

Ледники Авачинской группы вулканов: современное состояние

© 2015 г. Т.М. Маневич, Я.Д. Муравьев, С.Б. Самойленко

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский
lav217@kscnet.ru**Glaciers of the Avachinskaya volcano group: current condition (state)**

T.M. Manevich, YA.D. Murav'ev, S.B. Samoilenko

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

Статья принята к печати 9 февраля 2015 г.

*Авачинская группа вулканов, ледниковый узел, морфологический тип ледников.**Avachinskaya volcanic group, glaciers complex, morphological type of glaciers.*

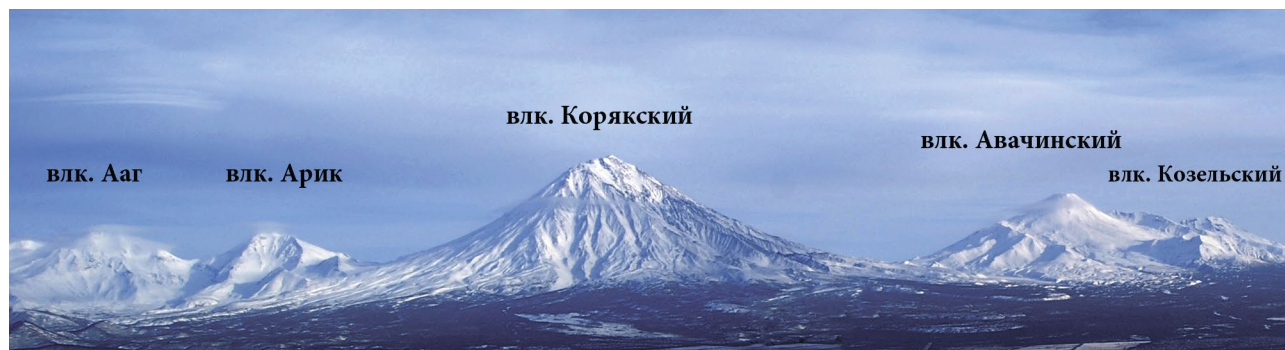
Представлены сведения о современном состоянии ледников Авачинской группы вулканов, полученные при проведении полевых работ 2007–2010 гг. На склонах вулканов выделено 27 ледников общей площадью $24,04 \pm 3,6$ км², относящихся к восьми морфологическим типам. Наибольшее число ледников – склоновые, каровые и ледники барранкосов. Значительная протяжённость группы, разнообразие климатических условий и вулканических построек в её пределах позволяют сгруппировать ледники в три ледниковых узла: Авачинский узел оледенения, Корякский вулкан и Пиначевский хребет, каждому из которых присущи специфические черты. Оценено изменение положения фронтов ледников за последние 40 лет по сравнению с материалами аэрофотосъёмки 1974 г. В настоящее время семь ледников наступают, два деградируют, остальные находятся в стационарном состоянии.

The present-day glaciation of the Avachinskaya volcano group was analyzed using data obtained during field works of 2007–2010. Twenty seven glaciers were found on the volcanic slopes with their total area of 24.04 ± 3.6 km². These glaciers belong to eight morphological types, the largest part of them are glaciers of slopes, cirques, and barrancoes. Great extent, diversity of climatic conditions and volcanic edifices made possible to group the glaciers into three glacial knots (complexes): the Avachinsky complex, the Koryaksky volcano, and the Pinachevsky Range, each one with own specific features. Comparison of recent data with aerial photographs of 1974 has allowed estimating changes of the glacier front positions and to reconstruct the glacier dynamics for the last 40 years. At the present time, seven glaciers advance, two ones degrade, and eighteen glaciers are in the stationary state.

Введение

Авачинская группа вулканов расположена на юго-востоке полуострова Камчатка и представлена линейным рядом вулканов, вытянутым в северо-западном направлении на 30 км. В группу входят пять вулканов: Козельский (2189 м), Авачинский (2751 м), Корякский (3456 м), Арик (2156 м) и Ааг (2310 м) (рис. 1). Вулканы Авачинский и Корякский – действующие, последние извержения происходили в 1991 и

2008–2009 гг. соответственно. Основные черты современного вулканического рельефа Авачинской группы и её подножий сформировались в верхнем плейстоцене – эпоху похолодания климата и последнего крупного оледенения Камчатки [10]. В связи с большими абсолютными высотами и достаточно суровым климатом Авачинская группа представляет собой значительный центр оледенения. В эпоху II фазы верхнеплейстоценового оледенения ледник подножий окаймлял практически всю вулканическую

**Рис. 1.** Авачинская группа вулканов**Fig. 1.** Avachinskaya volcano group

группу, причём в северной части он дополнительно питался долинными ледниками, сползавшими с вулканов Арик и Ааг. Поперечник этого ледяного поля составлял около 60 км, а площадь — около 1200 км².

Оледенение — один из важнейших факторов рельефообразования на территории этой группы вулканов. Накрыв огромные площади подножий, ледники прекратили деятельность других экзогенных факторов. Ледниками было снесено с вулканов и законсервировано во время синхронных извержений колоссальное количество обломочного материала, за счёт которого после деградации оледенения сформировались обширные участки холмисто-котловинного рельефа.

В настоящее время Авачинская группа вулканов — второй по величине центр оледенения на полуострове среди районов активного вулканизма (после Ключевской группы вулканов) [3, 4]. Сведения о современном состоянии ледников необходимы для точной оценки опасности, которую они могут представлять при извержении вулканов в результате разрушительных грязевых потоков и лахаров.

Материалы и методы исследований

При полевых работах определялись координаты опорных точек, оконтуривающих фронты ледников. Для этого использовался портативный GPS-навигатор, обеспечивающий погрешность измерений 5 м. Контуры верхних частей ледников определяли с помощью спутниковых снимков высокого разрешения (DigitalGlobe, 1 м на пиксел), доступных на сервере kh.google.com. Снимки приводятся на июнь 2009 г. Границы ледников при дешифрировании определяли в соответствии с правилами GLIMS (<http://glims.org>). Дешифрирование вели в программе Google Earth Pro (<http://www.google.com/earth>) по снимкам, наложенным на трёхмерную модель рельефа, а также по опорным точкам, полученным непосредственно на местности.

Несмотря на то, что в июне снежный покров в гляциальной зоне ещё значителен, в 2009 г. фронтальные части ледников уже были свободны от снега и контуры ледников хорошо читались на снимках. В целом при дешифрировании снимков допускалась погрешность не более 25 м, что обусловлено сложностью определения

замороженных или заснеженных границ ледников. Высоты определялись с абсолютной погрешностью 10 м. Погрешности вычисляемых площадей оценивали общими математическими методами анализа измерений и учитывали абсолютные погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров, а также характерную форму измеряемой площади. Таким образом, относительная погрешность измерения площади отдельных ледников составляла от 12 до 18%. Площади ледников в среднем оценены с относительной погрешностью 15%.

Климатические условия ледниковой зоны

Положение Камчатки на восточной окраине Евразии и меридиональное простираие определяют значительные термобарические контрасты и активную циклоническую деятельность над полуостровом [12]. Пониженное атмосферное давление, преобладающее в холодный период в охотском и алеутском районах, формируется преимущественно циклонами, возникающими в южных районах Дальнего Востока. Климатические условия на уровне ледников, в основном, охарактеризованы по косвенным признакам и расчётам, так как на Камчатке нет постоянно работающих метеостанций в горах.

