

Палеогляциология

УДК 551.324.6

doi:10.15356/2076-6734-2016-3-399-412

Колебания ледников Авачинской группы вулканов (Камчатка) в позднем голоцене

© 2016 г. Т.М. Маневич*, С.Б. Самойленко

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

*lav217@kscnet.ru

Glaciers of Avacha group of volcanoes in Neoholocene

T.M. Manevich*, S.B. Samoilenko

Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

*lav217@kscnet.ru

Received February 1, 2016

Accepted June 8, 2016

Keywords: *Avacha group volcanoes, glacier dynamics, lichenometry, Little Ice Age, moraine.*

The study of moraines at the Avacha volcano group revealed that glaciers changes at all volcanoes within the group happened almost synchronously. Glacial deposits could be grouped into three generations, corresponding to three periods of glacier fluctuations in Neoholocene. The largest glaciation within the group occurred ~2000 years ago. Fragments of moraine, corresponding to that period were found only in the moraine complex of the Ditmar Glacier which was 15% larger then today at that time. The most of moraines at the Avacha volcano group were formed during the Little Ice Age, which in the studied region continued up to the first decades of XX centuries. The maximal advance of glaciers probably happened in XVII century. The moraine corresponding to that period was found at the Kozelsky Glacier valley.

At present time the total area of glaciers which moraines were described and dated approaches 21.46 km². The area of reconstructed moraines corresponding to the Little Ice Age is estimated to be 2.79 km², therefore at that period the total glaciation area reaches 24,25 km² exceeding the present area by 13%. It could be claimed that in general during the time past the Little Ice Age the glaciation nature and glacier types did not change sufficiently. The rate of glacier degradation at various parts of the group is different and depends mainly on exposition. At the valleys of four glaciers we found moraines formed in the middle of XX century. They may appear in 1941–1952 when the unfavorable weather conditions led to stable negative anomalies in accumulation have happened.

Поступила 1 февраля 2016 г.

Принята к печати 8 июня 2016 г.

Ключевые слова: *Авачинская группа вулканов, динамика ледников, лихенометрия, малый ледниковый период, морена.*

Представлена реконструкция колебаний ледников Авачинской группы вулканов в позднем голоцене по результатам изучения моренных комплексов. Выделены и описаны три генерации морен, формирование которых произошло около 2000 л.н., в эпоху малого ледникового периода – с середины XVII до начала XX в. и в середине XX в.

Введение

Авачинская группа вулканов – второй по величине центр оледенения на Камчатке среди районов активного вулканизма [1]. Группа находится на юго-востоке п-ова Камчатка и состоит из пяти вулканов, линейно вытянутых в северо-западном направлении (рис. 1). В настоящее время на склонах группы залегают 27 ледников общей площадью 23,84 км². Они сосредоточены в трёх ледниковых узлах: Пиначевский хребет, Корякский вулкан и Авачинский узел оледенения [2]. Положение высших точек ледников варьирует как в пределах всей группы, так и на разных склонах одного вулкана. Высотный интервал залегания ледников составляет 720–3400 м, а средневзвешенная вы-

сота – 1700 м [2]. В гляциологическом и палеогляциологическом отношении до настоящего времени изучен только южный сектор Авачинского узла, поскольку он наиболее доступен [3, 4]. Сведения об остальных ледниках ограничивались информацией Каталога ледников СССР [5].

За последние 2000 лет колебания ледников и особенно их продвижение в эпоху малого ледникового периода относительно синхронно выделяются во многих горных странах. Полуостров Камчатка и, в частности, Авачинская группа вулканов в этом плане – не исключение: следы наступаний ледников многочисленны и хорошо сохранились [6]. С начала XX в. исследователи полуострова неоднократно обращали внимание на ледниковые отложения последних столетий. Так, В.Н. Олюнин [7]

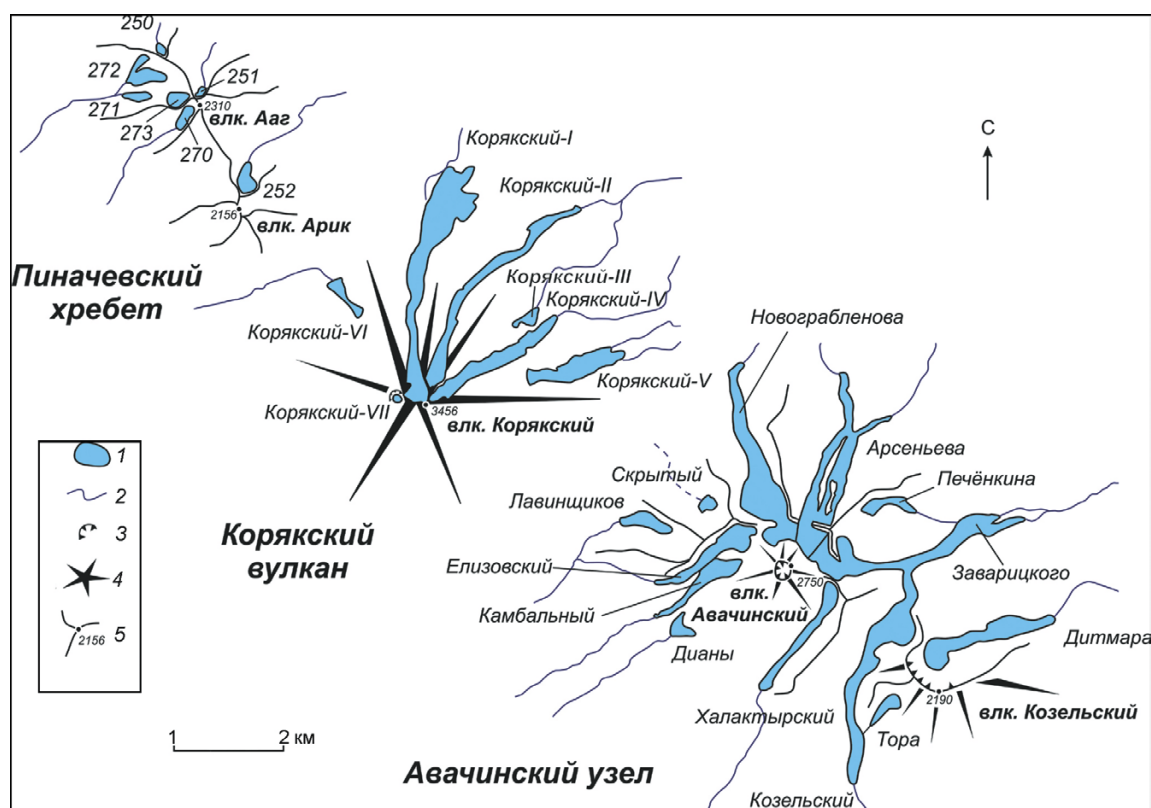


Рис. 1. Общая схема ледников Авачинской группы вулканов:

1 – ледник; 2 – ручей, река; 3 – вулканический кратер; 4 – вулканическая постройка; 5 – гребень, цифры указывают наибольшую высоту постройки, м

Fig. 1. General scheme of glaciers of Avacha volcano group:

1 – glacier; 2 – glacial streamlets; 3 – volcanic crater; 4 – volcanic edifice; 5 – mountain ridge; numbers denote the highest edifice elevation, m

отмечал, что «современные ледники Камчатки меньше «исторических». Под «историческим» оледенением автор подразумевал продвижение ледников в XIII–XIX вв. В фундаментальной работе «Рельеф и отложения молодых вулканических районов Камчатки» [8] И.В. Мелекесцев с коллегами указывает на наличие незадернованных конечных морен, расположенных у концов большинства современных ледников. Время их формирования авторы относят к середине XIX в. Однако ни в одной из работ [7, 8] подробного описания оледенения и его масштабов не приводится.

