

# НАУКИ О ЗЕМЛЕ

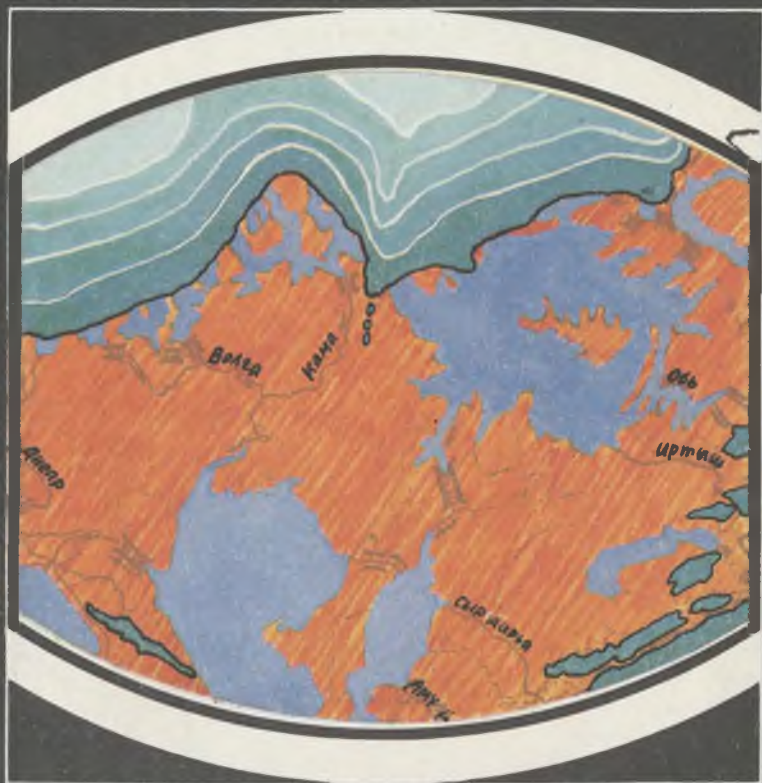
ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1989/10

**М.Г. Гросвальд**

## ПОСЛЕДНЕЕ ВЕЛИКОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ СССР



**ЗНАНИЕ**

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

Подписная научно-популярная серия

# НАУКИ О ЗЕМЛЕ

10/1989

Издается ежемесячно с 1966 г

**М. Г. Гросвальд,**

доктор географических наук

## **ПОСЛЕДНЕЕ ВЕЛИКОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ СССР**

### **СО Д Е Р Ж А Н И Е**

---

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>3</b>
<b>КАК РЕКОНСТРУИРУЮТ ДРЕВНИЕ ОЛЕДЕНЕНИЯ</b>	<b>6</b>
<b>ГРАНИЦЫ ЕВРАЗИЙСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА</b>	<b>10</b>
<b>РЕЛЬЕФ ЩИТОВ РИСУЮТ КОМПЬЮТЕРЫ</b>	<b>36</b>
<b>ОЛЕДЕНЕНИЕ ГОР, ПОДПРУДНЫЕ ОЗЕРА И ВСЕ ДРУГОЕ</b>	<b>41</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>48</b>

---

Издательство «Знание»  
Москва 1989

ББК 26.8  
Г 86

Михаил Григорьевич ГРОСВАЛЬД — доктор географических наук, главный научный сотрудник Института географии АН СССР. Работает в области гляциологии, палеоклиматологии, геоморфологии. Участник экспедиций в горы Южной Сибири и Средней Азии, на Землю Франца-Иосифа, Шпицберген, Таймыр, северо-восток Сибири, в Гренландию, Антарктиду, Канадскую Арктику и другие ледниковые районы. По их итогам опубликовал монографии «Развитие рельефа Саяно-Тувинского нагорья», «Оледенение Земли Франца-Иосифа», «Покровные ледники континентальных шельфов», «Взаимодействие оледенения с океаном: палеогеографические аспекты» и другие, а также много статей. В серии «Науки о Земле» вышла его (совместная с В. М. Котляковым и А. Н. Кренке) брошюра «Климат Земли: прошлое, настоящее, будущее» (12/1985).

Редактор: И в а н е н к о Л. В.

### **Гросвальд М. Г.**

Г 86 Последнее великое оледенение территории СССР.— М.: Знание, 1989.— 48 с.— (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Науки о Земле», № 10).

ISBN 5-07-000392-5

20 к.

Впервые популярно изложены представления о географии ледниковых щитов, горно-ледниковых комплексов и грандиозных озерно-речных систем территории СССР, возникших в эпоху последнего оледенения (около 20 тысяч лет назад). Эта реконструкция, основанная на синтезе геологических данных, на радиоуглеродных датировках и компьютерных моделях, заставляет по-новому взглянуть на эволюцию климата, рельефа и всей природной среды Северной Евразии за последний ледниково-межледниковый цикл.

Брошюра рассчитана на лекторов, слушателей и преподавателей народных университетов, преподавателей вузов, студентов и всех любителей природы.

1805010000

ББК 26.8

ISBN 5-07-000392-5

Издательство «Знание», 1989 г.

## Введение

Сегодня каждый школьник знает, что каких-то 20 тысяч лет назад, т. е. для геолога совсем недавно, полярные и умеренные широты Земли переживали максимум последнего великого оледенения. И что существенное сокращение этого оледенения произошло 14 тысяч лет назад, завершившись только в начале современной эпохи, или голоцена. Северные части Евразийского и Североамериканского материков покрывались огромными ледниковыми щитами, подобными ледяному панцирю современной Антарктиды, толщина их льда достигала 3—4 километров, так что они погребали под собой не только равнины, но и целые горные страны. А за пределами этих щитов, в горах умеренных и субтропических широт, формировались собственные комплексы ледников, похожие на современные ледниковые системы Шпицбергена или юго-восточной Аляски. Это были комбинации из снежно-ледяных шапок плоскогорий и больших долинных ледников — многокилометровых ледяных рек, заполнявших горные долины.

Оледенение сопровождалось сильным падением температур, причем похолодание было особенно глубоким в умеренных и полярных широтах, где оно достигало 10—15°, и значительно менее выраженным в экваториальной зоне. Поэтому температурные контрасты между высокими и низкими широтами возрастали. Соответственно увеличивалась энергия всех атмосферных и океанских процессов, усиливались ветры, включая пассаты, повышалась циклоническая активность атмосферы,

зоны западного переноса смещались ближе к экватору, что сопровождалось усилением испарения. Увеличивались скорости и менялись направления океанских течений, включая Гольфстрим и Куросио, возрастали температурные градиенты на океанологических фронтах.

Земная кора областей, на которые распространялись покровные оледенения, на сотни метров прогибалась под влиянием ледниковой нагрузки. В то же время объемы воды, изымавшейся из Мирового океана при образовании ледниковых покровов, были столь значительны, что океанский уровень снижался в среднем на 130 метров, превращая обширные площади континентальных шельфов в сушу, ликвидируя мелководные моря и проливы и присоединяя к материкам острова и их группы, подобные Британским и Японским.

Вместе с климатом менялась и география ландшафтных зон. К южным краям ледниковых щитов, которые располагались там, где сейчас протягиваются зоны хвойных и широколиственных лесов, примыкала безлесная, глубоко промороженная тундра. В короткие летние сезоны поверхностная мерзлота оттаивала, и здесь появлялись неприхотливые растения: прячущиеся между камнями осоки, полузасыпанные песком злаки, тощие кустарники, мхи и лишайники. Они привлекали стада оленей, мамонтов, других млекопитающих, однако на зиму животные откочевывали на юг, в холодные степи, где находили более щедрые пастбища.

Ледниковые щиты подпружили северные реки, которые либо отворачивали в сторону и текли,

как в Западной Европе, по параллельным ледниковому краю прадолинам, либо давали начало приледниковым озерам. Последние часто приобретали огромные размеры, их уровни повышались, пока не достигали высот самых низких седловин окружающих водоразделов, через которые начинался сток. Эрозия талых вод создавала здесь глубокие «зарубки» — седловинные пропилы, или спиллвеи, а сами талые воды сбрасывались в направлениях, нередко противоположных прежнему течению северных рек.

Упомянутые выше изменения в атмосферной циркуляции были обусловлены среди прочего формированием областей преимущественно высокого давления над холодными ледниковыми щитами. Антициклоны, связанные с североамериканской и евразийской системами таких щитов, блокировали западное воздушное течение, которое доставляет океаническую влагу в умеренные широты Северного полушария, и примерно на 20° отклоняли его траектории к югу. Соответственно возрастала увлажненность южных частей умеренной зоны и особенно субтропиков, в горах Средней Азии и Южной Сибири могли формироваться обширные ледниковые комплексы, в ныне пустынных котловинах Северной Монголии и Тарима появлялись большие озера. Зато в экваториальной зоне количество осадков существенно убывало, так что почти на всей площади дождевых лесов, характерных сегодня для Юго-Восточной Азии, бассейнов Амазонки и Конго, расстиралась сухая саванна с ее колючими кустарниками и перелесками эвкалиптов.

Одним словом, природные из-

менения ледниковых эпох отнюдь не были приурочены лишь к районам покровных оледенений или к соседним с ними зонам, а проявились на всей Земле, были поистине **глобальными**. И это, конечно же, наложило глубочайший отпечаток на развитие биосферы: перемены в условиях обитания вызывали перестройки в видовом составе растительности и животного мира, заставляли мигрировать племена первобытных людей, ускоряли их эволюцию.

### Ледниковые периоды и эпохи

Длительные, продолжительностью в десятки миллионов лет, холодные этапы истории Земли стали называть **ледниковыми периодами**. Текущий ледниковый период, который обычно называют плейстоценовым, или четвертичным, но правильнее именовать позднекайнозойским, начался в Южном полушарии более 30 миллионов лет назад и был в полном разгаре в позднем миоцене и особенно плиоцене. В Северном полушарии крупные ледниковые покровы появились лишь около 2,5 миллиона лет назад. Ясно также, что ни здесь, ни в Южном полушарии это оледенение еще не окончилось, так что оно — незавершенный эпизод в сложной последовательности ледниковых событий на Земле.

Судя по геологическому возрасту древних и древнейших ледниковых отложений — морен и их окаменелых аналогов — тиллитов, ледниковые периоды и целые группы периодов — ледниковые эры — имели место также в раннем протерозое, позднем рифее (венде), позднем ордовике — ран-

нем силуре, в позднем девоне, карбоне и перми. Иными словами, ледниковые периоды неоднократно повторялись на протяжении почти всей известной геологической истории, охватывающей более 2 миллиардов лет. Так что текущее, позднекайнозойское, оледенение — это лишь эпизод в ряду грандиозных климатических событий истории планеты, отмеченных разрастаниями природных льдов. Но именно с этим оледенением связано и становление человека, и современные условия его существования.

На протяжении всех ледниковых периодов климат и ледники не были неизменными. Наоборот, они испытывали чрезвычайно резкие и глубокие колебания, имевшие ритмичный характер. Каждый период состоял из длинной череды интервалов похолоданий и потеплений, разрастаний и убывания оледенения. Первые из таких интервалов получили название **ледниковых эпох**, вторые — **межледниковий**, а их «пары» — **ледниково-межледниковых циклов**.

Судя по морским геологическим данным, только на последние 900 тысяч лет пришлось 9 глобальных похолоданий и оледенений и такое же число межледниковий, так что длительность одного ледниково-межледникового цикла составила в среднем 100 тысяч лет. Причем в каждом таком цикле львиная доля времени падала на его холодную, или ледниковую, часть, а сравнительно теплые межледниковья занимали лишь около 10 процентов этого времени. Я подчеркиваю: **сравнительно** теплые, потому что все межледниковья, подобно современной эпохе, или голоцену, — это части ледникового периода, и на их

протяжении сохранялись условия для существования и ледников в горах, и ледниковых покровов в высоких широтах. Климат межледниковий, будучи существенно более теплым, чем климат ледниковых эпох, все-таки оставался на несколько градусов прохладнее действительно безледных и устойчиво теплых интервалов времени, подобных мезозойской эре. На долю таких теплых интервалов пришлось более 80 процентов от упомянутого периода в 2 миллиарда лет истории Земли.

Итак, мы живем в позднекайнозойский ледниковый период, в его современное межледниковье, начавшееся около 10 тысяч лет назад. А ему предшествовало последнее оледенение, или позднеплейстоценовая ледниковая эпоха, начавшаяся, как сейчас считают, 115 тысяч лет назад. В разных регионах эту эпоху именуют по-разному: в Альпах — вюрмской, на севере Западной Европы — вислинской, в европейской части СССР — валдайской, в Сибири — зырянской, в Северной Америке — висконсинской. Но как бы она ни называлась, мы знаем: за всеми этими терминами стоит одно и то же глобальное похолодание, начавшееся свыше 100 000 лет назад, достигавшее максимума 18—20 тысяч лет назад и окончившееся около 10 тысяч лет назад. Его следы сохранились много лучше более древних. Поэтому мы и сосредоточим свое внимание на них — они помогут нам составить наиболее ясное и достоверное представление о географии древних ледников и пресноводных бассейнов, о других изменениях природы Земли в ледниковые эпохи вообще.

