

**АКАДЕМИЯ НАУК СССР**

# **ЭКОЛОГИЯ**

**№ 6**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА“**

**1971**

УДК 581.5; 551.324

## ФИТОИНДИКАЦИЯ ДИНАМИКИ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРИЛЕДНИКОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*П. Л. Горчаковский, С. Г. Шиятов*

Излагается методика фитоиндикации границ и времени максимального развития горных ледников, возраста морен, этапов и скорости сокращения ледников, годичных колебаний вещественного баланса ледников, экологических режимов приледниковой зоны и динамических тенденций ледников. Характеризуются возможности и диапазоны различных фитоиндикационных методов.

Ледники в горах — одно из удивительных явлений природы; исследование их представляет большой и разносторонний интерес. Понять закономерности формирования и тенденции развития ледников можно лишь на основе изучения их динамики. Наиболее точные и надежные данные о динамике ледников могут быть получены путем организации долгосрочных стационарных наблюдений. Однако такие работы требуют больших затрат сил, средств и времени. Поэтому для познания динамики ледников, наряду с прямыми наблюдениями за движением кромки льда, приходится пользоваться различными косвенными методами. Для восстановления прошлого ледников, их истории косвенные, в том числе фитоиндикационные методы — единственный источник получения достоверной информации.

Существование горных ледников обусловлено прежде всего климатическими причинами. Однако ледники обладают известной устойчивостью и инерцией сохранения (Калесник, 1963) и сами оказывают определенное влияние на климат окружающей местности. Большая масса содержащегося в них льда и снега умеряет резкие колебания температуры в теплое время года. В непосредственной близости от края ледника продолжительность вегетационного периода сильно сокращена, влажность воздуха высокая, увлажнение почвы обильное, проточное.

Если ледник растет, размеры его увеличиваются, то спускающийся по склону лед постепенно покрывает места, ранее занятые растительностью. Под влиянием наступающего ледника растительность в контактной с ним полосе повреждается и деградирует, вертикальные пределы верхних растительных поясов снижаются.

В случае, если ледник сокращается, то освобождающиеся ото льда участки каменистого и щебнисто-глинистого субстрата постепенно начинают осваиваться растительностью. Здесь появляются сначала пионерные группировки растений, а затем формируются более развитые растительные сообщества. Фитоиндикация динамики горных ледников основана на учете и оценке прямого и косвенного влияния, оказываемого кромкой льда на растительность прилегающей территории, и тех изменений в растительном покрове приледниковой полосы, которые влекут за собой наступление или отступление ледника. Фитоиндикационные методы дают возможность определить следующие характеристики горных ледников: 1) границы и время максимального развития ледника 2) возраст морен, этапы и скорость сокращения ледника;

3) годовые колебания вещественного баланса ледника; 4) экологические режимы приледниковой зоны и динамические тенденции ледника.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ И ВРЕМЕНИ МАКСИМАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЛЕДНИКА

Границы ледника в период его максимального развития распознаются по линии ледниковой подрезки (*trimline* по терминологии американских авторов) — полосе, где растительность сильно нарушена в результате механического воздействия надвигающегося льда. За этой полосой располагается растительность, не испытавшая разрушающего воздействия ледника.

Линия ледниковой подрезки хорошо заметна визуально и, как указывает Д. Лоренс (Lawrence, 1950), легко дешифрируется на аэрофотоснимках. На этой линии обычно имеется много поврежденных, наклоненных и отмерших деревьев. Основания некоторых стволов засыпаны моренным материалом. Многие деревья имеют шрамы, у некоторых из них ветви и вершины срезаны или обломаны. Механические повреждения большей частью располагаются на той стороне деревьев, которая обращена к леднику. В нижней части конечной морены встречаются вывороченные с корнями деревья или их обломки, принесенные ледником с вышерасположенных участков. Если ледник отступил сравнительно недавно (несколько десятков лет назад), то на рубеже его максимального продвижения наблюдается резкий переход от спелых и перестойных древостоев к молоднякам.