В.Н. Виноградов с соавторами [9] дают оценку площади ледников Авачинской группы вулканов в середине XIX в., но с уточнением, что эта оценка не отличается большой точностью, так как большая часть подсчётов выполнялась путём дешифрирования аэрофотоснимков, при котором не учитывались некоторые участки морен, размытые талыми водами. Реконструированная ими

площадь ледников в середине XIX в. составляла 35,2 км², что превышает современную в 2,5 раза. Интенсивность сокращения ледников зависит от экспозиции – наибольшие изменения характерны для ледников западной ориентации.

В начале 1990-х годов на Камчатке проводились работы по апробации лихенометрического метода для датирования ледниковых отложений. Результатом работы было определение скорости роста лишайников *Rhizocarpon geographicum* в специфических условиях Камчатки и подробное описание моренных комплексов ледников разных районов полуострова с датировками, в том числе и для пяти ледников Авачинского узла оледенения [4]. Цель настоящей работы – оценить масштаб оледенения вулканов Авачинской группы в позднем голоцене. Для этого обобщены имеющиеся датировки морен по Авачинскому узлу оледенения и в процессе полевых работ датированы морены ледников Корякского вулкана и Пиначевского хребта.

Методы исследований

Возраст моренных образований оценивался, главным образом, лихенометрическим методом, методика которого для Камчатского региона разработана и описана в работах [4, 6, 10, 11]. В качестве индикатора возраста использовался приём осреднения пяти наиболее крупных особей лишайников *Rhizocarpon sp.*, имеющих соломенно-жёлтый цвет талломов и широко распространённых в приледниковой зоне на каменных морфоскульптурах разного генезиса. Возраст определялся путём измерения максимальных диаметров их слоевищ, которые пересчитывались затем по региональной формуле [11] в календарные годы:

$$T = 10^{(1,90968 + 0,01053d)} - 62, \quad (1)$$

где T — возраст морены, годы; d — диаметр лишайников, мм.

Погрешность полученной оценки возраста ΔT можно оценить по формуле (1) следующим образом:

$$\Delta T = \Delta d \ln(10) 0,01 T, \quad (2)$$

где Δd — стандартное отклонение наблюдаемых диаметров лишайников от среднего.

Дополнительным источником информации о возрасте ледниковых отложений служили

данные тефрохронологии. Морены на склонах Авачинской группы вулканов сложены в основном обломочным материалом разного размера (от дресвы до метровых глыб) или, как в случае Авачинского узла, преимущественно вулканическим шлаком. После стабилизации морены на её поверхности начинает формироваться почвенный чехол, на котором может откладываться тефра — главным образом, вулканические пеплы. Образующаяся последовательность непереотложенных пепловых горизонтов позволяет определить интервал времени, в котором произошла стабилизация морены (рис. 2).

На моренах ледников изучались разрезы почвенно-пирокластического чехла, в которых идентифицированы маркирующие транзитные пеплы вулканов Опала 1500 лет назад (л.н.) по данным радиоуглеродного метода и Ксудач 1907 г. [4, 12, 13]. Тефра вулкана Опала связана с мощным субкальдерным извержением 1500 л.н. из кратера Бараний Амфитеатр, расположенного на подножии вулкана. Данный пепел служит маркером в пределах всей Восточной вулканической зоны. В районе исследований тефра представляет собой светлый мелкозернистый песок мощностью около 1 см. Тефра вулкана Ксудач мощностью до 1 см принадлежит эксплозивно-

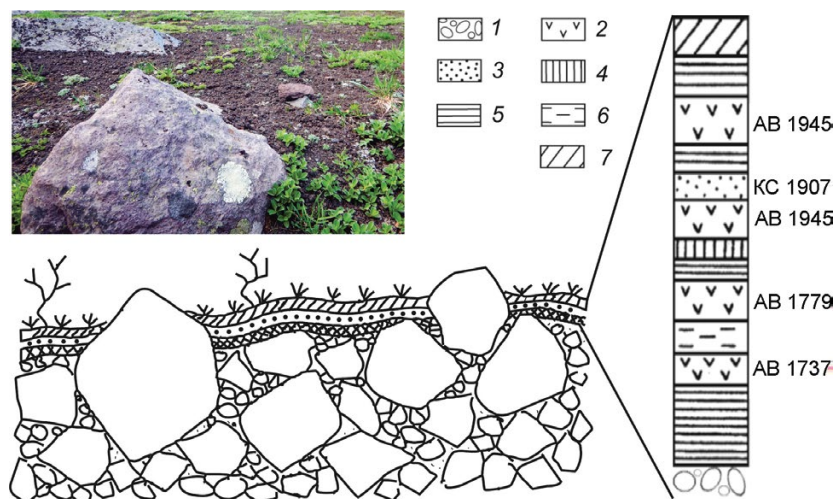


Рис. 2. Схематическое строение морены М2 ледника Козельский.

На фотографии представлена поверхность морены и валун с растущими на нём лишайниками. 1 — морена; 2 — тефра Авачинского вулкана; 3 — тефра вулкана Ксудач; 4 — тёмный пепел с примесью лапилли и шлаков; 5 — супесь; 6 — эоловые пески; 7 — дернина; АВ 1945 и др. — годы извержений; АВ — вулкан Авачинский; КС — вулкан Ксудач

Fig. 2. Schematic structure of the M2 moraine of Kozelsky Glacier.

Photo shows the surface of the moraine and a stone with lichens. 1 — moraine; 2 — tephra of Avachinsky volcano; 3 — tephra of Ksudach volcano; 4 — dark ash with gray sinter; 5 — sandy-loam; 6 — aeolian sand; 7 — sod; AB 1945 etc. — years of eruptions; AB — Avacha volcano; KC — Ksudach volcano

му извержению конуса Штюбеля в 1907 г. и представлена среднезернистым песком из светлых и тёмных зёрен. Кроме того, на склонах находится тефра вулкана Авачинский. Количество горизонтов пирокластики, в частности пеплов-маркеров, отложенных на морене, позволяет определить её возраст. При полевых исследованиях для датировок использовались отложения извержений 1737, 1827, 1851–1855, 1926 и 1945 гг., идентифицированные О.А. Брайцевой и И.В. Мелекесцевым и описанные в работах [8, 12, 14, 15]. Отложения этих извержений выделены в разных частях вулканической группы и определяются направлением оси конкретного пеплопада. В полевых условиях их можно установить по цвету, гранулометрическому составу и взаимному расположению. Для ряда опорных шурфов валовый химический состав образцов анализировался в аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и сверялся с результатами работы [12].

При использовании лихенометрического метода в районах активного вулканизма возникает вопрос о возможном негативном воздействии продуктов извержений на рост и развитие лишайников. Известно, что лишайники чувствительны к химическому загрязнению и отложение большого количества пирокластического материала, насыщенного химическими примесями (газы, кислоты и др.), может привести к угнетению или даже гибели талломов. Таким образом, тефрохронологические методы позволяют верифицировать или уточнить данные лихенометрических датировок. Для определения положения опорных точек и вычисления площади морен при полевых работах использовался портативный GPS-навигатор, обеспечивающий погрешность измерений до 5 м в плане.