## Как реконструируют древние оледенения

Наверное, все знают, что главный метод восстановления размеров и формы древних оледенений состоит в сборе геологической информации. Геологи начали с выяснения, какие отложения и формы рельефа создаются современными ледниками, а затем на огромном числе примеров показали, что изучение и картирование подобных образований на ныне безледных равнинах и горах могут дать хорошее представление о древних оледенениях этих территорий. В процессе геологических съемок они обращают особое внимание на скопления несортированных суглинков и песков (морен), которые включают штрихованные валуны и слагают специфичные формы рельефа — гряды, холмы, системы беспорядочно разбросанных озерных впадин. На их основании восстанавливают положение краевых зон древних оледенений, этапность их убывания, выявляют и другие формы рельефа, образующие закономерно «организованные» комплексы, связанные с ледниковыми. Обычно в такие комплексы входят образования, возникшие в процессе перемыва и переотложения моренного материала талыми ледниковыми водами. В тылу морен, маркирующих положения ледникового края, это песчано-галечниковые холмы и гряды, созданные при заполнении трещин и пустот на этапах деградации льда, — озы, камы, камовые террасы. Перед фронтом конечных морен — свой набор форм: широкие плоские конусы, сложенные грубо переметыми галечниками и песками, а также озерные террасы, со-

стоящие из мощных толщ так называемых ленточных глин.

Столь же важным признаком древних оледенений служат следы ледниковой эрозии. На равнинах и в горах геологи фиксируют ледниково-эрозионные (экзарационные) формы — сглаженные и изборозжденные выходы твердых пород (бараньи лбы, «курчавые» скалы), ложбины выпахивания на равнинах, желоба-троги на континентальных шельфах, троговые долины и кары в горных странах. Ориентировки бараньих лбов и особенно ледниковых борозд и штрихов позволяют выяснить направления движения древнего льда; вместе с данными о конусах рассеивания так называемых эрратических, т. е. «блуждающих», валунов они часто играют решающую роль в установлении позиций ледниковых центров, линий тока древнего льда.

В тех районах, где ледниковые щиты налегали не на скальные, а на легко деформируемые, «мягкие» осадочные породы, их следы чаще всего представлены **гляцио-тектоническими** образованиями — поверхностными складками, взбросами и надвигами, выраженными в рельефе в виде дуговых гряд, выпуклые стороны которых всегда обращены в направлении движения льда. Такие гряды называют напорными, или дислокационными, моренами, их тела, как правило, состоят не из валунных суглинков, а из доледниковых — меловых, палеогеновых, неогеновых — пород, что часто вводит исследователей в заблуждение: история науки полна примеров, когда гляциотектонические структуры принимались за следствия горообразовательных и других глубинных процессов. Новей-

шие исследования показали, что такие структуры почти всегда возникали там, где температуры придонного льда были близки к точке замерзания и он был частично приморожен к ложу.

Есть и более косвенные пути выяснения географии древних оледенений. Один из них сводится к поиску следов перестроек гидрографической сети, которые можно было бы объяснить — конечно же, после тщательной проверки! — ледниковым подпруживанием рек. Последнее обычно устанавливают по остаткам озерных бассейнов и следам стока из них, по признакам «ледниковых» трансгрессий внутриконтинентальных озер-морей, подобных Каспийскому, параллельным ледниковому краю прадоллинам или ныне сухим ущельям, секущим современные водораздельные седловины. Особая ценность палеогидрологических данных — в возможности прямого датирования озерных и речных террас, их сопоставления с ледниковыми формами и создания на этой основе особой, независимой системы доказательств оледенения.

Другой косвенный метод состоит в исследовании следов гляциоизостатических движений земной коры — ее погружений и поднятий, причинно связанных с появлением и исчезновением ледниковой нагрузки. В районах, где мощности ледниковых щитов измерялись первыми километрами, размах вертикальных движений достигал 900—1000 метров, а их скорости временами доходили до десятка метров в 100 лет, т. е. минимум на порядок превышали известные скорости тектонических процессов. На побережьях Гудзона и Ботнического заливов, с ко-

торыми совпадали центральные части больших ледниковых щитов, сравнительно молодые береговые линии подняты на высоту 280—285 метров, причем их возраст — около 8 тысяч лет — позволяет предполагать, что они сформировались уже после того, как большая часть поднятия успела завершиться.

Лучший способ изучения гляциоизостатических движений — измерение высот и возраста морских береговых линий. Быстро развиваются также дистанционные исследования: приборы-гравиметры, установленные на самолетах и космических аппаратах, определяют значения силы тяжести и выявляют поля ее отрицательных аномалий. Последние же — характернейший признак областей, испытывавших недавний изостатический прогиб и еще не успевших восстановить прежнее равновесие.

Все эти методы применяются совместно — так, чтобы они дополняли и проверяли друг друга. И обязательно — на больших площадях, соизмеримых с масштабами древних ледниковых покровов, в комплексе с палеоклиматическим и гляциологическим анализом.

Палеоклиматические исследования позволяют составить представление об условиях зарождения и существования ледников прошлого, а именно о температурах воздуха и океана, о количествах атмосферных осадков в интересных для нас регионах на тех или иных этапах ледниковой истории. Для получения таких данных палеоклиматологи разработали целую систему методов, начиная с палеоботанических и древнемерзлотных и кончая изотопно-геохимическими. Важнейший —



во всяком случае, для нас — итог их работы состоит в определении прошлого положения **снеговой линии**, или уровня на земной поверхности, выше которого накопление снега преобладало над его таянием и испарением. Иными словами, палеоклиматологи, базируясь на собственных данных, могут указать области, где с их точки зрения **могло** развиваться оледенение, и тем самым подсказать геологам районы перспективных поисков и проверить правдоподобность уже сделанных реконструкций.

Что же касается гляциологического анализа собранных геологами фактов, то без него о грамотной реконструкции древних оледенений не приходится и говорить. В самом деле, мыслимо ли восстановить сложное природное образование, не представляя себе, как оно функционировало! Поэтому приступать к реконструкциям оледенения можно лишь после того, как получишь необходимые знания о законах, которым подчиняются ледники и ледниковые покровы. Геолог должен знать, как их плановые размеры соотносятся с толщиной, а морфологический тип с типом движения, как их форма и движение связаны с рельефом ледникового ложа и физическими условиями на нем. Он не может грамотно разобраться в палеогеографии ледниковых эпох без знания факторов, определяющих стационарный, или «равновесный», режим ледниковых систем — режим, обеспечивающий их относительную неизменность, без понимания всего спектра типов поверхностных отложений и форм рельефа, которые рождаются от взаимодействия ледников с литосферой. И конечно же,

необходимо быть в курсе теорий, объясняющих зависимость размеров, формы и динамики ледниковых образований от характера их связей с атмосферой и океаном. Одним словом, надо быть во всеоружии достижений гляциологии, накопленных за десятилетия исследований современного оледенения, в особенности ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии. Но мы часто не по-хозяйски распоряжаемся этим опытом.

Поясню это несколькими примерами.

Первый пример — самый простой. Гляциологи, да и не только они, знают, что на равнинном ложе ледниковые массы растекаются во все стороны от центра, образуя округлые в плане, выпуклые щиты. В неизбежности этого легко убедиться, поэкспериментировав с тестом, варом или другими вязкими жидкостями. И только в горных трогах, имеющих высокие борты и ясно выраженные продольные уклоны, формируются долинные ледники — ледяные реки, способные к объединению в сложные сетчатые системы. Тем не менее при объяснении разноречивых геологов фактов сплошь и рядом рисуют узкие лопасти долинных ледников, якобы двигавшиеся по равнинам. Хорошо помню подобную реконструкцию, сделанную для Западной Сибири.

Или другой пример, тесно связанный с первым. Общеизвестно, что вершины ныне существующих ледниковых щитов располагаются вблизи их центров — конечно, если рельеф льда не испытывает влияния подледных гор. Взгляните на карты Восточной Антарктиды и Гренландии, на ледниковые шапки Земли Франца-Иосифа и Северо-Восточной Зем-

ли, и вы убедитесь, что это так. Тот же вывод сделан и после численного моделирования ледниковых покровов на ЭВМ: у стационарных ледниковых щитов, форма которых не искажена неровностями ложа, различия в длинах поверхностных линий тока не могут быть большими (правило Хьюза). Но отсюда следует, что если нам известна одна древняя линия тока — по траекториям переноса валунов, ледниковым шрамам на скалах или прочим следам движения, — то мы можем знать приблизительные длины всех других. Если известная нам линия тока тянулась, скажем, от центра Карского моря в бассейн Средней Печоры, то мы должны ожидать, что другие линии тока того же ледникового щита переваливали с моря через горы Бырранга на Таймыре и достигали края шельфа на севере. С гляциологической точки зрения это неизбежно, но геологи об этом часто даже не думают!

Первый пример имеет и другие следствия. Если ледниковые щиты имеют выпуклую форму, большие — до 3—4 километров — высоты и их лед растекается от центров к периферии в соответствии с уклонами собственной поверхности, то ведь надо считаться с очевидностью и обратного: когда мы видим следы движения древнего льда вверх по склонам, например из акваторий современных полярных морей на юг, на приморскую сушу Северной Евразии, следует понимать, что этот лед мог представлять собой лишь краевую часть большого ледникового покрова, ледораздел которого лежал много севернее, на шельфе. И вообще, если доказано движение льда с моря на су-

шу, то это может значить только одно — соответствующий шельф был до самых бровок занят ледниковым покровом. У этого постулата есть строгое математическое доказательство (закон Вермана), но и без него ясно: расход на откалывание айсбергов от ледникового края, выдвинувшегося в море на глубины в несколько сотен метров, может быть столь большим, что его не компенсирует никакое снегонакопление. Поэтому «морские», т. е. налегающие на шельфы, ледниковые щиты могут быть стационарны лишь при условии, что движение их льда в сторону моря заторможено другими — также ледниковыми — массами. И если лед все же надвигался с моря на сушу, то это могло произойти только после того, как он исчерпал все возможности растекания по поверхности шельфа. Между тем и сегодня публикуются карты, на которых показаны древние ледники, наступавшие с моря на сушу, тогда как это море «оставлено» частично или даже полностью свободным от оледенения. Их авторы не понимают, что такая ситуация противоречит физическим законам, что она столь же немыслима, как реки, текущие в гору.

Теперь вернемся к взаимодействиям ледниковых покровов с поверхностью литосферы и представим себе следствия их прямых и обратных связей. Выше уже говорилось, что под воздействием ледников, частично примороженных к «мягкому» ложу, в последнем формируются складки, надвиги, взбросы, от них отчленяются крупные пластины-отторженцы. Наблюдения на севере Польши и ГДР, в Нидерландах и Дании показали, что гляциотектоническая

переработка поверхностных отложений имеет практически повсеместный, массовый характер. Столь же сильно дислоцированы ледниками поверхностный чехол Белоруссии и Прибалтики, появляются данные о гигантских гляциодислокациях в Западной Сибири. Если представить себе пакки слоев поверхностных отложений названных областей в виде карточных колод, то они оказываются основательно перетасованы, перемешаны. Поэтому можно ли ожидать, чтобы первичная последовательность осадочных слоев здесь сохранялась, оставляя возможность для применения привычных методов стратиграфии и геохронологии? И тем не менее они подчас применяются. А гляциодислокации, как мы уже говорили, принимаются за следы горизонтальных тектонических процессов.

Что касается обратного воздействия процессов у ложа на ледниковые щиты, то оно прежде всего сказывалось на их высоте и форме профилей. Гляциологи давно установили, что высота (толщина) таких щитов ( $H$ ) и углы падения их склонов ( $\alpha$ ) сильно варьируют в зависимости от значений предельного сопротивления сдвигу у ложа ( $\tau_b$ ) и их связь описывается простым выражением  $\sin \alpha = \tau_b / \rho_g H$  (уравнение Орована), где  $\rho$  — плотность льда, а  $g$  — ускорение силы тяжести.

Это уравнение объясняет, почему плавающие шельфовые ледники, у которых  $\tau_b = 0$ , имеют форму гигантских плоских плит, а примороженные к скальному ложу ледниковые массы с их максимально высокими значениями  $\tau_b$ , близкими к одному бару, или 100 килопаскалей приобретают форму в наибольшей степени вы-

пуклых щитов. Ледниковые щиты, налегавшие на ложе, высланное глинисто-супесчаными отложениями, занимали в этом ряду промежуточное положение как по величинам  $\tau_b$ , так и по своим высотам и крутизне склонов. Именно поэтому Гренландский ледниковый щит, покоящийся на каменном ложе, оказывается на целый километр выше древнего Восточносибирского щита (о котором речь пойдет ниже), имевшего ту же площадь, но «мягкое» легко деформируемое ложе. Естественно, что подобные данные можно получить только гляциологическими и никакими иными методами.

## Границы Евразийского ледникового покрова

Ледниковой теории 150 лет. За полтора века, прошедшие с первых трактатов ученых-гляциалистов, эта теория далеко ушла от представлений своих основателей, она бесконечно расширила свою фактическую базу, приобрела арсенал собственных методов, обогатилась новыми обобщениями, освободилась от заблуждений. Ее прогрессу способствовал труд десятков выдающихся исследователей из многих стран, среди которых почетное место принадлежит нашим соотечественникам Г. Е. Щуровскому, Ф. Б. Шмидту, П. А. Кропоткину, А. П. Павлову, большому отряду более молодых геоморфологов и геологов. Освещение истории ледниковой теории в нашу задачу не входит, а тем, кто ею интересуется, могу рекомендовать книгу Дж. Имбри и К. П. Имбри «Тайны ледниковых эпох». Для наших же целей важно

подчеркнуть главное: заметные успехи русской науки в познании оледенений территории страны ясно обозначились уже в 50—70-е годы XIX века, т. е. одновременно со становлением ледниковой теории на Западе.