В тех случаях, когда ледник в период его сравнительно недавнего максимального распространения не спускался до верхнего предела леса и отдельных деревьев, линию ледниковой подрезки обычно удается распознать по следам повреждений на стволиках кустарников. Кроме того, здесь наблюдается резкий переход между нарушенными, лабильными, невыработавшимися растительными сообществами с неустойчивым составом и структурой (находящимися на разных этапах вторичных сукцессий) и сообществами, не испытавшими разрушающего воздействия ледника — относительно стабильными, сложившимися, более устойчивого состава и структуры. Для выявления линии ледниковой подрезки в поясах, расположенных выше верхнего предела леса, следует закладывать специальные трансекты.

Датировку максимального продвижения ледника можно произвести на основе информации, заключенной в годовых кольцах деревьев, с применением методов дендрохронологии. Для этого берутся и анализируются торцовые спилы стволов деревьев и кустарников, испытавших механическое воздействие ледника (в зоне ледниковой подрезки). Особенно ценны в этом отношении деревья со шрамами на стволах и наклоненные деревья (Lawrence, 1946, 1950). У дерева, наклоненного ледником, начинают откладываться эксцентричные годовые кольца. Число этих колец соответствует времени, прошедшему с момента максимального наступления ледника (рис. 1). Таким же показателем является число годовых колец, появившихся на поврежденном участке ствола после образования шрама. Методика определения времени образования шрамов на древесных стволах и числа эксцентричных годовых колец изложена в нашей ранее опубликованной статье о фитоиндикации снега и снежных лавин в высокогорьях (Горчаковский, Шиятов, 1971).

Дополнительные данные о периоде, прошедшем после недавнего максимального наступления ледника, можно получить, определив ден-