Результаты и обсуждение

В настоящее время Авачинская группа включает в себя два действующих вулкана — Авачинский и Корякский, продукты извержения которых формируют рельеф вулканических построек. Основной объём изверженного материала поступает на поверхность в виде тефры, которая откладывается повсеместно, в том числе и на ледниках. Так, при извержении Авачинского вулкана в 1945 г. в области аккумуляции ледника Козель-

ский сформировался двухметровый покров шлака. Поскольку пирокластика поступает относительно регулярно (с 1737 г. произошло 13 извержений Авачинского вулкана и три извержения Корякского), именно она — основная составляющая моренных отложений. Это вызывает некоторые сложности при идентификации морен и попытке реконструкции оледенения. Поверхность морен интенсивно размывается и деформируется, чему способствуют такие факторы, как нестабильная поверхность морен, связанная с большой крутизной склонов, слабая сцементированность слагающего их материала, в некоторых случаях — наличие ледяного ядра, а также активная флювиогляциальная деятельность. Кроме того, мощный поверхностный чехол (до 150 см), который формируется с высоты около 1500 м и покрывает до 60% поверхности, затрудняет дешифрирование мёртвого льда и фронтов ледников.

Тем не менее, при полевых работах выделены и датированы моренные комплексы 16 ледников Авачинской группы вулканов. Из этого числа морены пяти ледников (Елизовский, Камбальный, Козельский, Лавинщиков, Новограбленова) ранее были уже изучены и описаны в работе [4]. Отметим, что именно эта работа служила для авторов образцом и, своего рода, полевым пособием, определившим методические основы исследования других моренных комплексов. Остальные ледники не имеют морен по ряду причин: залегают выше отметки 1500 м, ниже которой начинается накопление поверхностной морены (ледники Корякский-VI, Корякский-VII, № 271) или находятся в стадии наступания, поэтому к настоящему моменту конечные морены оказались перекрыты современным фронтом ледника (ледники Халактырский, Корякский-I, -II, -V).

Авачинский узел оледенения охватывает восточную часть вулканической группы, которая находится ближе всего к побережью Тихого океана и получает наибольшее количество осадков. Ледники этого узла занимают склоны вулканов Авачинский (высота 2751 м) и Козельский (2190 м), которые соединены между собой седловиной на высоте 1930 м. Вулкан Авачинский относится к типу Сомма-Везувий, его действующий конус эксцентрично возвышается над краем соммы на 400–1000 м. Атрио заполнено льдом, который питает ледники, спускающиеся по склонам вулкана (см. рис. 1). В настоящее время в пределах Авачинского узла



Рис. 3. Моренный комплекс ледника Козельский. Фото А.Я. Муравьева (август 2015 г.).

M1–M3 – морены

Fig. 3. Moraine complex of the Kozelsky Glacier. Photo by A.Ya. Muraviev (August 2015).

M1–M3 – moraines

залегают 13 ледников общей площадью 14,5 км², морены девяти из них были изучены.

Как уже отмечалось, отложения пяти ледников (Козельский, Елизовский, Камбальный, Новограбленова, Лавинщиков) исследованы в 1990-х годах в процессе апробирования лихенометрического метода определения возраста гляциальных отложений на Камчатке [4]. В процессе наших полевых работ мы также обследовали отложения этих и других ледников для определения их площади. За время, прошедшее с момента предыдущих исследований (более 20 лет), в положении фронтов ледников произошли некоторые изменения.

Ледник Козельский – перемётно-долинного типа, спускается в седловины между вулканами Авачинский и Козельский на юг (см. рис. 1, рис. 3). Согласно публикациям [4, 6], в начале 1990-х годов, когда велись полевые работы, фронт ледника располагался на высоте около 870 м, а моренный комплекс начинался прямо на леднике в виде массива мёртвых льдов и был представлен пятью генерациями: 1970-е; 1940–60-е; начало XX в.; конец XIX в.; середина XVII в. К 2015 г. фронт ледника спустился до высоты 800 м и морены, сформированные в XX в., были погребены. В настоящее время к фронту ледника примыкают моренные валы M1 и M2 (см. рис. 3, рис. 4), возраст которых, согласно лихенометрическим данным, составляет чуть более 150 лет (табл. 1). Здесь и далее номера морен присвое-

ны в соответствии с их горизонтальной и вертикальной удалённостью от края современного ледника. Поверхность морен практически полностью задернована, растительность представлена типичными для альпийского пояса Восточной Камчатки видами. Датировка по лихенометрии подтверждается результатами изучения стратиграфии почвенно-пирокластического чехла, который накопился на морене M2. В этом чехле зафиксировано два горизонта тефры: шлак вулкана Авачинский извержения 1945 г. и транзитный пепел вулкана Ксудач извержения 1907 г. [4]. Тефра извержения вулкана Авачинский 1855 г., имеющаяся в других разрезах сектора распространения, здесь отсутствует, что определяет время формирования морен с 1855 по 1907 г.

В 200 м ниже по долине на высоте 715 м располагается морена M3, значительно отличающаяся от описанных ранее. Её поверхность хорошо задернована, местами поросла кедровым и ольховым стлаником высотой до 2 м. Максимальный размер лишайников составляет 70 мм, что позволяет считать временем формирования этой морены 30-е годы XVII в. Почвенно-пирокластический чехол на этой морене содержит пять горизонтов вулканических отложений: шлак вулкана Авачинский извержения 1945 г., пепел вулкана Ксудач извержения 1907 г.; тефра вулкана Авачинский извержений 1855, 1779 и 1737 г. (см. рис. 2). Под нижним горизонтом залегает 12-сантиметровый слой супеси, который переходит в морену, что указывает на