Последующие десятилетия были отмечены развертыванием картирования следов оледенения на северных равнинах России и в ее горном обрамлении. А в 30-х годах появились первые крупные сводные работы и среди них — «Геология Сибири» В. А. Обручева и «Ледниковый период на территории СССР» И. П. Герасимова и К. К. Маркова. На основе последней был создан учебник для университетов и пединститутов «Четвертичная геология» (1939). Идеи книг Герасимова и Маркова оказали влияние на несколько поколений советских палеогеографов, не утратили они своей роли и сегодня.

Суть этих идей можно свести к следующим положениям. Последнее оледенение Европы, да и всей Евразии было представлено одним большим ледниковым щитом — Скандинавским. Его юго-восточная окраина покрывала Прибалтику, Карелию и Кольский полуостров, так что интенсивное покровное оледенение испытал только северо-запад европейской части СССР. Следы этого оледенения — системы параллельных конечно-моренных поясов, маркирующих его максимальную стадию и несколько стадий убывания, — имеют ясно выраженное северо-восточное простирание и оканчиваются на берегу моря у устья Мезени и полуострова Канин. Существование небольших ледниковых покровов допускалось также на Северном и Полярном

Урале, на плато Путорана и в горах Бырранга на Таймыре. Признавалось и оледенение горных областей — Кавказа, Памира, Тянь-Шаня, Алтая, Саян, гор Забайкалья и Северо-Востока СССР, но оно считалось горнодолинным, т. е. частичным, а не сплошным. Развивая идеи некоторых предшественников, К. К. Марков выдвинул гипотезу метакронности оледенений Европы и Сибири, предполагавшую их неодновременность, даже контрафазность.

И. П. Герасимов и К. К. Марков, считали, что ни северо-восток Русской равнины, ни север Западной Сибири и Якутии в позднем плейстоцене оледенению не подвергались. А раз так — все крупные северные реки могли свободно стекать в Северный Ледовитый океан, льды их не подпруживали, приледниковых озер не создавали. О них и писать-то было нечего: в трех томах «Четвертичного периода» у Маркова с соавторами проблеме этих озер уделена лишь одна страница. Да и там речь идет о Балтийском ледниковом озере, детище Скандинавского щита.

И 50 лет назад и значительно позже почти никто из специалистов не сомневался, что древние ледниковые покровы тяготели только к суше. Судя по палеогеографическим картам того времени, они неизменно оканчивались на границе с океанами, а на полярных архипелагах — Земле Франца-Иосифа, Новой Земле, Северной Земле — были изолированными ледниковые шапки. Их ледоразделы приходились на центры островов, а края лишь незначительно выдвигались на окружающий шельф. Основные же пространства и этого шельфа, и глубоководного Арктического бассейна несли только пленку

дрейфующих паковых льдов.

Именно так думали Герасимов и Марков, и в этом нет ничего удивительного: их взгляды наилучшим образом объясняли известные в то время факты, наиболее полно соответствовали тогдашнему уровню ледниковой теории. Удивительно другое — что и сейчас, 50 лет спустя, их концепция безраздельно поддерживается очень многими. Хотя проведенные с тех пор исследования — геологические съемки, экспедиции Академии наук и университетов — доставили огромный объем совершенно новых знаний.

Так, изучение Антарктиды показало, что ее ледниковый покров налегает не только на поднятую выше уровня моря сушу, но и на обширные площади шельфов, погруженные много ниже этого уровня, и что большие участки периферии покрова, имеющие толщины в сотни метров, сейчас находятся на плаву. А исследование шельфов Арктики позволило доказать, что краевые мелководные моря Северной Евразии в прошлом подвергались оледенениям антарктического типа, из которых последнее имело место в позднем плейстоцене, в валдайскую эпоху похолодания. Кроме того, теперь стало ясно, что и древнейшие оледенения Земли, пермо-карбоновое и докембрийские, охватывали не только сушу древних материков, но и сопредельные шельфы и глубокие моря. Так, что сложные ледниковые покровы, подобные Антарктическому, были не исключением из правила, а типичным феноменом всех холодных эпох последних полутора-двух миллиардов лет истории Земли.

Эти положения — фундаментальный вклад в ледниковую те-

орию, их принципиальное значение трудно переоценить. Однако чтобы составить представление о масштабах оледенения некоторой конкретной территории, необходимо и другое — совершенно конкретные данные о распространении ледниковых отложений и форм рельефа на равнинах и в горах, об их возрасте, следах ледниково-подпрудных озер и перестроенной речной сети, индикаторах движения древнего льда, размахе снижения древней снеговой границы и многое другое. В нашем случае, для Северной Евразии, надо было прежде всего знать географию границ последнего оледенения. Материалов на сей счет накоплено очень много, их собирали сотни исследователей. Однако они в основной своей массе остаются рассеяны по бесчисленным статьям, картам, объяснительным запискам, рукописным отчетам, многие из которых до недавнего времени носили гриф секретности. Все это надо было собрать, сопоставить, обсудить с авторами, очистить от домыслов, синтезировать в единую картину, лишенную внутренних противоречий. Надо ли говорить, что на это ушел не один десяток лет...

### **Полярные ледниковые покровы. Евразия к западу от дельты Лены**

Теория покровного оледенения Северной Евразии, представляющая собой альтернативу концепции Герасимова и Маркова, выросла из доказательств древнего оледенения Баренцева шельфа. Самые первые из этих доказательств были получены в районе Шпицбергена, или Свальбарда,

т. е. на крайнем северо-западе Баренцева моря. Они включали данные наблюдений за ледниковыми шрамами на скалах, разнообразием эрратических валунов, рельефом морского дна и составом донных отложений. Ледниковые шрамы здесь оказались направленными с востока на запад и с юго-востока на северо-запад, из внутренних частей моря в шпицбергенские проливы Хинлупен и Фримен, о чем знал еще Г. Де Геер, а на морском дне еще со времен А.-Э. Норденшельда и Ф. Нансена стали известны формы ледниковой экзарации и аккумуляции. В наше время советские морские геологи М. В. Кленова, В. Д. Дибнер, Б. Н. Котенев, Г. Г. Матишов нанесли на карту обширные поля ледниковых отложений и протяженные подводные моренные гряды.

Логичным дополнением этих доказательств явились следы молодых гляциоизостатических движений шельфа, представленные морскими береговыми линиями и террасами, поднятыми над современным уровнем моря. Высоты и абсолютный возраст этих форм, определенный путем радиоуглеродного датирования древесины-плавника, раковин и костей китов, собранных с их поверхности, также показали, что припицбергенская область морского дна испытывает сильное послеледниковое воздымание, центр которого не совпадает с районом архипелага, а лежит где-то юго-восточнее.

И все-таки эти доводы многим казались неубедительными, а идея валдайского ледникового покрова на месте Баренцева моря — сомнительной. Только в последние годы произошел перелом и концепция

оледенения этого моря встала в ряд признанных научных теорий. Ее успех был обеспечен осуществлением двух крупных проектов — шведской полярной экспедиции «Юмер-80» и программы норвежских геологических исследований морского дна.

В программу экспедиции на ледоколе «Юмер» входили, помимо прочего, вопросы ледниковой истории Шпицбергена и окружающего шельфа, в ней приняли участие известные скандинавские ученые Г. Хоппе, В. Карлен, О. Сальвигсен и другие. Они исследовали состав и распространение ледниковых и ледниково-морских отложений морского дна, ледниковый рельеф и вертикальные движения ряда островов, уделив особое внимание слабоизученным частям архипелага — Земле Короля Карла, острову Большому, Северо-Восточной Земле. Эти работы, особенно определение размаха и скорости послеледникового поднятия Земли Короля Карла, где обнаружена терраса высотой 100 метров с возрастом около 10 тысяч лет, дополнили карту гляциоизостатических движений шельфа и подтвердили вывод о несовпадении центра его куполовидного поднятия с районом Шпицбергена.

Еще более важную роль сыграла геологическая съемка западной половины Баренцева шельфа, проведенная силами норвежских геологов в масштабе 1:500 000. В ее ходе осуществлена программа эхолотирования дна, его сейсмостратиграфического профилирования, изучения донных грунтов, составления специальных карт. На всей исследованной площади шельфа, включая днища его подводных желобов-трогов, под плащем го-

лоценовых илов и ледниково-морских осадков, сформировавшихся в период распада ледникового щита, норвежцы обнаружили переплотненные щебнистые суглинки и глины, в которых они распознали нормальную «основную» морену или водно-ледниковую толщу, переработанную действием ледниковой нагрузки. Свидетельства на этот счет мы находим в многочисленных публикациях А. Сольхейма, Т. Воррена, И. Кристофферсена, А. Эльверхоя и других, причем последний, имеющий опыт работ в Антарктике, нашел в донной морене Баренцева моря много общего с ледниковыми отложениями, выстилающими дно моря Уэдделла. Пыльца и другие остатки четвертичных растений в этой морене отсутствуют, зато полностью доминирует детрит мезозойской древесины, выпавшей из древних пород коренного ложа.

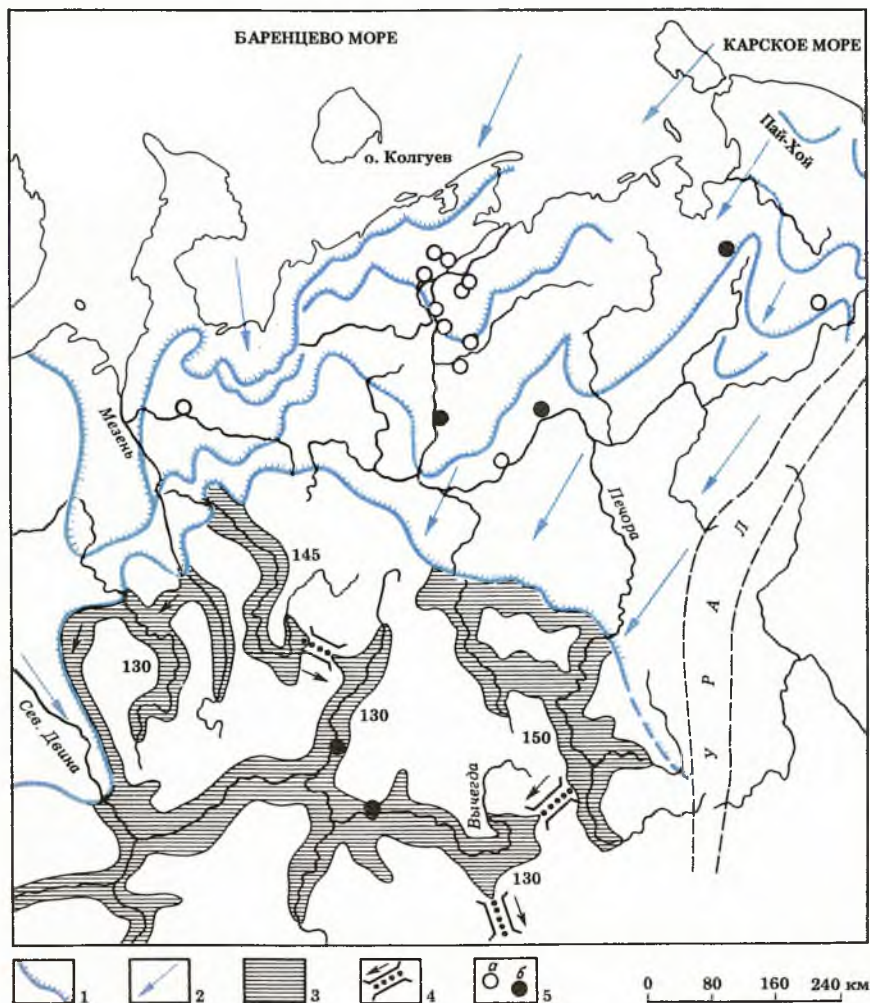
На банках и, что особенно важно, на краях шельфа закартированы и изучены подводные моренные гряды, имеющие высоты до 100 метров. Они оказались аналогичны краевым моренам норвежского шельфа, в частности знаменитой гряде Эгга. Не менее показательно, что такие же конечные морены перегораживают и устьевые участки желобов Медвежинского и Южного мыса. В целом из данных съемки следует, что параллельные гряды протягиваются вдоль всего западного края шельфа.

На юго-западе, в Медвежинском желобе, в единый ледяной поток объединялись льды, стекавшие и с Баренцева шельфа, и со Скандинавского полуострова. На конференции Приарктических государств по координации научных

исследований в Арктике, состоявшейся в декабре 1988 года в Ленинграде, А. Сольхейм и А. Эльверхой демонстрировали подводные фотографии флютинга — продольного желобчатого микро-рельефа морены, сделанные в средней части Медвежинского желоба на глубине 300 метров. А поскольку флютинг — это след быстрого скольжения ледника по валунным суглинкам, то не приходится сомневаться, что весь желоб заполнялся движущимся льдом и что происходило это недавно — в противном случае этот рельеф успел бы скрыться под покровом ила.

Западная часть Баренцева моря лежит за пределами Советской Арктики, тем не менее все это имеет самое прямое отношение к ее последнему оледенению. В самом деле, можно ли представить, что к западу от меридиана Рыбачьего простирался мощный ледниковый покров, а к востоку от него шельф был безледным? И что гигантский ледник, по размерам близкий к леднику Ламберта в Антарктиде, который стекал по Медвежинскому желобу, брал свое начало не из района Новой Земли, а материализовался из воздуха?