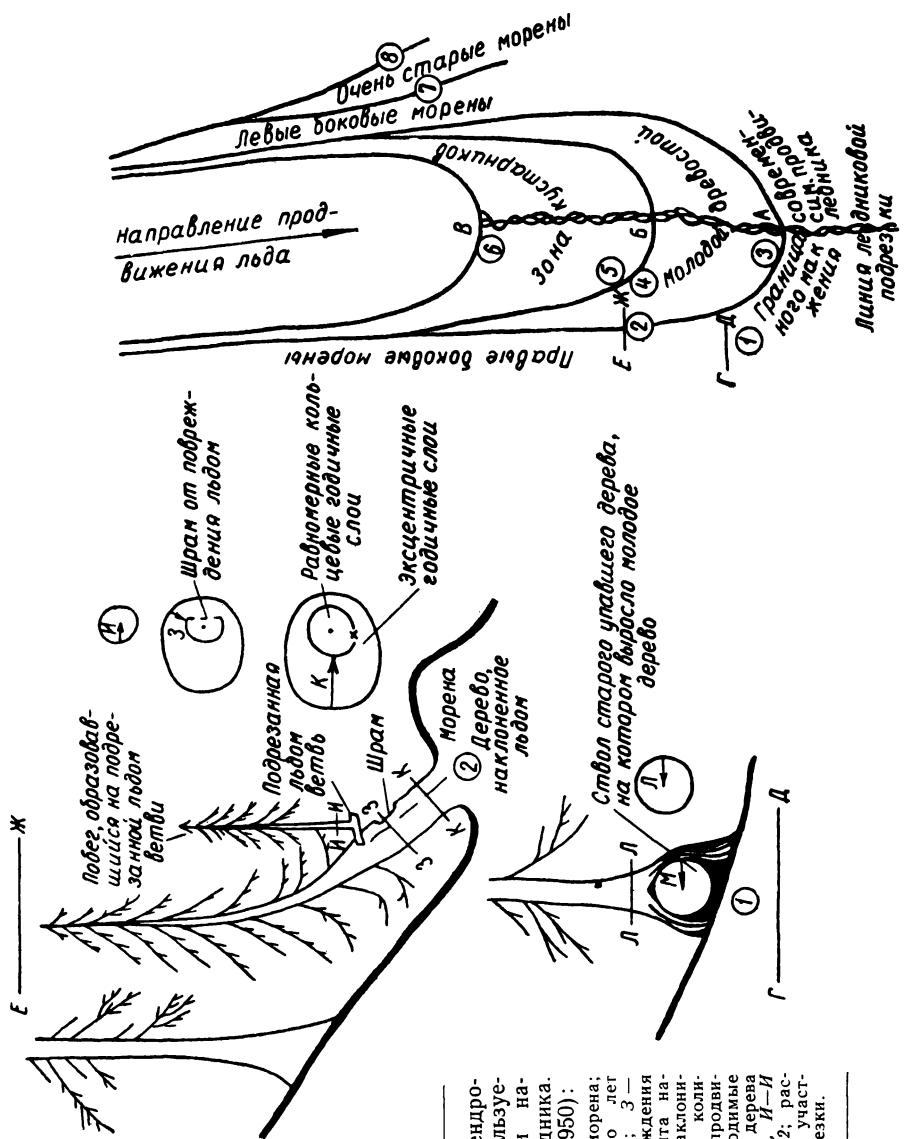


Рис. 1. Обобщенная схема дендрохронологических данных, используемых для определения времени наступления и сокращения ледника. По Д. Лоренсу (Lawrence, 1950): А — старая морена; Б — молодая морена; В — конец ледника; И — количество лет с момента подрезки ветви льдом; З — количество лет с момента повреждения клона дерева; Х — год, когда наклонилось дерево; Д+М — минимальное количество лет с момента, когда лед продвинулся выше этого места. Необходимые данные: возраст самого старого дерева на участках 1-8; срезы К-К', 3-3', И-И' наклоненных деревьев на участке 2; расстояния от А до Б до В и от участка 1 до линии ледниковой подрезки.

дрохронологическим методом в зоне ледниковой подрезки время массового отмирания деревьев, оставшихся на месте своего произрастания (стоящих или упавших).

Иногда непосредственно на стволе отмершего и упавшего дерева впоследствии вырастает молодое деревцо. По мнению Д. Лоренса (Lawrence, 1950), сумма возрастов упавшего дерева и выросшего на нем деревца соответствует минимальному периоду, когда на данном участке не было ледника. Однако это соответствует действительности лишь в том случае, если дерево отмерло естественным путем, а не было повалено льдом. Поэтому прежде чем производить такие подсчеты, необходимо убедиться в том, что на данном участке деревья не несут на себе следов ледниковых повреждений.

### УСТАНОВЛЕНИЕ ВОЗРАСТА МОРЕН, ЭТАПОВ И СКОРОСТИ СОКРАЩЕНИЯ ЛЕДНИКА

По мере деградации ледника, отступления его кромки, на освобожденной ото льда территории вскоре поселяются отдельные экземпляры лишайников, мхов и сосудистых растений, а затем начинают формироваться пионерные группировки и более выработавшиеся растительные сообщества. Показателями возраста морен может служить возраст поселившихся на них лишайников и древесных растений, а также степень сукцессионной продвинутости растительных сообществ.

В последнее время для датировки времени обнажения или возраста различных субстратов, в том числе и ледниковых морен, успешно применяются данные лихенометрии, методические основы которой разработаны Р. Бешелем (Beschel, 1950, 1957, 1957a, 1958, 1961). Лишайники, особенно накипные и листоватые, являются удобными объектами такого рода исследований благодаря относительной стабильности их прироста в определенных климатических условиях и большой продолжительности жизни. В начале жизни лишайника, пока продуцируемые органические вещества распределяются по всему слоевищу, площадь и диаметр увеличиваются по экспоненте; позднее органические вещества, продуцируемые центральной частью слоевища, перестают достигать периферии слоевища, нередко центральная часть совсем отмирает, и увеличение размеров становится линейным.

В качестве показателя роста лишайников в определенных климатических условиях Р. Бешель предлагает использовать «лишайниковый фактор» — максимальный диаметр слоевища данного вида в возрасте 100 лет. По материалам этого исследователя, в Альпах есть немало лишайников, доживающих до 300—400 лет; максимальный возраст *Aspicilia cinerea* Körb. составляет 1000 лет, а *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC 1300 лет. В Гренландии *Rhizocarpon tinei* (Tornab) Run. (*Rh. geographicum* s. str.) достигает возраста 4500 лет. Годовой прирост лишайников, избранных в качестве индикаторов, определяется или путем повторных измерений размеров слоевищ в течение нескольких лет, или путем сопоставления размеров слоевищ лишайников, выросших на субстратах заведомо известного возраста.

На основе лихенометрических исследований произведена датировка времени образования морен в Тирольских Альпах (Heuberger, Beschel, 1959), на леднике Гран Парадизо в Италии (Beschel, 1958), в горах Кавказа (Beschel, 1968, Турманина, 1970), Заилийского Алатау (Турманина, 1970), на ледниках Берга и Обручева, на леднике Института географии Академии наук СССР на Полярном Урале (Мартин, 1970).