Первые данные по климату Авачинской группы вулканов появились в 1960-е годы, когда на седловине между Авачинским и Корякским вулканами (абсолютная высота 960 м) 4 года работал метеопост «Авачинский вулкан» [4]. В 1973–1981 гг. были получены материалы в районе ледника Козельский. Это были данные ГМС Козельская (абсолютная высота 715 м) и метеопоста «Седловина» (абсолютная высота 1854 м), которые позволили в общих чертах охарактеризовать климат этого района. Вулканические постройки служат существенной преградой для влажных воздушных масс с северо-востока и заставляют приходящие оттуда циклоны оставлять осадки на склонах северной и восточной экспозиций. В результате возникает диспропорция в распределении снеготоплив: склоны северной экспозиции покрыты снегом 9–10 месяцев в году, а южные начинают освобождаться от снега в мае и вновь покрываются им в конце сентября.

Для района характерны суммы осадков в холодный период до 3000 мм, а на ледниках в ре-

зультате переотложения снега эта величина достигает 6000 мм. Высотный градиент осадков для летнего сезона равен 22 мм на 100 м высоты. При этом на восточных склонах в год выпадает 2500–3000 мм осадков, а на западных — около 1000–2000 мм [3]. В зимний период вертикальный температурный градиент составляет 3,2 °С на 1 км превышения, а в летний изменяется как в течение сезона, так и от года к году и в среднем составляет 2,0–3,0 °С на 1 км. На нижнем уровне ледниковой зоны Авачинской группы холодный период длится с начала октября по апрель. Средняя температура воздуха на восточном склоне составляет –8 °С и от –10 до –12 °С на западном. В области питания ледников зимний период длится 8 месяцев и более. Средняя температура воздуха колеблется от –1 до –20 °С.

Снежный покров

Разнообразие морфологии и климатических условий приводит к неравномерному выпадению и распределению твёрдых осадков в пределах вулканических построек [1, 4]. С увеличением высоты, скорости ветра и расчленённости рельефа количество осадков возрастает. Сильные ветры перераспределяют и уплотняют снег до образования плотных ветровых корок. В отрицательных формах рельефа, независимо от высоты, весь холодный период происходит постоянное накопление снега. По результатам бурения, выполненного авторами в мае 2006 г. в северо-восточной части атрио Авачинского вулкана на высоте 2200 м, толщина сезонного снега составила 14,5 м, в 2009 и 2010 гг. в области питания ледника Козельский (высота 1800 м) она была равна 13 и 8 м соответственно. При этом на открытых частях и крутых склонах даже в холодный сезон снежный покров временами мог отсутствовать из-за его неоднократного сдувания. Так, перевал между вулканами Авачинский и Козельский с высотой более 1800 м, представляющий собой часть области аккумуляции двух ледников, ежегодно освобождается от сезонного снега из-за его переметания и переотложения в понижениях рельефа: при северных ветрах — на леднике Козельский, при ветрах южных направлений — на леднике Заварицкого.

С высоты 900 м в отрицательных формах рельефа и на подветренных склонах сохраняют-

ся многолетние снежники мощностью 10–15 м. В 300 м ниже Корякского перевала, с юго-западной стороны, между вулканами Корякский и Арик, находится многолетний снежник площадью около 0,5 км². В конце июля 2010 г., несмотря на относительно малоснежный зимний сезон 2009/10 гг. и превышение нормы летней температуры на 1,4 °С, толщина сезонного снега на его поверхности достигала 4 м, в то время как окружающая поверхность уже очистилась от снега. Отметим, что на аэрофотоснимках 1940-х годов снежники отмечаются в тех же местах, что и сейчас.

Результаты и обсуждение

Современное состояние ледников. Полевые работы 2007–2010 гг. позволили уточнить результаты последней каталогизации и получить новые данные о ледниках Авачинской группы [11]. Особенно это касается вулканов Арик, Ааг и Корякский, поскольку информация, представленная в Каталоге, получена по картам и результатам дешифрирования аэрофотоснимков 1950-х годов и с тех пор не обновлялась. Данные, полученные в результате полевых исследований, отличаются от представленных в опубликованных обобщающих работах [4, 5, 11]. На восточном склоне вулкана Арик, в каре, на месте ледника Арикский-2 (№ 253 по Каталогу) залегает только небольшой многолетний снежник без видимых признаков движения. Присутствие этого ледника в Каталоге можно объяснить ошибкой при дешифрировании. На юго-западном склоне вулкана Ааг, на месте ледников № 272 и 273, находится единый ледяной массив, который мы отнесли к леднику № 272 как к большему по площади (в Каталоге). На северном склоне вулкана Авачинский по Каталогу залегают висячие ледники № 261 и 262. Изучение рельефа при полевых работах и анализ аэрофотоснимков показали, что эти ледники — притоки ледника Арсеньева.

Кроме того, обнаружены три ледника, не представленные в Каталоге: 1) в привершинной части вулкана Ааг залегает склоновый ледник, которому в соответствии с принципом каталогизации, присвоен номер 272-А; 2) на вершине вулкана Корякский — кратерный ледник, названный Корякским-VII; 3) на юго-западном склоне вулкана Авачинский — склоновый лед-

ник, получивший название ледника Дианы. Таким образом, авторами выделено 27 ледников общей площадью $24,04 \pm 3,6 \text{ км}^2$. Основные сведения о ледниках Авачинской группы представлены в таблице, в которой сохранена нумерация ледников по Каталогу, но необходимо обратить внимание, что ледники перечисляются в соответствии с экспозицией: по часовой стрелке начиная с севера. Поэтому в нашей таблице номера ледников, приуроченных к одному ледниковому узлу, идут не по порядку. Ледники № 273, 261 и 262 не выделяются авторами как самостоятельные, а представляют собой части или притоки более крупных ледников, а ледник № 253 отсутствует.

В целом по группе 58% площади оледенения приурочено к северо-северо-восточным склонам. Это связано с меньшим таянием на северо-восточных склонах по сравнению с южными и господством основных направлений влагонесущих масс в холодное время [3]. Значительная часть ледников характеризуется относительно небольшими размерами: девять ледников имеют площадь более 1 км^2 , два ледника — менее $0,1 \text{ км}^2$ (см. таблицу). Длина ледников колеблется от 0,12 до 6,8 км.

По данным Каталога [11], ледники относятся к семи морфологическим типам, однако результаты полевых исследований вызвали необходимость пересмотреть морфологический тип некоторых из них. Так, по Каталогу, все ледники Пиначевского хребта — каровые. Изучение рельефа вулканов Арик и Ааг на местности позволило нам отнести четыре из них к склоновым. Согласно принятому определению, кар — это естественное чашеобразное углубление в привершинной части склонов гор с крутыми задними и боковыми стенками [8], ложа ледников № 271 и 272 такие отличия не имеют. Все ледники Корякского вулкана отнесены в Каталоге к морфологическому типу «ледник барранкосов», однако ледники Корякский-III и Корякский-VI мы обозначили как склоновые. Подстилающее ложе этих ледников представляет собой слабо-расчленённый склон вулкана, в то время как барранкос, по определению, это — глубокая борозда с крутыми стенками [7].

