

## РЕЛИКТ ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА БЫВШЕМ НУНАТАКЕ ПЛАТО МАУНТИН (Юго-Западная Альберта)

С. А. Харрис

*Географический ф-т Университета Калгари, T2N 1N4, Альберта, Калгари, Канада*

На Плато Маунтин, расположенном на юго-западе штата Альберта (Канада), наблюдается реликтовая альпийская мерзлота, оставшаяся от эпохи Поздневисконсинского оледенения. Плоская вершина горы не подвергалась оледенению в течение плейстоцена и реликтовая мерзлота здесь не соответствует современному климату. Вблизи поверхности температура пород понижается и тепло медленно проникает в породы. Тепло передается как посредством кондуктивного теплообмена, так и движением подземных вод, но при этом поступление тепла частично компенсируется охлаждающим влиянием потоков воздуха, проникающих между обломками и в трещины в коренных породах. Потоки подземных вод и воздуха оказывают существенное по величине, но локальное воздействие на температуру пород, и место этого воздействия может изменяться во времени.

Поверхность представлена структурными грунтами и термокарстовыми формами в стадии консервации, образовавшимися при вытаивании жильных льдов, которые сформировались при более холодном климате под каменными кольцами. На северной оконечности горы существует ледяная пещера, которая сохранилась в кровле многолетнемерзлых пород. Альпийская растительность включает отдельные виды флоры Арктики, а также флоры побережья США к югу от Калифорнии. Распространение специфических видов объясняется миграцией альпийской флоры во время прошлых холодных эпох. Наблюдаются также некоторые местные особенности.

*Поздневисконсинское оледенение, реликтовая альпийская мерзлота, структурные грунты, альпийская растительность*

### A RELICT OF LATE QUATERNARY PERMAFROST ON A FORMER NUNATAK AT PLATEAU MOUNTAIN (SW Alberta)

S. A. Harris

*Department of Geography, University of Calgary, T2N 1N4, Alberta, Calgary, Canada*

On Plateau Mountain in southwest Alberta is an example of relict alpine permafrost left from the Late Wisconsin glaciation. The flat mountain top was not glaciated during the Pleistocene and the relict permafrost on its summit is not yet in equilibrium with the present-day climate. The near-surface ground temperature becomes colder with depth and heat is moving slowly into the ground. This heat flow is accomplished by heat conduction and groundwater movement, but this is partly counteracted by air moving through block fields or cracks in the bedrock. Ground water and air movement produce large but localized ground temperature effects which may change location over time.

The surface shows inactive sorted patterned ground and thermokarst resulting from melting of ice wedges formed beneath the stony borders during a colder climate. At the north end of the mountain, an ice cave occurs in the surface of the relict permafrost. The alpine vegetation includes disjunct species from the floras of the Arctic and also from the west coast of the contiguous United States south to California. These distributions imply a migration of alpine floras during past cold events. Some local speciation has also occurred.

*Late Wisconsin glaciation, relict alpine permafrost, sorted patterned ground, alpine vegetation*

## ВВЕДЕНИЕ

Реликтовая мерзлота типична для низменных территорий Юкона [Mackay et al., 1972] и Аляски [Pewe, 1966], не подвергавшихся оледенению, а также широко распространена в Сибири, но довольно редко встречается в горах, подвергавшихся оледенениям. Такое исключение — Плато Маунтин в Скалистых горах, на юго-западе штата Альберта в Канаде. В статье приводятся результаты продолжающихся с

1974 г. наблюдений за температурой воздуха и пород, а также связанных с ними явлений на Плато Маунтин.

Плато Маунтин представляет собой плоско-вершинную гору с абсолютной высотой 2519 м, расположенную в 80 км к юго-западу от г. Калгари (рис. 1). Это ядро антиклинали, слабо наклоненной к северу и западу. Перекрывающие породы представлены кремнистыми доломитами

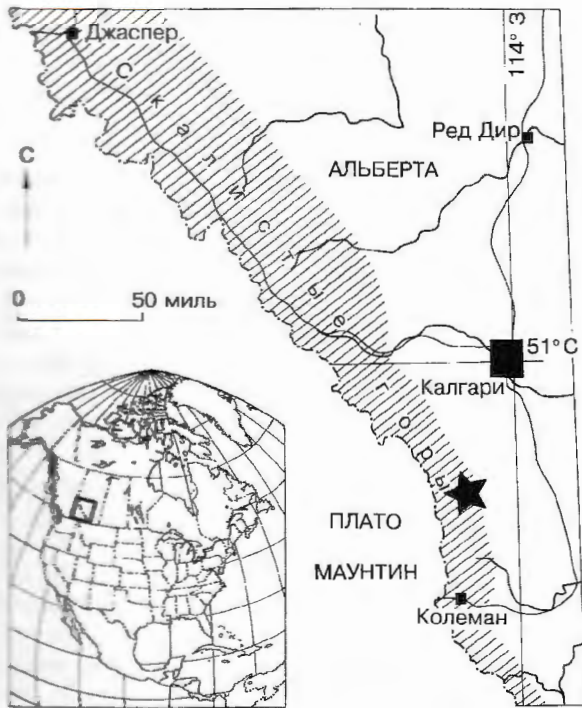


Рис. 1. Плато Маунтин в Юго-Западной Альберте, Канада.

