

УДК 551.324

Муравьев Я.Д.¹, Цветков Д.Г.², Муравьев А.Я.², Осипова Г.Б.²

1. Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
2. Институт географии РАН

Динамика пульсирующего ледника Бильченок в Ключевской группен вулканов

Ключевые слова:

пульсирующий ледник, подвижка, морфология поверхности, скорость движения льда, фронт активизации, вулканическая деятельность.

surging glacier, surge (advance), surface morphology, ice movement velocity, front of growing activity, volcanic activity

Аннотация

Исследована эволюция пульсирующего ледника Бильченок в Ключевской группе вулканов (Камчатка) с конца XIX века по настоящее время. После отступления в начале XX века ледник активизировался и наступал в конце 1940-х. Мощная подвижка ледника произошла в 1959/60 г., когда его язык продвинулся на 2 км и спустился до высоты 615-630 м, в березовый лес. Во время следующей подвижки ледника в 1980-1983 гг. на его языке проводились гляциологические и вулканологические исследования. Масштабы её были менее значительны, чем масштабы подвижки 1959 г., а объем перенесенной массы составил около 35-40 млн.т., что в 3.5 раза меньше, чем при предыдущей. Не исключено, что начало этой подвижки и характер ее развития в значительной мере связаны с усилением сейсмической активности. В настоящее время происходит очередная подвижка ледника.

Введение

Исследования динамики и режима пульсирующего ледника, особенно в стадию подвижки, все еще остаются редким событием. Практически, регулярные исследования были поставлены всего на двух ледниках - Медвежий (Памир) [8 и др.] и Вариагейтид (Аляска) [16,19, 21 и др.]. Поэтому, для более полного понимания процессов, происходящих в ледниковом теле, и критического осмысления предлагаемых теорией механизмов сёрджей важны данные по пульсациям ледников, существующих в разной геологической и климатической обстановке.

Особенно важны и интересны такие наблюдения на пульсирующем леднике, режим которого обусловлен не только внутренними динамическими причинами, но и проявлениями вулканической деятельности. Так нарушение динамического режима пульсирующего ледника Колка на Кавказе в результате воздействия комплекса внешних факторов, в том числе и активизации вулканических процессов, привело к преждевременному выбросу ледника в 2002 г. и катастрофическим последствиям с человеческими жертвами [15].

В статье рассматривается эволюция ледника Бильченок в Ключевской группе вулканов (Камчатка) с конца XIX века по настоящее время. Основное внимание уделяется результатам измерений на языке ледника, выполненных во время подвижки 1982-1984 гг., которые помогут выявить сходство и различие его подвижек, как с динамикой соседних ледников, так и с пульсирующими ледниками других горно-ледниковых районов мира.

Географическое положение и морфология ледника

Кальдерно-долинный ледник Бильченок располагается в северо-западной части Ключевского вулканического массива. Особенность оледенения этого района заключается в его динамичности и большой изменчивости. Практически все ледники относятся здесь к нестабильным. Кроме пульсирующего ледника Бильченок, это ледники Эрмана, Богдановича, Шмидта и др. [5] (рис. 1а).

Этот крупный вулканический массив разделяется вулканологами на два слившихся вулканических конуса - Крестовский (Ближняя Плоская сопка) и Ушковский (Дальняя Плоская сопка).

Вулкан Ушковский - сложная вулканическая постройка плейстоценового возраста. Вершина вулкана представляет собой обширную кальдеру площадью $24,2 \text{ км}^2$ ($4,5 \times 5,5 \text{ км}$), которая поднята на высоту 3300-3600 м над ур. м. и заполнена фирном и льдом. Эксцентрично, в юго-западной части кальдеры находятся два близко расположенных конуса (высшая отметка 3930 м), увенчанных кратерами Горшкова и Герца. Вершинная кальдера Ушковского вулкана служит областью питания крупных камчатских ледников: Эрмана, Богдановича и др., но большую ее часть (61% от общей площади) занимает область питания ледника Бильченок. Исток этого ледника лежит в кратере Горшкова и дренирует его компактный фирновый бассейн через узкий прорыв в кромке кальдеры потоком льда 350-400 м в ширину. Язык ледника от подножия ледопада полого спускается до высоты около 630 м (максимальное положение после подвижки 1959-60 гг.).

При максимальном продвижении длина Бильченка достигает 18,2 км, из которых 3,6 км приходится на ледопад и 9,7 км на долинную часть языка. Плановая площадь ледника после подвижки 1959-60 гг. составляла 23 км^2 , которые распределялись следующим образом: $5,9 \text{ км}^2$ - площадь долинной части ледника, $1,9 \text{ км}^2$ - площадь ледопада, а остальная приходилась на кальдеру и прилегающий склон вулкана Крестовский.