Возможности применения дендрохронологии для датировки морен более ограничены в связи с тем, что деревья и кустарники встречаются не на всех моренах, а продолжительность жизни древесных растений по сравнению с лишайниками значительно ниже. Однако результаты дендрохронологических датировок более точны.

Возраст наиболее старых деревьев на той или другой морене показывает минимальный возраст субстрата. Для точного определения возраста морен необходимо знать промежуток времени, необходимый для того, чтобы на участке, освободившемся ото льда, появились всходы деревьев. М. Мейер (Meier, 1965) указывает, что в зависимости от дальности переноса семян, типа и стабильности моренного материала, климатических условий и других факторов, древесные растения поселяются на освободившейся территории в промежутке от 2 до 30 и более лет. Иногда деревья, достигшие возраста нескольких десятилетий, растут на моренном материале, перекрывающем слой льда. Р. Бешель и Д. Уэбб (Beschel a. Webb, 1963) с успехом применяют показатель возраста кустарниковых ив (*Salix*) для датировки морен, на которых более крупные древесные растения не могут произрастать из-за суровых климатических условий.

При проведении фитоиндикационной датировки морен нужно найти самые старые экземпляры деревьев или кустарников и определить их точный возраст. Модельные деревья следует брать на профилях, пересекающих морены разного возраста. Рекомендуется закладывать трансекты на возможно более низких гипсометрических уровнях, где условия для поселения и выживания растений более благоприятны (Lawrence, 1950).

Показателем возраста морен может также служить степень выработанности (продвинутой в сукцессионных рядах) сформировавшихся на них растительных сообществ. Для этого необходимо знать характер сукцессий растительности на моренах в районе исследований, последовательность и длительность отдельных стадий. Материал о сукцессиях может быть собран путем длительных многолетних наблюдений за развитием растительности на моренах, как это сделано У. Купером (Cooper, 1916, 1923, 1931, 1939), или путем сопоставления состава, структуры, степени выработанности и гомогенности сообществ на моренах заведомо известного возраста.

В юго-западной части полуострова Аляска на моренах ледников установлены следующие этапы сукцессий (Cooper, 1931; Lawrence, 1950; Crooker, Dickson, 1957). Пионерами среди сосудистых растений, поселяющихся на освободившихся ото льда участках морен, являются *Epilobium latifolium*, *Equisetum variegatum* и *Dryas drummondii*. Через 10—13 лет после отступления льда на моренах образуются заросли кустарниковых ив (виды рода *Salix*) и ольхи узколистной (*Alnus tenuifolia*), через 50—60 лет — леса из тополя волосистоплодного (*Populus trichocarpa*) и ситхинской ели (*Picea sitchensis*), через 100—120 лет — спелые ельники (доминант *Picea sitchensis*) с густым моховым покровом. Климатическая растительность этого района, развитая в местах, не покрывавшихся ледником в течение нескольких последних столетий, представлена спелыми и перестойными лесами из тсуг (*Tsuga heterophylla*, *T. martensiana*).

В Альпах, в районе ледника Паштерце (Zollitsch, 1969), первыми поселенцами на освободившихся ото льда участках являются *Saxifraga aizoides*, *S. oppositifolia*, *S. biflora*, *Linaria alpina*, мхи *Bryum alpinum* и *Ceratodon purpureus*. В зависимости от сроков освобождения от ледяного покрова и степени сформированности сообществ здесь

можно выделить 9 зон, соответствующих стадиям сукцессий. Для растительности первой зоны, свободной ото льда до 5 лет, характерен бедный флористический состав (*Poa minor*, *Anthyllis vulneraria* ssp. *alpestris*, *Gypsophila repens*, *Artemisia mutellina* и др.), проективное покрытие низкое (обычно менее 5%).