Ледники Елизовский и Камбальный классифицированы в Каталоге как атрио-долинные. Действительно, область питания этих ледников

и большая их часть залегает в пределах атрио Авачинского вулкана. Судя по реконструкции, язык Елизовского ледника в конце малого ледникового периода спускался в долину р. Сухая Елизовская [17]. Однако в ходе отступления его фронт существенно поднялся и в настоящее время не выходит за пределы атрио, а часть ледника, расположенная в долине, представляет собой расчленённый массив мёртвых льдов. В отличие от Елизовского, ледник Камбальный в течение последних десятилетий активно наступает, но в пределы долины (левого притока р. Сухая Елизовская) вышла лишь незначительная фронтальная часть ледника (не более 200 м). Поэтому авторы относят ледники Елизовский и Камбальный к типу атрио.

Тип ледника Дитмара, залегающего в кратере вулкана Козельский, обозначен в Каталоге как ледник взрывных и обвальных цирков. Это связано с тем, что область аккумуляции ледника занимает взрывную кальдеру, существенно расширенную ледниковой деятельностью. Однако язык ледника, выходящий за пределы кальдеры, составляет $4/5$ его длины (55% площади) и располагается в долине р. Мутнушки, поэтому авторы считают этот ледник кальдерно-долинным. Таким образом, исследованные ледники относятся к восьми морфологическим типам: склоновым (10 ледников), барранкосам (4), каровым (4), атрио (3), атрио-долинным (3), кальдерно-долинным (1), кратерным (1), перемётно-долинным (1).

Положение высших точек ледников варьирует как в пределах всей группы, так и на разных склонах одного вулкана. Связано это прежде всего с разницей в высоте вулканических построек и особенностями морфологии склонов. На северном склоне вулкана Корякский ледники Корякский-I и Корякский-II начинаются с самой вершины (3400 м) — это максимальный показатель для Авачинской группы, а остальные ледники группы начинаются на 1000–1500 м ниже. Ниже всего расположены склоновые ледники Авачинского вулкана — высшая точка 1400 м (ледники Лавинщиков и Дианы). Высотный интервал залегания ледников составляет 720–3400 м, а средневзвешенная высота — 1700 м.

Питаются ледники в основном за счёт ветрового перераспределения снега. Именно благодаря этому в отрицательных формах накапливают-

Основные сведения о ледниках Авачинской группы вулканов

Номер ледника по КATALOGу [11]	Название ледника	Название реки, вытекающей из ледника	Морфологический тип	Общая экспозиция	Длина, км	Площадь*, км²	Высота точки, м	
							низшей	высшей
Пиначевский хребет								
№ 250		Приток р. Шумная	Каровый	С	0,6	0,12	1740	2060
№ 251	Аагский-I	Р. Шумная	Склоновый	СЗ	0,12	0,08	2100	2200
№ 252	Арикский-I		Каровый	С	0,47	0,12	1520	1920
№ 2532**	—							
№ 270	Аагский-II	Приток р. Дремучая	Каровый	ЮЗ	0,6	0,11	1740	2100
№ 271	—	Р. Дремучая	Склоновый	З	0,62	0,1	1530	1780
№ 272				ЮЗ	1,0	0,5	1580	1900
№ 272-A***					0,5	0,15	2000	2200
№ 273**		—						
Корякский вулкан								
№ 254	Корякский-I	Приток р. Шумная	Барранкосов	С	6,5	3,4	1000	3400
№ 255	Корякский-II	Приток р. Седловинская		с—СВ	6,8	2,0	880	3200
№ 256	Корякский-III	Приток р. Правая седловинская	Склоновый	СВ	0,35	0,15	1470	1700
№ 257	Корякский-IV		Барранкосов		3,9	1,15	1300	3400
№258	Корякский-V			В	3,0	1,3	970	2100
№269	Корякский-VI	Р. Железная	Склоновый	СЗ	1,3	0,3	1500	2000
	Корякский-VII**		Кратерный	Ю	0,23	0,06	3160	3260
Авачинский узел оледенения								
№ 259	Новограбленова	Р. Седловина	Атрио-долинный	СЗ	5,7	1,7	800	2400
№ 260	Арсеньева	Приток р. Седловина		С	4,7	2,49	850	2400
№ 261**	—							
№ 262**	—							
	Печёнкина	Р. Мутная	Склоновый	СВ	1,35	0,35	1150	1700
№ 263	Заварицкого		Атрио-долинный		6,1	3,12	720	2380
№ 264	Дитмара	Р. Мутнушка	Кратерно-долинный		3,8	1,4	870	1775
№ 265	Козельский	Ручей Козельский	Перемётно-долинный	Ю	4,6	2,0	800	2050
	Тора		Склоновый		1,38	0,39	1250	1780
№ 266	Халактырский	Р. Халактырская Сухая	Атрио	ЮЗ	2,4	0,55	1640	2285
	Дианы***	Приток р. Елизовская Сухая	Склоновый	З—ЮЗ	0,5	0,15	1250	1400
	Камбальный		Атрио	ЮЗ	3,3	0,9	1170	2300
№ 267	Елизовский	Р. Елизовская Сухая			2,8	0,8	1320	2200
№ 268	Лавинщиков	Приток р. Елизовская Сухая	Склоновый	З	1,1	0,30	1220	1430
	Скрытый	Р. Седловина	Каровый		0,5	0,35	1500	1720
Всего 27 ледников площадью 24,04 км²								

*Относительная точность значений площади составляет 15%. **Ледники, представленные в Каталоге, но не обнаруженные на местности. ***Ледники, обнаруженные при полевых работах, но не представленные в Каталоге.

ся толщи снега мощностью до 10 м и более. На отдельных ледниках существенное участие в аккумуляции принимают снежные лавины. Так, доля лавин в питании ледника Дитмара, расположенного в кратере вулкана Козельский, достигает 40% [4, 5]. По нашим наблюдениям, аналогичная ситуация характерна и для ледника Корякский-V. Это объясняется тем, что ледник занимает не весь барранкос, который начинается практически с вершины, а только его нижнюю часть — с высоты 2100 м. В верхней, более крутой части барранкоса накапливающийся снег сходит в виде лавин в область питания ледника.

Языки ледников прикрыты слоем обломочного материала разной мощности. На леднике Корякский-V на высоте 1000 м видимая мощность поверхностной морены достигает 2 м. Чехол сложен обломками несортированного материала разного размера — от песка до глыб более 1 м в поперечнике. Этот чехол формируется с высоты около 1500 м и закрывает поверхность ледников до фронта. Обломочный материал попадает на поверхность ледников как с крутых осыпных склонов, так и во время извержений. Он представлен типичными для вулканов Авачинской группы породами — андезитами и андезито-базальтами [9] тёмно-серого или красновато-серого цвета.

Для Авачинской группы, как и для других центров оледенения, характерна центрально-концентрированная форма оледенения, и только на северо-западе группы, в карах Пиначевского хребта, наблюдается рассеянно-обособленная. Учитывая протяжённость группы, различия в климатических условиях и морфологии ледников в пределах группы, можно выделить три узла оледенения.

Авачинский узел оледенения. В него входят вулканы Авачинский и Козельский, которые соединены седловиной на высоте 1930 м. Две системы кольцевых разломов объединяют эти вулканы в единый массив. Вдоль разломов размещаются многочисленные экстрезии, часть из которых имеет характерную форму туюя — плосковершинного изолированного сооружения, генезис которого связывается с вулканической деятельностью в пределах мощных ледников [7, 9]. Вулкан Козельский представляет собой отдельный вулканический центр, тесно связанный с Авачинским вулканом и резко от-

личающийся от него по строению и составу слагающих продуктов [2]. В настоящее время постройка вулкана Козельского сохранилась в первозданном виде лишь в южной и юго-восточной частях. Морфологически она представляет собой взрывную кальдеру из которой вытекает ледник Дитмара. Вулкан Авачинский относится к типу Сомма-Везувий. Его действующий конус эксцентрично возвышается над краем соммы на 400–1000 м. Атрио заполнено льдом, спускающимся в разные стороны шестью языками.