Впрочем, главные доказательства оледенения Евразийской Арктики были найдены не на шельфе и не на арктических островах. При всей важности наблюдений на Шпицбергене и в западной части Баренцева моря все же основным, решающим доказательством сплошного оледенения арктического шельфа Евразии стали результаты картирования краевых ледниковых образований (конечно-моренных поясов) на приморской суше. Если еще сравнитель-



**Рис. 1.** Конечно-моренные пояса, направления движения льда и ледниково-подпрудные озера европейской части СССР в эпоху последнего оледенения. По Х. Арсланову, А. Лаврову и Л. Потапенко. Ясно видно, что лед поступал со стороны Баренцева и Карского морей: 1 — границы оледенения, максимальная и стадий отступления; 2 — направления движения льда; 3 — подпрудные озера; 4 — каналы сброса талых вод (спиллеви); 5 — пункты радиоуглеродного датирования ледниковых (а) и озерных (б) отложений. Цифрами показаны древне-озерные уровни

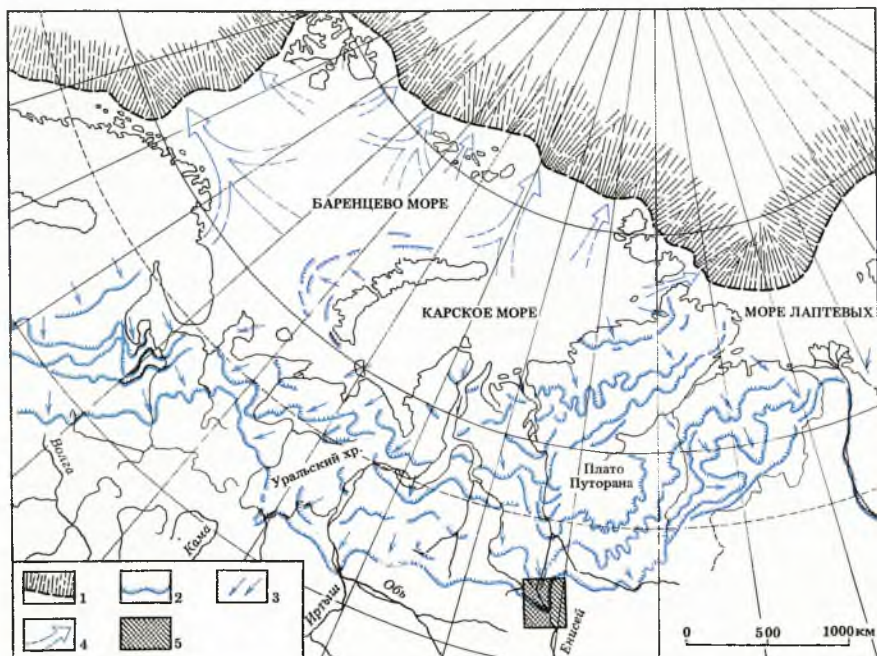


но недавно у нас были известны лишь конечные морены Скандинавского ледникового щита, имеющие, как я уже писал, северо-восточное простирание, то в 70-х годах, после исследований А. С. Лаврова, Х. А. Арсланова, Л. М. Потапенко, на картах севера Русской равнины появились также и конечно-моренные пояса, вытянутые **широтнo**. Эти пояса выстраиваются в несколько рядов, тянущихся из бассейна Мезени, где они смыкаются со скандинавскими моренами, до западного Предуралья, и обращены фронтальными сторонами на юг. В том же, южном, направлении ориентированы и их лопастные выступы, оконтуривавшие концы ледяных потоков. Так что очевидно, широтные пояса сформированы краевыми частями ледникового щита, надвигавшегося на Русскую равнину со стороны Баренцева моря.

Дальнейшие работы тех же исследователей показали, что самый внешний (южный) из этой группы моренных поясов имеет не широтное, а диагональное северо-западное простирание (рис. 1). Тем не менее все они, включая и внешний, образовались не раньше валадйского максимума похолодания. Об этом говорит тот факт, что моренный материал, из которого построены пояса, налегает на аллювиальные и озерно-болотные отложения с органическими остатками, имеющими радиоуглеродный возраст в 25—40 тысяч лет. Абсолютный возраст, близкий к 20 тысячам лет, имеют и осадки ледниково-подпрудных озер, связанных с внешней моренной грядой. А более молодые гряды, маркирующие последовательные этапы отступления ледникового края, оказываются еще более мо-

лодыми: для них и для сопряженных с ними озер имеются датировки, близкие к 10,5—9 тысячам лет. Это значит: они образованы уже в голоцене. Да и все речные долины, пересекающие эти пояса, имеют только голоценовые террасы.

Что означают эти конечно-моренные пояса, их география и возраст? Прежде всего то, что к северу и северо-востоку от них, на континентальном шельфе Баренцева и Карского морей (да, и Карского: обратите внимание на направления движения льда), простирался обширный ледниковый покров. И что его противоположный край совпадал с северной границей шельфа. Иного, как говорится, не дано: теоретическими исследованиями и наблюдениями в Антарктиде доказано, что ледниковые щиты «морского» типа, налагающие на плоское или вогнутое ложе, могут быть устойчивы лишь в том случае, когда их линия налегания (т. е. граница, за пределами которой край щита всплывает) сдвигается до бровок континентальных шельфов. В противном случае они будут либо непрерывно расти, пока не достигнут этих бровок, либо столь же непрерывно сокращаться, пока не исчезнут. Отсюда как раз и следует, что ледниковый покров Баренцева и Карского шельфов мог надвигаться на соседнюю сушу и достигнуть рубежей вышеописанных конечно-моренных поясов лишь после того, как он заполнил собой весь шельф. Все это делает ясной ошибочность тех реконструкций оледенения шельфовых морей, которые рисуют в их пределах не сплошные ледниковые покровы, а отдельные разобщенные ледниковые шапки с краями, лежащими



**Рис. 2.** Главнейшие краевые ледниковые образования (конечно-моренные пояса, зоны глициодислокаций) и направления движения льда в Северной Евразии к западу от дельты Лены. Эпоха последнего оледенения. Центр растекания льда — на месте Карского моря: 1 — материковый склон; 2 — краевые ледниковые образования; 3 — ориентировка ледниковых шрамов и переноса валунов; 4 — желоба-троги на шельфе — каналы стока льда; 5 — участок, где приведено детальное датирование следов оледенения Сибири

на внутренних равнинах шельфа.

Вот почему приведенной информации о положении южного края ледникового покрова арктического шельфа было достаточно, чтобы однозначно ответить на вопрос о масштабах оледенения всей области. Так что остальные данные на этот счет — о ледниковых шрамах, вертикальных движениях земной коры, геологии и рельефе морского дна, которые сыграли столь большую роль на начальном этапе исследований и, кстати, собирались с величайшими

трудами — оказываются для нас, по существу, излишними.

В конце 70-х годов аналогичные широтные конечно-моренные пояса валдайского, а по сибирской номенклатуре — зырянского возраста были нанесены и на карту Западной Сибири (рис. 2). Это было важным достижением группы новосибирских и ленинградских геологов — С. А. Архипова, В. И. Астахова, И. А. Волкова, С. Л. Троицкого и других. Ведь до того предполагалось, что краевые образования последнего

оледенения здесь протягиваются не широтно, а меридионально, параллельно Уралу и западному краю плато Путорана, и что между ними оставался широкий коридор, позволявший Оби и Енисею свободно стекать в Северный Ледовитый океан.

Имевшиеся в то время данные позволили сделать вывод, что граница максимальной стадии последнего оледенения проходила здесь по системе гряд, включающей Салехардские увалы южного берега Обской губы, Хадутейские гряды Тазовского полуострова и фестончатые валы, простирающиеся от низовьев реки Таз до слияния с моренными грядами Путоранского ледникового комплекса на востоке, в долине Енисея.

Примерно тогда же Н. В. Кинд из Геологического института АН СССР, а также геологами-съемщиками «Аэрогеологии» Л. Л. Исаевой, С. М. Андреевой и другими было установлено, что эта система гряд продолжается и на Таймыре. А именно, что вдоль Таймырской низменности с юго-запада на северо-восток по левобережью рек Хета и Хатанга тянется непрерывная полоса гряд, имеющих в плане вид гирлянд, в которых отдельные дуги обращены выпуклыми сторонами на юго-восток. Крупнейшая гряда, получившая название Джангодо-Сынтабульской, как и некоторые более северные, представляет собой гляциотектоническое сооружение, возникшее в результате напорных дислокаций озерно-речных и, возможно, морских отложений.

Одновременно с этими работами было проведено картирование и датирование озерных террас Западной Сибири. Полученные здесь результаты многих уди-

вили: восстановленные озера оказались огромными, а их возраст — неожиданно молодым, позднэзрянским, близким к 20 тысячам лет. Уровни, которых достигали эти озера, составляли 125—130 метров и соответствовали высоте Арало-Иртышского водораздела, располагающегося внутри сквозной Тургайской ложбины. Последняя же явно служила спиллвеем, по которому талые воды, заполнявшие подпруженные озера, в том числе крупнейшие из них — Мансийское, могли сбрасываться в Арало-Каспийский бассейн. Позже удалось датировать также образцы древесины и древних почв, извлеченные из скважины на дне ложбины. Их датировки показали: последний эпизод такого сброса имел место между 25 и 13 тысячами лет назад, т. е. во время максимума последней ледниковой эпохи.

Таким образом, уже десятки лет назад стало ясно, что конечно-моренные пояса севера Западной Сибири и Таймыра образуют широкую дугу, обращенную своей выпуклой стороной на юг и юго-восток. Это позволило уверенно заключить, что центр растекания ледникового покрова, создавшего указанные пояса, находился не на Полярном Урале и не на Таймыре, а где-то на пересечении радиусов этой дуги, а именно на континентальном шельфе Карского моря. Поэтому гигантский ледниковый щит, распространявшийся как на Карский шельф, так и на север Западной и Средней Сибири и подпруживавший течение Оби и Енисея, получил название **Карского**.

Границы оледенения арктического шельфа Евразии еще предстояло уточнять и уточнять, но и

тогдашний их контур позволял провести предварительную реконструкцию формы и объема ледникового покрова. Что и было сделано уже в 1977 году. Спрос со стороны палеогеографов и климатологов был настоятельным. При этом использовался принцип актуализма, или, иными словами, допущение о подобии древнеледникового покрова современным, существующим в Антарктиде и Гренландии. Учитывался также рельеф ложа, в частности размеры и ориентировка подводных желобов-трогов, к которым приурочиваются ледяные потоки, служащие главными путями спуска льда в океан. В итоге был сделан вывод, что в эпоху последнего глобального похолодания на месте Баренцева и Карского морей вырас- тала система из двух ледниковых щитов «морского» типа — Баренцева и Карского, которые сливались друг с другом и с ранее известным Скандинавским щитом, образуя единый Евразийский ледниковый покров. Предполагалось, что усиленный сток льда по желобам-трогам Медвежинскому и Св. Анны должен был создавать глубокие седловины на границах между отдельными щитами, а такой же сток по желобам Южного мыса и Франц-Виктория — способствовать тому, что в северо-западном углу Баренцева шельфа обособлялся Свальбардский ледниковый купол.

Согласно составленной тогда карте последний Евразийский ледниковый покров протягивался без перерывов от Ирландии до восточной оконечности Таймыра, его площадь была близка к 8,5 миллиону квадратных километров, из них половина приходилась на современные шельфы.

Реконструкция 1977 года получила довольно широкую известность, она вошла в ряд советских и зарубежных монографий и сводок, в Атлас Арктики, Гляциологический словарь, в итоговые карты американского проекта КЛИМАП много раз использовалась при численном моделировании древних климатов. Однако эта реконструкция успела устареть.

Выше уже упоминалось о новой границе последнего оледенения на северо-востоке Русской равнины. Напомню, что по новым данным А. С. Лаврова и других эта граница проходит от верховьев Печоры к нижним течениям рек Ижма и Цильма и, таким образом, лежит много южнее, чем считалось раньше, и имеет не широтное, а северо-западное простирание. С этой — новой — границей Лавров «увязал» террасу Печорского ледниково-подпрудного озера с уровнем 150 метров; при нем обеспечивался сток талых вод через Мылвинско-Кельтминскую систему спиллвеев сначала в Каму, а затем в Волгу и пресноводный Хвалынский бассейн, в который тогда преобразовывалось Каспийское море.

Кроме того, исследования Западной Сибири изменили точку зрения на южные пределы максимального распространения последнего Карского щита. По новым данным, его южная граница протягивалась не вдоль дуги, идущей через Салехард и Тазовский полуостров, а приближалась к северному склону Сибирских увалов. Ключевую роль в обосновании этого вывода сыграли наблюдения сотрудников «Аэрогеологии» С. В. Гончарова и того же А. С. Лаврова. Последний пока-

зал, что покровная морена всей северной половины области, вплоть до Сибирских увалов, подстилается осадками (озерными суглинками и торфяниками), имеющими «конечные» радиоуглеродные датировки, лежащие в пределах от 25—30 до 45—50 тысяч лет. Что же касается широтных конечно-моренных поясов, лежащих севернее этих увалов, то они маркируют не рубежи максимального продвижения разновозрастных ледниковых щитов, а лишь позиции края одного и того же — последнего — оледенения на разных этапах его деградации.