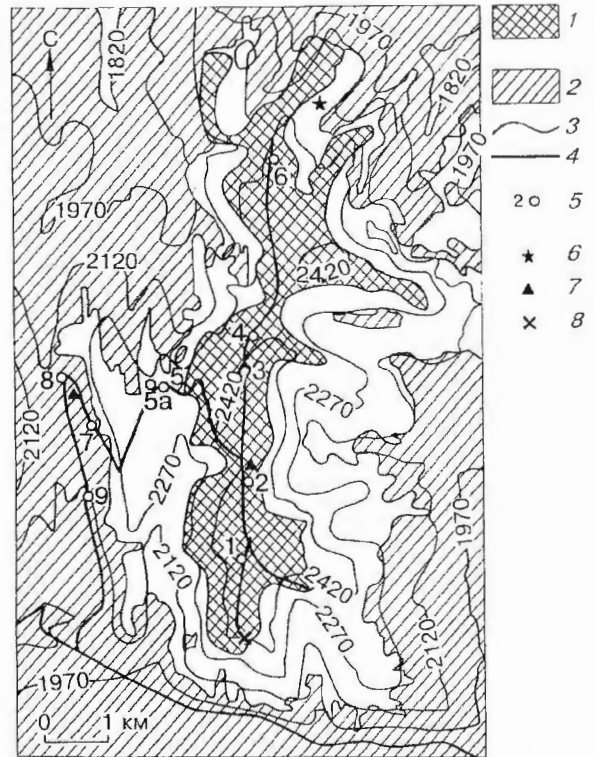


Рис. 2. Расположение участков измерения температуры и положение альпийской зоны на Плато Маунтин (с использованием материалов [Harris, Brown, 1978]).

1 — плато, 2 — лес, 3 — граница леса и плато, 4 — дорога, 5 — скважина и ее номер, 6 — ледяная пещера, 7 — метеостанция, 8 — глубокая термометрическая скважина.

верхнего карбона группы Спрей Лейкс, перекрытыми известняки, доломиты, мягкие песчаники и сланцы Эверингтонской и Маунхедской формации [Douglas, 1958; Norris, 1993a, b]. Площадь вершины составляет 13 км<sup>2</sup>.

Верхняя граница леса сильно изменяется по высоте в зависимости от экспозиции (рис.2). Ее среднее положение на западном склоне составляет 2290 м [Bryant, Scheinberg, 1970]. Как правило, граница нерезкая и включает криволесья и поляны с ивой и разнотравьем среди деревьев, протягивающаяся вниз от этой высоты до 180 м по вертикали. Выше границы леса, в альпийской зоне преобладают альпийские луга с лишайниками, а на вершине — альпийская тундра с камнями, покрытыми лишайником. В верхней части субальпийского леса преобладают ель Энгельмана и альпийская лиственница, с меньшим количеством белокорой сосны и пихты Дугласа.

Территория расположена на подветренной стороне к востоку от Главного водораздела. Таким образом, вершина горы лежит значительно ниже границы оледенения [Ostrem, 1966] и во время Висконсинского оледенения не покрывалась ледником. Снег от редких снегопадов сдувался с вершины в тыловые части цирков на южном и восточном склонах горы (см. рис. 2).

Средняя годовая температура воздуха на высоте 2500 м за период 1974—1995 гг. составила

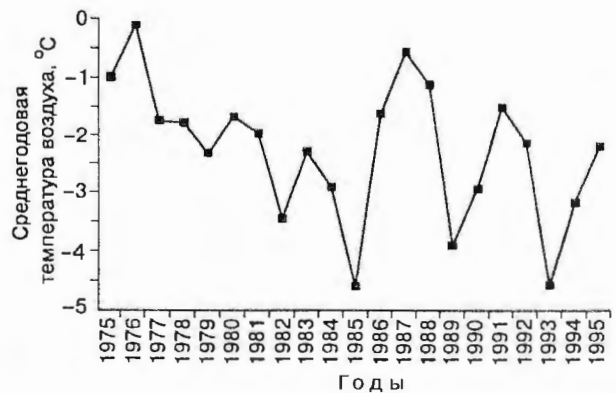


Рис. 3. Изменение среднегодовой температуры воздуха на высоте 2500 м (за период с 1974 по 1995 гг., Плато Маунтин [ПМ № 2])

-2,22 °C, при этом с 1985 г. наблюдались значительные вариации (рис. 3). За период исследований (21 год) произошло понижение температуры примерно на 1,62 °C.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 1974 г. было проведено бурение с целью обнаружить многолетнемерзлые породы. В течение следующих 4 лет были пробурены и оборудованы 10 скв. (см. рис. 2), одна из которых имела глубину 150 м [Harris, Brown, 1978; 1982]. Температура воздуха и снежный покров измерялись на 5 площадках начиная с 1994 г., а относительная влажность определялась на высоте 2500 м с 1995 г. Для определения мерзлого или талого состояния пород проводились ежемесячные измерения их температуры, в то время как стационарные наблюдения на ключевых участках обеспечивали контроль за климатическими изменениями и колебаниями температуры пород. Кроме того, измерения температуры были проведены в ледяной пещере на северной оконечности горы [Harris, 1979].