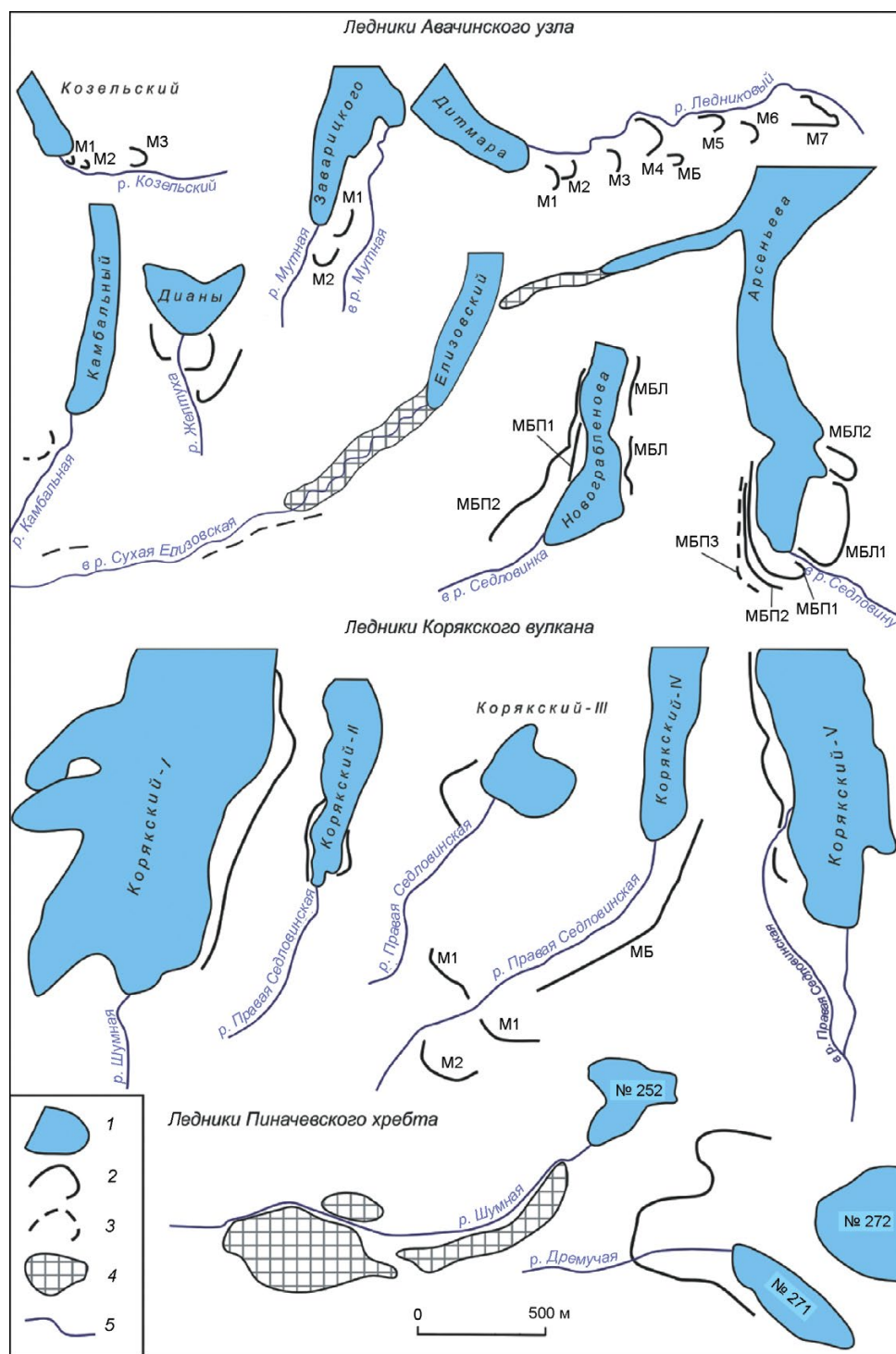


Рис. 4. Позднеголоценовые морены Авачинской группы вулканов:

1 – ледник; 2 – морена; 3 – размывтая, плохо сохранившаяся морена; 4 – мёртвые льды; 5 – ледниковый сток

Fig. 4. Neoholocene moraines of Avacha volcano group:

1 – glacier; 2 – moraine; 3 – eroded moraine; 4 – stagnant glacier; 5 – glacial streamlets

образование морены несколькими десятилетиями ранее. Нижним ограничением возраста служит радиоуглеродная датировка в 320 ± 40 л.н. [4, 14], полученная для верхней части слоя погребённой почвы, подстилающей тефру, – 1737 г. Обобщив обе датировки, можно считать временем образования морены М3 середину XVII в. Таким образом,

площадь сохранившихся отложений эпохи малого ледникового периода на 2% превышает современную площадь ледника (табл. 2).

Ледник Заварицкого относится к атрио-долинному типу. Это – крупнейший ледник Авачинского узла (см. рис. 1). В 2014 г. его фронт располагался на высоте 720 м. Моренный комплекс

Таблица 1. Результаты лихенометрического датирования морен Авачинской группы вулканов

Номер и название ледника	Год исследования	Морена	Средний диаметр пяти максимальных особей <i>Rhizocarpon sp.</i> , мм	Возраст поверхности, годы*
Пиначевский хребет				
№ 271 и 272	2010	М1	30	1904±13
№ 252		М1	26**	1920±6
Корякский вулкан				
№ 254 Корякский-I	2010	МБЛ	28	1912±12
№ 255 Корякский-II	2008	МБЛ	30	1902±13
		МБП	29	1906±13
№ 256 Корякский-III	2009	М	15	1954±4
№ 257 Корякский-IV	2008	МБ	27	1914±10
		М1	25	1921±5
		М2	37	1871±17
№ 258 Корякский-V		МБ	26	1918±7
Авачинский узел				
№ 259 Новограбленова	2009	МБЛ	29	1908±12
		МБП1	28	1912±10
		МБП2	35	1883±15
№ 260 Арсеньева	2007	МБЛ	35	1880±16
		МБП1	25	1920±5
		МБП2	32	1893±14
		МБП3	—	—
№ 263 Заварицкого	2004	М1	44	1830±20
		М2	29	1902±13
№ 264 Дитмара		МБ	12	1957±5
		М1	19	1937±5
		М2	21	1931±5
		М3	26	1914±6
		М4	27	1910±10
		М5	30	1898±14
		М6	32	1890±15
М7		37	1867±17	
Дианы	2010	М	16	1952±4
Камбальный		М	40	1858±18
№ 267 Елизовский		М1	8	1973±2
		М2	26	1920±6
		М3	41	1853±20
№ 268 Лавинщиков		МБЛ1	17	1949±4
		МБЛ2	26	1920±5
	МБЛ3	39	1863±16	
Козельский	2015	М1	41	1858±18
		М2	40	1864±17
		М3	70	1635±45

*Погрешность датировки оценивалась по формуле (2). **Количество лишайников на морене было недостаточным для корректного датирования.

представлен двумя генерациями (см. рис. 4). Морена М1 большей своей частью примыкает к фронту ледника слева и ярко выражена в рельефе, поскольку налегает на отложения пирокластического потока. Размеры растущих на ней лишайников дают возможность считать временем её формирования 1830-е годы (см. табл. 1). Вторая морена М2 примыкает к М1 с правой стороны, подошва её расположена на высоте 700 м. В почвенно-пирокластическом чехле, залегающем на

ней, содержатся два пепловых горизонта: шлак извержения Авачинского вулкана 1945 г. и пепел вулкана Ксудач извержения 1907 г., который лежит непосредственно на морене. Это показывает, что морена сформировалась незадолго до этого события. Лихенометрические оценки возраста подтверждают эту датировку. Положение этих морен указывает на незначительную (0,04 км², 1%) потерю площади ледника после окончания малого ледникового периода (см. табл. 2).

Таблица 2. Изменение площади ледников Авачинской группы вулканов в позднем голоцене

Название ледника	Современная площадь, км ²	Площадь морен, км ²	Площадь ледника с моренами, км ²	Сокращение, %
<i>Морены неогляциального максимума</i>				
Дитмара	1,4	0,24	1,64	15
<i>Морены малого ледникового периода</i>				
Арсеньева	2,14	0,14	2,28	6
Дитмара	1,4	0,14	1,54	9
Елизовский	0,8	0,1	0,9	11
Заварицкого	2,7	0,04	2,74	1
Камбальный	0,9	0,036	0,94	4
Козельский	2	0,04	2,04	2
Лавинщиков	0,3	0,25	0,55	45
Новограбленова	2,05	0,3	2,35	13
Корякский-I	3,4	0,21	3,61	6
Корякский-II	2	0,1	2,1	5
Корякский-IV	1,15	0,3	1,45	21
Корякский-V	1,3	0,11	1,41	8
№ 252 Арикский-1	0,12	0,3	0,42	71
№ 271 и 272	0,6	0,3	0,9	33
<i>Морены середины XX в.</i>				
Дитмара	1,4	0,08	1,48	5
Дианы	0,15	0,09	0,24	38
Лавинщиков	0,3	0,01	0,31	3
Корякский-III	0,15	0,07	0,22	32

Ледник Дитмара – кратерно-долинный, вытекает из кратера вулкана Козельский (см. рис. 1). В 2014 г. язык ледника оканчивался на высоте 870 м. По результатам изучения площадок с сообществами лишайников мы выделили три разновозрастные генерации морен, которые начинаются непосредственно у конца ледника и занимают прифронтальную часть на протяжении 1,6 км вниз по долине (см. рис. 4). Первая генерация, ближайшая к современному фронту и состоящая из трёх валов – МБ (морена береговая), М1 и М2 – сформировалась в 1930–50-е годы (см. табл. 1). Следующие вниз по долине четыре вала (М3–М6), нижний из которых расположен на высоте 720 м (в 900 м от фронта), образовались в 1890–1914 гг., т.е. они относятся к окончанию малого ледникового периода. С этого времени ледник сократился на 0,14 км² (9%) (см. табл. 2). Морена третьей генерации (М7), расположенная на высоте 680 м, в 1,5 км от современного фронта, зафиксировала положение ледника в максимум неогляциальной стадии распространения ледников, возраст которого для Камчатки составляет 1,5–2 тыс. лет [20]. Эта морена – единственная на склонах Авачинской группы, сохранившаяся с той эпохи. В нижней части почвенно-пирокластического чехла находится пепел вулкана Опала

~1500 л.н. (данные радиоуглеродного метода), под которым залегает слой супеси мощностью 20 см, непосредственно переходящий в морену. Судя по положению морены, площадь ледника с той эпохи сократилась на 0,24 км² (15%). Более подробное описание морен ледников Дитмара и Заварицкого дано в работе [13].