Не менее значителен и вклад С. В. Гончарова. Для нас особенно важны его исследования в бассейне Среднего Енисея и реки Елогуй, впадающей в Енисей слева. В долине Елогуя им обнаружены следы локального ледниково-подпружного озера, максимальный уровень которого составлял 160 метров и, таким образом, на 30—35 метров возвышался над водной поверхностью Мансийского и других больших озер Западной Сибири. Елогуйское озеро подпруживалось одной из лопастей Карского щита, вторгавшейся в устье Елогуя, тогда как другая его лопасть, более восточная, наступала вверх по долине Енисея, доходя до 62° северной широты. Детальное изучение береговых линий Елогуйского и Енисейского озер, каналов сброса талых вод, сопряженных с этими формами морен и флювиогляциальных песков, а главное — датирование подстилающих торфяников позволило доказать, что возраст обеих лопастей был близок к 18—20 тысячам лет. Причем если вновь обратиться к рис. 2, то видно, что эти датировки дают возможность судить о

возрасте не только Елогуйской и Енисейской лопастей, но и всей краевой зоны Карского щита, простиравшейся далеко к западу и северо-востоку от Енисея.

Коренным образом изменились и представления о границе последнего оледенения на севере Средней Сибири. Появились серьезные данные, согласно которым юго-восточный сектор Карского щита продвигался не до Джангодо-Сын-табульской гряды Таймырской низменности, а на целых 600 километров дальше на юго-восток. К этому выводу привели наблюдения за путями разноса ледниковых валунов и простиранием моренных гряд, друмлинов и озов на северо-востоке Среднесибирского плоскогорья. В частности, красноярский геолог И. Н. Дятлова установила, что валуны ряда характерных пород бассейна реки Котуй оказались включенными в моренные гряды, расположенные в 40—80 километрах юго-восточнее коренных выходов этих пород, а сами эти гряды обращены своими фронтальными сторонами на юго-восток. Поскольку же река Котуй течет на север, то вполне очевидно: перенос обломочного материала здесь шел вверх по долине и его агентом был ледниковый покров. Причем особенно интересно, что, судя по составу валунов в морене Котуйского бассейна и направлениям их переноса, лед в этот бассейн поступал не с соседнего плато Путорана, как можно было бы ожидать, а с северо-запада, со стороны Таймырской низменности.

Тот же вывод следует и из геоморфологии всего Оленек-Хатангского междуречья, занимающего северо-восточную часть Среднесибирского плоскогорья. Москов-

ские геологи С. М. Андреева и Л. Л. Исаева показали, что там присутствует целый комплекс ледниковых форм рельефа — участки холмистой морены, друмлины, озовые гряды, ложбины стока талых ледниковых вод, террасы спущенных ледниково-подпрудных озер, скопления эрратических валунов, а главное — несколько генераций конечно-моренных поясов с лопастными выступами разных размеров. На всей этой площади ясно выражена географическая закономерность, отмеченная Дятловой в долине Котуя: краевые ледниковые образования своим фронтом обращены на юго-восток, а их лопасти продвинуты вверх не только по Котую, но также по Попигаю, Анабару и ряду других рек. Две крупнейшие моренные лопасти, имеющие длину в 200—250 километров каждая, подобно танковым армиям на оперативной карте штаба фронта, берут в «клещи» Анабарское плоскогорье. И ведь совершенно очевидно: чтобы продвинуться в бассейны Котуя и другие районы Средней Сибири, ледниковый покров, наступавший со стороны Карского шельфа, должен был не только перевалить через горы Бырранга, пересечь Таймырскую низменность и преодолеть 500-метровый порог, ограничивающий ее с юга, но и на всем своем дальнейшем пути двигаться против уклона местности.

Факт такого движения льда чрезвычайно интересен, поскольку он бросает свет на палеогеографию другого, еще менее доступного района северной окраины Евразии, а именно шельфа моря Лаптевых. Поясню это на полузабытом примере из истории изучения европейского Севера. Выдающийся

финский геолог В. Рамсей еще в начале века выяснил, что валуны нефелиновых сиенитов, происходящих из Хибинских гор Кольского полуострова, были перенесены льдом на юго-восток и широко представлены в морене района Котласа и Вятки. Сопоставив это направление с северо-восточным, в котором они должны были бы двигаться в соответствии с уклоном местности и позицией Хибин относительно Скандинавского ледникового центра, Рамсей понял, что выявленное им 90-градусное отклонение могло быть связано только с одной причиной — другим ледниковым щитом, занимавшим место Баренцева моря. Только он мог подпруживать «скандинавский» лед и отжимать его движение к юго-востоку. И как мы сейчас знаем, догадка Рамсея оказалась правильной.

Так вот, давайте не будем придумывать ничего нового, а рассудим по-рамсеевски: если ледниковые массы, некогда перевалившие через горы Бырранга с севера и переполнившие Таймырскую низменность, двинулись не на северо-восток, под уклон к морю, а на юго-восток, в гору, то... То для этого обязательно была физическая причина, природа не капризничает. И возможность выбора в данном случае ограничена, ведь речь идет о событиях, имевших место всего лишь 20 тысяч лет назад, поэтому мы не можем «сфантазировать», скажем, горный хребет, занимающий площадь моря Лаптевых. Нет, только самое простое и естественное — сплошной и мощный ледниковый щит на его месте, который и подпруживал и отклонял течение льда Таймыра.

Впрочем, покровный ледник мо-

ря Лаптевых оставил и более явные следы. Среди них — четкий «отпечаток» ледниковой лопасти, которая вторгалась вверх по долине реки Анабар. Ведь совершенно очевидно, что лед этой лопасти двигался с севера на юг, с Лаптевского шельфа на сушу. О сравнительно недавнем оледенении моря Лаптевых прямо говорят также широтные маргинальные каналы — ложбины стока талых вод, обнаруженные на обоих склонах кряжа Прончищева, в бассейне Уэле. Судя по общей ситуации, эти каналы были выработаны у края отступающего ледникового щита, располагавшегося севернее.

В целом наиболее существенная информация о краевых образованиях последнего Карского ледникового щита суммирована на рис. 2. Она, как мне кажется, лучше всяких слов говорит и о положении древнего ледораздела, и об ориентировках линий тока льда. Главный ледораздел щита, вне сомнений, находился на западе Карского моря между Новой Землей и полуостровом Ямал, а линии тока расходились от него радиально, во все стороны. При этом и здесь соблюдалось правило, о котором говорилось в предыдущем разделе: противоположно направленные линии тока имели примерно равную длину.

Повторю, что, по моему мнению, внешние, наиболее далеко «продвинутые» краевые образования (из показанных на рисунке) маркируют позицию ледникового края в эпоху максимума последнего, валдайско-зырянского, оледенения. И что о возрасте внешнего конечно-моренного пояса можно судить по результатам датирования нескольких его участков, прежде всего Печорского и Ело-

гуйско-Енисейского. На первом из них, охватывающем большую площадь северо-востока Русской равнины, определен возраст более сотни образцов, собранных из-под морены и из отложений подпрудных озер, на втором — в долинах Среднего Енисея, Елогуя и Каскетского спиллея, соединявшего Енисейское подпрудное озеро с Мансийским, датированы многие десятки проб торфа и древесины, также извлеченных из-под морены и из озерных осадков. На этих двух участках ситуация такова, что полученные там датировки дают возраст именно самого внешнего пояса моренных гряд.

Логично предполагать, что тогда же, а именно около 20 тысяч лет назад, были сформированы и все остальные части дуги внешнего пояса краевых образований, лежащего между дельтой Лены и полуостровом Канин.

Внутри дуги внешнего моренного пояса можно видеть несколько прерывистых границ, показывающих следы краев Карского щита на последовательных стадиях его сокращения. Не надо быть геологом, чтобы понять, что все эти стадии моложе максимальной, и каждая из них тем моложе, чем далее на севере находится ее след. Довольно ясно, что возраст всего «комплекта» стадийных морен должен лежать в интервале значений от 16 до 9—10 тысяч лет. Это, между прочим, во многих случаях нашло прямое подтверждение в результатах прямого датирования.

И все же известна масса примеров, когда определения возраста стадийных морен, выполненные с помощью, казалось бы, объективного и беспристрастного радиоуглеродного метода, дают результаты, не желающие подчинять-

ся законам логики. Многие из них просто сбивают с толку, вступая в противоречие с очевидными геологическими соотношениями. Так, во многих случаях получается, что стадияльные морены и озерно-ледниковые террасы одновременно и налегают, и вмещают, и сами подстилают осадки, имеющие один и тот же возраст, который чаще всего оказывается близким к 30—50 тысячам лет. Или геологу приходится сталкиваться уж с самой невероятной нелепицей, когда соседние участки одной и той же гряды получаются разновозрастными. Судите сами: по радиоуглеродным данным возраст Джангодо-Сынтабульской гряды Таймыра получается древнее 30 тысяч лет, а возраст ее прямого продолжения в долине Енисея — позднеледниковым, близким к 13 тысячам лет. И число таких примеров можно умножить.

Сейчас вполне очевидно, что многие датировки, которыми нам приходится пользоваться, фиктивны. Однако значит ли это, что радиоуглеродный метод недостаточно надежен и себя не оправдывает? Конечно же нет, дело в другом. Дело прежде всего в том, что значительное число (а кое-где — большинство) образцов, представляемых в лаборатории для датирования, оказывается засоренным древним материалом либо перемещенным из мест их первичного отложения. И виной тому древние ледниковые покровы, многократно наступавшие с арктического шельфа на юг. Перемещаясь по дну полярных морей и через их береговую зону, лед на большую глубину выпалхал толщи мезозойских и третичных пород, содержавших бурые угли, окаменелую древесину, растительный детрит и

другие органические материалы, и разнес продукты выпавания по обширным пространствам евразийского Севера. При этом произошло массовое засорение молодых осадков «мертвым» углеродом, т. е. углеродом, в котором его радиоактивный изотоп  $^{14}\text{C}$ , имеющий сравнительно короткий период полураспада (5700 лет), успел целиком самоликвидироваться. Поэтому засорение таким углеродом всегда ведет к «задревнению» возраста образцов. Лед переместил на приморскую сушу также всю массу морских осадков, отложившихся на шельфе во время плиоценовых и плейстоценовых межледниковий, причем этот материал транспортировался не только в дисперсном, т. е. мелко-раздробленном, виде, но и в виде больших пластин-отторженцев, в которых сохранялись первичные текстуры, химизм, остатки флоры и фауны морских отложений. Дополнительные сложности внесло то обстоятельство, что поверхностные отложения, служившие ложем древнеледниковых покровов, подвергались сильной гляциотектонической переработке.

Итак, виновником фиктивных датировок морен и ледниковых стадий следует считать не радиоуглеродный метод и не лабораторные процедуры, а недоработки геологов. Именно они не сумели разобраться в специфике строения чехла поверхностных отложений нашего Севера, сделать поправки на эффекты его массового засорения древней «органикой». Впрочем, будь сам метод более совершенным, многих ошибок удалось бы избежать. Достоверность датировок резко повышается, когда для определений возраста используют не большие «сбор-



ные» образцы, а единичные обломки древесины, древесной коры, семени, волокна из торфа, отдельные раковины или даже их мелкие части. Но чтобы сделать это возможным, надо переходить от обычного радиоуглеродного метода к датированию по  $^{14}\text{C}$  с помощью ускорительной масс-спектрометрии, которое позволяет использовать образцы весом в 20—30 миллиграммов.

Опыт применения нового метода позволяет надеяться на успешное решение наших проблем. Показательно в этом отношении изучение линзы органического материала, обнаруженной в аллювии береговой равнины Аляски у мыса Барроу. Датирование «сборных» образцов, представляющих разные фракции материала линзы, дало результаты, варьирующие от 13,3 до 30,3 тысячи лет, тогда как возраст извлеченных оттуда же семян, который измерялся с помощью ускорителя, заблокированного с масс-спектрометром, оказался равным 9000—9500 лет. Дополнительное исследование показало, что выявленное здесь «задревнение» образцов объясняется их засорением микроскопическими частицами угля, янтаря и растительной пылью, происходящими из угленосных мезозойских толщ. Но ведь и на евразийском Севере лед выпахал толщи угленосных пород мезозойского и третичного возраста! Однако мы пользуемся лишь старым методом датирования, поэтому «вал» фиктивных результатов продолжает расти.

Итак, ошибки в определении возраста этапов ледниковой истории по  $^{14}\text{C}$  носят не случайный, а систематический характер. Поэтому «набор статистики» отнюдь не

ведет к их устранению. И потому же в различных точках зрения на эту историю не видно никаких признаков сближения. А порожденные фиктивными датировками и неумением отличить инситу от отторженцев мифы, вроде сказок о плейстоценовых трансгрессиях Северного Ледовитого океана, продолжают благополучно здравствовать.

Остается сказать несколько слов о северной границе ледникового покрова Баренцева и Карского морей. Выше уже указывалось, что по теоретическим соображениям она должна была совпадать с северным краем шельфа и что на западе Баренцева моря этот вывод нашел подтверждение в результатах геологической съемки. Следы движущегося льда имеются и на других участках краевой зоны шельфа, это подводные желоба-троги, впервые обнаруженные еще Ф. Нансеном в конце прошлого века. Ориентировки крупнейших форм данного типа показаны на рис. 2, из которого следует, что они, как и все прочие индикаторы движения льда, расходятся радиально от внутренней области шельфа к его краям.

Правда, многие геологи все еще верят, что желоба и родственные им фьорды представляют собой продукты чисто тектонических процессов. Так думал Д. Грегори в начале века, так считают специалисты из ВНИИ «Океангеология» сегодня. Однако фактические данные по динамике ледниковых щитов Антарктиды, Гренландии и скоростям линейной эрозии, производимой их ледяными потоками, убеждают в ледниково-эрозионном генезисе этих форм. К тому же выводу привело использование методов статистики. Именно

на их основе мы с А. Ф. Глазовским показали: вероятность того, что желоба-троги — тектонические формы и с оледенением не связаны, а на гляциальных шельфах «оказались» случайно, исчезающе мала — менее  $1/10^{45}$ . На мой взгляд, эта статистика делает все остальные доводы излишними. Ведь величина знаменателя этой дроби чудовищна — достаточно вспомнить, что расстояние от Земли до Солнца, выраженное в миллиметрах, составляет только  $1,5 \cdot 10^{14}$ .