Дополнительные исследования включают изучение распространения растительности [Bryant, Scheinberg, 1970] и происхождения каменных морей и структурных грунтов [Woods, 1977] и эти исследования продолжаются. Гербарий исследуется в Калгари, в то время как детальные исследования происхождения сухих несортированных колец в горах ведутся с использованием нейтронных зондов, температурных кос и системы телескопических мерзлотомеров различной длины. При изучении теплообмена в минеральных почвах и в пределах каменных морей используются логгеры. Доктор А. Прик изучает устойчивость коренных пород к физическому выветриванию под действием циклов промерзания-протаивания, а также увлажнения-ис-

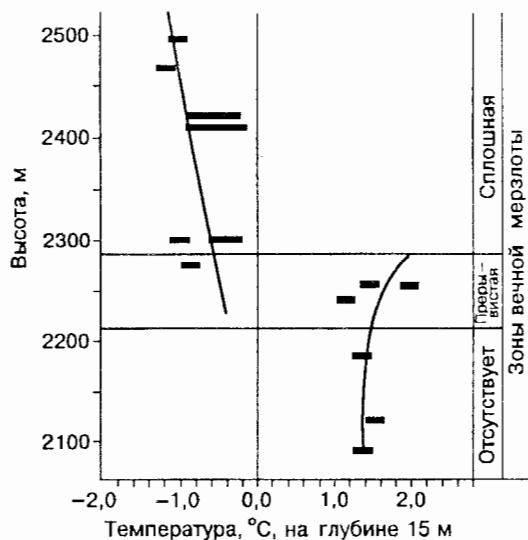


Рис. 4. Изменение температуры пород на глубине 15 м в зависимости от высоты, плато Маунтин.

сушения на аппаратуре C.N.R.S. в Каннах и в университетах Льежа и Калгари.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

## Характеристики многолетнемерзлых пород

Многолетнемерзлые породы в альпийской зоне развиты повсеместно на некоторой глубине. Зимой снег сдувается с вершины и накапливается в прилегающих цирках восточного и южного склонов горы, таким образом отсутствует теплоизолирующее влияние снежного покрова. Средняя мощность снежного покрова составляет 12 см, в отличие от 95 см в лесу. Там, где средняя высота снежного покрова более 50 см, многолетнемерзлые породы отсутствуют (рис. 4, 5). Мощность сезонноталого слоя изменяется от 5 до 15 м (рис. 6) и определяется современным климатом.

В 150-метровой скв. отмечаются три холодных пика температуры на глубинах 9 м, 60 м и 130 м (рис. 7). Однако это не является результатом влияния климатических изменений за последние 120 лет, которые были отмечены на северном склоне хребта Брукса на Аляске [см. Gold, Marshall, 1969; Gold, Lachenbruch, 1973]. Холодные экстремумы на глубине 60 и 130 м возможно являются реликтом похолодания последнего Висконсинского оледенения, так как

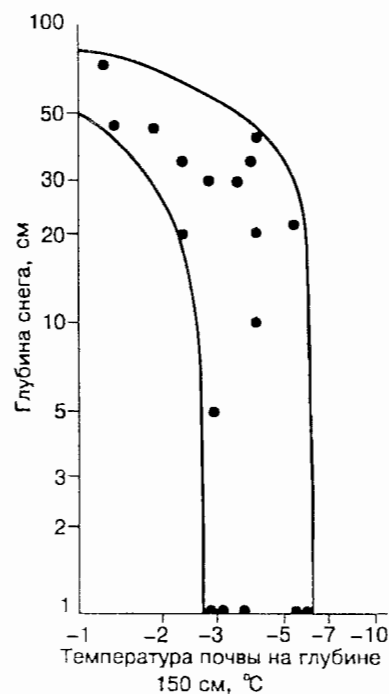


Рис. 5. Зимняя температура почвы на глубине 150 см в зависимости от средnezимней мощности снежного покрова, альпийская зона, Плато Маунтин (с использованием материалов [Harris, Brown, 1978]).

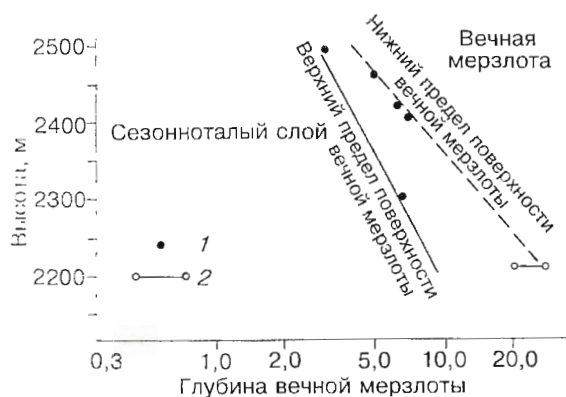


Рис. 6. Зависимость мощности снежного покрова от высоты, Плато Маунтин.

