

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ПЛОСКИЙ ТОЛБАЧИК
1975—76 гг. НА СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛЕДНИКИ

Большое трещинное Толбачинское извержение 1975—76 гг. оставило значительный след в вулканологии. По его результатам написано более ста статей, несколько монографий, осветивших различные стороны вулканического процесса. По ряду причин остался незатронутым весьма распространенный в районе извержения природный объект — лед со всеми его разновидностями, хотя со снежным покровом в зимнее время и ледниками происходили интересные и неожиданные изменения.

В полевых работах на извержении принимали участие гляциологи А. Е. Будников и А. Л. Иванов. В память о них и написана эта статья.

6 июля 1975 г. началось крупное извержение вулкана Плоский Толбачик. Первая фаза его, т. е. «Северный прорыв», характеризовалась повышенной эксплозивной деятельностью, которая продолжалась до середины сентября (Федотов и др., 1976). В этот период пепел разносился ветрами на большие расстояния, откладываясь на поверхности ледников в различных частях полуострова. Так, на леднике Кoryто (Кроноцкий полуостров), в 160 км от действующих конусов БТИ, толщина выпавшего пепла в среднем составила 2 мм (82,4 г/м²), что привело к усилению интенсивности таяния на 80%. Пепловая присыпка в области питания ледника Козельский (Авачинская группа вулканов) увеличила скорость таяния фирна на 10—15%. То есть, извержение оказало негативное влияние на ледники, находящиеся от вулкана на большом расстоянии.

В дальнейшем преобладала эффузивная деятельность, в основном происходило излияние лавы. Пирокластический материал откладывался лишь в районе работающих конусов.

Распределение снежного покрова в районе извержения было крайне неравномерным. Вблизи действующих конусов толщина снежной толщи не превышала 1 м, поверхность была сильно загрязнена пеплом и шлаком. Стратиграфия снежного покрова специфична, но не отличалась разнообразием. Сложен мелкозернистым снегом с многочисленными прослойками пирокластике (рис. 1 а, б). Ближе к поверхности прослойки течьше и немногочисленны, с глубиной их толщина и количество возрастают. В отдельных местах они почти сливаются в один мощный прослой. Подстилающая снег пирокластика, по-видимому, еще не остыла, и снежная толща постепенно подтаивала снизу. Этим, а также и тем, что вблизи от конуса шлаки и пепел выпадали в снег еще не совсем остывшими, очевидно, и объясняется небольшая его толщина. С удалением от прорыва толщина снежного покрова увеличивалась до 2—3,5 м, усложнялась стратиграфия, утоньчались пепловые прослойки (рис. 1 в). Такие снега на поверхности, загрязненной пеплом, пропалоходило интенсивно даже при температурах воздуха ниже 0°C. При этом отмечалось образование «кающихся» высотой до 20 см.

Формирование снежного покрова в районе извержения нашло отражение в химическом составе толщ (таблица 1). Общая минерализация образцов изменяется в значительных пределах, от 24,2 мг/л до 138 мг/л, хотя средняя составляет 57,2—63,2 мг/л. Кислотность меняется в широких пределах, от слабо кислых до кислых. Наблюдается рост значений рН с удалением от действующего конуса. Во всех образцах в анионной части преобладает Cl⁻, но на расстоянии от кратера появляется и HCO₃⁻. В катионной части картина выглядит посложнее: вблизи источника эксгаляций преобладают катионы H⁺,