Ледник Арсеньева – атрио-долинного типа, залегает на северном склоне Авачинского вулкана (см. рис. 1). На высоте 1000 м язык ледника раздваивается. Правый фронт оканчивается на высоте 950 м, ниже которого ещё на протяжении 300 м вниз по долине простираются мёртвые льды. Левый язык спускается до отметки 850 м и упирается в туюю Каменный стол. Вдоль левого языка сформировался комплекс береговых морен (см. рис. 4).

Левая береговая морена (МБЛ) примыкает к языку ледника и состоит из двух мощных валов – МБЛ1 и МБЛ2, разделённых глубокой (около 20 м) промоиной (см. рис. 4). На поверхности хорошо развита травянистая растительность. Лихенометрическое и тифрохронологическое изучение показало, что они относятся к одной генерации, размытой водным потоком. Максимальный диаметр лишайников составляет 35 мм (см. табл. 1). Почвенно-пирокластический чехол, сформир-

ровавшийся на морене, содержит три горизонта тефры, разделённые слоями супеси. Два верхних горизонта представлены шлаком Авачинского вулкана 1926 и 1945 г. Третий горизонт залегает на глубине 30 см и принадлежит извержению вулкана Ксудач 1907 г. Этот пепел подстилается 5-сантиметровым слоем делювия, который налегает непосредственно на морену, что указывает на образование этой морены во второй половине XIX в.

Комплекс правых береговых морен формировался в три этапа. Самая молодая, хорошо сохранившаяся генерация МБП1 протягивается вдоль языка ледника с высоты 1000 м и спускается ниже современного фронта до высоты 815 м (см. рис. 4). Поверхность морены не задернована, местами встречаются редкие кустики. Популяция *Rhizocarpon sp.* довольно многочисленна, диаметры наиболее крупных особей достигают 25 мм (см. табл. 1), что свидетельствует о формировании морены в 1920-е годы. В разрезе морены представлена только тефра Авачинского вулкана извержений 1926 и 1945 гг. Вторая генерация МБП2 налегает на борт долины, вмещающей ледник (см. рис. 4). Она отделена от первой генерации глубокой промоиной. Хорошо сохранилась только её верхняя часть. Нижние части сильно размыты водотоком. Общая длина морены — около 500 м, с высоты 900 до 840 м (до уровня современного фронта). Лихенометрическое исследование сохранившейся части показало, что диаметр слоевищ равен 32 мм. Возраст составляет около 114 лет, т.е. время формирования — 1890-е годы (см. табл. 1). В почвенно-пирокластическом чехле, ниже шлаков Авачинского вулкана 1926 и 1945 гг., практически на морене залегает пепел вулкана Ксудач 1907 г.

В верхней части борта долины прослеживается терраса, на которой обнаружены остатки ледниковых отложений. Поскольку морена МБП3 сильно разрушена, реконструировать её размеры можно лишь по контурам террасы. Недостаточное (для лихенометрического датирования) количество найденных лишайников не позволяет достоверно определить возраст данной морены. По аналогии с динамикой соседних ледников, мы предполагаем, что её образование связано максимальным продвижением ледников в малый ледниковый период.

Общая площадь исследованных морен ледника Арсеньева составляет 0,14 км², т.е. после

малого ледникового периода площадь ледника сократилась на 6% (см. табл. 2).

Ледник Новограбленова — атрио-долинного типа, спускается по северо-западному склону вулкана Авачинский до отметки 800 м (см. рис. 1). Моренный комплекс представлен боковыми моренами, которые примыкают к языку ледника с обеих сторон (см. рис. 4). Высота валов достигает 15 м. Левая береговая морена (МБЛ) протягивается с высоты 1100 м практически до конца ледника. Судя по размеру наиболее крупных особей *Rhizocarpon sp.* (29 мм), она сформировалась в первом десятилетии XX в. (см. табл. 1). Вдоль правого края ледника сформировались две морены — МБП1 и МБП2 (см. рис. 4), отличающиеся друг от друга по морфологии (размеру и почвенно-растительному покрову). Лихенометрическое изучение валов позволило отнести время формирования внутреннего вала МБП1 ко второму десятилетию XX в., а внешнего МБП2 — к 1880-м годам. Сокращение ледника по окончании малого ледникового периода составило 0,3 км² (13%) (см. табл. 2).

Ледник Камбальный залегает на юго-западном склоне вулкана Авачинский в интервале высот 2300–1170 м (см. рис. 1). Перед фронтом чётко выраженных морен не обнаружено, однако на обоих бортах долины прослеживаются остатки, скорее всего, ледниковых отложений. В 80 м ниже фронта к правому борту примыкает полуразмытый моренный вал (см. рис. 4), поверхность которого постоянно обновляется осыпями, что приводит к омоложению популяций *Rhizocarpon sp.* и не даёт корректно их датировать. В работе [4] предполагается, что морена сформировалась в середине XIX в. Исходя из этих данных, потери ледника с тех пор можно оценить в 0,036 км² (4%) (см. табл. 2).

Ледник Елизовский занимает юго-западную часть атрио Авачинского вулкана и спускается в узкий барранкос до высоты 1320 м (см. рис. 1). Как и у некоторых других ледников, на его предполье конечные морены не сохранились, ниже фронта на протяжении 600 м наблюдаются остатки мёртвых льдов (см. рис. 4). На аэрофотоснимках 1974 г. видно, что поле мёртвого льда простиралось гораздо дальше: на 2 км от фронта ледника. За прошедшие десятилетия существенная их часть растаяла, не оставив сколь-нибудь выраженных в рельефе отложений. Это связано с рыхлостью слагающего поверхность морену

материала — преимущественно вулканического шлака. В бортах долины, вмещающей ледник, с трудом идентифицируются следы разноуровневых береговых морен (см. рис. 4). Морены очень плохо сохранились. Это не позволяет нам уверенно оценить их форму и площадь сокращения ледника, а также определить возраст. В работе [4] приводятся датировки фрагментов морен, согласно которым время их формирования относится ко второй половине XIX — началу XX вв.

Ледник Лавинщиков — небольшой склоновый ледник на юго-западе соммы Авачинского вулкана (см. рис. 1). Моренный комплекс здесь представлен боковыми моренами, часть которых во время полевых работ была перекрыта снежниками-перелетками, что затрудняло их картографирование и датирование. Между левым бортом ледника и гребнем соммы сформировались три генерации морен в виде параллельных гряд (см. табл. 1). Ближайшая к леднику, самая молодая морена МБЛ1 имеет длину около 70 м и представляет собой нагромождение с крутыми склонами, вытянутое вдоль ледника. Размер наиболее крупных особей *Rhizocarpon sp.* (17 мм) указывает на её формирование в середине XX в. Следующая генерация — МБЛ2 — морфологически весьма схожа с первой и имеет приблизительно такие же размеры. Однако диаметры наиболее крупных особей достигают 26 мм. Самая древняя морена — МБЛ3 — протягивается вдоль всего тела ледника и обозначает его контур с левого борта в середине XIX в. Морены правого борта, несомненно, присутствуют, но на протяжении нескольких сезонов абляции они вскрывались от сезонного и многолетнего снега лишь фрагментарно, что не позволило нам провести их корректную датировку. По данным авторов публикации [4], возраст этих морен в 1993 г. составлял около 75 и 140 лет.