1 — температура грунта, 2 — ледяная пещера.

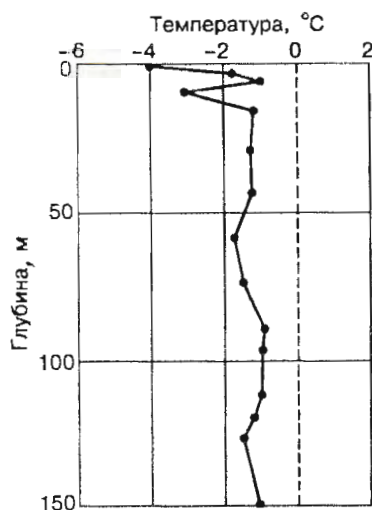


Рис. 7. Температура пород в скважине глубиной 150 м (ПМ № 2А) на Плато Маунтин в 1979 г. [Harris, 1990].

только оледенение позднего Висконсина достигало на западном склоне горы высоты около 2130 м. На восточном и южном склонах существовал только небольшой каровый ледник.

На рис. 8 показана температура пород, измеренная на Плато Маунтин № 2 с помощью термисторов в период с 1976 по 1989 гг. ([Harris, 1990] рис. 2). Температура воздуха и пород на глубине от 0,75 до 6 м оставалась постоянной с незначительными колебаниями, обусловленными поступлением солнечного тепла к поверхности. Вместе с тем температура пород на глубине 9 м понижалась с 1977 до 1982 гг., а затем стала постоянной. Так как в других скважинах геотермальных изменений не наблюдалось сни-

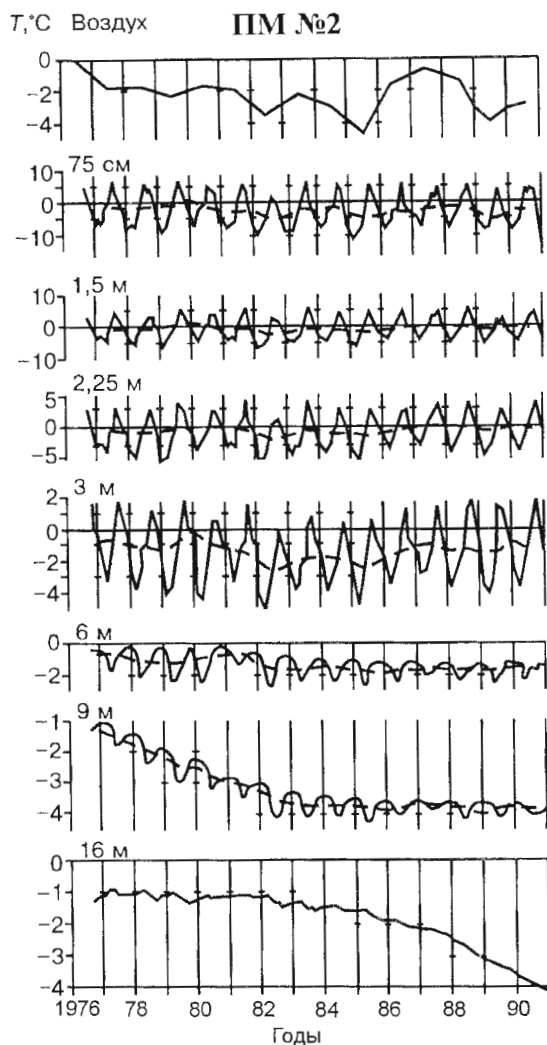


Рис. 8. Температура пород на различных глубинах на Плато Маунтин № 2 рядом с ПМ № 2А за период с 1976 по 1989 гг. и среднегодовая температура воздуха.

Для сглаживания кривых использовались скользящие средние за шесть месяцев.

жение температуры на глубине 9 м можно связать с движением воды в породе, которое изменило тепловой баланс. В 1984 термистор на глубине 16 м показал начало подобного снижения температуры, возможно, по той же причине.

На рис. 9 показаны огибающие температурных кривых для Плато Маунтин №1. Замечено, что температура пород фактически уменьшается с глубиной. Это свидетельствует о том, что многолетнемерзлые породы еще находятся в процессе адаптации к более теплomu современному климату.

### Ледяная пещера Плато Маунтин

Одна из интересных особенностей плато — ледяная пещера, расположенная на северо-восточном склоне горы на высоте 2225 м (см. рис. 2). Многолетний лед распространен в самых глубоких частях пещеры (рис. 10). Он представлен большими древовидными и гексагональными пластинчатыми кристаллами до 25 см в диаметре [Wigley, Brown, 1971]. Такие кристаллы могут формироваться только при температуре, близкой к 0 °С [La Chapelle, 1969]. Многократные измерения температуры в пещере показали, что она в значительной степени остается постоянной и никогда не опускается ниже  $-0,25$  °С. Движение воздуха в пещере отсутствует и граница многолетнего льда медленно отступает вниз вследствие повышения температуры пород. Таянию льда способствуют нисходящие грунтовые воды, образующиеся при вытаивании льда в трещинах известняков, слагающих стены пещеры. Глубина, на которой встречается многолетний лед, соответствует, в основном, зависимости глубины сезонноталого слоя от высоты местности, которая была установлена при измерении температуры в других скважинах в пределах горы (см. рис. 6). Температура льда также соответствует этой зависимости (см. рис. 4). Наиболее значительное отступление границы льда отмечалось в летние сезоны с сильными ливнями. Отопляющее воздействие подземных вод, несомненно, главный фактор таяния льда на верхней границе мерзлоты.