В настоящее время в Авачинском узле залегают 13 ледников общей площадью $14,5 \pm 2$ км² (см. таблицу и рис. 2). Более 60% площади оледенения приурочено к склонам северной экспозиции, что отражает общую картину по группе. Высотный интервал залегания ледников составляет 800–2400 м. В пределах этого узла наблюдается наибольшее число морфологических типов вулканов — шесть, что связано с большим разнообразием рельефа в результате регулярных извержений Авачинского вулкана.

Атрио и барранкосы — благоприятные участки для накопления снега и формирования ледников. Так, ледники Халактырский, Камбальный и Елизовский полностью залегают в атрио, а ледники Новограбленова, Заварицкого и Арсеньева получают достаточно питания и для спуска в долину. Именно эти атро-долинные ледники имеют наибольшую площадь и длину среди ледников Авачинского узла. При этом в верхней части конуса вулкана Авачинский ледниковый покров не развит, а сезонный снег даже в холодный период покрывает склоны конуса не полностью. Вероятная причина этого — большая крутизна склона, не позволяющая задерживаться снегу. Поверхностная морена присутствует на всех ледниках узла. Основная составляющая морены — пирокластический материал, поступивший на поверхность при последних извержениях Авачинского вулкана. Мощность морены увеличивается к концам ледников и достигает на возвышениях 0,5 м, а в понижениях — 1,0–1,5 м.

Для Авачинского узла оледенения репрезентативен ледник Козельский; его комплексные исследования проводились в 1970–80-х годах. Ледник спускается с седловины между вулканами Авачинский и Козельский на юг и относится к перемётно-долинному типу (северный склон седловины занят ледником Заварицкого). Высшая

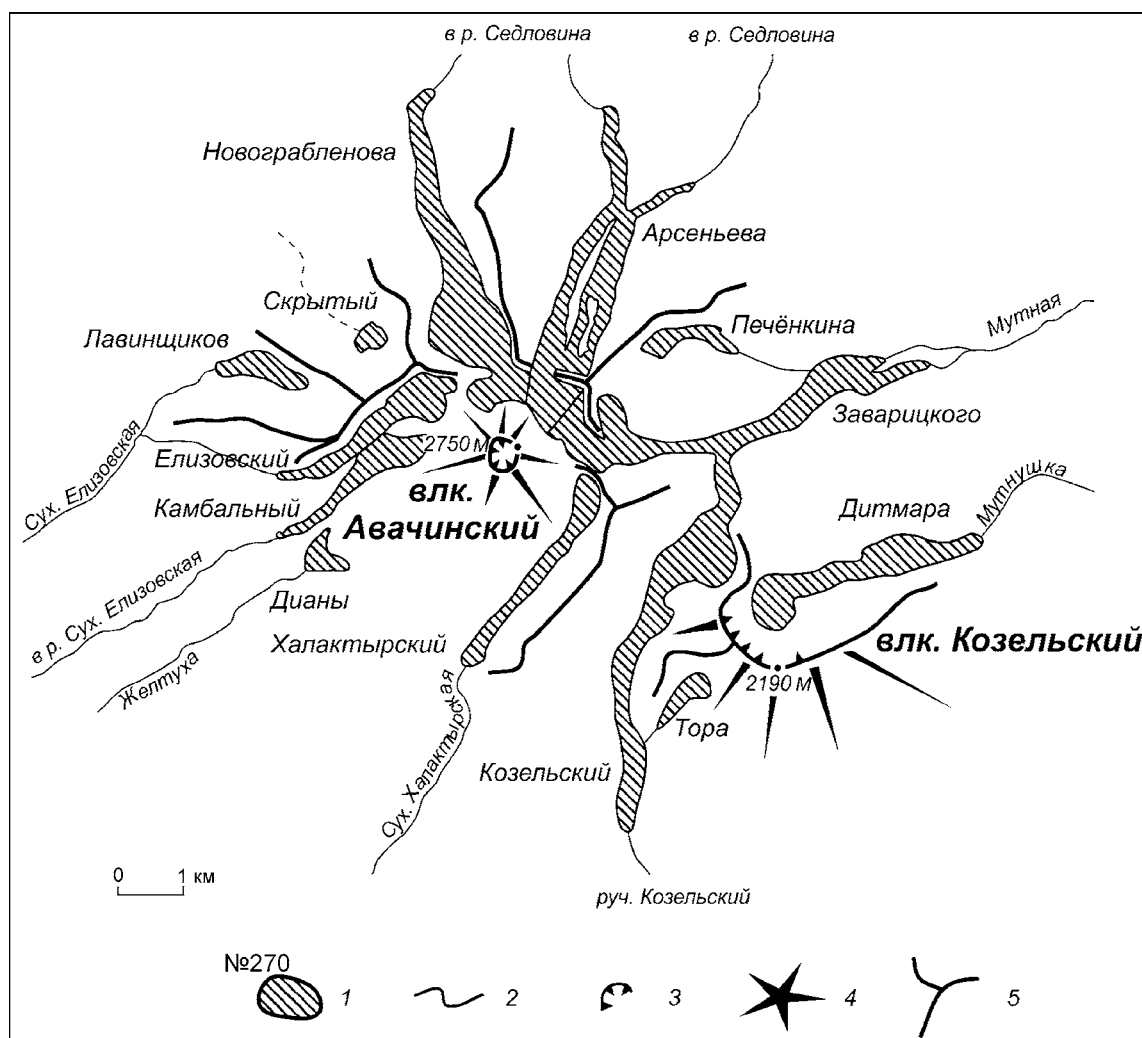


Рис. 2. Ледники Авачинского узла оледенения:

1 – ледники; 2 – ледниковые ручьи; 3 – кратер; 4 – вулканические постройки; 5 – гребни

Fig. 2. Glaciers of the Avachinsky complex of glaciation:

1 – glaciers; 2 – glacial streamlets; 3 – crater; 4 – volcanic structure; 5 – ridges

точка ледника Козельский находится на восточном склоне соммы на высоте 2050 м. Ледниковый язык спускается до высоты 800 м. Он имеет хорошо выраженные области питания и расхода и относительно доступен практически на всём протяжении вплоть до верховий. Одним из важнейших результатов исследований Козельского ледника, проводимых под руководством В.Н. Виноградова, был расчёт годовых значений аккумуляции, абляции и баланса массы, выполненный на основе прямых измерений в 1972–1988 гг. и реконструкции этих значений с 1891 г. Реконструкция производилась с помощью длинных рядов наблюдений на метеорологической станции г. Петропавловск-Камчатский и однопара-

метрических зависимостей баланса массы от количества осадков и температуры [5, 6]. В 1990-х годах на предполье ледника велись палеогляциологические исследования, позволившие датировать моренный комплекс методами лишенометрии и тифрохронологии [17].