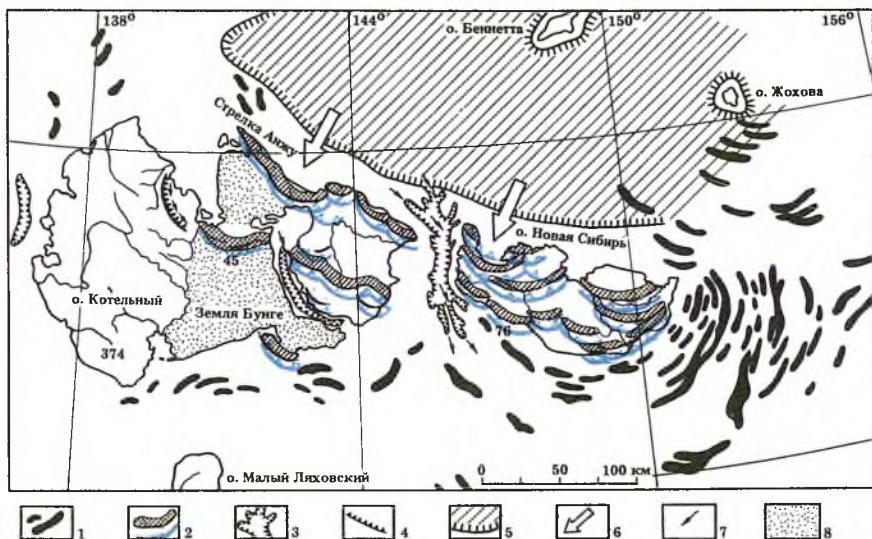
Сейчас ясно: все желоба гляциальных шельфов — суть гигантские ледниково-эрозийные формы. То же можно сказать и о «наших» желобах — Медвежинском, Южного мыса, Франц-Виктория, Св. Анны, Воронина. Это значит, что они не только служили каналами стока льда, но и сами были выработаны ледниками. А чтобы выпахать ложбины глубиной по 400—600 метров, требовалось немало времени, так что движение льда по ним не могло быть коротким эпизодом. Нет, это был длительный процесс, действовавший не только в последнюю ледниковую эпоху, но и на протяжении ряда более древних.

### Ледниковые покровы северо-востока Евразии

Теперь обратимся к районам Евразийской Арктики, которые лежат восточнее дельты Лены. Анализ материалов по геоморфологии Новосибирских островов и окружающего шельфа привел к выводу, что последний Евразийский ледниковый покров не оканчивался и на Лаптевском шельфе, а протягивался еще минимум на 3 тысячи километров к востоку.

История представлений об оледенении морей и приморских низменностей северо-востока Евразии очень поучительна. Гипотеза о покровном оледенении района Новосибирских островов, которая была выдвинута 100 лет назад русским ученым и полярным исследователем Э. В. Толлем и господствовала до начала 60-х годов, сейчас отвергается практически всеми геологами. Весь север Восточной Сибири исключается из древнеледниковой области материка и рассматривается как часть его перигляциальной, или приледниковой, площади. Этим создается почва для появления гипотез о всевозможных «асимметриях», «асинхронностях» и прочих противоположностях в развитии восточной и западной частей евразийского Севера.

Между тем сейчас можно указать на целый ряд фактов, которые подтверждают правоту Толля. В пользу правильности его гипотезы говорит, прежде всего, реконструкция высот древней снеговой границы Восточной Сибири, выполненная нами по горным моренам и древним карам. Судя по этим высотам, в эпоху последнего похолодания данная граница уже у северной оконечности материковой Якутии снижалась до уровня моря, делая сплошное оледенение шельфа к северу от пролива Дмитрия Лаптева неизбежным. О том же свидетельствуют данные спутниковой гравиметрии: они показывают, что к арктическому шельфу Восточной Сибири приурочен ареал отрицательных аномалий силы тяжести. Его центр, в котором значения аномалий близки к измеренным в районе Гудзона залива, совпадает с Новосибирскими островами, а южная



**Рис. 3.** Следы последнего оледенения (гляциотектонические и водно-ледниковые образования) в районе Новосибирских островов: 1 — гляциотектонические гряды на шельфе; 2 — то же на суше; 3 — туннельные долины; 4 — эрозионный уступ; 5 — плоскдонная депрессия морского дна; 6 — направление движения льда; 7 — движение талой воды; 8 — песчаные (зандровые) поверхности

окраина захватывает обширную площадь Яно-Колымской низменности. К тому же из наблюдений за уровнями Восточно-Сибирского моря, а также данных по высотам и возрасту морских террас его островов следует, что арктическая подводная окраина Якутии испытывает послеледниковое поднятие, идущее со скоростью до 5 миллиметров в год. Судя по упомянутым аномалиям, природа этого поднятия гляциоизостатическая. Не приходится удивляться, что амфитеатр поднятых береговых линий у мыса Бережных, обнаруженный мною на аэроснимках острова Земля Бунге, по своей морфологии аналогичен береговому комплексу Шпицбергена и Земли Франца-Иосифа. По-

казано также, что доголоценовые осадки Восточносибирского и Чукотского шельфов обладают крайне высокой твердостью. Это сближает их с суглинистыми отложениями Баренцева шельфа и низменностей Скандинавии, которые переуплотнены действием ледниковой нагрузки.

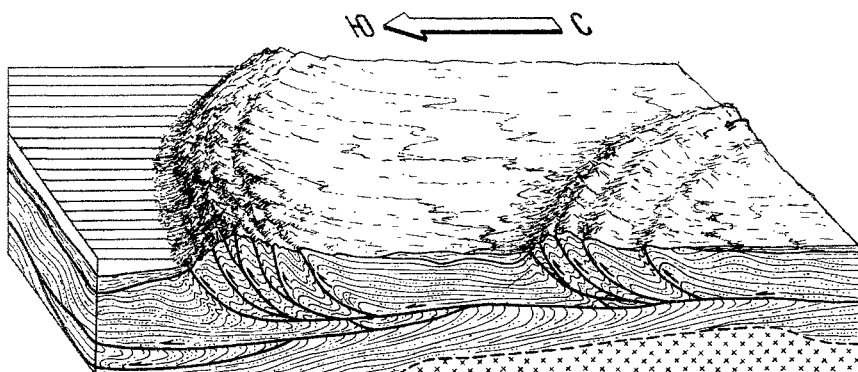
Но особый интерес представляет геоморфология Новосибирских островов и окружающего шельфа. Здесь прежде всего заслуживают внимания системы дуговидных валов южной части шельфа. Согласно данным С. Л. Никифорова, обобщившего материалы гидрографических съемок, эти валы образуют две выпуклые к югу системы, из них главная охватывает с юга и юга-востока острова

Новая Сибирь и Фадеевский. Отдельные валы имеют длину до 100—120 километров, высоты до 15—20 метров, ширину до нескольких километров, иногда они объединяются в серии с поперечником до 10—20 километров (рис. 3).

Происхождение подводных валов Восточносибирского шельфа до сих пор объясняли по-разному. Одни исследователи видят в них неотектонические структуры, получившие прямое выражение в рельефе дна, другие — конечные морены, третьи — «прибрежно-морские формы песчаной аккумуляции (бары), связанные с изменениями уровня океана при росте и убывании оледенения». Однако ни одно из этих объяснений не было и не могло быть убедительным; поскольку валы рассматривались в отрыве от их окружения. На самом же деле это не изолированные формы, а только один из элементов геоморфологического комплекса района, целого «ансамбля» форм, объединенных общностью условий образования. И судить об их генезисе можно лишь на базе анализа природы комплекса в целом. В него же, кроме подводных валов, как оказалось, входят: асимметричные дуговидные гряды островов, состоящих из молодых осадочных пород — Новой Сибири, Фадеевского, Земли Бунге, Большого Ляховского; субмеридиональные «слепые» долины, врезанные в дно некоторых проливов, в частности Благовещенского и Заря; низменная песчаная равнина Земли Бунге; плоскодонная подводная депрессия, лежащая к северу от названных островов; уже упоминавшиеся морские террасы и поднятые береговые линии, а также висячие, или ярусные, долины, вы-

явленные на мысе Скалистом (остров Столбовой).

Первый вид перечисленных форм — асимметричные дуговидные гряды — всегда складывается из пологих, «мягких» пород — рыхлыми песчаниками, глинистыми сланцами, лигнитами мелового, эоценового и более молодого возраста. Наиболее типичный пример таких форм — Деревянные горы острова Новая Сибирь и Стрелка Анжу, причлененная с севера к островам Фадеевскому и Земля Бунге. Давно известно, что эти гряды — выраженные в рельефе дислокации осадочного чехла; пологие надвиги и подчиненные им линейные, очень напряженные складки, косые и лежащие. В гребнях гряд обычно выходят меловые, палеогеновые и неогеновые породы, вздернутые по надвигам и обнажающиеся в ядрах антиклинальных складок, так что рельеф этих форм прямо отражает их структуру. А при дешифрировании снимков, полученных со спутников серии «Космос», было выяснено, что действительное число таких гряд — судя по дуговидным «линеаментам» — значительно больше, чем было известно по данным наземной съемки. Стало ясно, что гряды объединяются в гирлянды или даже системы, имеющие рисунок рыбьей чешуи, причем выпуклые стороны всех этих форм обращены на юг, а их «рога» — на север. На юг смотрят крутые склоны гряд, на юг же сдвинуты все надвиговые чешуи, в том же направлении опрокинуты складки. Форме гряд подчинен рисунок речной сети, эта форма во многом определяет и очертания самих островов: для северных берегов Новой Сибири, например, характерны во-



**Рис. 4.** Гляциотектоническая структура острова Новая Сибирь на участке Деревянных гор. Лобовые края смещенных льдом пластин осадочного чехла раздроблены надвигами и смяты в складки

нутые контуры, для южных — выпуклые. Наверное, именно так выглядели бы моренные возвышенности Белоруссии, созданные ледниковым напором с севера, если бы они вдруг оказались полуза-топлены морем...

Очевидно, что структурные гряды Новосибирских островов связаны с горизонтальным напором, ориентированным с севера на юг, с перемещением крупных пластин поверхностных отложений, направленным в ту же сторону, и с их нагромождением друг на друга, т. е. с типовым процессом образования гляциотектонических сооружений (рис. 4). Кстати, согласно одному из законов структурной геологии, фронтальные стороны всяких пластин земной коры, испытывавших горизонтальное смещение — будь то островные дуги или гляциодислокации, — приобретают плановый рисунок фестонов. Поэтому по ориентировке выпуклых сторон этих фестонов, или дуг, всегда можно определить направление перемещения пластин.

Напор с севера действовал здесь недавно, о чем можно судить по геологическому возрасту самых молодых пород, нарушенных надвигами и складками. Правда, еще двадцать лет назад, во время первых геологических съемок эти породы считали палеогеновыми. Однако теперь, после новых детальных исследований, стало ясно, что в поверхностные дислокации района вовлечена и вся плейстоценовая толща, включая ее верхний, самый молодой, отдел. И хотя все известные мне геологи остаются в убеждении, что дуговидные гряды архипелага — не что иное, как прямые проявления глубинной тектоники, возраст дислокации этому решительно противоречит. Геодинамическая обстановка неогена и тем более плейстоцена арктической части Восточной Сибири, в частности ориентировка растяжений и сжатий земной коры, несовместима с наличием молодых структур, которые были бы связаны с тектоническим давлением с севера. С другой сто-

роны, особенности формы, строения и размещения структурных гряд оказываются здесь поразительно близкими тем же характеристикам гляциотектонических сооружений, которые широко известны во всех областях покровных оледенений.

Большого внимания заслуживают также «слепые» долины, обнаруженные на дне ряда проливов. Эти формы — аналоги туннельных долин областей древнего оледенения. Так, подводная долина Благовещенского пролива имеет длину свыше 100 километров, ширину до 10—13 километров, глубину до 50 метров, ее борта крутые, а днище осложнено цепочкой замкнутых впадин-котлов. Сходную форму имеют слепые долины, врезанные в дно пролива Заря, залива Геденштрёма, в участки шельфа, лежащие к западу и востоку от банки Геральд. Но ведь именно такие размеры и морфологические особенности характерны и для типичных туннельных долин приморской суши Дании, севера ГДР и Польши, дна Северного моря и других площадей, эродированных напорными потоками подледниковых вод.

Русловые водно-ледниковые формы другого типа обнаружены на острове Столбовом. Это три яруса висячих долин-ущелий, врезанных в крутой западный склон северной оконечности острова — мыса Скалистого. Ориентировка долин показывает, что ими маркированы три последовательные положения краевой части ледникового щита, уже успевшего сильно сократиться и продолжавшего отступать к северу.

Что касается низменных песчаных равнин Земли Бунге, то вполне очевидно, что это аккумулятивные водно-ледниковые образования,

подобные зандрам или флювиогляциальным конусам. Они сформировались на одной из стадий убывания оледенения в предполье ледникового щита, находившегося севернее, затем были затоплены морем и наконец вновь осушились, что было одним из следствий изостатического поднятия шельфа.