### Структурные грунты

Реликтовые сортированные структурные грунты широко распространены на пологих склонах вершины горы. Встречаются переходы от сортированных каменных колец через сортиро-

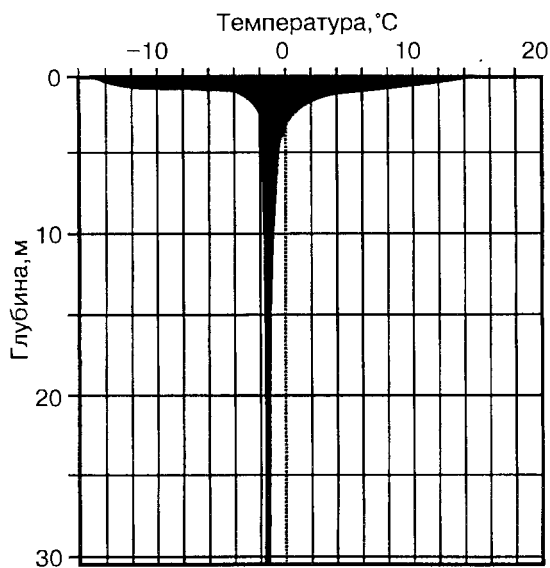


Рис. 9. Огибающие температурных кривых для ПМ № 1 на высоте 2519 м.

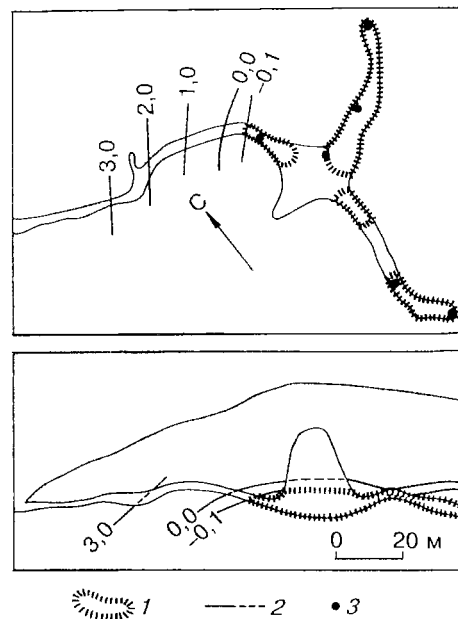


Рис. 10. Местонахождение многолетнего льда в ледяной пещере Плато Маунтин [Harris, 1979].

1 — кристаллы, 2 —  $T$ , °С, 8 октября 1976 г., 3 — термопары.

ванные полигоны к сортированным полосам [Woods, 1977]. Эти формы образованы смесью обломков, песка и пыли (рис. 11), которые представляют собой либо отложения на древней эрозионной поверхности вершины горы, либо выветрелые кремнистые известняки. Эти отложения существенно отличаются по гранулометрическому составу от эоловых лессов, а их мощность на Плато Маунтин № 2А составляет до 40 м.

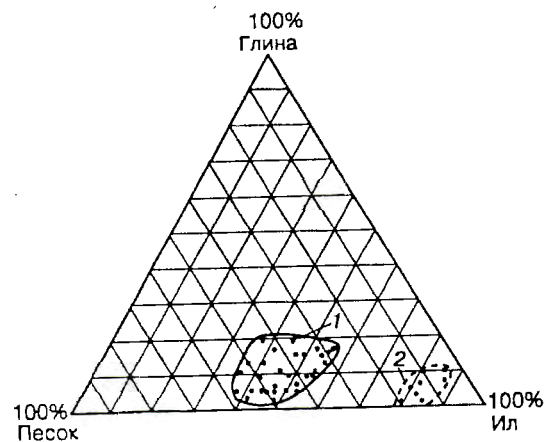


Рис. 11. Распределение размера частиц заполнителя по фракциям в сортированных структурных грунтах Плато Маунтин в сравнении с эоловыми лессами из Кипресс Хиллз [Catto, 1981].

1 — фракция < 2 мм. 2 — лесс из Кипресс Хиллз.

Поверхность камней и глыб в границах сортированных форм имеет характерный покров из лишайников, который отсутствует на их нижней стороне. Отсюда следует, что сортировка имела место много лет назад и сейчас прекратилась. Необычайное разнообразие лишайников на известковом субстрате подтверждает эту идею [Bryant, Scheinberg, 1970]. Местами на вершине горы на каменных кольцах встречаются понижения глубиной до 70 см, которые, видимо, сформировались в результате значительной просадки поверхности вследствие вытаивания жильных льдов. Так как жильные льды и структурные грунты сейчас не формируются на нарушенных поверхностях, эти образования, видимо, возникли во время предыдущего оледенения.