В настоящее время на леднике ежегодно проводятся полевые работы, позволяющие отслеживать динамику ледника. На основании гидрометеорологических данных по методике, описанной в работах [5, 6], продолжается расчёт баланса массы (рис. 3). Предыдущие данные этих расчётов публиковались в 2006 г. [15] и охватывали период с 1891 по 2001 г. В целом годовой баланс и его составляющие существенно изменяются от года к

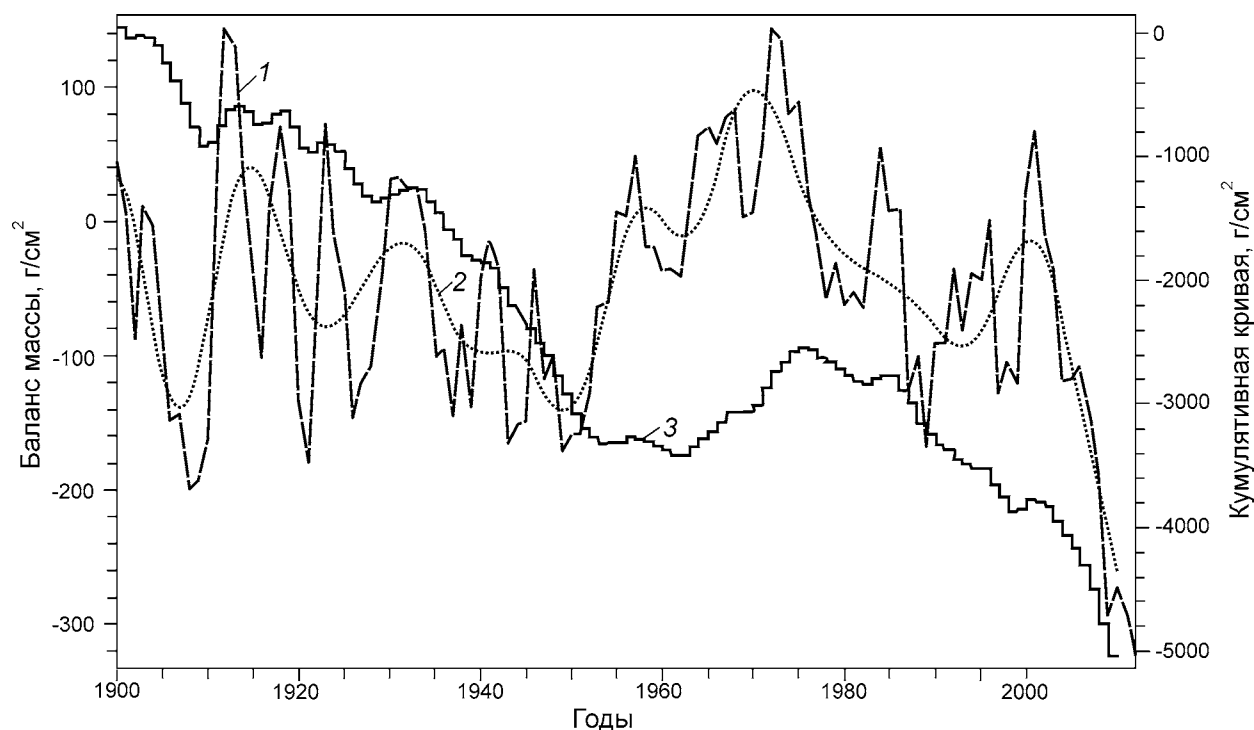


Рис. 3. Баланс массы ледника Козельский:

1 – баланс массы; 2 – полиномиальная аппроксимация баланса массы; 3 – кумулятивная кривая баланса массы

Fig. 3. Mass balance of Kozelsky Glacier:

1 – mass balance; 2 – polynomial approximation of the mass balance; 3 – cumulative curve for the mass balance

году. За 120 лет в 60% сезонов абляция преобладала над аккумуляцией при среднем значении баланса -60 г/см^2 . Многолетняя норма аккумуляции составила 330 г/см^2 , а абляции – 400 г/см^2 (при значении внутреннего инфильтрационного питания 17 г/см^2). Экстремальные значения баланса за этот период были в 1896/97 балансовом году ($+290 \text{ г/см}^2$), а в 2011/12 году (-420 г/см^2). С начала периода наблюдений (1967 г.) ледник продвинулся на 600 м вниз по долине, спустившись на 150 м по высоте. Результаты полевых работ согласуются с оценкой изменения длины ледника (продвижение на 550 м), полученной стереофотограмметрическим методом [16].

Ледники Корякского вулкана. Корякский вулкан занимает центральное положение в рассматриваемой группе. Он имеет форму правильно конуса, изрезанного глубокими, радиально отходящими от вершины барранкосами. В западной части вершинного гребня расположен современный кратер диаметром 200 м, заполненный ледником. В северной части вершины находится цирк диаметром около 500 м и глубиной более 100 м. Этот цирк представляет собой

древний кратер, расширенный за счёт ледниковой эрозии [9], из которого вытекает ледник Корякский-I. В настоящее время на склонах Корякского вулкана залегает семь ледников общей площадью $8,36 \pm 1,3 \text{ км}^2$ (см. таблицу и рис. 4), которые относятся к следующие типам: барранкосов (4 ледника), склоновому (2) и кратерному (1) [13]. Самые крупные ледники имеют длину более 6 км при площади до $3,4 \text{ км}^2$. Преобладают ледники площадью менее $1,5 \text{ км}^2$. Пять из семи ледников, составляющие 84% оледенения, приурочены к склонам северной экспозиции.

Несмотря на глубокие барранкосы на южном склоне, которые благоприятны для снегонакопления, и его значительную высоту, там отсутствуют не только ледники, но и многолетние снежники [1]. Исключение составляет ледник Корякский-VII, который залегает в кратере, открытом на юг, на высоте 3200 м. На северном склоне вулкана ледники Корякский-I и II начинаются от самой вершины (3400 м) – максимального показателя для Авачинской группы, а оканчиваются на отметках 900–1000 м. Именно эти ледники достигают наибольшей длины.