Ледник Дианы — небольшой склоновый ледник юго-западной экспозиции (см. рис. 1). Ледник был обнаружен у подножия конуса Авачинского вулкана в ходе полевых работ в августе 2010 г. [2]. На тот момент он оканчивался на высоте 1250 м. Морены оконтуривают нижнюю часть ледника с обеих сторон, соединяются ниже конца ледника и простираются далее по долине до отметки 1220 м (см. рис. 4). По внешнему облику все валы выглядят одинаково и представляют собой нагромождение несортированного обломочного и пирокластического материала высотой до 10 м. Большая их

часть имеет ледяное ядро. Растительность на поверхности отсутствует. Диаметр лишайников не превышает 16 мм, что говорит о стабилизации морены в середине XX в. (см. табл. 1). Площадь сокращения составила 0,09 км² (38%) (см. табл. 2).

Ледник Скрытый залегает на западном склоне соммы Авачинского вулкана (см. рис. 1). Ниже современного фронта ледника на 600—700 м протягивается массив мёртвых льдов, покрытый мощным слоем пирокластического материала. Площадь этих льдов мы оцениваем в 0,3 км². В настоящее время датировать эти льды доступными авторам методами не представляется возможным. Пирокластика, покрывающая лёд (шлак Авачинского вулкана, который имеет диаметр не более 10 см), непригодна для заселения лишайниками. Кроме того, поверхность мёртвых льдов крайне нестабильна и не позволяет сохраниться горизонтам тефры.

Корякский вулкан занимает центральное положение в группе и имеет наибольшую высоту — 3456 м. Вершина конуса незначительно срезана к западу, склоны изборозжены глубокими барранкосами. На склонах вулкана залегают семь ледников (см. рис. 1) общей площадью 8,36 км², на предполях пяти из них обнаружены моренные комплексы [14].

Вдоль бортов ледников Корякский-I, -II и -V протягиваются морфологически схожие между собой гряды береговых морен, которые сложены несортированным материалом — угловатыми обломками, окатанные практически отсутствуют. Сечение моренных валов — треугольное, крутизна склонов — около 30°, относительная высота — 10—15 м. Поверхность морен задернована слабо, растительность характерна для альпийской зоны Восточной Камчатки. При изучении разрезов верхних частей морен сразу под формирующейся дерниной залегает слой тефры Авачинского вулкана извержения 1926 г. Кроме этого слоя, не обнаружено никаких пепловых горизонтов, в то время как на окружающих поверхностях практически повсеместно под тефрой залегает пепел вулкана Ксудач 1907 г. [12, 15, 16]. Это показывает, что морены сформировались субсинхронно с этим событием.

Ледник Корякский-I — ледник барранкосов (см. рис. 1). Единственная обнаруженная морена (МБЛ) протягивается вдоль левого края ледника с высоты 1300 до 1100 м (см. рис. 4). Она состоит

из трёх параллельных гряд высотой около 10 м. Растительность на её поверхности отсутствует, и только в нижней части встречаются одиночные экземпляры высших растений. Максимальный диаметр слоевищ лишайников — 28 мм (см. табл. 1). Площадь этой морены равна 0,21 км². Таким образом, с конца малого ледникового периода по настоящее время площадь ледника уменьшилась на 6% (см. табл. 2). В работе [18] указывается, что «в настоящее время ледники (Корякского вулкана) находятся в стадии отступления, оставляя хаотические нагромождения свежего моренного материала». При полевых работах нам не удалось обнаружить свежих морен перед фронтом этого ледника, что, вероятно, связано с современным наступлением ледника, а также с тем, что его фронт спускается в крутой каньон р. Шумная.

Ледник Корякский-II — ледник барранкосов (см. рис. 1). Береговые морены МБЛ и МБП примыкают непосредственно к языку ледника с обеих сторон и протягиваются с высоты 1000 м до уровня современного фронта, который в 2012 г. располагался на высоте 880 м (см. рис. 4). Поверхность ледника на 3–5 м возвышается над моренами. В нижней части на поверхности морен наблюдаются следы деформации, что показывает активное современное движение ледника. Площадь морен составляет 0,1 км², т.е. она сократилась на 5% (см. табл. 2). Результаты лихенометрии (диаметр слоевищ 30 мм) позволяют нам связывать формирование этих морен с началом XX в. (см. табл. 1).

Ледник Корякский-III — склоновый (см. рис. 1); в отличие от остальных ледников Корякского вулкана в настоящее время он деградирует. В 2009 г. ледник оканчивался на высоте 1470 м. В прифронтальной части сформировалась отчётливо выраженная конечная морена (см. рис. 4), которая состоит из трёх гряд, подпирающих фронт ледника с правого края и морфологически схожих между собой. По-видимому, внутри них сохраняется ледяное ядро. На поверхности из растительности встречаются только одиночные кусты камнеломки и лишайники. Поиск лишайников был затруднён из-за слоя пепла, поскольку во время полевых работ вулкан Корякский находился в состоянии извержения. Размер наиболее крупных обнаруженных особей *Rhizocarpon sp.* составляет 15 мм, что свидетель-

ствует о сокращении ледника в середине XX в. (см. табл. 1). За последние полвека ледник потерял 32% площади (0,07 км²) (см. табл. 2).

Ледник Корякский-IV — ледник барранкосов (см. рис. 1). Современный фронт ледника расположен на высоте 1260 м, от которого вниз по барранкосу протягивается относительно хорошо сохранившийся комплекс береговых и конечных морен (см. рис. 4). Береговая морена МБ протягивается вдоль левого борта барранкоса с высоты 1300 м. Она состоит из нескольких параллельных гряд высотой до 15 м, сложенных свежим обломочным материалом. В верхней части морена слабо идентифицируется, почвенно-растительный покров отсутствует. На высоте 1100 м она переходит в конечный моренный вал М1. Общая протяжённость морены — около 1000 м. В нижней части гряды сходятся в один вал, наиболее отчётливо выраженный в рельефе. На поверхности морены встречаются отдельные экземпляры растительности. Возраст морены, согласно лихенометрической датировке, составляет от 90 до 100 лет (см. табл. 1).

Конечно-моренный комплекс М1 расположен в 800 м от современного фронта ледника на входе в барранкос и имеет характерную форму «львиной лапы». Между ледником и конечной мореной простирается массив мёртвых льдов, зачехлённый слоем обломочного и пирокластического материала мощностью около 1 м. Видимая мощность льдов (в обнажении на высоте 1150 м) составляет не менее 5 м. Поверхность мёртвых льдов покрыта трещинами, наблюдаются участки со смещённым грунтом и растительностью. Конечно-моренный комплекс состоит из нескольких валов высотой до 40 м и общей шириной до 600 м. Морфологически выделяются две генерации морен. Внутренняя генерация М1, ближайшая к леднику, почти посередине разделена на две части ручьём, вытекающим из ледника. Благодаря этому в обнажении прекрасно видно внутреннее строение морены. Морена выглядит достаточно молодой и проявляет признаки движения — наблюдаются следы осыпей и редкая растительность. Вероятно, здесь заканчивается мёртвый лёд, который в настоящее время подталивается ледником. На всех валах диаметр лишайников не превышает 25 мм, т.е. время образования относится к 1920-м годам (см. табл. 1).