### Растительность

Растительность Северной Америки интересна многими особенностями, которые связаны с ее миграцией [Weber, 1965], но природа и направление этих миграций дискуссионны. Перемещалась ли третичная флора на север, формируя растительность панамериканской тундры [Tolmachev, 1959; Hulten, 1962], или флора арктической тундры двигалась к югу в холодные периоды и оказывалась нетипичной для горных вершин, когда климат потеплел [Hooker, Gray, 1880; Darwin, 1883; Wallace, 1900]?

На Плато Маунтин было собрано, по крайней мере, 488 видов сосудистых растений, из которых 212 (43%) встречаются в альпийской зоне. Они проявляют исключительное разнообразие географического распространения. Некоторые виды, такие как *Poa pattersonii* и *Epilobium clavatum* типичны для гор юго-западных районов

США. По крайней мере, 10 из них являются панарктическими (например, *Campanula uniflora*), берингийскими (например, *Myosotis alpestris ssp. asiatica*), или амфиатлантическими (например, *Pedicularis flammea*). Они исчезают к югу от Плато Маунтин, что подтверждает правоту Хукера и Грея, Дарвина и Валаса. Другие виды найдены только в пределах хребта Скалистых гор между Джаспером и Ватертон Парком (см. рис. 1), они указывают на местную специфику (например, *Haplopappus lyallii*). Однако другие, такие как *Erigeron aureus*, найдены также в альпийской зоне на вершинах гор в южной части Британской Колумбии.

Плато Маунтин лежит в переходной зоне между бореальными лесами к северу и горными лесами к югу. Однако, чтобы создать условия, при которых альпийские растения могли мигрировать через пустыни и леса из Калифорнии или к югу из Арктики, должно было произойти похолодание, при котором местная растительность вытеснялась тундровой, а ледник при этом не являлся препятствием для миграции растений. Это, скорее всего, имело место в раннем и среднем Висконсине [Harris, 1994]. Это также могло обеспечить возможность этим видам развиваться локально и относительно недавно продвигнуться в этот район вдоль Скалистых гор.

### Тепловые потоки в реликтовую мерзлоту

В таблице приводится результирующий нисходящий тепловой поток, базирующийся на измеренном понижении температуры в некоторых горизонтах Плато Маунтин № 1 через 18 мес. после бурения. Нисходящий тепловой поток уменьшается с глубиной. При сравнении зна-

Нисходящий тепловой поток в первых пяти скважинах в мерзлых породах альпийской зоны на вершине Плато Маунтин через 1,5 года после бурения, на основании измерения теплопроводности и температуры пород (по материалам [Harris, Brown, 1978])

Участок	Глубина горизонта, м	Понижение температуры с глубиной*, °C	Теплопроводность, $\lambda_w/mK$	Тепловой поток через слой, $q_w/m^2$	Абс. высота, м
1	4,6—6,1	0,04	5,18	0,136	2519
	6,1—7,6	0,04	5,18	0,136	
	7,6—12,2	0,08	5,18	0,093	
	12,2—15,2	0,04	5,18	0,065	
	15,2—18,3	0,04	5,18	0,063	
	18,3—30,5	0,12	5,18	0,053	
2	12,1—15,2	0,05	5,18**	0,085	2484
3	12,2—15,2	0,03	5,18**	0,051	2438
4	12,2—15,2	0,05	4,92	0,081	2426
5	12,2—15,2	0,05	6,10	0,120	2319

\* Разность значений температуры пород, измеренной одновременно на верхней и нижней границах интервала (среднее значение из месячных наблюдений за 1—2 года).

\*\* Величины, полученные для аналогичных пород на участке 1.

<sup>a</sup> Определения выполнены А.С.Джалжем, Отдел физики Земли Департамента энергетики, горного дела и запасов, Оттава, Канада.

<sup>b</sup> Расчет выполнен Л.Е.Гудрихом, Отдел исследований для строительства Национального Научного Совета, Оттава, Канада.

чений теплового потока в породе на одной и той же глубине в 5 скважинах на вершине горы, наблюдается тенденция к их увеличению с уменьшением высоты местности.

Такое распределение тепловых потоков подтверждает идею, что многолетнемерзлые породы являются реликтовыми и до сих пор не находятся в равновесии с современным климатом. Однако температура пород на вершине горы определяется как минимум четырьмя процессами, действующими в различных частях горы. Наиболее очевидным является кондуктивный теплоперенос, и это учтено в вычислениях (см. таблицу). Вместе с тем фильтрация воды вниз в почву (см. рис. 8) и через трещины в породах в ледяной пещере приводит к увеличению таяния верхних горизонтов мерзлоты. Отсюда различие в температуре на глубинах 6 м и 9 м на Плато Маунтин № 2, составившее в 1984 г. 1,9 °С, что почти в 400 раз превышает нормальный тепловой поток, вычисленный в таблице. В пределах каменного моря это явление было отмечено только в одной буровой скважине из пяти, в то время как в коренных породах вода может проникать только по трещинам. Таким образом, это воздействие не может охватывать более 10% участков каменных морей и 3% массива коренных пород, но все же это остается очень важным фактором. Участки его воздействия со временем могут менять местоположение по мере сокращения мощности мерзлоты.