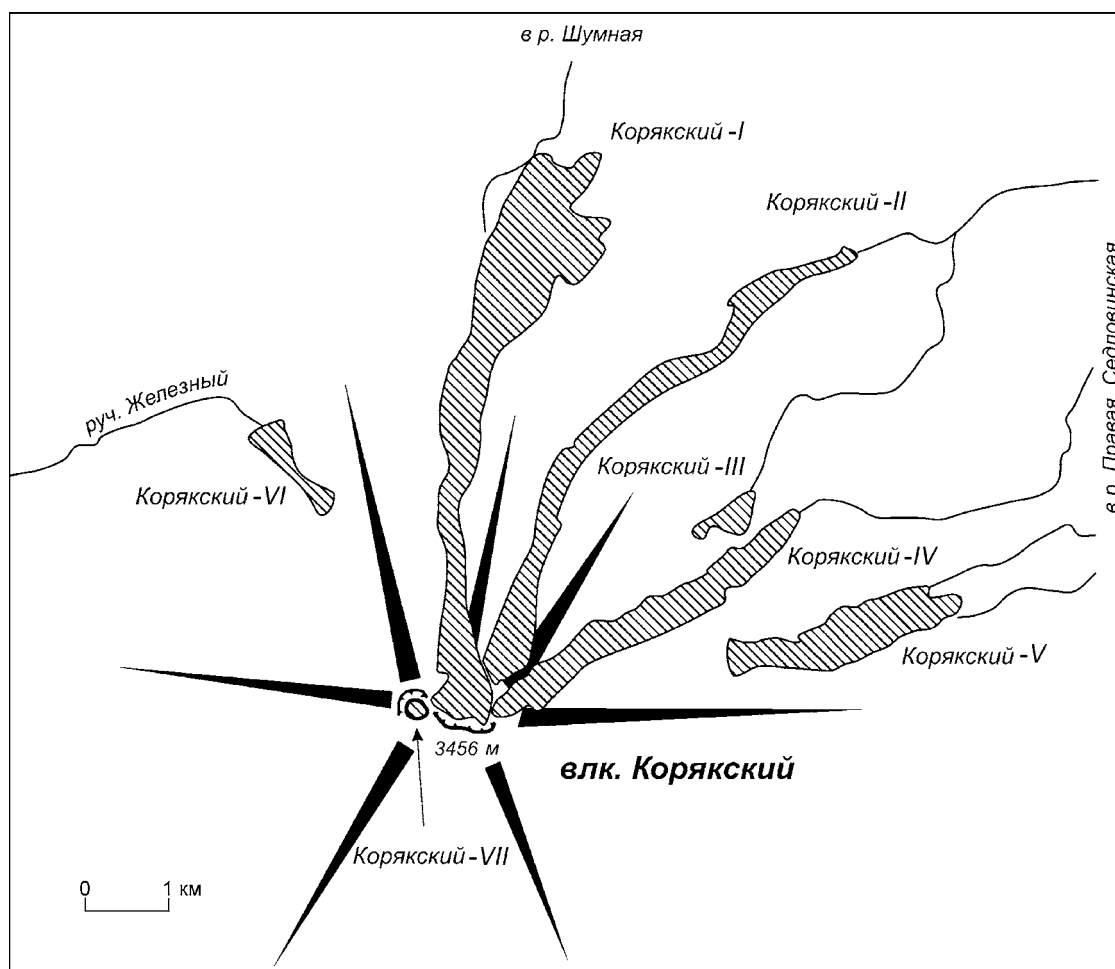


Рис. 4. Ледники Корякского вулкана.

Усл. обозначения см. на рис. 2

Fig. 4. Glaciers of the Koryaksky volcano.

Legend see Fig. 2

Поверхностная морена наблюдается на четырёх ледниках из семи — Корякском-I, II, IV, V. На леднике Корякский-II до 30% поверхностного материала имеет жёлтый цвет. Это объясняется наличием в области питания ледника гидротермально изменённых пород, которые транспортируются ледниковым потоком в область абляции. Ледники Корякский-III, VI и VII расположены выше или на уровне 1500 м, поэтому на них откладывается только мелкозернистый материал, переносимый ветром. Кроме того, их «незагрязнённость» связана с расположением ледников на склоне, а не в барранкосах. В 2009 г. во время извержения Корякского вулкана все его ледники от верхней границы до фронта были покрыты слоем пепла толщиной до нескольких сантиметров.

Ледники Пиначевского хребта. Вулканы Арик и Ааг, образующие Пиначевский хребет, — наиболее древние в группе. Они представляют собой сильно разрушенный вулканический массив, сложенный мощными потоками светло-серых дацитов и риолитов. На месте большей части конусов под действием эрозии и верхнеплейстоценового оледенения сформировался резко расчленённый эрозионно-ледниковый рельеф с прекрасно выраженными скульптурными ледниковыми формами — карами и трогами и комплексом верхнеплейстоценовых и голоценовых морен.

В настоящее время на склонах Пиначевского хребта залегает семь ледников общей площадью $1,18 \pm 0,2$ км² (см. таблицу и рис. 5). Из них шесть расположены на вулкане Ааг [14]. Все ледники имеют относительно небольшие размеры — около

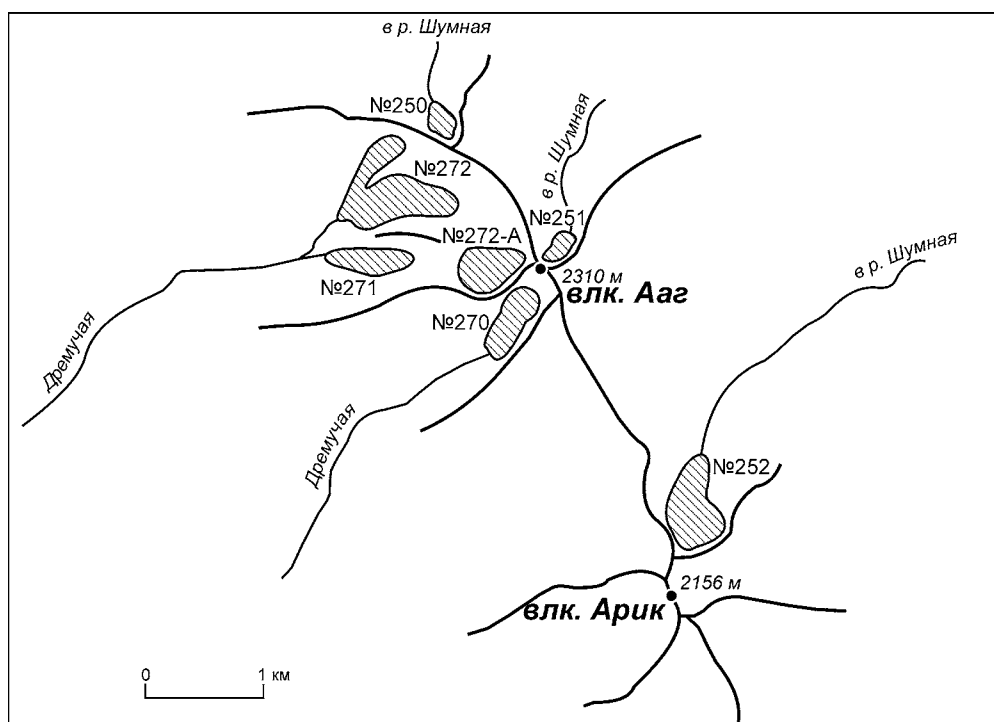


Рис. 5. Ледники Пиначевского хребта.

Усл. обозначения см. на рис. 2.

Fig. 5. Glaciers of the Pinachevsky ridge.

Legend see Fig. 2

0,1 км². Самый крупный из них — ледник № 272 — имеет длину около 1,0 км, а площадь 0,5 км². Большинство ледников (четыре из семи, составляющие 73% площади оледенения Пиначевского хребта) приурочено к юго-западным склонам, что отличает их от остальных вулканов Авачинской группы. По-видимому, это связано с тем, что склоны юго-западной ориентации более пологие и благоприятны для накопления осадков, в то время как северо-восточные склоны более крутые, поэтому основная масса снега, не задерживаясь, сходит в виде лавин к подножию.

Все ледники занимают верхние части вулканических построек. Высшие точки ледников определяются высотой вулканов и располагаются на высоте около 2000 м, а фронты не опускаются ниже 1500 м. Поверхность ледников слабо загрязнена в отличие от других ледников Авачинской группы. Объяснить это можно расположением ледников в привершинных частях вулканов, из-за чего обломочный материал со склонов практически не попадает на их поверхность. Кроме того, вулканы сложены мощными консолидированными потоками лав, в то время как в строении

остальных вулканов присутствует большое количество рыхлого пирокластического материала.