Во второй зоне (свободна ото льда 5—10 лет) число видов возрастает до 30 (характерны *Cerastium uniflora*, *Minuartia verna*, *Arabis pumila*, *Artemisia mutellina* A. *genipi*, *Arenaria ciliata*, *Trifolium pallescens*, *Euphrasia salisburgensis*, *E. minima*), проективное покрытие равно 10—20%. В третьей зоне, свободной ото льда 12—30 лет, отмечено 77 видов, в том числе *Agrostis stolonifera*, *Carex bicolor*, *Juncus triglumis*; покрытие колеблется от 5 до 70%. В четвертой зоне, где субстрат освобожден ото льда 35—40 лет тому назад, отмечено 77 видов растений, особенно характерен *Trisetum spicatum*, обычны *Gentiana nana*, *Erigeron uniflorus*, *Campanula cochleariifolia*, *Arenaria ciliata* и др.; появляются стелющиеся кустарнички *Salix serpyllifolia* и *Dryas octopetala*. Проективное покрытие колеблется от 10 до 95%. Участки, освободившиеся ото льда около 80 лет тому назад, отнесены к пятой зоне (обычные компоненты сообществ *Silene acaulis* ssp. *longiscapa*, *Carex sempervirens*, *Dryas octopetala*, *Helianthemum alpestre*, *Trifolium pallescens* и др.); 85—100 лет — к шестой (*Salix serpyllifolia*, *Dryas octopetala*); около 350 лет — к седьмой (*Festuca pseudodura*, *F. violacea* ssp. *picta*, *Helictotrichon versicolor*, *Phyteuma hemisphaericum*, *Vaccinium vitis-idaea*). В восьмую зону входят морены, свободные ото льда в течение 3400 лет, а в девятую — 6200 лет; здесь распространены климаксовые сообщества — *Rhododendro—Vaccinietum* и *Loiseleurio—Cetrarietum* по системе Браун—Бланке (основные компоненты *Rhododendron ferrugineum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Loiseleuria procumbens*, *Cetraria islandica*).

Там, где это возможно, для датировки морен следует использовать различные фитоиндикационные методы — лихенометрический, дендрохронологический и сукцессионный (в сочетании с аэрофотосъемкой растительности приледниковых территорий), что обеспечит получение более точных данных.

Места взятия модельных деревьев, образцов лишайников, а также места закладки пробных площадей по изучению сукцессий растительности наносятся на крупномасштабную карту, аэрофотоснимок или схему района исследования. Когда возраст морен выяснен, установлена их протяженность, известно расстояние пробных площадей друг от друга, путем несложных расчетов можно определить этапы и скорость сокращения ледника.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОДИЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВЕЩЕСТВЕННОГО БАЛАНСА ЛЕДНИКА

Динамика оледенения горных стран во многом определяется колебаниями климатических условий, в частности таких факторов, как увлажненность и термический режим. Эти же факторы оказывают влияние на величину годового прироста деревьев, произрастающих высоко в горах. Основываясь на этом положении, В. Н. Адаменко (1963, 1968) предпринял попытку сопоставить изменения индексов годового прироста деревьев в толщину и колебания величин абляции и вещественного баланса ледников Полярного Урала. Как видно из рис. 2, существует довольно тесная связь между колебаниями вещественного баланса ледника Института географии и индексами прироста листвен-

ниц, произрастающих в этом районе. На основании установленной связи В. Н. Адаменко реконструировал вещественный баланс этого ледника с 1710 по 1960 г. При проведении подобных расчетов необходимо использовать модельные деревья, произрастающие в непосредственной близости от ледника, так как в более отдаленных местах колебания климатических условий и прироста деревьев могут быть смещены во времени или быть совсем другими.