Как только лед вытаскивает из трещин в коренной породе, воздух начинает проникать в них в любое время года [Wigley, Brown, 1971]. Это имеет место там, где коренные породы выходят на поверхность в скалах по периферии Плато и где обычно встречаются участки с воздушными потоками в породах, например, в ледяной пещере каньона Крик [Harris, 1979]. Так как 7 мес. в году средняя температура воздуха ниже

0 °С и 5 мес. выше 0 °С, то происходит охлаждение пород со стороны трещин. Любые подземные воды, проходящие через охлажденную зону, могут замерзать, формируя лед, который играет роль накопителя холода. Таким образом, это будет противодействовать нагреванию, хотя, повторим, это будет иметь место только в 3% массива.

Последний фактор, изменяющий тепловые потоки — это присутствие каменных полей и каменных морей на склонах и частично на вершине горы. В Кулун Жане [Harris, 1996] средняя температура пород под крупнообломочным чехлом может быть на 7 °С ниже, чем на соседних участках без камней. Аналогичные результаты были получены на склонах Плато. Таким образом, современные крупнообломочные чехлы на склонах горы, возможно, снижают скорость прогрева реликтовой мерзлоты основного массива за счет боковых потерь тепла.

На рис. 12 обобщены все известные сведения о тепловых потоках. Можно видеть, что кондуктивный теплообмен обуславливает только часть общего теплового потока. В горах потоки воды и воздуха в массиве 2, а также в поверхностных крупнообломочных чехлах, таких как курумы, могут локально значительно изменять сроки достижения равновесной температуры пород после климатических колебаний. Воздушные потоки в крупнообломочном чехле охлаждают нижележащие породы. Таким образом, прогноз теплового воздействия климатических изменений на температуру пород в горах значительно более сложен, чем принято учитывать в традиционных простых тепловых моделях. Скорость этих изменений, возможно, нелинейна.

## ВЫВОДЫ

В пределах вершины Плато Маунтин распространена реликтовая мерзлота, которая на-

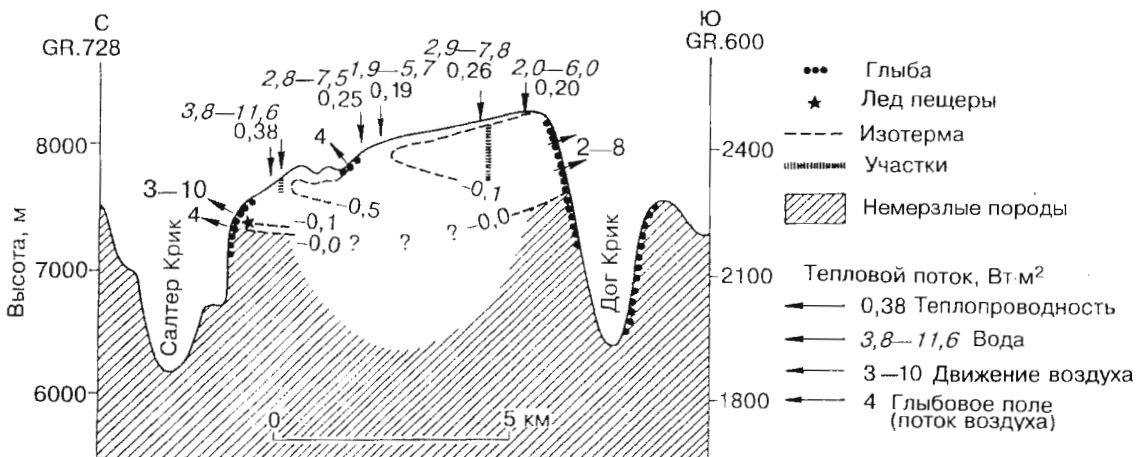


Рис. 12. Обобщение измеренных тепловых потоков, Плато Маунтин.

ходится в неравновесном состоянии по отношению к современному климату. В приповерхностном горизонте температура пород понижается с глубиной и толща прогревается медленно. Тепловой поток в породе — это результат кондуктивного теплообмена потока подземных вод, которому частично препятствует проникновение воздуха через крупнообломочные или трещиноватые коренные породы. Потоки подземных вод и воздуха оказывают большое, но локальное воздействие на температуру пород и это воздействие может изменять местоположение во времени.

Поверхность покрыта структурными грунтами в стадии консервации и термокарстовыми формами, являющимися результатом вытаявания ледяных жил, которые образовались под каменными кольцами при более холодном климате. Альпийская растительность включает отдельные виды из флоры Арктики и западного побережья США южнее Калифорнии, присутствие которых можно объяснить только миграцией альпийской флоры во время прошлых похолоданий. Наблюдается также местная специфика.