Изменение фронтов ледников за последние 40 лет. Сравнительный анализ данных аэрофотоснимков августа–октября 2010 г. со снимками за 13 сентября 1974 г. позволил оценить изменения положения фронтов ледников за последние 40 лет. Анализ вели посредством трансформации и совмещения сканированных аэрофотоснимков и наложением на цифровую модель рельефа Google Earth с привлечением данных полевого дешифрирования фотосъёмки. Шесть из семи ледников Пиначевского хребта стационарны, однако ледник № 270 сократился — его фронт поднялся на 30 м. Среди ледников Корякского вулкана также сокращается только один ледник — Корякский-III, при этом самые крупные ледники — Корякский-I, II и V, площадь которых более 1,2 км², наступают. Так, ледник Корякский-II продвинулся вниз по долине на 170 м, но небольшое изменение высоты фронта — на 20 м — связано с пологим наклоном подстилающей поверхности. Ледники Корякский-IV и VI находятся в стационарном

состоянии. В Авачинском узле из 13 ледников девять находятся в стационарном состоянии, а оставшиеся четыре наступают (Дитмара, Камбальный, Козельский, Халактырский). Так, ледник Козельский, как уже отмечалось ранее, за 45 лет продвинулся вниз по долине на 600 м

и опустился на 150 м по высоте. Наступание ледника Камбальный составляет 370 м (110 м по высоте), а ледник Халактырский продвинулся вниз на 1 км (450 м по высоте).

На рис. 6 представлено распределение ледников по площади, морфологическим типам и

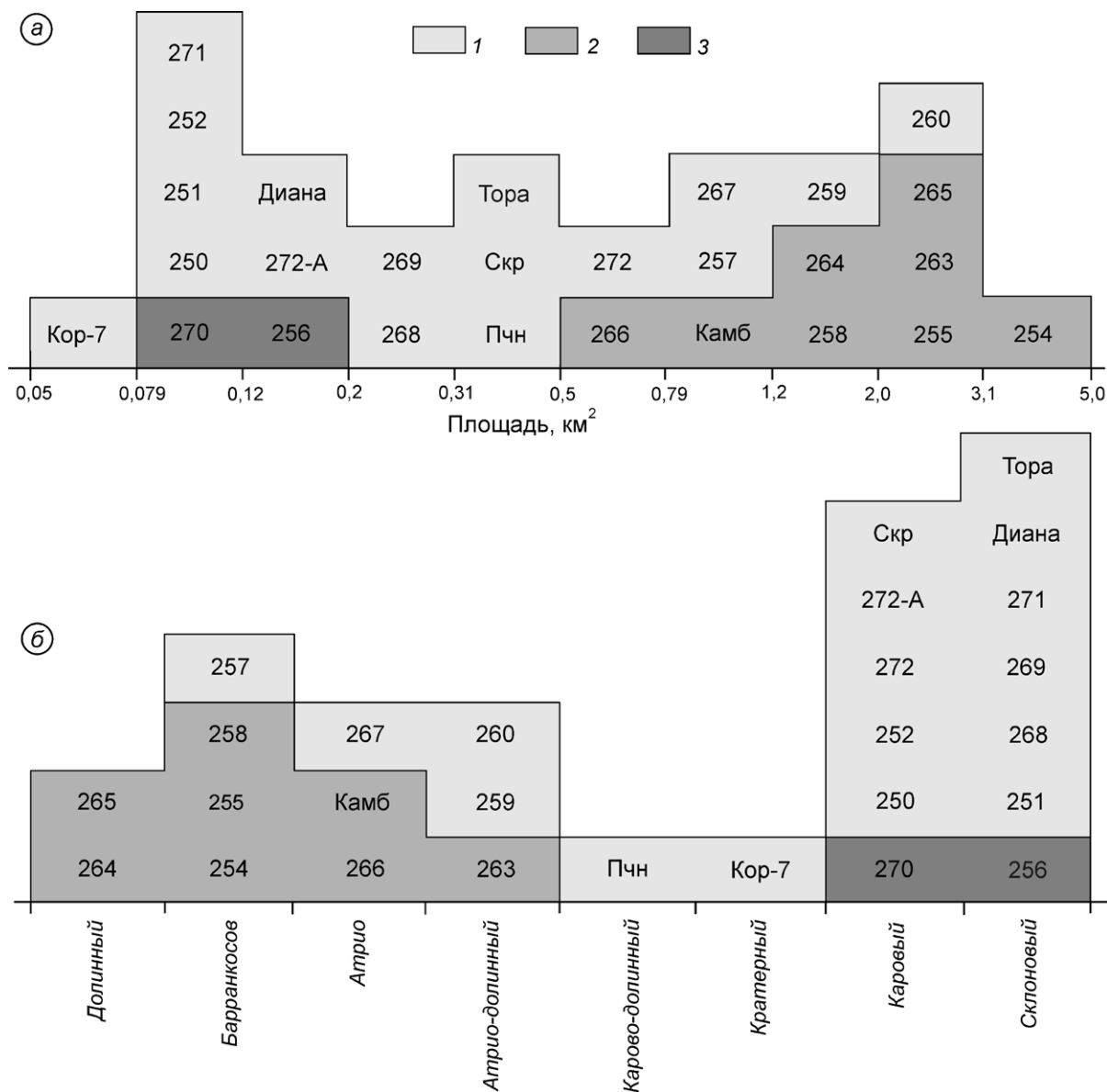


Рис. 6. Распределение ледников:

a – по площади; *б* – по морфологическому типу; ледники: 1 – стационарные, 2 – деградирующие, 3 – наступающие; номера в ячейках соответствуют номерам ледников в Каталоге; ледники, не имеющие номеров, обозначены следующим образом: Диана – ледник Дианы, Камб – ледник Камбальный, Кор-7 – ледник Корякский-VII, Пчн – ледник Печёнкина, Скр – ледник Скрытый, Тора – ледник Тора

Fig. 6. Distribution:

a – of glaciers by area; *б* – of glaciers by morphological type; glaciers: 1 – stationary glaciers, 2 – degrading glaciers, 3 – advancing glaciers; numbers in bars correspond to numbers of glaciers in the Inventory; glaciers that have no numbers denoted as follows: Диана – Diana Glacier, Камб – Kambalny Glacier, Кор-7 – Koryaksky-VII Glacier, Пчн – Pechyonkin Glacier, Скр – Skryty Glacier, Тора – Tora Glacier

высоте залегания с указанием их современной динамики. Ледники по площади имеют ярко выраженную бимодальность: выделяется группа малых (менее $0,5 \text{ км}^2$) и группа крупных ледников (более $0,5 \text{ км}^2$) (см. рис. 6, а). При этом все наступающие ледники относятся к «крупным», а деградирующие — к «малым». Большая часть малых ледников находится в стационарном состоянии. При рассмотрении морфологических типов (см. рис. 6, б) видно, что семь наступающих ледников относятся к четырём типам: атрио, атрио-долинные, долинные и барранкосов. Для ледников всех этих типов характерна существенно большая длина, чем ширина. Кроме того, области аккумуляции этих ледников приурочены к верхним частям вулканических построек, благоприятным для накопления и сохранения снега. Стационарные ледники встречаются практически во всех типах, но больше всего среди них каровых и склоновых — самых частых морфологических типов. К ним же относятся и два деградирующих ледника.

На рис. 7 дано распределение площади ледников по высоте, при этом показано общее распределение и отдельно по деградирующим, наступающим и стационарным ледникам. Видно, что большая часть льда залегает в диапазоне высот 1000–2500 м. За пределы этого диапазона выходят только ледники Корякского вулкана (ледники барранкосов, начинающиеся с вершины вулкана, и кратерный). Распределение площади оледенения по высоте явно не коррелирует с динамикой ледников. Единственное, что можно отметить — наступающие ледники залегают в более широких границах, чем стационарные и деградирующие, что отражает указанную ранее тенденцию: преобладание длины наступающих ледников над их шириной.