С внешней стороны, слева, к этой генерации примыкает моренный вал М2, несколько отлича-

ющийся по морфологии. Его подошва расположена на высоте 1030 м, в 1200 м от современного фронта. Это — самая ранняя морена, сформированная ледником Корякский-IV. Высота вала значительно меньше — до 12 м, растительность на поверхности развита лучше, местами встречаются молодые кусты ольхи и тополя. Судя по размеру слоевищ обнаруженных экземпляров *Rhizocarpon sp.*, формирование этой морены относится к 1870-м годам. Наличие в почвенном горизонте двух прослоев тефры, нижний из которых — пепел вулкана Ксудач 1907 г., указывает на стабилизацию поверхности морены ко времени данного извержения и позволяет рассматривать морену М2 как наиболее древнюю среди сохранившихся неогляциальных морен Корякского вулкана. Общая площадь всех береговых и конечных морен вместе с массивом мёртвых льдов составляет 0,3 км². Это — наибольший показатель для ледников Корякского вулкана. Сокращение ледника после окончания малого ледникового периода составило 21% (см. табл. 2); для сравнительно крупного ледника такое уменьшение существенно. Наличие мёртвого льда и конечной морены может быть связано с быстрым отступанием ледника или, возможно, даже с пульсирующим режимом ледника.

Ледник Корякский-V — ледник барранков (см. рис. 1). Вдоль правого борта, с высоты 1500 м, где ледник из барранкоса выходит на подножие вулкана, и до современного фронта (970 м) протягивается береговая морена (см. рис. 4). В верхней части она состоит из четырёх гряд, имеющих схожий морфологический облик. На высоте 1100 м все гряды сходятся в один гребень. Длина морены — 2,3 км, ширина — от 30 м в верхней части до 60 м в районе фронта ледника. На поверхности встречаются отдельные кусты представителей альпийской растительности. Лишайники обильны, диаметр наиболее крупных особей достигает 26 мм (соответствует 1920-м годам). Уменьшение площади ледника с этого времени можно оценить в 0,11 км² (8%) (см. табл. 2).

Таким образом, в малый ледниковый период площадь ледников Корякского вулкана превышала современную на 0,79 км².

В пределах **Пиначевского хребта** находятся вулканы Арик (высота 2156 м) и Ааг (высота 2310 м), которые образовались в результате накопления лавово-пирокластического материала через систему сближенных центров извержений [19]. В настоя-

щее время на склонах Пиначевского хребта залегают семь ледников общей площадью 1,18 км² (см. рис. 1). Позднеголоценовые морены были идентифицированы только у трёх ледников. Так, на западном склоне вулкана Ааг расположенные рядом ледники № 271 и 272 имеют общую конечную морену (см. рис. 4). Судя по морфологии, ранее эти ледники имели единый ледяной массив [20]. Морена состоит из нескольких морфологически схожих валов. Их поверхность не задернована, местами встречаются отдельные экземпляры высших растений. Количество лишайников было достаточным для лишенометрического датирования: диаметр слоевищ достигал 30 мм, что указывает на время стабилизации морены в самом начале XX в. (см. табл. 1). Вероятно, сокращение ледника и его разделение на две части связано с окончанием малого ледникового периода.

На северо-восточном склоне вулкана Арик залегает каровый ледник № 252 (см. рис. 1). В 2010 г. ледник занимал только самую верхнюю часть троговой долины (см. рис. 4). Дно долины заполнено массивом мёртвых льдов, покрытых обломочным материалом жёлтого цвета, осыпавшимся с окружающих склонов вулкана. В нижней части массива встречаются редкие экземпляры растительности и лишайников. Диаметры наиболее крупных лишайников достигают 26 мм, но для корректного датирования их недостаточно. Отсутствие лишайников, здесь, по-видимому, связано с тем, что породы, слагающие склоны вулканов, подвергались длительному гидротермальному воздействию. Поверхность обломков гидротермально-изменённых пород легко эродируется и представляет собой неподходящий субстрат для лишайников. Ледники Пиначевского хребта сократились в наибольшей степени среди прочих ледников Авачинской группы (см. табл. 2).

Заключение

Исследование морен Авачинской группы вулканов показало, что колебания ледников на всех вулканических постройках происходили субсинхронно. Обнаруженные ледниковые отложения относятся к трём периодам колебаний ледников в позднем голоцене. Наибольших размеров оледенение в пределах Авачинской группы вулканов достигало около 2000 л.н. Фрагменты морены этого воз-

раста обнаружены только в моренном комплексе ледника Дитмара на расстоянии 1600 м от его фронта. Площадь ледника в эту эпоху превышала современную на 0,14 км² (15%), а фронт ледника располагался на 200 м ниже по высоте. Формирование наибольшего количества морен связано с малым ледниковым периодом, который, судя по обнаруженным ледниковым отложениям, в пределах Авачинской группы имел место в середине XVII — первой четверти XX вв. Максимальных размеров в малый ледниковый период ледники, вероятно, достигали в XVII в., морена этого возраста сохранилась только на предполье ледника Козельский.

В настоящее время площадь ледников, моренные комплексы которых удалось изучить и датировать, составляет 21,46 км². Площадь реконструированных морен, относящихся к малому ледниковому периоду, составляет 2,79 км², т.е. во время этой эпохи площадь оледенения равнялась 24,25 км², что на 13% больше площади современного оледенения. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что характер оледенения и типы ледников, существовавших в малый ледниковый период, не отличались от современных. При этом отметим, что масштабы сокращения отличаются в разных ледниковых узлах. Интенсивность сокращения зависит от нескольких условий, главное из которых — экспози-

ция ледника [2]. На предпольях четырёх ледников обнаружены морены, сформированные в середине XX в. Их появление объясняется неблагоприятным для ледников периодом 1941–1952 гг., когда наблюдались устойчивые отрицательные аномалии аккумуляции и абляции [3].

Характер оледенения и типы существовавших в течение последних 2000 лет ледников не отличаются от современных. Динамика ледников Авачинской группы очень разнообразна [2], она зависит не только от экспозиции, удалённости от океана или высоты залегания, но и от активности Авачинского и Корякского вулканов. Продвижение вперёд крупных ледников на их склонах может быть вызвано не положительным балансом массы, а мобилизацией льда за счёт вулканотектонических землетрясений, нередко сопровождающих извержения вулканов. Этот фактор может иметь существенное значение и на фоне субсинхронных колебаний ледников, обусловленных климатическими изменениями, когда может происходить активизация отдельных ледников. С характерными особенностями вулканических построек и вулканических пород может быть связано и отсутствие конечных морен на многих ледниках группы. Рыхлые, часто пористые и почти лишённые глинистых частиц отложения пирокластики легко размываются и уносятся водными потоками.

Литература

1. Виноградов В.Н. Современное оледенение районов активного вулканизма. М: Наука, 1975. 103 с.
2. Маневич Т.М., Муравьев Я.Д., Самойленко С.Б. Ледники Авачинской группы вулканов: современное состояние // Лёд и Снег. 2015. Т. 55. № 3. С. 14–26. doi:10.15356/2076-6734-2015-3-14-26
3. Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д. Ледник Козельский (Авачинская группа вулканов). СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 120 с.
4. Соломина О.Н., Муравьев Я.Д., Базанова Л.И. Оледенение Камчатки в малом ледниковом периоде // МГИ. 1996. № 80. С. 54–60.
5. Виноградов В.Н. Каталог ледников СССР. Т. 20. Камчатка. Ч. 2–4. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 76 с.
6. Соломина О.Н. Горное оледенение Северной Евразии в голоцене. М.: Научный мир, 1999. 272 с.
7. Олюнин В.Н. Современное и «историческое» оледенение Камчатки // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1966. № 3. С. 70–78.
8. Мелекесцев И.В., Краевая Т.С., Брайцева О.А. Рельеф и отложения молодых вулканических районов Камчатки. М.: Наука, 1970. 104 с.