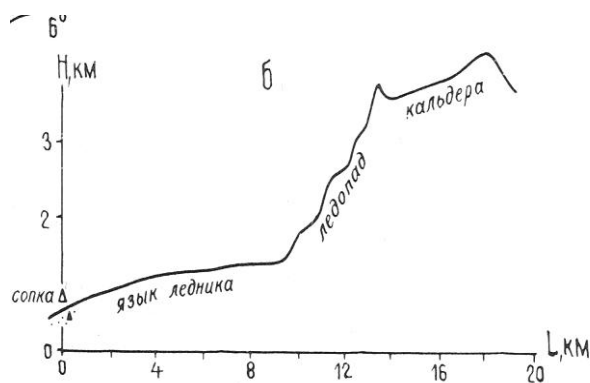
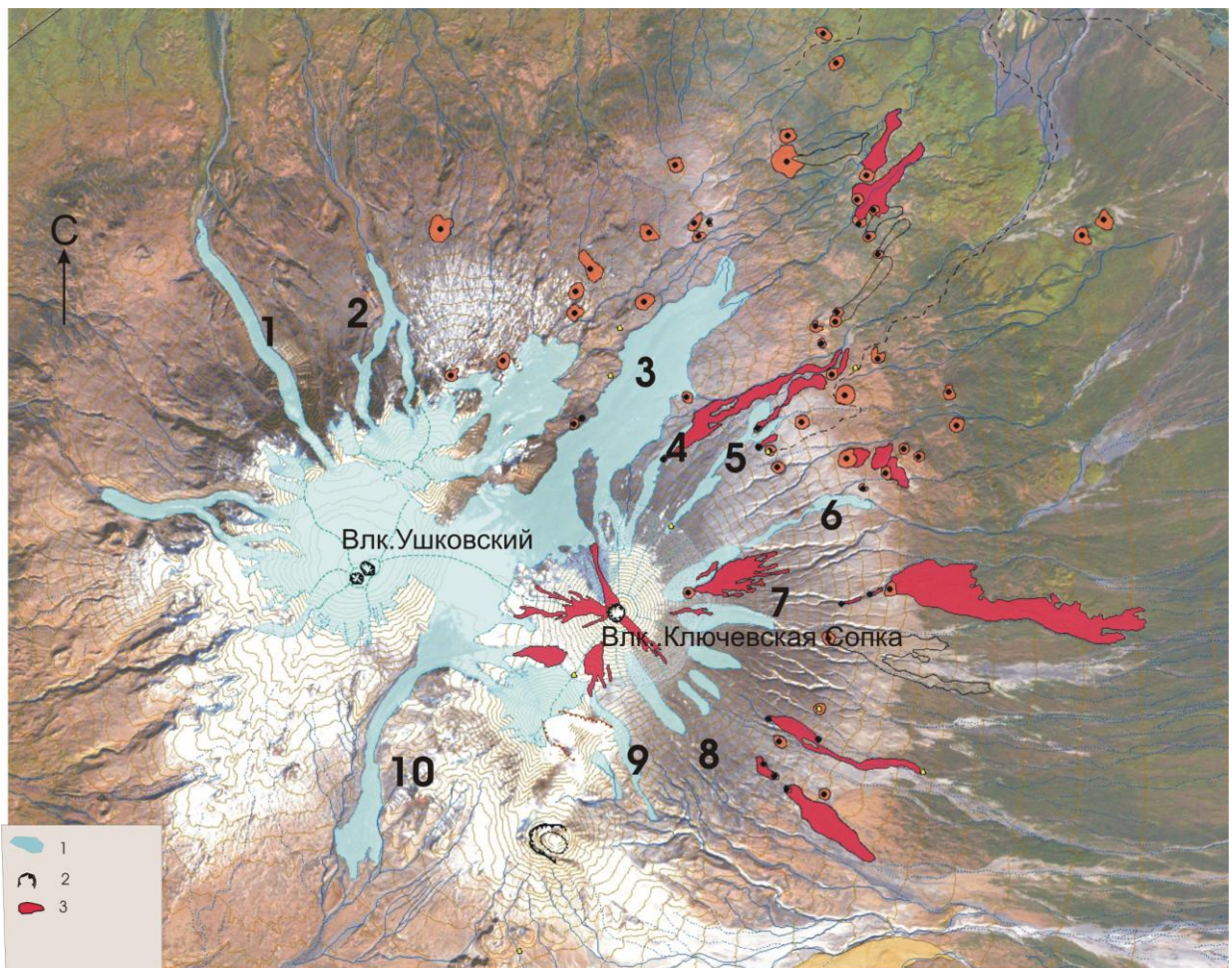


Рис.1а. Современное оледенение Ключевского вулканического массива (вулканы Ключевской, Камень, Безымянный, Крестовский и Ушковский). 1 – ледники, 2 – кратеры действующих вулканов, 3 – конусы и лавовые потоки побочных извержений Ключевского вулкана.

Динамически нестабильные ледники: 1- Бильченок, 2 - Эульченок, 3 – Эрмана, 4 – Влодавца, 5 – Сопочный, 6 – Келля, 7 – Пийпа, 8 – Иванова, 9 – Шмидта, 10 – Богдановича

Рис.1б. Продольный профиль поверхности ледника Бильченок после подвижки 1959 г.

Fig.1a. Present glaciation of Ključevskoy volcanic massif (volcanoes Ključevskoy, Kamen, Bezmyanny, Krestovskiy and Ushkovskiy). 1 – glaciers, 2 – craters of active volcanoes, 3 – cones and lava flows of lateral eruptions of Ključevskoy volcano.

Dynamically unstable glaciers: 1 – Bilchenok, 2 – Eulchenok, 3 – Erman, 4 – Vlodaytsa, 5 – Sopochny, 6 – Kellya, 7 – Piypa, 8 – Ivanova, 9 – Shmidta, 10 – Bogdanovicha

Fig.1б – longitudinal profile of Bilchenok glacier surface after 1959 surge

Система ледопадов начинается на выходе из кальдеры с отметки 2950 м, а подошва лежит на высоте 1400 м над ур.м., т.е. перепад высот составляет 1,55 км. Полого залегающий язык имеет средний уклон около 5° , за исключением последнего километра после поворота на север, где угол наклона поверхности увеличивается до 9° (рис.1б).

По сообщению О.Герца, последнее извержение вершинного конуса произошло, вероятно, весной 1880 г. До недавнего времени отсутствовали достоверные сведения о какой-либо современной вулканической деятельности на этом массиве. Однако проявления тепловой активности на вершине вулкана были отмечены в 1980 г. А.А. Овсянниковым, что позднее подтвердилось при проведении полевых исследований. Здесь были обнаружены термальные площадки общей площадью свыше 5 тыс. м² [12], на основании чего вулкан был отнесен к действующим. Мощность теплового потока, поступающего через оба кратера (общая площадь 0,55 км²), не менее 10 Мвт. Большая часть его реализуется на таяние льда на ложе ледника. В настоящее время отмечается прогрев кромок кратеров и существование системы геотермических пещер в заполняющем их леднике. Максимальная измеренная температура на термальных площадках достигает +86°С, что близко точке кипения воды на этой высоте.

Если рассматривать кальдеру в целом, то, вероятно, существуют значительные участки прогрева в области питания ледника Бильченок. Поступающего глубинного тепла к ложу ледника достаточно для поддержания температуры льда близкой к точке плавления.