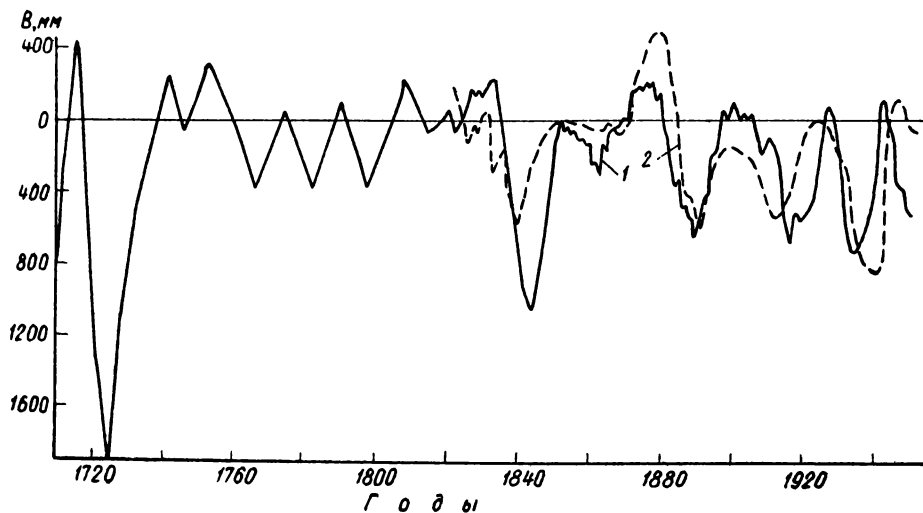


Рис. 2. Вещественный баланс ледника ( $B$ ) Института географии (в мм слоя воды), вычисленный по дендрохронологическим (1) и метеорологическим (2) данным. По В. Н. Адаменко (1963) (скользящие десятилетние средние).

### ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРИЛЕДНИКОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ДИНАМИЧЕСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ ЛЕДНИКА

Флуктуация ледников связана с циклическими изменениями климата, что в свою очередь определяется циклическими колебаниями солнечной активности (Lawrence, 1950a, 1958; Heusser, 1954; Gray a. Struik, 1963; Bray, 1965). Растения, произрастающие в экстремальных условиях, в приледниковой зоне, чутко реагируют на изменение экологического режима мест их обитания и могут служить индикаторами намечающегося увеличения или сокращения ледника.

Наступление ледника сопровождается уменьшением прироста деревьев (Bray, 1965; Турманина, 1970; Тагунова, Трошкина, Турманина, 1970), уменьшением продукции семян и ухудшением возобновления тенденцией к переходу деревьев к стланиковой форме роста, ослаблением жизненности и регенеративной способности кустарников, кустарничков и травянистых растений.

Напротив, в периоды отступления ледника у деревьев наблюдается увеличение прироста, усиливается их плодо- и семеношение, возрастает интенсивность возобновления, причем подрост продвигается по склонам на 150—200 м выше границы редколесий, у стланиковых деревьев начинают образовываться вертикальные стволы за счет интенсивного роста какой-либо из ветвей, жизненность и регенеративная способность кустарников, кустарничков и трав заметно возрастает.

Изучение роста и годовичного прироста, плодо- и семеношения и возобновления растений, произрастающих близ края ледников, опреде-



ление их жизненности может дать ценный материал для интегральной оценки экологических режимов приледниковых территорий и определения динамических тенденций ледника.

### ВЫВОДЫ

1. Фитоиндикация динамики горных ледников базируется на учете и оценке прямого и косвенного влияния, оказываемого кромкой ледника на растительность прилегающей территории, и тех изменений в растительном покрове приледниковой полосы, которые влечет за собой наступление или отступление ледника.

2. Датировка отдельных этапов флуктуации горных ледников и выявление их динамических тенденций может производиться на основе изучения прироста и времени поселения лишайников (лихенометрия), изучения прироста и времени поселения древесных растений (дендрохронология), установления последовательности и продолжительности стадий формирования растительных сообществ в приледниковой полосе и нарушений этой последовательности, вносимой наступающим ледником, а также на основе наблюдений за ростом, плодо- и семенением, возобновлением и жизненностью растений, обитающих близ кромки льда.

3. Фитоиндикационные методы позволяют реконструировать отдельные явления в жизни горных ледников в тех рамках времени, в каких их следы запечатлены окружающей растительностью. Диапазон лихенометрии более широк по сравнению с дендрохронологией (благодаря большей продолжительности жизни лишайников по сравнению с деревьями и более частой их встречаемости в приледниковой полосе), однако результаты менее точны. Для получения более достоверных данных о динамике ледников целесообразно комплексное применение различных фитоиндикационных методов в сочетании с аэрофотосъемкой растительности приледниковых территорий.

4. Фитоиндикация дает возможность определить следующие характеристики горных ледников: границы и время максимального развития ледника; возраст морен, этапы и скорость сокращения ледника; годовые колебания вещественного баланса ледника; экологические режимы приледниковой зоны и динамические тенденции ледника.

Институт экологии растений и животных  
УНЦ АН СССР

Поступила в редакцию  
11 августа 1971 г.

### ЛИТЕРАТУРА

А да мен ко В. Н. Опыт изучения условий существования ледников Полярного Урала за 260-летний период по данным дендрохронологического анализа. Сб. Гляциологические исследования, IX раздел программы МГГ, № 9, М., Изд. АН СССР, 1963.

