their relation to the seismicity of the South of Sakhalin island). *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*. 2010. No. 42. P. 49–57. (in Russ.)
- Ershov V.V., Shakirov R.B., and Obzhairov A.I. *Izotopno-geokhimicheskie kharakteristiki svobodnykh gazov Yuzhno-Saxalinskogo gryazevogo vulkana i ikh svyaz s regionalnoi seismichnostyu*. (Isotope-geochemical characteristics of free gases of the Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano and their relationship to regional seismicity). *Doklady Akademii nauk*. 2011. Vol. 440. No. 2. P. 256–261. (in Russ.)
- Ershov V.V. and Nikitenko O.A. *Izotopnyi i khimicheskii sostav vod Yuzhno-Sakhalinskogo gryazevogo vulkana (po rezul'tatam oprobovaniya 2009 i 2010 godov)*. (Isotopic and chemical composition of the waters of the Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano (based on the results of testing in 2009 and 2010)). *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki*. 2017. No. 4-1. P. 110–120. (in Russ.)
- Ershov V.V. and Kopanina A.V. *Khimicheskii sostav vodnykh vytyazhek iz pochv gryazevulkanicheskikh landshaftov*. (Chemical composition of water extracts from soils of mud-volcanic landscapes). *Geografiya: razvitiye nauki i obrazovaniya. Ch. I. Koll. Monogr. po mat-lam Mezhd. nauchno-prakticheskoi konf. LXX Gertsenovskiy chleniya*. SPb.: Izd-vo RGPU im. A.I. Gercena (Publ.), 2017. P. 142–147. (in Russ.)

9. Korznikov K.A. *Rastitelnye soobshhestva Yuzhno-Sakhalinskogo gryazevego vulkana*. (Vegetation communities of the South Sakhalin mud volcano). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2014. No. 1. P. 56–65. (in Russ.)
10. Melnikov O.A. *Yuzhno-Sakhalinskij gazovodolitoklastitovyi ("gryazevoi") vulkan — unikalnyi ob'ekt prirody na Dalnem Vostoke Rossii*. (The Yuzhno-Sakhalinsk gas-lithoclastic ("mud") volcano is a unique object of nature in the far East of Russia. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN (Publ.), 2002. 48 p. (in Russ.)
11. Zhigulev V.V., Gurinov M.G., and Ershov V.V. *Glubinoe stroenie Yuzhno-Sakhalinskogo gryazevego vulkana po rezultatam kompleksnykh seismicheskikh issledovaniy*. (Deep structure of the Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano based on the results of complex seismic studies). *Tikhookeanskaya geologiya*. 2008. No. 4. P. 16–21. (in Russ.)
12. Gorin V.A. *Gryazeveye vulkany Azerbaidzhana*. (Mud volcanoes of Azerbaijan). *Priroda*. 1953. No. 10. P. 83–87. (in Russ.)
13. Kholodov V.N. *Gryazeveye vulkany: rasprostranenie i genesis*. *Geologiya i poleznye iskopaemye mirovogo okeana*. (Mud volcanoes: distribution and genesis. Geology and minerals of the world ocean). 2012. No. 4. P. 5–27. (in Russ.)
14. Kholodov V.N. *Gryazeveye vulkany: zakonomernosti razmeshcheniya i genezis. 1. Gryazevulkanicheskie provincii i morfologiya gryazevykh vulkanov*. (Mud volcanoes: placement patterns and genesis. 1. Mud volcano provinces and morphology of mud volcanoes). *Litologiya i poleznye iskopaemye*. 2002. No. 3. P. 227–241. (in Russ.)
15. Kholodov V.N. *Gryazeveye vulkany: zakonomernosti razmeshcheniya i genezis. 2. Geologo-geokhimicheskie osobennosti i model formirovaniya*. (Mud volcanoes: placement patterns and genesis. 2. Geological and geochemical features and formation model). *Litologiya i poleznye iskopaemye*. 2002. No. 4. P. 339–358. (in Russ.)
16. Novikov I.S. *Drevnie gryazevulkanicheskie formy rel'efa yuzhnogo Levanta*. (Ancient mud-volcanic landforms of the southern Levant). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2011. No. 2. P. 90–102. (in Russ.)
17. Mishurinskii D.V., Ershov V.V., Zharkov R.V., Kozlov D.N., Kopanina A.V., Lebedeva E.V., Abdullaeva I.V., Vlasova I.I., and Mikhalev D.V. *Geologo-geomorfologicheskie i landshaftno-ekologicheskie osobennosti Pugachevskogo gryazevego vulkana kak osnova dlya organizatsii i informacionnogo soprovozhdeniya turisticheskogo marshruta*. (Geological-geomorphological and landscape-ecological features of the Pugachevsky mud volcano as a basis for organizing and informational support of the tourist route). *Geosistemy perekhodnykh zon*. 2018. Vol. 2. No. 4. P. 398–408. (in Russ.)
18. Argentov V.V., Zhigulev V.V., Melnikov O.A., and Patrikeev V.N. *Opyt primeneniya maloglubinnoi seismiki dlya vyyasneniya stroeniya Yuzhno-Sakhalinskogo gazovodogryazevego vulkana*. (Experience in using small-depth seismics to determine the structure of the Yuzhno-Sakhalinsk gas-mud volcano). *Tikhookeanskaya geologiya*. 2001. Vol. 20. No. 5. P. 3–11. (in Russ.)
19. Shilov V.N., Zakharova M.A., Ilev A.Ya., and Podzоров A.V. *Izverzhenie Yuzhno-Sakhalinskogo gryazevego vulkana vesnoi 1959 g.* (The eruption of the Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano in the spring of 1959.). *Trudy SakhNII SO AN SSSR*. 1961. Vyp. 10. P. 83–99. (in Russ.)
20. Lebedeva E.V. *Vidy vozdeistviya vulkanicheskoi deyatel'nosti na flyuvialnyi relief*. (Types of impact of volcanic activity on fluvial relief). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2019. No. 4. P. 49–66. (in Russ.)