Ледник Бильченок расположен в районе с переходным от морского к континентальному типом климата, что обуславливает холодную, относительно сухую зиму и теплое лето. Судя по климатическим и экспериментальным измерениям [10], верхняя треть области питания ледника относится к рекристаллизационно-режелационной зоне льдообразования. Исследования 1983-1986 гг. показали, что в этой зоне таяние снега и льда происходит практически лишь под воздействием вулканического тепла, и поверхностная абляция составляет всего 5-10% от годовой аккумуляции. Запаса холода в толще снега достаточно для повторного замерзания талой воды на глубине до 1,0 м. В нижней части кальдеры, занятой инфильтрационно-рекристаллизационной зоной, талый сток если и есть, то незначительный, т.к. вода повторно замерзает в горизонтах чаще всего не глубже годового слоя. Скорость аккумуляции на леднике в кратере Горшкова в среднем составляет около 600 г/см², а в кальдере - 1200-1300 г/см² (по измерениям 1986 г.). Высота границы питания - около 2500 м, и нередко нарушается крупными фирновыми обвалами на ледопаде.

Исторические сведения о динамике ледника

Первые сведения о крупном леднике, стекающем по северо-западному склону Плоской сопки, приводит К.И.Богданович в "Геологическом очерке Камчатки" [1]. Он пишет: "Вершина Плоской сопки покрыта толстым снежным покровом, имеет несколько ледников. Один из них, с северо-запада, питает речку Бильченок. Этот ледник

(Крестовый) стоит, так сказать, на границе между ледниками первого и второго порядка и, вероятно, он самый большой из всех ледников Камчатки. Ледник речки Бильченок, который я мог наблюдать из долины реки Камчатки у устья этого притока, спускается далеко за границу леса, т.е. ниже чем 900 м, и имеет очень развитые морены. Воды Бильченка мутно-белые, как у реки Белой, которая течет из-под ледника восточного склона Белого хребта".

Это сообщение важно тем, что дает представление о состоянии ледника в конце XIX - начале XX столетия. Современная верхняя граница леса также располагается на высоте около 900 м, а фронт языка в стадию деградации поднимается вверх по долине до высоты 900-920 м. Следовательно, язык ледника в 1897 г. располагался близко к максимальным размерам. Необходимо отметить и то, что с берега реки Камчатки конечная часть ледника, выдвигающаяся из-за поворота долины, достаточно хорошо видна только в периоды крупных подвижек, когда лед разбит многочисленными трещинами и вскрывается из-под чехла поверхностной морены. Таким образом, можно предположить, что Богданович видел ледник в стадию подвижки или вскоре после ее завершения. Об этом же свидетельствует тот факт, что в 1900 г. В.Н.Тюшов поднимался вверх по долинной части ледника [17], а это становится возможным только через 3-4 года после подвижки, когда ледяное тело становится более монолитным.

Б.И.Пийп в очерке об оледенении Ключевской группы вулканов отмечал [14], что в середине 1940-х гг. перед фронтом ледника Бильченок лежал 300-метровый шлейф молодой морены. А на материалах аэрофотосъемки в сентябре 1949 г. виден активный разбитый трещинами язык, спускающийся по долине до высоты около 800 м., что говорит о подвижке, происходящей или завершившейся на момент съемки. По-видимому, до начала этой подвижки ледник в целом отступил на расстояние до 0.5 км от нижнего конца моренного комплекса.

В последующие годы информация о поведении ледника отсутствует, и лишь в феврале 1959 г. поступило сообщение, что Бильченок начал быстро продвигаться [2]. Смятие снежного покрова в складки и выпахивание бортов долины, отмечавшиеся наблюдателями, свидетельствовали о высокой скорости движения в первые месяцы подвижки. За два года ледник, пройдя около 2 км, полностью перекрыл свою конечную морену, напелз на небольшую сопку, поросшую кустарником, и достиг деревьев, возраст которых был не менее 40 лет (Рис. 2а). В результате подвижки фронт языка спустился до высоты 615-630 м, что является максимальным зафиксированным продвижением конца ледника. Исследования подвижки ледника 1959/60 г. позволили отнести его к "паводчным" или пульсирующим ледникам [2;3;4 и др.]