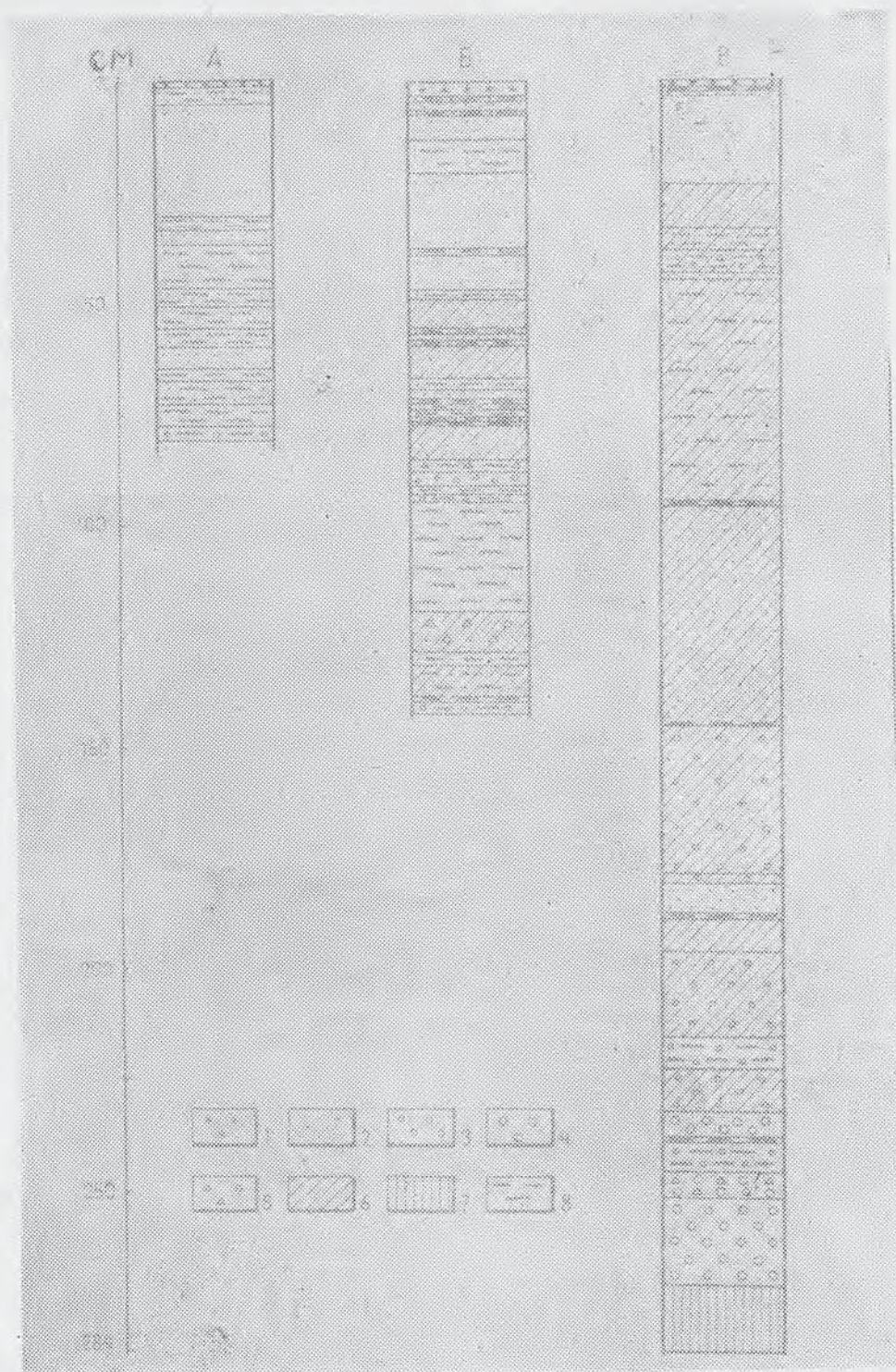


Рис. 1. Строение снежной толщи в районе «Южного прорыва» БТИ. А — шурф в 300 м от конуса «Южного прорыва»; Б — шурф в 800 м, на опушке леса; В — шурф в 2 км от действующего конуса, на льду озера. 1 — свежесвалившийся снег, 2 — мелкозернистый снег, 3 — среднезернистый снег, 4 — крупнозернистый снег, 5 — глубинная изморозь, 6 — плотный снег, 7 — озерный лед, 8 — пшловые и широкластические прослойки.