Заключение

По материалам полевых работ и изучения современных аэрофотоснимков получена информация о состоянии оледенения Авачинской группы вулканов. В настоящее время здесь находится 27 ледников общей площадью $24,04 \text{ км}^2$. Обнаружены три новых ледника: кратерный ледник Корякский-VII и два скло-

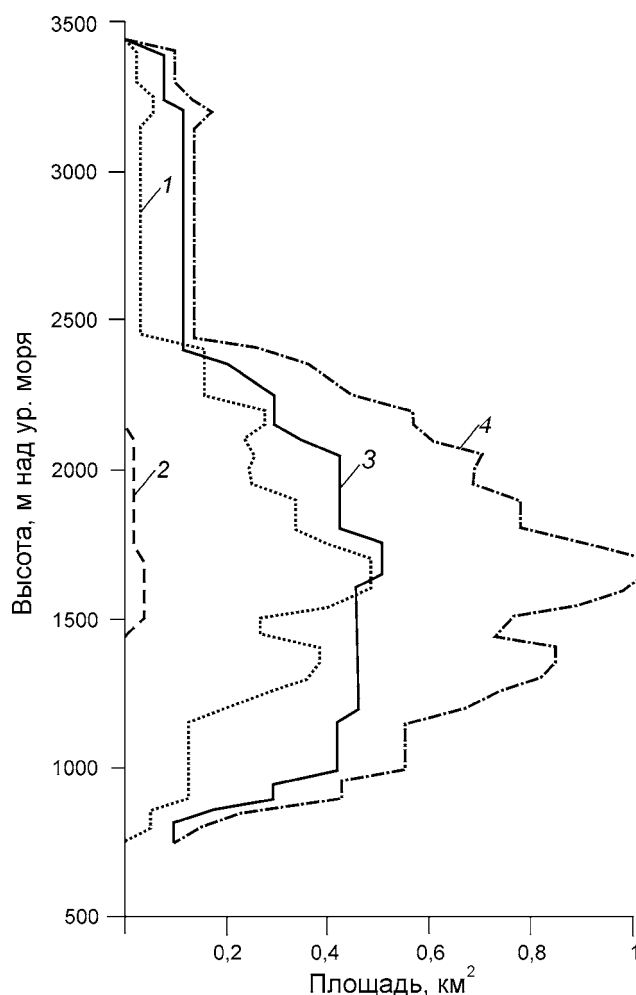


Рис. 7. Распределение площади ледников по высотным уровням.

Ледники: 1 — стационарные, 2 — деградирующие, 3 — наступающие; 4 — общая площадь

Fig. 7. Distribution of area by altitude.

Glaciers: 1 — stationary, 2 — degrading, 3 — advancing; 4 — total area

новых ледника — № 273 и Дианы; один ледник, указанный в Каталоге (№ 253), не существует. Ледники относятся к восьми морфологическим типам, большинство из них — склоновые. Изучение аэрофотоснимков 1974 г. и сопоставление их с современным состоянием ледников позволили оценить изменение положения фронтов ледников за последние 40 лет. 18 ледников находятся в стационарном состоянии, семь наступают, два деградируют. Все наступающие ледники относятся к четырём морфологическим типам, для которых характерно значительное преобладание длины над шириной, и имеют площадь более $0,5 \text{ км}^2$.

Литература

1. Будников А.Е. Снежники Авачинской группы вулканов // Гляциол. исследования. № 25. М.: Наука, 1976. С. 55–57.
2. Будников В.А., Ванде-Кирков Ю.В., Малеев Е.Ф., Овсянников А.А. Вулкан Козельский // Бюл. вулканологических станций. 1976. № 52. С. 103–107.
3. Виноградов В.Н. Современное оледенение Авачинской группы вулканов // Вопросы географии Камчатки. 1970. № 6. С. 51–61.
4. Виноградов В.Н. Современное оледенение районов активного вулканизма. М.: Наука, 1975. 103 с.
5. Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д., Кондратюк В.И. Климат Петропавловска-Камчатского в XIX–XX столетиях // Вопросы географии Камчатки. 1989. № 10. С. 3–17.
6. Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д. Ледник Козельский (Авачинская группа вулканов). СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 120 с.
7. Влодавец В.И. Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 340 с.
8. Гляциологический словарь / Под ред. В.М. Котлякова. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 527 с.
9. Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. 415 с.
10. Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Наука, 1970. 440 с.
11. Каталог ледников СССР: Т. 20. Камчатка. Ч. 2–4. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 76 с.
12. Кондратюк В.И. Климат Камчатки. М.: Гидрометеоздат, 1974. 204 с.
13. Маневич Т.М., Самойленко С.Б. Ледники Корякского вулкана // Лёд и Снег. 2012. № 3 (119). С. 25–30.
14. Маневич Т.М., Самойленко С.Б. Ледники Пиначевского хребта // Материалы VIII региональной молодежной науч. конф. «Исследования в области наук о Земле». Петропавловск-Камчатский, 2010. С. 65–71.
15. Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху / Под ред. В.М. Котлякова. М.: Наука, 2006. 482 с.
16. Свирид И.Ю., Шевченко А.В. Динамика Козельского ледника по аэрофотограмметрическим данным // Материалы IX региональной молодежной науч. конф. «Исследования в области наук о Земле». Петропавловск-Камчатский, 2011. С. 119–126.
17. Соломина О.Н., Муравьев Я.Д., Базанова Л.И. Оледенение Камчатки в малом ледниковом периоде // МГИ. 1995. № 80. С. 54–60.

Summary

Data on present glaciation of the Avachinskaya volcano group, obtained in 2007–2010 during field works, were analyzed. This group of volcanoes is located in south-east of the Kamchatka peninsula, and it forms a 30 km long chain of volcanoes. The group consists of five volcanoes, two of which are active ones. The last eruption of the Avachinsky volcano occurred in 1991 while the Koryaksky erupted in 2008–2009. 27 glaciers are now isolated on the volcano slopes with their total area of $24.04 \pm 3.6 \text{ km}^2$. Three new glaciers were found: the crater glacier Koryaksky-VII, and two slope glaciers № 273 and Diana. The glacier № 253 from the Glacier Inventory of 1968 does no longer exist. 58% of the glaciers cover north and north-east slopes. Larger part of them is relatively small: 9 glaciers have area hardly exceeding 1 km^2 , two glaciers are smaller 0.1 km^2 . Their lengths vary from 0.12 to 6.8 km. These glaciers belong to eight morphological types, the largest part of them are glaciers of slopes, cirques, and barrancoes. Because of the great extent and diversity of volcanic edifices all glaciers were grouped into three glacial knots (complexes): the Avachinsky complex (13 glaciers, $14.5 \pm 2 \text{ km}^2$), the Koryaksky volcano (7 glaciers, $8.36 \pm 1.3 \text{ km}^2$), and the Pinachevsky Range (7 glaciers, $1.18 \pm 0.2 \text{ km}^2$), each one with own specific features. Availability of aerial photographs of 1974 made possible to reconstruct dynamics of the glaciers for the last 40 years. Eighteen glaciers have been found to be in the stationary state, seven ones advance, and two glaciers degrade.