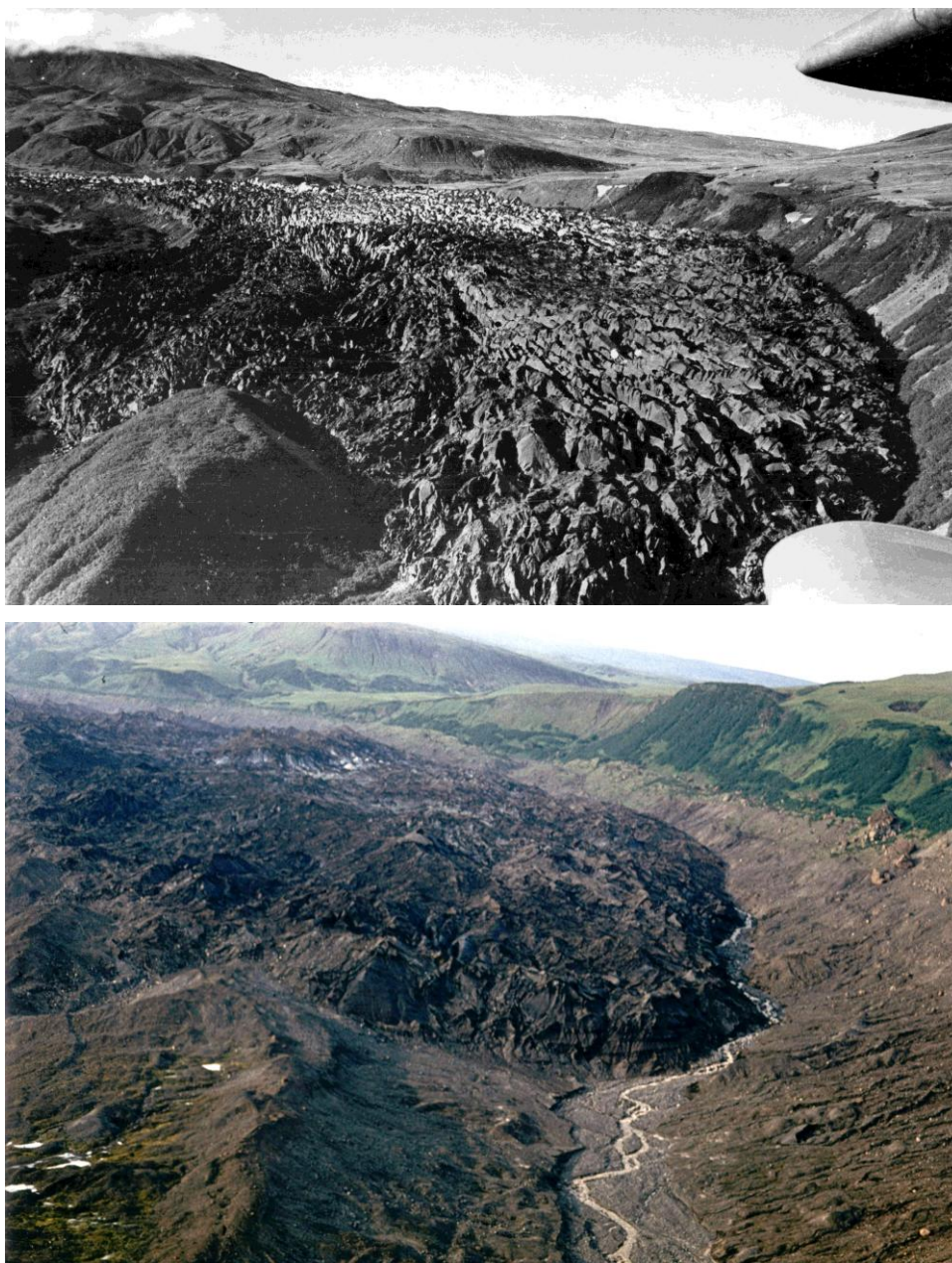


Рис.2. Язык ледника Бильченок на завершающих этапах подвижек: в 1959 г. Фото А.Г.Остроумова (а) и сентябрь 1983 г. Фото Я.Д.Муравьева (б).

Fig.2. Bilchenok glacier tongue during the completion of surges: in 1959. Photo of A.G.Ostroumov and in September 1983. Photo of Ya.D.Muravjov (б)

После прекращения подвижки ледник стал быстро отступать. К лету 1964 г. он отступил на 15-20 м, а к июлю 1975 г. почти на 2 км; поверхность его долинной части понизилась на 60-80 м, а площадь сократилась на 2,6 км². Эпизодические посещения ледника до конца 1970-х гг. свидетельствовали о глубокой деградации конечной части ледника до высот 930-950 м, при стабилизации и слабом повышении поверхности языка ближе к подножию ледопада. На ряде залетов аэрофотосъемок 1974-1980 гг. был виден фронт активизации ледника, смещающийся в пределах высот 1000-950 м со скоростью около 200 м/год.

Во время рекогносцировочного обследования летом 1980 г. было замечено начавшееся продвижение фронта ледника, в виде 15-20-метрового обрыва грязного льда напозавшего на "мертвые льды", оставшиеся от подвижки 1959 г. Наконец, в феврале 1982 г. Бильченок активизировался настолько, что обрел ряд ярких черт, характерных для типичного пульсирующего ледника в активную стадию пульсации (рис.2б). Это послужило основанием для организации совместной экспедиции Института вулканологии ДВО РАН СССР и Института географии РАН для ее изучения.

Подвижка ледника в 1982-1984 гг.

Комплексное изучение новой подвижки ледника Бильченок было начато в конце марта 1982 г., когда в течение двух недель проводились общее обследование и фототеодолитная съемка языка, измерения скорости движения льда набором геодезических методов, а также регистрация сейсмических шумов, продуцируемых ледником. Предварительные результаты этих исследований опубликованы в [6; 11]. В сентябре 1982 г. и августе 1983 г. были проведены повторные циклы фотогеодезических и метеорологических наблюдений для прослеживания развития подвижки и изменений морфологии долинной части ледника.

В результате фототеодолитных съемок был составлен топографический план ледникового языка в масштабе 1:10 000, который использовался для измерений и вычислений. Ледник Бильченок - достаточно сложный объект для фототеодолитной съемки: длинный язык, относительно невысокие борта, на бровках которых расположены все съемочные базисы, в сочетании с расчлененным рельефом поверхности ледника способствовали появлению "мертвых" зон и вынуждали закладывать большое число базисов. Всего для составления топоплана было использовано 8 базисов. Для совмещения разновременных съемок использовались три общих репера (крупные камни), расстояния

между которыми измерены светодальномером ЕОК-2000. Все съемочные точки закреплены на местности 0,2-0,4-метровыми отрезками труб, вбитыми в грунт и обложенными камнями.

Точность картографического изображения ситуации и рельефа поверхности исследуемой части ледника и его долины оценивались по расхождениям, полученным в зонах перекрытия съемок с разных базисов. Плановая ошибка для четких и нечетких контуров составляет, соответственно, $\pm 0,5$ и ± 1 мм в масштабе картографирования (что дает на местности 2,5 и 5,0 м). Ошибка определения высот по горизонталям для неконтурных точек может достигать $\pm 5,0$ м на крутых участках, а в среднем составляет $\pm 1-2$ м для большей площади ледника.

Наряду с фототеодолитной съемкой велись наблюдения за движением льда. Скорость движения в 1982 г. получена для отдельных точек конечной 4-километровой части ледника за разные периоды времени: первую половину апреля, с апреля по сентябрь и за вторую неделю сентября. С целью выявления колебаний скорости движения льда во времени наблюдения проводились с интервалами: 1 час, 1 сутки, 5-7 суток и 5 месяцев. Методика измерений включала различные способы наблюдения: геодезические засечки контурных точек (вершин и углов приметных камней и других форм ледниковой поверхности); наблюдения с твердых пунктов горизонтально закрепленных на леднике нивелирных реек; светодальномерные измерения смещений закрепленных во льду отражателей; фотограмметрическое определение способом псевдопараллаксом.