Химический состав снега района Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ)
(аналитики Н. А. Перетолчина, В. И. Гусева)

Компоненты	Проба и дата ее отбора													
	1. 10.03.76	2. 10.03.76	3. 11.03.76	4. 24.03.76	5. 24.03.76	6. 30.03.76	7. 30.03.76							
	мг/л	мг экв/л	мг/л	мг экв/л	мг/л	мг экв/л	мг/л							
H ⁺	0,4	0,43	0,4	0,36	0,0	0,02	0,0	0,00	0,0	0,00				
NH ₄ ⁺	1,5	0,08	0,1	0,01	6,0	0,33	1,5	0,08	3,8	0,21	2,0	0,11	1,2	0,07
Na ⁺	4,4	0,19	4,7	0,20	4,6	0,20	6,1	0,27	6,2	0,27	13,7	0,60	2,8	0,12
K ⁺	2,3	0,06	2,3	0,06	2,1	0,05	3,4	0,09	4,0	0,10	5,5	0,14	0,9	0,02
Ca ²⁺	5,9	0,29	5,3	0,26	2,8	0,14	3,1	0,16	2,7	0,13	10,3	0,51	2,3	0,11
Mg ²⁺	2,4	0,20	2,2	0,18	1,9	0,16	1,6	0,13	1,8	0,15	7,3	0,60	0,17	0,06
Сумма катионов	16,9	1,25	15,0	1,07	17,4	0,90	15,7	0,73	18,7	1,06	38,8	1,96	7,9	0,38
Cl ⁻	42,5	1,20	39,7	1,12	36,9	1,04	28,4	0,80	38,3	1,08	65,2	1,84	9,2	0,02
SO ₄ ²⁻	3,8	0,08	3,4	0,07	2,9	0,06	2,9	0,06	3,8	0,08	9,6	0,20	1,0	0,02
HCO ₃ ⁻	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	12,2	0,20	0,0	0,00	24,4	0,40	6,1	0,10
Сумма анионов	46,3	1,28	43,1	1,19	39,8	1,10	43,5	1,06	42,1	1,16	99,2	2,44	16,3	0,38
Общая минерал.	63,2	58,1	57,2	59,2	60,8	138,0	3,72	6,25	24,2					
pH	3,37	3,45	4,75	5,22	6,08	6,25	6,08							

Ca^{2+} и Mg^{2+} , на удалении Na^+ и K^+ . В распределении NH_4^+ каких-либо закономерностей обнаружено не было. По химическому составу снежную толщу, сформировавшуюся в районе конуса «Южного прорыва», можно отнести к хлоридно-кальциево-магниево-сульфатным растворам.

Воздействие лавовых потоков на снежный покров проявлялось по-разному. В одних случаях на контакте лава—снег происходили мощные выбросы пара, при быстром перекрытии потоками больших снежных массивов. В других лава втекала под снег пластами, до 1 м в толщину, приподнимала его над собой. В январе 1976 г. почти вдоль всего фронта наступающего потока наблюдались валики из снега, которые образовывались на участках контакта снежного покрова с лавой, покрытой охлажденной коркой. Снег сминался в складки, трескался на черепицеобразные отдельные размером примерно 50×50 см. Иногда наблюдались целые «айсберги» на поверхности движущегося лавового потока, состоящие из переслаивания снега с пирокластическими горизонтами.

Одновременно с извержением на вершине вулкана Плоский Толбачик происходило редчайшее геологическое явление — образование вершинной кальдеры. В обрушение был вовлечен и Толбачинский ледник, залегавший в кратере вулкана.

До 1975 г. кратер вулкана неоднократно обследовался, начиная с 1936 г. (Влодавец, 1940). В отдельные годы на дне кратера отмечалось появление лавового озера, а также изменения его морфологии (Кирсанов, Пономарев, 1974). Толбачинский ледник впервые был обследован в 1966 году. Он занимал внутреннюю кальдеру вулкана и имел площадь 1,55 км². Ледниковый сток, в виде талой воды и обвалов льда, осуществлялся в активный кратер, который залегал в юго-западной части кальдеры. В разрезе ледника, у кратерного обрыва, были видны многочисленные пепловые прослои. Большая часть толщи представляла собой сложно перемятую пачку, в которой выделение слоев пепла было затруднено из-за многочисленных перегибов и выклинивания их. Толщина пепловых горизонтов, за исключением самых верхних, не превышала 1 см. В целом по разрезу заметно утоньчение прослоек сверху—вниз вследствие того, что нижние слои более старые по возрасту и отложены на поверхность ледника дальше от действующего кратера, тем вышележащие прослои.