References

1. Vinogradov V.N. *Sovremennoe oledenenie rayonov aktivnogo vulkanizma*. Modern glaciation of active volcanism areas. Moscow: Nauka, Moskva: Nauka, 1975: 103 p. [In Russian].
2. Manevich T.M., Murav'ev Ya.D., Samoilenko S.B. Glaciers of Avacha group of volcanoes: modern state. *Led i Sneg*. Ice and snow. 2015, 55 (3): 14–26. doi:10.15356/2076-6734-2015-3-14-26 [In Russian].
3. Vinogradov V.N., Murav'ev Ya.D. *Lednik Kozel'skiy (Avachinskaya gruppa vulkanov)*. Kozelsky Glacier (Avacha group of volcanoes). St. Petersburg: Gidrometeoizdat. Sankt-Petersburg: Hydrometeoizdat, 1992: 120 p. [In Russian].
4. Solomina O.N., Murav'ev Ya.D., Bazanova L.I. Little Ice Age in Kamchatka. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1996, 80: 54–60. [In Russian].
5. Vinogradov V.N. *Katalog lednikov SSSR*. USSR Glacier Inventory. V. 20. Pts. 2–4. Leningrad: Gidrometeoizdat. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1968: 76 p. [In Russian].
6. Solomina O.N. *Gornoe oledenenie Severnoi Evrazii v golotsene*. Mountain glaciation of Northern Eurasia in Holocene. Moscow: Nauchnyi mir. Moscow: Scientific World, 1999: 272 p. [In Russian].

9. Виноградов В.Н., Будников А.Е. Динамика ледников Авачинской группы вулканов в последнее столетие и черты их режима // Вопросы географии Камчатки. 1977. Вып. 7. С. 26–31.
10. Savoskul O. S., Zech W. Holocene glacier advances in the Topolovaya valley, Bystrinskiy range, Kamchatka, Russia, dated by tephrochronology and lichenometry // Arctic and Alpine Research. 1997. V. 29. № 2. P. 143–155.
11. Solomina O.N., Muravyev Ya.D., Shiraivwa K., Sawaguchi S. Lichenometric studies of moraines in Kronotskiy Peninsula, Kamchatka, Russia // Cryogenic Studies in Kamchatka II. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 1999. P. 76–78.
12. Базанова Л.И., Брайцева О.А., Дирксен О.В., Сулержицкий Л.Д., Данхара Т. Пеплопады крупнейших голоценовых извержений на траверсе Усть-Большерецк – Петропавловск-Камчатский: источники, хронология, частота // Вулканология и сейсмология. 2005. № 6. С. 30–46.
13. Маневич Т.М. Лихенометрическое датирование морен восточной части Авачинской группы вулканов // Лёд и Снег. 2011. № 2 (114). С. 122–126.
14. Маневич Т.М., Самойленко С.Б. Ледники Корякского вулкана // Лёд и Снег. 2012. № 3 (119). С. 25–30.
15. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И. Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации долгосрочного прогноза типа и параметров извержений). Ч. I. (1737–1909 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1993. № 6. С. 13–27.
16. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И. Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации долгосрочного прогноза типа и параметров извержений). Ч. II. 1926–1991 гг. // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 3–24.
17. Yamagata K., Sawaguchi Sh., Muravyev Ya.D., Solomina O.N. Soil development in relation to vegetation and topography at the Koryto glacier basin, Kamchatka // Cryospheric studies in Kamchatka II. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 1999. P. 85–92.
18. Маренина Т.Ю., Сирин А.Н., Тимербаева К.М. Корякский вулкан на Камчатке // Тр. Лаборатории вулканологии. 1962. Вып. 22. С. 67–75.
19. Активные вулканы и гидротермальные системы Камчатки: путеводитель научных экскурсий. Петропавловск-Камчатский: изд. Ин-та вулканологии ДВО АН СССР, 1985. 228 с.
20. Маневич Т.М., Самойленко С.Б. Ледники Пиначевского хребта // Материалы VIII региональной молодёжной науч. конф. «Исследования в области наук о Земле». Петропавловск-Камчатский, 2010. С. 65–71.
21. Olyunin V.N. Modern and "historical" glaciation of Kamchatka. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR, seriya geograficheskaya*. Proc. of the USSR Academy of Sciences. Geographical series. 1966, 3: 70–78. [In Russian].
22. Melekestsev I.V., Kraevaya T.S., Braitseva O.A. *Rel'ef i otlozheniya molodykh vulkanicheskikh rayonov Kamchatki*. Relief and deposits in young volcanic regions of Kamchatka. Moscow: Nauka, 1970: 104 p. [In Russian].
23. Vinogradov V.N., Budnikov A.E. Glacier dynamics of Avacha group of volcanoes in the last century, and features of their regime. *Voprosy geografii Kamchatki*. Questions of Kamchatka Geography. 1977, 7: 26–31. [In Russian].
24. Savoskul O.S., Zech W. Holocene glacier advances in the Topolovaya valley, Bystrinskiy range, Kamchatka, Russia, dated by tephrochronology and lichenometry. Arctic and Alpine Research. 1997, 2 (29): 143–155.
25. Solomina O.N., Muravyev Ya.D., Shiraivwa K., Sawaguchi S. Lichenometric studies of moraines in Kronotskiy Peninsula, Kamchatka, Russia. Cryogenic Studies in Kamchatka. Pt. II. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University. 1999: 76–78.
26. Bazanova L.I., Braitseva O.A., Dirksen O.V., Sulerzhitskiy L.D., Dankhara T. The largest Holocene eruptions of ash falls on the traverse Ust'-Bolsheetsk – Petropavlovsk-Kamchatsky: sources, chronology, frequency. *Vulkanologiya i seismologiya*. Volcanology and seismology. 2005, 6: 30–46. [In Russian].
27. Manevich T.M. Lichenometric dating of moraines in the eastern Avacha group of volcanoes. *Led i Sneg*. Ice and snow. 2011, 2 (114): 122–126. [In Russian].
28. Manevich T.M., Samoilenko S.B. Glaciers of the Koryak volcano. *Led i Sneg*. Ice and snow. 2012, 3 (119): 25–30. [In Russian].
29. Melekestsev I.V., Braitseva O.A., Dvigalo V.N., Bazanova L.I. Historical eruptions of the volcano Avacha on Kamchatka (try a modern interpretation and classification of the type of long-term forecasting and parameters eruptions). Pt. I. (1737–1909). *Vulkanologiya i seismologiya*. Volcanology and Seismology. 1993, 6: 13–27. [In Russian].
30. Melekestsev I.V., Braitseva O.A., Dvigalo V.N., Bazanova L.I. Historical eruptions of the volcano Avacha on Kamchatka (try a modern interpretation and classification of the type of long-term forecasting and parameters eruptions). Pt. II. (1926–1991). *Vulkanologiya i seismologiya*. Volcanology and seismology. 1994, 2: 3–24. [In Russian].
31. Yamagata K., Sawaguchi Sh., Muravyev Ya.D., Solomina O.N. Soil development in relation to vegetation and topography at the Koryto glacier basin, Kamchatka. Cryospheric studies in Kamchatka. Pt. II. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University. 1999: 85–92.
32. Marenina T.Yu., Sirin A.N., Timerbaeva K.M. Koryak volcano in Kamchatka. *Trudy Laboratorii vulkanologii*. Proc. of the Laboratory of Volcanology. 1962, 22: 67–75. [In Russian].
33. *Aktivnye vulkany i gidrotermal'nye sistemy Kamchatki. Putevoditel' nauchnykh ekskursiy*. Active volcanoes and hydrothermal systems of Kamchatka. Guidebook of scientific excursions. Petropavlovsk-Kamchatsky, 1985: 225 p. [In Russian].
34. Manevich T.M., Samoilenko S.B. Glaciers of Pinnachevsky ridge. *Materialy VIII regional'noy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «Issledovaniya v oblasti nauk o Zemle»*. Proc. of the VIII Regional Young Scientist Conf. "Earth Science Research". Petropavlovsk-Kamchatsky, 2010: 65–71. [In Russian].