Для определения скорости движения льда за 5-месячный период производились угловые засечки на вершины идентичных положительных форм ледниковой поверхности. По нашим оценкам плановая точность засечек составляет около 10% от величины смещения. Результаты измерения скорости движения льда за разные интервалы времени приведены в следующем разделе.

В период полевых работ 1982 г. проводились также метеорологические наблюдения по упрощенной программе. В базовом лагере, расположенном на высоте 850 м по правому борту ледника, через 6 часов измерялась температура воздуха, регистрировалось атмосферное давление и отмечалось состояние погоды между сроками. В первой декаде апреля температура воздуха днем была не выше -5°C , а в ночные часы нередко опускалась до 28-30⁰ мороза. Часто бушевали метели, пурга. На языке шло интенсивное переотложение снега.

С 5 по 17 сентября средние суточные температуры воздуха в лагере изменялись от 4,5 до 9,0⁰С, поднимаясь до 12-15⁰ в дневное время и опускаясь ночью до -1- -3⁰. За период с

8 по 13 сентября по шести рейкам, забуренным на конечной двухкилометровой части ледника, стояло от 24 до 30 см льда. Осадки в это время отмечались редко и были незначительными, но почти все время было пасмурно. 18 сентября, после прохождения циклона, до высоты 600 м выпал снег, местами до 30 см в толщину, который уже лег постоянно.

Результаты исследований.

В середине марта 1982 г. язык ледника, за исключением нижних 2 км, представлял собой область сплошного дробления льда (рис.3). Наибольшая раздробленность тела ледника была характерна для участка, расположенного в 5-6 км от подножия ледопада.



Рис.3. Аэрофотоснимок языка ледника Бильченок на завершающем этапе подвижки, сентябрь 1983 г. 1 – граница ледника после подвижки 1959 г. (или: пунктиром показана граница ледника в 1959 г.)

Fig.3. Airphoto of tongue of Bilchenok glacier at the completion of surge, September, 1983. 1 – the boundary of glacier after the surge of 1959 or: dotted line – the boundary of glacier in 1959

Эта зона отчетливо идентифицировалась своей чистой от морены поверхностью на фоне выше- и нижележащих частей ледника. Отсутствие плаща морены, сераки, небольшое количество снега в понижениях - признаки молодости и недавней активности данного участка. Наклонное и даже "запрокинутое" залегание слоистости в блоках скорее всего

говорило о том, что еще недавно здесь была зона сжатия перед довольно крутым поворотом долины - очевидно передовой фронт активизации. Продвижение фронта сдерживалось нижележащими участками омертвевшего после 1960 г. языка до тех пор, пока напор массы из верхней половины долины не сдвинул вниз "пробку" льда, и дальнейшее растрескивание ледника уже происходило как обычное растяжение с затуханием этого процесса по направлению к подошве ледопада. Об этом свидетельствует характер трещиноватости верхних 5 км долинной части Бильченка, разбитых на блоки льда в основном с плоскими вершинами, покрытыми слоем ненарушенной морены толщиной до 20 см (Рис.4).



Рис.4. Поверхность ледника Бильченок в подледопадной зоне, 1982 г. Фото Д.Г.Цветкова
Fig.4. Surface of Bilchenok glacier in under icefall zone, 1982. Photo of D.G. Tsvetkov

Нижний участок языка ледника был относительно монолитным, с редкими участками свежей трещиноватости, обусловленной особенностями рельефа ложа. Очевидно, что конечная часть ледника более или менее консолидированным блоком проталкивалась вниз по долине (см.рис.3).

В весенний период скорость движения в нижней части языка в зоне монолитного льда составляла 0,40 (конец ледника), 0,46 (в 1 км выше) и 0,52 (в 2 км выше) м/сут. В поперечном направлении было характерно незначительное увеличение скорости от борта к центральной части ледника. По данным измерений по горизонтальным рейкам, установленным в виде поперечного профиля, расположенного примерно в 2 км от конца ледника, скорость движения льда была равна 0,34 м/сут. в 10 м от края ледника, 0,37 – в

135 м, 0,39 в 170 м и 0,52 в осевой зоне (350 м). Такое распределение скорости свидетельствует о преобладании глыбового скольжения конечной части ледника Бильченок по ложу, что обычно отмечается при активизации пульсирующих ледников.

Короткопериодические светодальномерные измерения (с периодом 1 час) внутрисуточного распределения скорости движения льда на том же участке ледника показали равномерный её характер и небольшие флуктуации (не более 20% от величины скорости) между отдельными значениями (рис.5а), незначительными были и колебания среднесуточной скорости в течение недели как в апреле (рис.5б), так и в сентябре, однако осенью абсолютные значения скорости движения льда были примерно в 1,5 раза выше, чем весной (рис.5в),

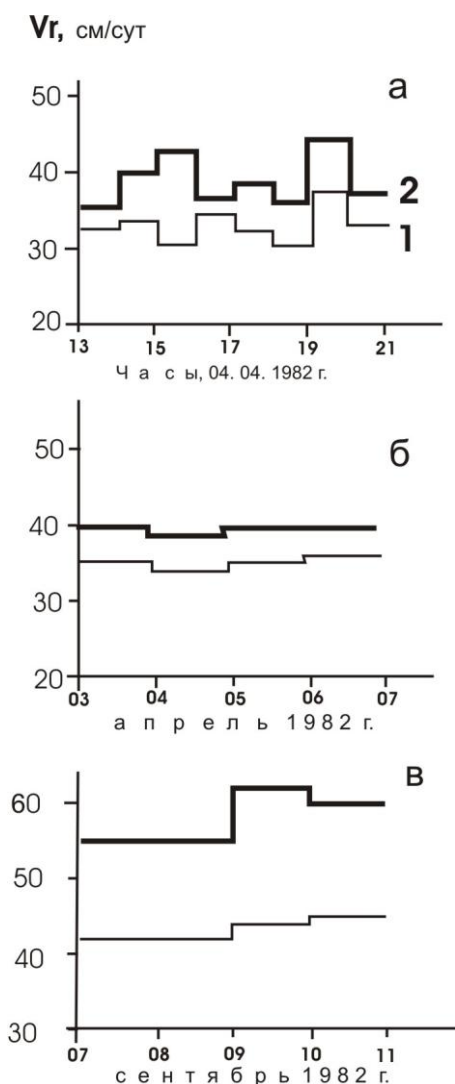


Рис.5. Скорость движения льда по поперечному профилю ледника, расположенному в 2 км от конца языка:

а - с интервалом в 1 час 4 апреля 1982 г. на расстоянии 100 (1) и 200 (2) м от края ледника

б – с интервалом в 1 сутки с 03 по 07 апреля 1982 г. в тех же точках

в – то же с 07 по 11 сентября 1982 г.