Полевые работы финансировались NSERC гранты #A-7483, бурение скважин финансировалось бывшим Отделом исследований для строительства Национального Научного Совета Канады.

### Литература

- Bryant J. P., Scheinberg E. Vegetation and frost activity in an alpine fellfield on the summit of Plateau Mountain, Alberta // *Canadian Journal of Botany*, 1970, vol. 48, p. 751—771.
- Catto N. R. Quaternary geology of the western Cypress Hills region, Alberta and Saskatchewan // Unpublished M.Sc. thesis, Department of Geology, University of Alberta, 1981, 385 p.
- Darwin C. *Origin of the Species*. New York: D. Appleton & Co, 1883, 458 p.
- Douglas R. J. W. Mount Head map area, Alberta // *Geological Survey of Canada, Memoir #291*, 1958, 241 p.
- Gold L. W., Lachenbruch A. H. Thermal conditions in permafrost: a review of Northern American literature. *Proceedings 2nd International Conference on Permafrost // National Academy of Sciences, Washington, D.C.*, 1973, vol. 1, p. 3—25.
- Harris S. A. Ice caves and permafrost zones in southwest Alberta // *Arctic*, 1979, vol. 22, p. 300—311.
- Harris S. A. Long-term air and ground temperature records from the Canadian Cordillera and the probable effects of moisture changes. *Proceedings of the 5th Canadian Permafrost Conference // Nordica*, 1990, vol. 54, p. 151—157.
- Harris S. A. Chronostratigraphy of glaciations and permafrost episodes in the Cordillera of western North America // *Progress in Physical Geography*, 1994, vol. 18, p. 366—395.
- Harris S. A. Lower mean annual ground temperature beneath a block stream in the Kunlun Pass, Qinghai Province, China // *Proceedings, 5th National Chinese Permafrost Conference, Lanzhou*, 1996, p. 227—237.
- Harris S. A., Brown R. J. E. Plateau Mountain: A case study of alpine permafrost in the Canadian Rocky Mountains // *Proceedings, 3rd International Conference on Permafrost // National Research Council of Canada, Ottawa*, 1978, vol. 1, p. 386—391.
- Harris S. A., Brown R. J. E. Permafrost distribution along the Rocky Mountains in Alberta // *Proceedings, 4th Canadian Permafrost Conference // National Research Council of Canada, Ottawa*, 1982, p. 59—67.
- Hooker J. D., Gray A. The vegetation of the Rocky Mountain region and a comparison with that of other parts of the world // *U.S. Geological Survey, Terr.*, 1880, vol. 6, p. 1—62.
- Hulten E. The circumpolar plants. I. Vascular cryptogams, conifers, monocotyledons. *Kgl. Svensk. Vetensk.-Akad. Handl.*, ser. 4, 1962, vol. 8, p. 1—275.
- Lachenbruch A. H., Marshall B. V. Heat flow in the Arctic / Arctic, 1969, vol. 22, p. 300—311.
- La Chapelle E. R. *Field Guide to Snow Crystals*, University of Washington Press, 1969, 101 p.
- Mackay J. R., Rampton V. N., Fyles J. G. Relic Pleistocene Permafrost, western Arctic Canada // *Science*, 1972, vol. 176, p. 1321—1323.
- Norris D. K. Geology and structure cross-sections, Langford Creek (East Half), Alberta // *Geological Survey of Canada, Map 1831A*, 1993a.
- Norris D. K. Geology and structure cross-sections, Langford Creek (West Half), Alberta // *Geological Survey of Canada, Map 1838A*, 1993b.
- Ostrem G. The height of the glaciation limit in southern British Columbia and Alberta // *Geografiska Annaler*, 1966, vol. 48A, p. 126—128.
- Pewe T. L. Ice wedges in Alaska: classification, distribution and climatic significance // *Proceedings of the Permafrost International Conference, National Academy of Science // National Research Council of Canada, Publication #1287*, 1966, p. 76—81.
- Tolmachev A. Sur l'origine de la flore arctique: Quant, ou, et comment surgit la flore arctique? // *9th International Botanical Congress, Toronto*. Toronto University Press, 1959, vol. 2, p. 399.
- Wallace A. R. *Studies, Scientific and Social*. New York: MacMillan, 1900, vol. 1, 526 p.
- Weber W. A. Plant geography in the southern Rocky Mountains // *The Quaternary of the United States*. H. E. Wright, Jr. & D. C. Frey (Eds.) Princeton: Princeton University Press, 1965, p. 453—468.
- Wigley T. M. L., Brown M. C. Geophysical applications of heat and mass transfer in turbulent pipe flow. *Boundary-Layer Meteorology*, 1971, vol. 1, p. 300—320.
- Woods C. B. Distribution and selected characteristics of high altitude patterned ground in the summit area of Plateau Mountain, Alberta // Unpublished M.Sc. thesis, Department of Geography, University of Calgary, Alberta, 1977, 171 p.

Поступила в редакцию  
24 апреля 1997 г.