В конце июня — начале июля 1975 г. отмечены первые признаки начавшихся просадок на вершине вулкана (Фарберов, 1978). В этот период эпизодически происходили выбросы пепла и шлака из кратера, которые откладывались на ледниках Института вулканологии, Будникова и др. В Толбачинском леднике началось расширение и углубление трещин. Блоки льда, расколотые на отдельные сегменты, по крутому склону обрушивались на дно кратера. Одновременно из кратера, по всему сечению, интенсивно выделялась пепло-газовая смесь. В дальнейшем, по мере формирования новых четырех вулканов Большого трещинного Толбачинского извержения и опорожнения магматического очага, просадка и обрушение внутренней кальдеры вулкана приняли масштабный характер. В результате обрушения и таяния ледника на дне провала на короткое время образовалось озеро. Объем обвалившегося льда в 1976 г. составил 0,06 км³, а воды в озере—0,05 км³ (Гусев и др., 1979). Согласно этим данным, средняя плотность льда Толбачинского ледника равна 0,83—0,84 г/см³, что объясняется значительным содержанием вулканического материала в его теле. Начиная с 1977 г. темпы обрушения резко сократились и ледник несколько стабилизировал свои размеры. В настоящее время площадь ледника равна 0,50 км², сократившись с начала 1975 г. в три раза (Виноградов, Муравьев, 1982). Глубина провала до 400 м, а диаметр образовавшейся кальдеры около 1700 м. В многочисленных обрывах ледника вскрылось внутрен-

нее строение, стратиграфия толщи, подчеркнутая четкими пепловыми прослоями. В отдельных местах эти разрезы были доступны для изучения.

В центре большой концентрической трещины, в северной части ледника и на северо-западном обрыве описана стратиграфия льда, отобраны пробы пирокластического материала и водных вытяжек из отдельных горизонтов.

Пирокластический материал в теле Толбачинского ледника распределяется в виде длинных тонких слоев толщиной до 3 см или равномерно рассеянных частиц в мощных прослоях фирна и льда (рис. 2).