Fig.5. Ice movement velocity at the site of glacier in 2 km from the end

а – with 1-hour time interval during April 04 at 100 (1) and 200 (2) m from the glacier edge (side)

б – with 1-day interval from 03 to 07 April 1982 at the same points
 в - the same from 07 to 11 September 1982

На рис.6а показано изменение высоты поверхности нижней части языка с апреля по сентябрь 1982 г. Хорошо видно перемещение вниз по долине идентичных элементов поверхности, величина которого увеличивалась от 60 м вблизи конца языка до 105 м в 2 км выше. Уровень поверхности 1959 г. показывает, насколько текущая подвижка была менее мощной, чем предыдущая.

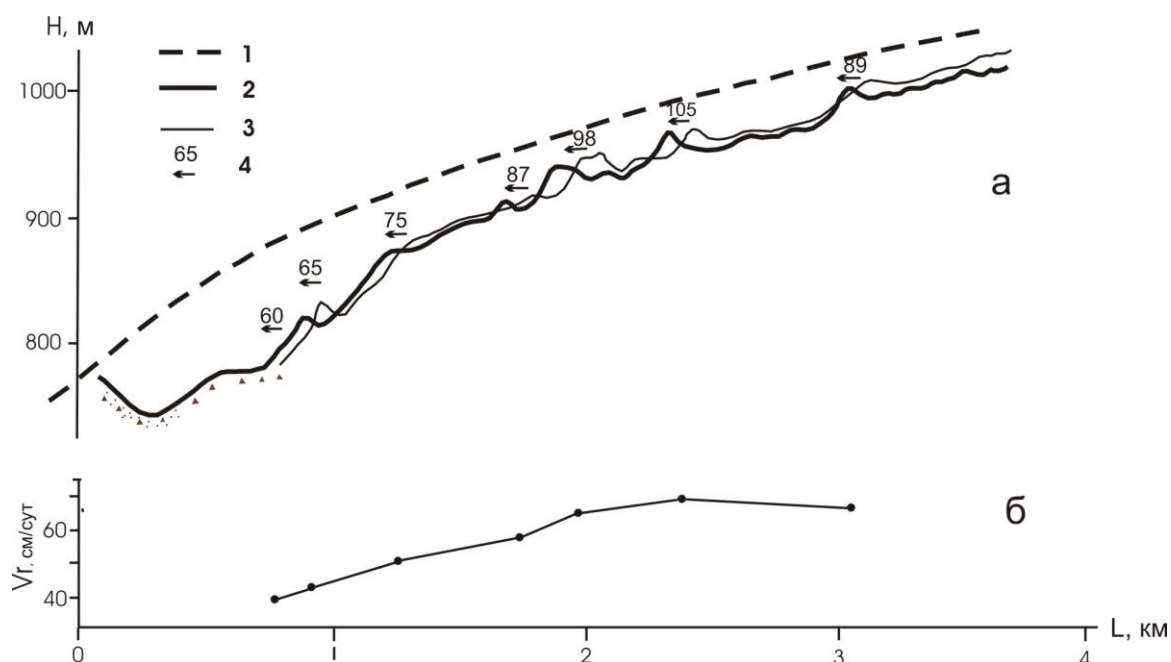


Рис.6. Изменение высоты поверхности (а) и скорость движения льда (б) по продольному профилю языка ледника за период с начала апреля по начало сентября 1982 г. 1 – поверхность ледника в апреле 1982 г. 2 – то же в сентябре 1982 г. 3 – то же в 1959 г. 4 - перемещение элементов поверхности за период наблюдений (м),
 Fig 6. Change of glacier surface height (а) and ice movement velocity (б) along the longitudinal profile of glacier tongue from the beginning of April to the beginning of September, 1 – glacier surface in April, 1982, 2 – the same in September, 1982, 3 – the same in 1959, 4 – displacement of elements of surface for the period of observations (m)

За летний период (5 месяцев) скорость движения льда увеличивалась от 0,40 (конец языка) до 0,67 м/сут.), обнаружив тенденцию к продольному сжатию конца ледника. Вверх по леднику, в точке, расположенной вблизи нижней границы зоны свежераздробленного льда (2,3 км от конца ледника), скорость движения льда несколько замедлилась и составляла 0,59 м/сут. (рис.6б). В зоне "свежераздробленного" льда (около 4 км от конца) скорость опять возросла до 0,80 м/сут., а выше, в зоне растяжения (около 5 км), достигла 1,12-1,16 м/сут.

На следующий год распределение скорости движения в концевой части почти не изменилось, в то время как абсолютные её значения уменьшились в 2-3 раза, особенно в зоне монолитного льда.

Исходя из собранного материала, складывается следующая картина развития последней подвижки ледника Бильченок. После замеченного летом 1980 г. начала наступания ледника, он с небольшой скоростью (несколько десятков метров в год) продвигался в течение полутора лет. В феврале 1982 г. произошло проскальзывание конечной части ледника на 400-500 м [11]. Исследования 1982-1983 гг. проводились на завершающем этапе подвижки ледника. Тем не менее, скорость движения льда еще была на порядок выше, чем в середине 1960-х годов после завершения подвижки 1959-60 гг. (6 см в сутки в осевой части ледника и 3 см в сутки у края в 1964-1965 гг. на $L=3$ км [2]), а язык продвигался со скоростью около 40 см в сутки. Наступание продолжалось еще в течение примерно двух лет, и фронт ледника практически остановился к осени 1984 г. Общее продвижение языка в 1982-1984 гг. составило 700-800 м, и это, по-видимому, привело к очередному закупориванию ледниковой долины перед последним поворотом, что, в свою очередь, вызвало интенсификацию процесса сжатия льда на этом участке.