А да мен ко В. Н. Использование дендрохронологических данных в гляциологических исследованиях. Материалы Всесоюзного совещания — научной конференции по вопросам дендрохронологии и дендроклиматологии, Вильнюс, 1968.

Горчаковский П. Л., Шиятов С. Г. Фитоиндикация снежного покрова и снежных лавин в высокогорьях, Экология, 1971, № 1.

Калесник С. В. Очерки гляциологии, М., Госгеографиздат, 1963.

Мартин Ю. Л. Лихенометрическая индикация времени обнажения каменистого субстрата, Экология, 1970, № 5.

Тагунова Л. В., Трошкина Е. С., Турманина В. И. Изменения прироста и возобновления деревьев на пределе развития лесов в Центральном Кавказе и Северном Приобье. Сб. Продуктивность биогеоценозов Субарктики, Свердловск, УФАН СССР, 1970.

Турманина В. И. Фитоиндикационные аспекты в исследованиях растительности приледниковых районов. Биогеография, вып. 5 (Материалы заседаний Московского филиала Географического общества СССР), М., 1970.

- Beschel R. E. Flechten als Altersmasstab rezenter Moränen. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 1950.
- Beschel R. E. A project to use lichens as indicators of climate and time. *Arctic*, 1957, 10, № 1.
- Beschel R. E. Lichenometrie im Gletschervorfeld. *Ver. Schutz. Alpenpfl. Jb.*, 1957a, 22.
- Beschel R. E. Recerche lichenometriche sulle morene del Gruppo del Gran Paradiso. *N. Giorn. Bot. Ital.*, n. s., 1958, 52.
- Beschel R. E. Dating rock surfaces by lichens growth and its application to glaciology and physiography (lichenometry). *Geology of the Arctic*, 1961, № 2, University of Toronto Press.
- Beschel R. E. News. *International Lichenological Newsletter*, 1968, 2, № 2.
- Beschel R. E. a. Webb D. Growth ring studies on arctic willows. In.: Axel Heiberg Island. Preliminary Report 1961—1962 by F. Müller and others. *McGill University*, Montreal, 1963.
- Bray J. R. Forest growth and glacier chronology in northwest North America in relation to solar activity. *Nature*, 1965, 205, N 4970.
- Bray J. R., Struik G. J. Forest growth and glacial chronology in Eastern British Columbia and their relation to recent climatic trends. *Canad. J. Bot.*, 1963, 41, N 8.
- Cooper W. S. Plant successions in the Mount Robson region, British Columbia. *Plant World*, 1916, 19.
- Cooper W. S. The recent ecological tory of Glacier Bay. Alaska. I, The interglacial forests of Glacier Bay. *Ecology*, 1923, 4, № 24.
- Cooper W. S. Third expedition to Glacier Bay, Alaska. *Ecology*, 1931, 12, № 1.
- Cooper W. S. Fourth expedition to Glacier Bay, Alaska. *Ecology*, 1939, 20, № 2.
- Crocker R. L., Dickson B. A. Soil development on the recessional moraines of the Herbert and Mendenhall Glaciers, S. E. Alaska. *Journ. of Ecology*, 1957, 45, № 1.
- Heuberger H., Beschel R. E. Beiträge zur Datierung alter Gletscherstände im Hochschwab. *Schlern Schr.*, Innsbruck, 1959, 190.
- Heusser C. J. Glacier fluctuation, forest succession, and climatic variation in the Canadian Rockies. *Amer. Philos. Soc.*, 1954, Year Book, 1954.
- Lawrence D. B. The technique of dating recent prehistoric glacial fluctuations from tree date. *Mazania*, 1946, 28 (13).
- Lawrence D. B. Estimating dates of recent glacier advances and recession rates by studying tree growth layers. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 1950, 31, № 2.
- Lawrence D. B. Glacier fluctuation for six centuries in southeastern Alaska and its relation to solar activity. *Geographical Review*, 1950a, 11, № 2.
- Lawrence D. B. Glaciers and vegetation in southeastern Alaska. *American Scientist*, 1958, 46.
- Meier M. F. Glaciers and climate. In.: *The Quaternary of the United States*. Princeton University Press. Princeton, 1965.
- Zollitsch B. Die Vegetationsentwicklung im Pasterzenvorfeld. *Wissenschaftliche Alpenvereinshefte*, 1969, Heft, 22.
-