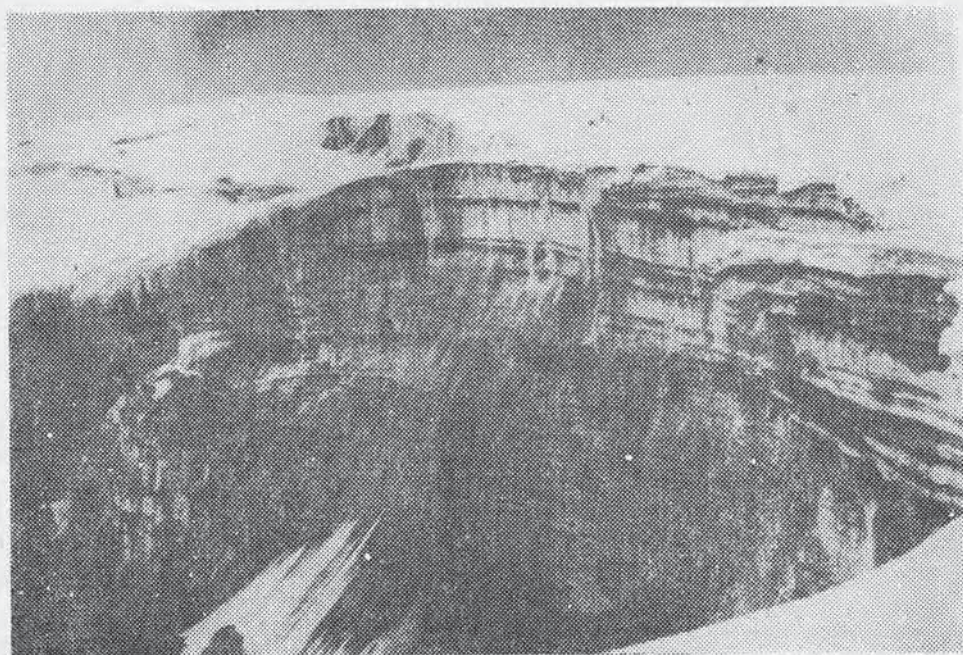


Рис. 2. Северо-западный обрыв Толбачинского ледника. Август 1977 г.
Фото Я. Д. Муравьева.

Вулканогенные включения представлены лапиллями и вулканическим пеплом черного, темно-серого и серого цвета. Лишь один горизонт, на глубине 18 м от поверхности, имеет толщину до 40 см и обнажается в северо-западном обрыве ледника. Сложен он вулканическими бомбами (до 15 см в поперечнике), лапиллями и песком. Этот слой соответствует сильному извержению вулкана в 1904 г.

Вещественный состав пирокластического материала, снизу вверх по разрезу, довольно однообразен и представлен частицами бледно-зеленого пористого стекла, с редкими микролитами плагиноклаза; частицами темно-бурого непросвечивающего вулканического стекла с правильными круглыми порами; отдельными обломками порфировой базальтовой породы с гналопилитовой структурой основной массы; редкими обломками кристаллов плагиноклаза и оливина с «примазками», или в оболочке, вулканического стекла.

Из 31 м разреза химический состав пирокластического материала почти не изменяется. Порода слоев пирокластического материала представлена субщелочными базальтами глиноземистой разновидности (табл. 2). В пробе № 2—14 отмечается несколько пониженное содержание Al_2O_3 и $Na_2O + K_2O$, наряду с повышенным содержанием MgO и CaO . Эти базальты близки по составу пирокластическим продуктам извержений 1941 г., 1965—1966 гг., 1970 и 1975—1976 гг. (Пийп, 1956; Пронин и др., 1970; Кирса-

Таблица 2

Химический состав пепловых прослоев из сводного разреза
ледника Толбачинский
(аналитики Г. П. Новоселецкая, Г. Ф. Князева)

№ пробы	2-14	2-14	2-0	2-95	1-1	1-4	1-7	15
окислы	29,0 м	26,8 м	25,0 м	23,4 м	21,6 м	11,2 м	0,1 м	
SiO ₂	51,52	50,00	51,68	50,80	52,26	52,88	5,20	51,16
TiO ₂	1,40	1,25	1,35	1,35	1,92	1,60	1,70	1,94
Al ₂ O ₃	16,35	15,58	17,34	17,39	16,53	17,72	16,08	15,70
Fe ₂ O ₃	5,30	5,75	3,42	5,52	5,59	3,51	3,61	3,50
FeO	5,05	5,23	5,80	5,11	4,71	5,63	6,78	7,96
MnO	0,21	0,20	0,19	0,20	0,19	0,18	0,19	0,19
MgO	5,02	7,34	5,21	4,77	4,31	3,83	5,69	4,57
CaO	8,59	10,13	8,99	9,30	7,33	7,95	8,25	7,96
Na ₂ O	3,36	2,94	3,42	3,43	3,48	3,66	3,48	3,63
K ₂ O	2,50	1,44	1,66	2,02	2,14	2,06	1,94	2,34
H ₂ O	0,10	0,08	0,06	0,08	0,40	0,30	н/о	0,36
H ₂ O ⁺	0,35	0,52	0,05	0,14	0,26	0,11	0,22	0,35
P ₂ O ⁵	0,25	0,17	0,35	0,25	0,44	0,41	0,43	0,53
Sl	21,23	32,3	26,7	22,9	21,3	20,5	26,5	20,8
Сумма	100,50	100,63	99,52	100,35	99,56	99,84	99,57	100,19

Примечание: проба № 15 — средний из 9 анализов, продуктов прошлых извержений вулкана. (Кирсанов, Пономарев, 1974; Пийп, 1956; Пронин и др., 1970; Фарберов, 1978).