При сравнении карт ледника Бильченок, фиксирующих его состояние на 1978 и 1983 гг., отмечены следующие изменения продольного профиля долинной части языка: в зоне оттока льда, длина которой от подножия ледопада составила 4,7 км, поверхность ледника в среднем понизилась на 18 м с максимальным снижением до 30 м; на расстоянии 5,8-8,5 км от подошвы ледопада наблюдалось приращение массы ледника - в среднем поверхность повысилась примерно на 50 м с максимумом до 80 м на повороте долины, а объем привнесенного льда составил 35-40 млн т., что в 3,5 раза меньше, чем в 1959 г.; на участке "мертвых" льдов длиной 1,25 км, не перекрытых новой подвижкой, продолжалась интенсивная абляция, в среднем стаяло около 30 м льда. Следует добавить, что оценка объема привнесенного льда занижена на величину неучтенной абляции в период с 1978 по 1981 гг., что может составлять около 20-30% от имеющегося значения [11].

Поведение ледника после подвижки 1982-1984 гг. и его современное состояние.

После завершения подвижки 1982-1983 гг. проводились практически ежегодные посещения и облеты ледника, в ходе которых были зафиксированы деградация нижней части языка и перемещение фронта активизации вниз по леднику со скоростью 150-200 м в год. Так за 1984-1988 гг. активный конец переместился на 250-350 м по высоте. С 18 июля по 17 августа 1998 г. скорость движения льда на нижних 2 км языка колебалась от 0,05 до 0,17 м в сутки, а таяние мертвого льда за этот период составляло 56 мм в сут. в.э.

Причем его величина значительно уменьшилась во вторую половину периода не столько за счет метеоусловий, сколько за счет увеличения толщины моренного покрова.

К концу лета 2009 г. поверхность нижней части языка вздулась (рис.7), а фронт активизации достиг морфологического конца ледника – остатка подвижки 1980-1983 гг. Осенью 2010 г. язык ледника Бильченок стал виден из долины реки Камчатка, что свидетельствует о его новом значительном продвижении.



Рис.7. Язык ледника Бильченок в августе 2009 г. Поверхность средней части языка повысилась и приобрела выпуклую форму. Фото Е.С.Клименко

Fig.7. The tongue of Bilchenok glacier, August 2009. The surface of middle part of glacier tongue rised and became bulging. Photo of E.S.Klimenko

Обсуждение результатов

Анализ изложенного материала показал, что ситуация, сложившаяся на леднике Бильченок в 1980-1983 гг., во многом аналогична процессам, происходящим на ряде других пульсирующих ледников и объединяемых термином подвижка или сердж.

При рассмотрении особенностей этой подвижки ледника, сейсмической активности в окрестностях вулкана Ушковский и проявления вулканической деятельности на его вершине отмечается их совпадение по времени. Не исключено, что начало этой подвижки и характер ее развития определились усилением сейсмической активности, а также

повышенным тепловым потоком в кальдере вулкана, влияющим на температуру и реологические свойства льда. Указанные внешние причины могли послужить импульсом к вынужденной разгрузке напряжений в долинной части ледника, в связи с чем эта подвижка ледника имела меньшие масштабы, чем подвижка 1959-1960 гг., что можно объяснить недостаточными напряжениями, накопившимися в его теле.

В то же время, как показывают исследования эволюции этого ледника, его крупной подвижке 1959-60 гг. предшествовала подвижка значительно меньшего масштаба в 1949 г., приведшая к увеличению сдерживающей "пробки" в районе последнего поворота долины и накапливанию дополнительных напряжений на вышележащем участке вплоть до подошвы ледопада. Положение языка и его внешний облик на снимках 1949 г. удивительно близки характеру и масштабам подвижки 1982-1983 гг. Так что есть некоторые основания предполагать, что следующая подвижка, подготовленная подвижкой 1980-83 г., будет более значительной. Во всяком случае, выполненные исследования позволяют предположить двухтактный характер большого пульсационного цикла ледника Бильченок независимо от причин, его вызывающих. Аналогичные ситуации, когда мощной подвижке ледника предшествовала более слабая, наблюдались нами на ледниках Октябрьский [13] и Сугран [9] на Памире.

Не исключено, что ключ к разгадке такого поведения ледника Бильченок, лежит в разрешении вопроса, что является ведущим процессом в переключении механизма движения льда в долинной части ледника: связано это только с внутрiledниковой динамикой, или вмешиваются внешние факторы (эндогенные или климатические). Поскольку заметные колебания климата за последние 50 лет отсутствовали [7], причины нарушения режима пульсации следует искать в усилении вулканической активности. Активизация ледника в 1982 г. предварялась возрастанием сейсмической деятельности в окрестностях Ушковского вулкана и современной тепловой активности на его вершине. Анализ числа и мощности землетрясений показал, что в 1980-1982 гг. их количество увеличилось и наметилась тенденция к смещению эпицентров в кальдере Ушковского вулкана [11].

Остановимся еще на одной особенности активизаций ледника - это то, что они начинаются в разгар зимы, когда температура воздуха, как правило, ниже -20°C и какое-либо поверхностное таяние, естественно, отсутствует. Кроме того, высокие фильтрационные свойства вулканогенных пород, слагающих днище долины, делают сомнительным в этих условиях развитие основного общепринятого механизма инициирования подвижек под воздействием воды на ложе ледника. Как видно из [20], такое положение характерно не только для ледника Бильченок, располагающегося в

районе с повышенным геотермальным потоком. Причины срабатывания напряжений в теле ледника в зимний период не выяснены. Это может быть двухслойность внутреннего строения тела ледника по температурному режиму: верхняя пачка - холодная, а нижняя - теплая. Или уменьшение сил трения на ложе ледника к зиме из-за деятельности подледниковых водотоков к концу сезона абляции, приводящих к минимальному по площади контакту льда с подстилающими породами.