Таким образом, большинство островов района — гляциотектонические сооружения, нагроможденные ледниковым щитом, лед которого здесь двигался с севера. В этой связи плоскодонную впадину, описанную С. Л. Никифоровым на шельфе севернее островов Новая Сибирь и Фаддеевский, следует объяснять ледниковым выпахиванием, или, точнее, отрывом поверхностных пластин осадочного чехла шельфа и их передвижкой на десятки километров к югу. Механизмы образования и перемещения таких пластин, или гигантских отторженцев, к настоящему времени довольно хорошо изучены. Сейчас ясно, что ключевая роль в их отторжении принадлежала касательным напряжениям на контакте льда с ложем и повышенному поровому давлению воды в подмерзлотном горизонте этого ложа. На месте отрыва пластин как раз и должна была возникнуть обширная плоскодонная депрессия, а на месте их остановки и скучивания — построенные льдом возвышенности, ставшие островами. Пластины надвигались друг на друга, нарушая нормальную последовательность слоев. Эти нарушения были замечены С. Л. Троицким и другими геологами. А К. К. Марков после безуспешных попыток разобраться в местной стратиграфии отметил ее полнейшую неясность. «Невозможно понять, — писал он в 1965 году, — почему, например,

ископаемые льды Новосибирских островов следует отнести к зырянской эпохе оледенения, а нижний горизонт глин с морскими моллюсками считать отложениями боральной трансгрессии... Почти каждое определение возраста отложений сопровождается здесь оговорками, лишающими выводы определенности».

Надо особо подчеркнуть сопряженность плоскодонной депрессии и рассматриваемых гляциотектонических построек. Как показал белорусский геолог Э. А. Левков, тесная связь таких построек и впадин — характерная особенность древнеледниковых областей, а изучение тех и других показывает, что материал, пошедший на сооружение построек, был извлечен из соседних с ними впадин. В этой связи комплексы из впадин и сопряженных с ними напорных морен Левков называет гляциотектонопарами. По-видимому, в районе Новосибирских островов мы как раз и сталкиваемся с одной из крупнейших гляциотектонопар.

Теперь самое время вернуться к вопросу о происхождении дуговидных подводных валов. После всего сказанного с ним просто — ведь валы явно входят в состав геоморфологического комплекса района и, как это видно на карте, образуют единую систему с асимметричными структурными грядами островной суши. Поэтому можно думать, что генезис тех и других аналогичен, что подводные валы — суть лобовые края гляциотектонических чешуй-скиб, взброшенных по наклонным разрывам.

В целом бросается в глаза, что по всем своим характеристикам — форме, структуре, набору компонентов и плановому рисунку — геоморфологический комплекс

района Новосибирских островов поразительно близок ледниковым комплексам Белоруссии и Прибалтики, Таймыра и севера Западной Сибири, северных равнин Польши и ГДР, Канады и США, т.е. областей, где ледниковые покровы взаимодействовали с «мягким» ложем. Для краевых образований всех этих областей характерен «единый набор» признаков. Согласно американским геологам Р. Олдейлу и Ч. О'Хейру, они почти всегда построены из слоистых пород мелового и третичного возраста и лишь в небольшой степени — из отложений плейстоцена, в основном неледниковых; для них типична ярко выраженная поверхностная складчато-надвиговая структура, а для разрезов дислоцированных пород — частые повторы одних и тех же слоев и пачек; дислокационные структуры этого типа прямо выражены в рельефе, образуя асимметричные гряды высотой в десятки метров, причем крутые склоны гряд соответствуют выходам лобовых краев надвиговых чешуй-скиб; гряды имеют дугообразную плановую форму, они обычно объединяются в гирлянды и ансамбли типа рыбьей чешуи; с внутренней стороны к ним примыкают понижения, которые часто занимают болота, озера, морские заливы. Это обобщение сделано на базе изучения гляциотектонических сооружений многих районов, в том числе массачусетских морен — миниатюрной «островной дуги» у берегов Новой Англии. Но ведь весь этот перечень признаков приложим и к Новосибирским островам! В частности, совершенно идентична плановая форма гирлянд островов и подводных морен. Ну как тут не вспомнить слова А. И. Китайгородского из его

знаменитой «Рениксы»: «Всякий раз, когда природа поставлена в тождественные условия, она откликается одинаковым образом». И конечно же, верно и обратное: раз ее «отклик» (в данном случае — рельеф) одинаков, значит, и условия были тождественны.

Итак, на Новосибирских островах и окружающем шельфе мы видим целый комплекс следов ледникового щита, центр которого располагался северо-восточнее архипелага. В нем, правда, отсутствуют подводные желоба-троги, столь характерные для большинства гляциальных шельфов, а на скальных породах, слагающих острова Котельный и Врангеля, никому не удалось обнаружить ложбин ледникового выпахивания и бараньих лбов со штрихами и шрамами. Но эти факты отнюдь не противостоят выводу об оледенении Восточносибирского шельфа, просто лед здесь был холодным, на больших площадях примороженным к ложу, он не мог скользить по своему субстрату и не производил его истирания. На участках «жесткого» ложа он двигался за счет внутренних деформаций, а на участках «мягкого», но мерзлого ложа — смещался вместе с примороженными пластинами осадочных пород, легко скользивших по водонасыщенному подмерзлотному горизонту.

До какого же рубежа продвигался южный край Восточносибирского щита? Об этом можно только догадываться, так как типичные конечно-моренные пояса на севере Якутии неизвестны. Здесь приходится опираться на более косвенные данные — следы недавнего подпруживания текущих на север рек, дислокации молодых осадочных пород приморских равнин,

прадолины и маргинальные каналы.

На недавнее подпруживание северных рек Восточной Сибири указывают толщи озерных отложений — глин, мелкозернистых песков и супесей, имеющих бассейновую слоистость и значительные — до 30—50, иногда 100—120 метров — мощности. Озерные толщи, часто сильно льдистые, и потому называемые ледовым комплексом, или едомой, заполняют нижние участки долин Лены с притоками, Яны, Индигирки, Колымы. Они погребают доледниковые террасы, трансгрессивно налегают на неровные, не подготовленные эрозией склоны. Именно эти данные, рассмотренные вместе со следами оледенения шельфа, убеждают в реальности древних озер Северной Якутии, позволяют восстановить их контуры и уровни. Впрочем, я лишь развиваю взгляды ряда мерзлотоведов, которые давно поняли, что без подпруды на севере накопление мощной едомы никогда бы не осуществилось. А сотрудники «Аэрогеологии» А. И. Музис и Р. О. Галабала прямо писали, что рельеф Яно-Колымской низменности в плейстоцене преобразовался и главной причиной этого было «... возникновение запруды в виде ледникового покрова в районе шельфа Восточно-Сибирского моря».

Не менее важную информацию о положении края ледникового щита несут с собой дислокации молодых, от меловых до плейстоценовых, отложений североякутской суши. В низовьях Индигирки, у озера Тас-Тас, они были обнаружены еще в начале века участником экспедиции Толля К. А. Воллосовичем. Давно известны также складчатые деформации третичных от-



ложений района Быковской протоки дельты Лены, которые резко — до  $65^\circ$  — расходятся с простиранием складок в более древних, пермских и триасовых породах. А чуть южнее, на восточном склоне Приморского кряжа, в близком соседстве с бухтой Тикси, М. Ф. Лобанов описал целую систему поверхностных дислокаций — узкие асимметричные складки с крыльями, падающими под углами до  $75^\circ$ , «гофрировку» слоев, мелкие взбросы, надвиги и сдвиги, имеющие амплитуды в десятки метров. Причем он понял: выявленные структуры — результат горизонтального давления, направленного с востока на запад, т.е. с моря на сушу. Этот напор Лобанов, как и все авторы прежних описаний, еще связывает с глубинной тектоникой, с «разными фазами альпийского орогенеза». Однако все особенности этих дислокаций — чисто поверхностный характер, вовлеченность в них плейстоценовых осадков и ясно выраженная связь с горизонтальным давлением, направленным со стороны шельфа, откуда ничто, кроме ледникового щита, давить не могло, — наводят на мысль об их экзогенной, т.е. внешней по отношению к земной коре, природе.

Именно к такому выводу совсем недавно пришел якутский геолог В. Б. Спектор. Проведя детальные исследования рельефа и рыхлых отложений района Тикси и составив их карту, он обнаружил следующее. Поверхностный (или «геоморфологический») слой, содранный с побережья и морского дна, перемещен здесь с северо-востока на юго-запад. При этом были выпаханы продольные борозды с ложковидным профилем, теперь заполненные водой, и сооружены гряды,

имеющие чешуйчатую структуру и дуговидную форму; они обращены выпуклостями на юго-запад, с моря на сушу. Выраженные в рельефе надвиги «наложены» на рельеф четвертичного возраста, в то же время они явно не согласуются с «подстилающими» мезозойскими структурами. Один из таких надвигов, Севастьяновский, имеет протяженность несколько десятков километров и форму фестончатого хребта высотой 100—200 метров и сопровождается рядом сдвиговых дислокаций — более низких гряд с множеством озер между ними. «Так что вид местности — вполне ледниковый, а вся структурная вергентность имеет направление от моря!» — писал он мне в начале 1989 года.

Почему я столь обстоятельно рассказываю о дислокациях района Тикси? Да потому, что они позволяют определить длину той линии тока льда, которая начиналась где-то северо-восточнее Новосибирских островов и упиралась в северные отроги Верхоянского хребта. И раз эта линия — один из радиусов ледникового щита, то другие должны были достигать кряжа Полоусный и более восточных возвышенностей, даже переваливать через их водоразделья! Но возникает вопрос: а есть ли на этот счет более прямые, геологические, указания? Некоторые специалисты уже поспешили ответить «нет». Однако за этим стоит лишь неистребимая приверженность традиции. Ведь на севере Якутии следов оледенения уже много лет никто не ищет, причем не в последнюю очередь как раз из-за той самой веры в «безледный Северо-Восток», которая довлеет над исследователями. Существуют, конечно, и объективные трудности. Ледни-

ковый щит Северо-Востока имел сравнительно скудное питание и низкую энергию, поэтому он мог не создавать и типичных краевых образований. К тому же последние могут быть перекрыты толщами льдистых осадков подпрудных озер, которые смещались на север по мере отступления ледникового края.

Зато здесь явно перспективны поиски новых гляциодислокаций, а также «мертвых» каналов стока талых ледниковых вод. Этому, кстати, учит и опыт исследований других районов с низкой энергией оледенения, в частности запада Канадской Арктики, где гляциотектонические структуры и маргинальные каналы — главный ключ к пониманию географии и динамики ледниковых покровов прошлого. На карте края Полоусного мне удалось выявить несколько сквозных долин, открывающихся на юг, и убедиться, что они неотличимы от долин прорыва в горах Ричардсон, через которые талые воды Лаврентьевского щита сбрасывались на юго-запад, во внутренние котловины Аляски. Сквозные долины Полоусного также можно объяснить лишь эрозией при сбросах воды, накапливавшейся между Восточносибирским щитом и краем. А на склонах этого края и равнинах, примыкающих к нему с юга и севера, сейчас известно немало субширотных прадолин. Часть их заполнена мощными толщами песков, а часть «протаяна» в сильно льдистых и, как следует из некоторых наблюдений, деформированных отложениях едомы. Якутские прадолины могли образоваться у края древнего ледникового щита, однако пока это лишь гипотеза: они до сих пор почти не изучены. Между тем не по ним ли

следует проводить южную границу Восточносибирского щита в период его отступления?

Постепенно накапливаются и данные о продолжении Восточносибирского щита к востоку от Новосибирских островов. Об этом, в частности, говорят туннельные долины, врезаемые в дно Чукотского моря по обе стороны от банки Геральд. Кроме того, на прибрежных шельфах Восточно-Сибирского и Чукотского морей стали известны широтные прадолины, две из которых пересекают остров Врангеля. Отрезки широтных, т.е. параллельных береговой линии, долин, ныне сухих, обнаружены также в береговой зоне между устьем Колымы и Чаунской губой. К тому же имеются ясные следы отклонения стока якутских рек через эту губу на юг, в бассейн Анадыря, к чему я еще вернусь. Но чтобы такая «перевоска» стала возможна, вода в подпрудных озерах Северной Якутии должна была подниматься до 300 метров над современным уровнем моря, а это требовало мощной и сплошной плотины. Естественно, что ею мог быть только ледниковый щит, надвигавшийся с севера как на приморские низменности, так и на северные склоны прибрежных гор.

Конечно, в этих условиях неизбежно и возникновение морен напора, или гляциотектонических структур, однако в литературе по району сведений о них нет. Тем важнее уникальные данные, приведенные в письме горного инженера из Магадана Ю. В. Баркана. Судя по его наблюдениям, сделанным в 1981 году на юго-востоке Чаунской низменности в штреках Чаанайской шахты, там имеются следы крупноамплитудных смещений блоков-плит осадочного чехла

по пологим разрывам, связанным с ледниковым напором с севера. На глубинах 100 и 40—60 метров он выявил горизонты разрывных дислокаций и установил, что именно по ним развивались блоковые движения, по ним вошли в контакт мерзлые толщи суглинка, кварцевого галечника, песка. Эти горизонты маркированы брекчиями из отторженцев с притертыми контактами и зеркалами скольжения, дроблеными валунами и галькой, разорванными линзами торфа с «расташенными» и раздавленными стволами древесины-плавника; слоистость здесь нарушена, обломки мерзлой глины вдавлены в песок... И все они ясно указывают на условия «гляциостресса с севера». Тот же вывод легко сделать при рассмотрении зарисовок, приложенных к письму. «Так что чукотское побережье Северного Ледовитого океана — отнюдь не оазис среди плейстоценовых ледников Севера, а лишь участок, где следы оледенения остаются незамеченными». Это заключительные слова Ю. В. Баркана. А все его письмо было критической реакцией на мою книгу 1983 года, где я изложил традиционный (и ошибочный) взгляд на оледенение северо-востока.