Пробы от № 2—10 до № 1—7 показаны с глубиной отбора в м снизу-вверх по сводному разрезу.

нов, Пономарев, 1974). Приведенные результаты свидетельствуют о постоянстве состава продуктов, извергаемых центральным кратером в течение последних 130 лет.

Минерализация льда в леднике отличается от проб снега в районе «Южного прорыва» БТИ. По химическому составу лед ледника относится к слабокислым кальциево-сульфатно-карбонатным растворам. В катионной части преобладают Ca²⁺ и Mg²⁺, а в анионной части HCO₃⁻ и SO₄²⁻. Количество растворенных веществ во льду в 2—3 раза меньше, чем в снеге около эруптивных центров, но немного выше, чем в обычных атмосферных осадках (табл. 3). Несомненно, причиной повышенной минерализации проб льда кратерного ледника является воздействие летучих продуктов вулканической деятельности на состав атмосферных осадков. Механизм обогащения их может быть различным: растворение летучих солей некоторых металлов, происходящее в эруптивном облаке, или захват этих же солей с поверхности пепловых или аэрозольных частиц в воздухе. Судя по близости величин отношений Na/K, Ca/Mg, Na+K/Ca+Mg и отношения S/Cl на минерализацию льда оказывали влияние летучие продукты извержений в районе вулкана Плоский Толбачик.

В стенке северо-западного обрыва Толбачинского ледника четко выражена его внутренняя тектоническая структура. Кроме ленточной слоистости, подчеркнутой пепловыми прослоями, развиты структурные формы, созданные пластическими деформациями. Причем последние образовывались двояким путем: на одних участках за счет движения льда, на других — вследствие локальных просадок днища вершинной кальдеры во время крупных извержений вулкана. В северной половине обрыва прослеживаются две главные линии угловых несогласий в напластовании льда, выражающиеся в «срезании» пачек слоев на глубине

Химический состав льда ледника Толбачинского (вулкан Плоский Толбачик)
(аналитик О. В. Шульга)

Компоненты	№ разрезов, глубина (м) и дата отбора												
	1-1 22.08.77	1-6 22.08.77	1-21 22.08.77	1-22 22.08.77	2-1 25.08.77	2-19 25.08.77	2-31 27.08.77	мг/л	мг экв/л	мг/л	мг экв/л		
H ⁺	0	0,2	0	0	0,05	0	0	0,05	0,05	0	0	0	0
NH ₄ ⁺	0	0	0,3	0,02	0	0	0	0,1	0,01	0,1	0,01	0	0
Na ⁺	1,1	1,0	1,4	0,06	0	0	0	0,2	0,01	0,2	0,01	0,04	0,02
K ⁺	0,9	0,5	1,3	0,03	0,1	0,00	0,1	0,5	0,01	0	0	0	0
Ca ²⁺	10,0	1,6	1,6	0,08	0,8	0,04	0,8	1,6	0,7	0,4	0,02	1,2	0,06
Mg ²⁺	0,2	0,4	0	0,03	0	0,04	0,02	0,08	0,06	1,2	0,10	0,2	0,02
Сумма катионов	12,2	3,5	4,6	0,18	1,1	0,06	3,2	0,22	1,9	0,14	1,8	0,10	0,10
Cl ⁻	1,4	1,4	0	0	0	0	2,8	0,08	2,8	0,08	1,1	0,03	0,03
SO ₄ ²⁻	2,3	2,7	2,7	0,06	3,8	0,08	1,7	0,04	1,3	0,03	1,5	0,03	0,03
HCO ₃ ⁻	26,8	4,9	10,7	0,18	1,2	0,02	4,9	0,08	7,8	0,13	4,9	0,08	0,08
Сумма анионов	30,5	9,0	13,4	0,24	5,0	0,12	9,4	0,20	11,9	0,24	7,5	0,14	0,14
Общая минерал.	42,7	12,5	18,0	6,1	12,6	13,8	9,3	4,30	6,58	4,40	9,3	4,40	4,40
pH	6,24	4,70	5,74	5,20	4,30	6,58	4,40	9,3	4,40	9,3	4,40	9,3	4,40