Литература:

1. *Богданович К.И.* Очерк деятельности Охотско-Камчатской горной экспедиции 1895-1898 гг. // Изв. ИРГО. 1899. Т. 35. Вып.6. С. 549-600.
2. *Виноградов В.Н.* Ледник Бильченок // Вопросы географии Камчатки. 1965. Вып.3. Петропавловск-Камчатский. С.111-115.
3. *Виноградов В.Н.* Подвижки ледников на Ключевской группе вулканов (Камчатка) // МГИ. 1974. Вып. 24. С. 137-139.
4. *Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д.* Изменчивость современных ледников вулканических районов Камчатки // МГИ. 1982. вып. 42. С. 166-172.
5. *Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д.* Особенности развития ледников в условиях активного вулканизма // МГИ. 1989. Вып. 66. С. 93-99.
6. *Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д., Тюфлин А.С., Цветков Д.Г.* Очередная подвижка ледника Бильченок в Ключевской группе вулканов на Камчатке // МГИ. 1982. Вып.45. С. 27-29.
7. Глазырин Г.Е., Муравьев Я.Д., Виноградов В.Н. О климатическом фоне оледенения Камчатки. // Гляциол. исслед. 1985. Т.27. С.51-66.
8. *Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б.* Пульсирующие ледники // Л.: Гидрометеиздат. 1982. 197 с.
9. *Котляков В.М., Осипова Г.Б., Цветков Д.Г.* Космический мониторинг пульсирующих ледников Памира // Известия РАН, сер. Геогр. 2008. №4. С. 74-83.
10. *Муравьев Я.Д., Саламатин А.Н.* Баланс массы и термодинамический режим ледника в кратере Ушковского вулкана // Вулканология и сейсмология. 1989. № 3, С. 85-92.
11. *Муравьев Я.Д., Фарберов А.И., Чубарова О.С., Прибылов Е.С.* Сейсмовулканическая обстановка на Ушковском вулкане и подвижка ледника Бильченок в 1980-1983 гг. // МГИ. 1987. Вып.60. С. 141-147.
12. *Овсянников А.А., Муравьев Я.Д.* О современной активности вулкана Ушковский (Дальний Плоский) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Тезисы докл. VI Всесоюзного вулканол. совещ. 1985. Вып.1. Петропавловск-Камчатский. С.48-50.
13. *Осипова Г.Б., Цветков Д.Г.* Ледник Октябрьский, Восточный Памир, в 1945-1990 гг. Особенности эволюции в стадии восстановления и подвижки. // МГИ, 2002. Вып.93. С. 25-34.
14. *Пийп Б.И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом. // М.: Изд-во АН СССР. 1956. 308 с.
15. *Роттаева О.В., Котляков В.М., Носенко Г.А., Хмелевской И.Ф., Чернов Р.А.* Исторические данные о подвижках пульсирующих ледников на Северном Кавказе и Кармадонская катастрофа 2002 г. // МГИ. 2005. Вып.98. С. 136-145.
16. *Bindschadler R., W.D. Harrison, C.F. Raymond and R. Crosson.* 1977. Geometry and dynamics of a surge-type glacier // Journal of Glaciology. Vol.18. No 79, P. 181-194.
17. *Bogdanowinsch K.I.* Geolofische Skizze von Kamschatka. Petermanns. Geogr. Mittheilungen // Gotha, 1904, H. 1-34.

18. *Echelmeyer K., Butterfield R., and Cuillard D.* 1987. Some observations on a recent surge of Peters glacier, Alaska, USA. // *Journal of Glaciology*, Vol. 33, No 115, p.1-15.
19. *Kamb B., Raymond C.F., Harrison W.D. et al.* 1985. Glacier surge mechanism: 1982-83 surge of Variegated Glacier, Alaska, // *Science*, Vol.227, No 4686, p.469-479.
20. *Raymond C.F. and Harrison W.D.* 1986. Winter initiation of surges. (In *Hydraulic Effects at Glacier Bed - an International Workshop*. *Procttdings*. Zurich, Eidgenossische Technische Yjchshule. Versuchsanstalt fur Wasserban, Hydrologie und Glaciologie. [Abstract].
21. *Raymond, C.F. Harrison W.D.* 1988 Evolution of Variegated Glacier, Alasks, U.S.A., prior to its surge. *J.Glaciol.* V.34. 154-169.

Dynamics of a surging Bilchenok glacier, Kljuchevsky group of volcanoes.

The summary

Results of research of evolution of a surging Bilchenok glacier in Kljuchevsky group of volcanoes, Kamchatka, from the end of XIX-th century to the present are presented. After retreat in the beginning of a XX-th century the glacier became more active and advanced in the late forties. The powerful surge of a glacier has occurred in 1959/60 when its terminus has promoted on 2 km and has gone down to height of 615-630 m in birch wood. During the following advance of a glacier in 1980-1983 on its tongue were spent glaciological and volkanological researches. Scales of this advance were less considerable, than surge of 1959, and the volume of the transferred ice has made about 35-40 million t., that in 3.5 times less, than at the previous one. By consideration of features of an advance of Bilchenok glacier in 1980-1983, seismic activity of Ushkovsky volcano vicinities and of volcanic activity at its summit, their coincidence in time is marked. It is not excluded that the beginning of this advance and character of its development are appreciably connected with strengthening of seismic activity, and also with the raised thermal stream in a volcano Ushkovsky caldera, influencing temperature and reological properties of ice. Researches have shown that the large surge of Bilchenok glacier in 1959-1960 was preceded by a smaller advance which has led to increase in constraining "stopper" in a trailer part of a glacier and to accumulation of additional pressure on an overlying site up to a sole of icefall. Thus, duple character of big "surging" cycle of Bilchenok glacier irrespective of the reasons, its causing, is possible. Now there is the next advance of glacier.