около 6—7 м и 33—35 м от поверхности ледника. Верхняя линия датируется извержением вулкана в 1941 г., а нижняя — неизвестным извержением в середине XIX столетия. Очевидно, что в эти годы с отдельными частями ледника происходили значительные изменения, вызывавшие перерывы в накоплении и выпадении из разреза нескольких годовых слоев.

Средняя многолетняя величина «чистой» аккумуляции в области питания кратерного ледника равна 25—30 г/см², что при средней толщине льда 60—70 м дает возраст его нижних слоев до 240—260 лет. Таким образом, в толще Толбачинского ледника захоронена информация («летопись») о флуктуациях климата и деятельности вулкана Плоский Толбачик с начала XVIII столетия по наше время.

Изучение влияния Большого трещинного Толбачинского извержения 1975—1976 гг. на снег и ледники позволяет осветить некоторые вопросы взаимодействия вулканизма и оледенения: роль эксплозивной и эффузивной деятельности в формировании и режиме снежного покрова, мерзлоты и погребенных льдов (Андреев, 1982), режим абляции ледников; участие рыхлых продуктов извержений в строении кратерных ледников; особенности динамики ледников на действующих вулканах и причины повышенной химизации снежно-ледовых образований. Образовавшийся в результате обрушения Толбачинского ледника разрез — уникальная «летопись» извержений Плоского Толбачика и климата в историческое время.

ЛИТЕРАТУРА

Андреев В. И. Мерзлые толщи в районе Толбачинского извержения. — В сб.: Вопросы географии Камчатки, вып. 8. Петропавловск-Камчатский, 1982, с. 98—99.

Виноградов В. Н., Муравьев Я. Д. Изменчивость современных ледников вулканических районов Камчатки. — В сб.: Материалы гляциол. исслед. Хроника, обсуждения, вып. 42. М., 1982, с. 164—170.

Влодавец В. И. Ключевская группа вулканов. — Труды Камчатской вулканол. станции, вып. 1, 1940, 124 с.

Гусев Н. А., Двингало В. Н., Добрынин Н. Ф., Магуськин М. А., Селезнев Б. В., Скуридин Ю. Ф., Шкред В. И. Некоторые результаты экспериментальных исследований по применению фотограмметрического метода для изучения динамических процессов в вулканологии. — Вулканология и сейсмология, вып. 3. М., Наука, 1979, с. 30—37.

Кирсанов И. Т., Пономарев Г. П. Извержения вулкана Плоский Толбачик и некоторые особенности их продуктов. — Бюлл. вулканол. станции, № 50, М., Наука, 1974, с. 51—63.

Меняйлов И. А., Никитина Л. П., Шаларь В. Н. Геохимические особенности эффузий Большого трещинного Толбачинского извержения. М., Наука, 1980, 233 с.

Цийл Б. И. Состояние действующих вулканов северной Камчатки в 1954 г. — Бюлл. вулканол. станции, № 24. М., 1956, с. 14—20.

Пронин А. А., Серафимова Е. К., Федоров М. В. Активный кратер вулкана Плоский Толбачик в 1965—1966 гг. — Бюлл. вулканол. станции, № 46, 1970, с. 24—26.

Фарберов А. И. Активность вулкана Плоский Толбачик в июне — июле 1975 г. — В сб.: Геологические и геохимические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975—1976 гг. М., Наука, 1978, с. 28—31.

Федотов С. А., Хренов А. П., Чирков А. М. Большое трещинное Толбачинское извержение 1975 г. на Камчатке. — Докл. АН СССР, 1976, т. 228, № 5, с. 1193—1196.