Наконец, факты и косвенные соображения приводят к выводу, что Восточносибирский щит смыкался с Чукотским ледниковым куполом. Последний, судя по имеющимся геологическим данным, целиком покрывал одноименный полуостров, а его периферия выходила на Чукотский и Берингийский шельфы. Об этом говорит фьордовое побережье восточной и южной части полуострова, занос чукотских валунов на остров Св.Лаврентия, отмеченный исследова-

телем Аляски Д. Хопкинсом, а также молодые, перекрытые лишь голоценовым илом, морены на прибрежном шельфе. На существование ледникового центра на шельфе Чукотского моря и перетекание его льда через полуостров, в сторону Берингова моря, указывают долины ледникового прорыва в широтных хребтах. Подобные долины — сквозные трогии — надежный признак ровного оледенения. Они известны во всех горных странах, где были такие оледенения и где вершины ледниковых щитов не совпадали с водораздельными гребнями подледных хребтов, так что последние пересекались (и прорывались) ледяными потоками. Подобные ситуации возникали в Скандинавии, Шотландии, Британской Колумбии, на Аляске, Таймыре, в Саянах — и во всех этих районах мы видим сквозные трогии.

### Погребенные остатки ледниковых покровов

Судя по исследованиям последних лет, на равнинах севера Сибири распространены пластовые залежи подземного льда. География их нахождение быстро расширяется. Помимо Новосибирских островов, она теперь включает весь север Западной Сибири, Таймыр, бассейн Котуя и прибрежные низменности севера Якутии и Чукотки. Еще недавно думали, что такие льды — явление уникальное, весьма редкое, сегодняшний же опыт учит: не менее половины скважин, которые мы решили бы заложить на низких водоразделах названных областей, непременно встретят пластовые льды.

Происхождение подобных льдов долго считалось дискуссионным, споры на этот счет не утихли до сих пор. Однако изучение их структурных особенностей, состава и условий залегания, а также взаимоотношений с толщами морены позволило Ф. А. Каплянской и В. Д. Тарноградскому доказать, что основная масса пластовых льдов — суть нерастаявшие остатки ледниковых покровов. Это стало особенно очевидным, когда к их исследованию привлекли изотопно-кислородный метод. Решающую роль здесь сыграли работы на Ледяной горе (в долине Енисея у Полярного круга), в дельте реки Маккензи и на острове Виктория в Канадской Арктике. Между прочим, и на северной окраине Чукотского полуострова, на Ванкаремской низменности, московский геолог С. А. Лаухин при бурении обнаружил погребенные глетчерные льды, которые включают штрихованные валуны-ледогранники и перекрыты мореной.

В общем, все более утверждается мнение, что подземные льды пластового типа — отнюдь не свидетельство особого, подземного, оледенения, представляющего некую «сибирскую альтернативу» материковым ледниковым покровам, как утверждали противники взглядов Толля. В них теперь видят реликты ледниковых покровов. Такие реликты должны сохраняться всюду, где покровное оледенение «накладывалось» на многолетнемерзлые грунты, которые остаются мерзлыми и поныне. Сейчас можно утверждать: в Сибири существует величайшее в мире поле, где под плащом скованных мерзлотой суглинков и торфа сохранены остатки плейстоценовых ледников. Судя по результатам бурения, отдельные тела пластовых льдов имеют

площади в десятки квадратных километров и значительные, до 40—60 метров, мощности. А суммарный объем остаточного глетчерного льда Северной Евразии, по моим оценкам, близок к 10 тысячам кубических километров. Это примерно в 100 раз больше общего объема подземного льда всех остальных типов — сегрегационного, инъекционного, повторно-жильного, льда-цемента. И почти столько же, сколько сосредоточено во всех ледниках, существующих сейчас на территории СССР, в том числе в Советской Арктике.

Возникает вопрос: каковы же механизмы захоронения столь больших масс природного льда? Повидимому, их было несколько. Какая-то их часть погребалась, как в районе Новосибирских островов, под пластинами мерзлых пород в ходе гляциотектонической переработки осадочного чехла. Возможно, что так, путем захоронения льда под надвинутыми пластинами мерзлых пород, возникли и эфемерные острова Семеновский и Васильевский, которые были затем «съедены» термоабразией моря Лаптевых. Другой механизм захоронения ледниковых реликтов — их быстрое погребение под озерно-болотными осадками с последующим промерзанием. Ведь к южному краю Карского и Восточносибирского щитов примыкали подпрудные озера, а деградация оледенения сопровождалась наступлением этих озер на север и затоплением останцов придонного льда, которые обычно перегружены включенной мореной, а потому неспособны к всплыванию. На первых порах затопление ускоряло таяние, однако после образования достаточно толстого слоя абляционной (т. е. вытаявшей из льда) мо-

рены и озерных осадков оно прекращалось. Физическая реальность данного механизма подтверждается наблюдениями у берегов Аляски. Там, на участке прибрежного мелководья, примыкающем к конечной морене гигантского ледника Беринга, недавно выявлена подводная залежь пластового льда площадью около 20 квадратных километров. Установлено даже, что под тонким слоем морских осадков лед неравномерно протает и на нем идет образование каменных холмов и термокарстовых западин.

Легко представить, сколь ценным объектом специальных гляциологических исследований могут стать погребенные остатки Евразийского ледникового покрова. Это ведь «живой» плейстоценовый лед, с прижизненно включенной в него мореной! Но сейчас нам важнее другое: поля подземного льда этого типа подтверждают выводы о широком распространении покровного оледенения, служат дополнительным аргументом в пользу правильности его границ, показанных на приведенных здесь картах. И теперь с полным правом...

## Рельеф щитов рисуют компьютеры

Да, для объемной, или трехмерной, реконструкции ледниковых щитов и Евразийского ледникового покрова в целом, которая представлена на рис. 5, потребовались современные ЭВМ. Однако первые шаги на пути к такой реконструкции были сделаны много раньше, когда компьютеры этого еще не умели. В то время, каких-то 10—20 лет назад, гляциологам приходилось опираться на упро-

щенные методы. Так, один из пионеров этих работ ленинградский геолог П. С. Воронов определял форму и толщины древнеледниковых щитов с помощью эмпирически найденного соотношения их высот и радиусов. Его метод использовался и другими, в том числе мной. При воссоздании формы «вымерших» ледниковых покровов мы старались исходить из актуалистического допущения, что эта форма была в принципе аналогична форме ледниковых щитов, которые и ныне существуют в Антарктиде и Гренландии. И потому на площадях, очерченных конечно-моренными поясами и другими краевыми образованиями, рисовали выпуклые щиты с параболическими профилями, на месте желобов-трогов — ледяные потоки, подобные антарктическим, а там, где ледниковый покров граничил с глубоким и холодным океаном, — плавающие плиты шельфовых ледников.

Но теперь положение изменилось. Гляциологи вооружились компьютерами и дополнили свои ряды профессиональными математиками, в этой старой науке появилась новая отрасль — вычислительная гляциология. Разработаны машинные программы, позволяющие моделировать практически все гляциологические процессы, в том числе рост и деградацию ледников под влиянием изменений природной среды. Так что мы можем положиться на компьютер: получив от нас данные о границах оледенения, рельефе местности, механических свойствах поверхностных отложений и палеоклимате, он сам рассчитает форму профилей щитов, а потом нари-

сует щиты с изолиниями равных высот, поверхностными линиями тока, величинами атмосферного питания, контурами участков донного таяния и примерзания.

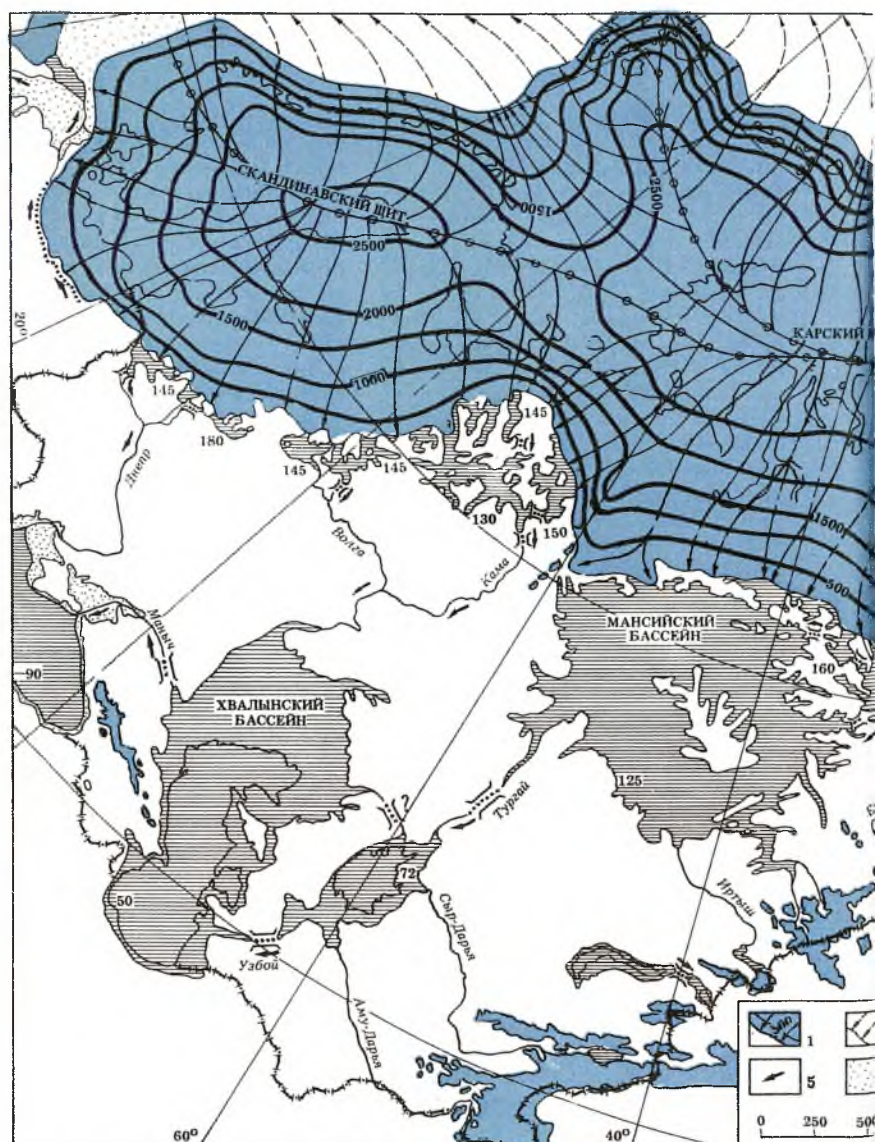
В микрокомпьютерном центре Института географии АН СССР такой работой занимались В. Л. Мазо и В. А. Балаева. Занимались представленными выше границами и гляциологи США: Д. Макайел и Д. Линдстром из Чикаго и Теренс Хьюз из Мэнского университета использовали их в собственных компьютерных моделях последнего оледенения и этапов его деградации. Результаты одной из них, еще не опубликованной, но любезно предоставленной мне Хьюзом, я заимствовал при изображении рельефа Евразийского ледникового покрова.

Реконструкция этого покрова, показанная на рис. 5, заметно отличается от всех палеогляциологических карт, публиковавшихся мною прежде. Восточная часть Евразийского покрова теперь не оканчивается на Таймыре, а простирается много дальше, перекрывая и Новосибирские острова и остров Врангеля с банкой Геральд. Это значит, что ледниковый покров распространялся не только на Баренцево-Карский шельф, но и на шельфы морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, в пределах которых, как теперь ясно, существовал особый, Восточносибирский, ледниковый щит. По своей площади он был равен Гренландскому, а его ледораздел поднялся выше 2000 метров.

Из новой карты также следует, что Карский ледниковый щит, занимавший весь центр Северной Евразии, был значительно крупнее, чем

первоначально предполагалось, и много больше Скандинавского щита. Он растекался из центра, ледявшего, как я уже указывал, над западной частью Карского шельфа, где высота ледниковой поверхности достигала 2700 метров. На севере карский лед сползал в глубоководный Арктический бассейн, используя желоба «Св.Анны», Воронина и североземельские проливы; на востоке он сливался с Восточносибирским щитом; на юго-востоке переваливал через горы Бырранга, ассимилировал Пutorанский ледниковый комплекс и выходил на Среднесибирское плоскогорье; на юге наступал на Западно-Сибирскую равнину вплоть до Сибирских увалов; на юго-западе преодолевал Пай-Хой, «перешагивал» через Вайгач и вторгался в бассейн Нижней и Средней Печоры; наконец, на западе двигался поперек барьера Новой Земли и, выпавая на этом пути поперечную рывину Восточно-Новоземельского желоба и несколько сквозных трогов, включая Маточкин Шар, выходил на Баренцев шельф и его крупнейшие желоба-троги Медвежинский и Франц-Виктория.

Таким образом, Карский щит доминировал в Евразийской Арктике, его лед распространялся на север Европейской части СССР, преодолевая горные барьеры. Эта картина идет вразрез с расхожим представлением о крайней сухости плейстоценового климата Сибири и может показаться невероятной. Однако, судя по численным моделям, атмосферное питание внутренней области этого щита отнюдь не было скудным и составляло 20—25 сантиметров в год (в слое воды). К тому же размеры ледниковых покровов зависят не только от приходных статей их баланса массы, но и от





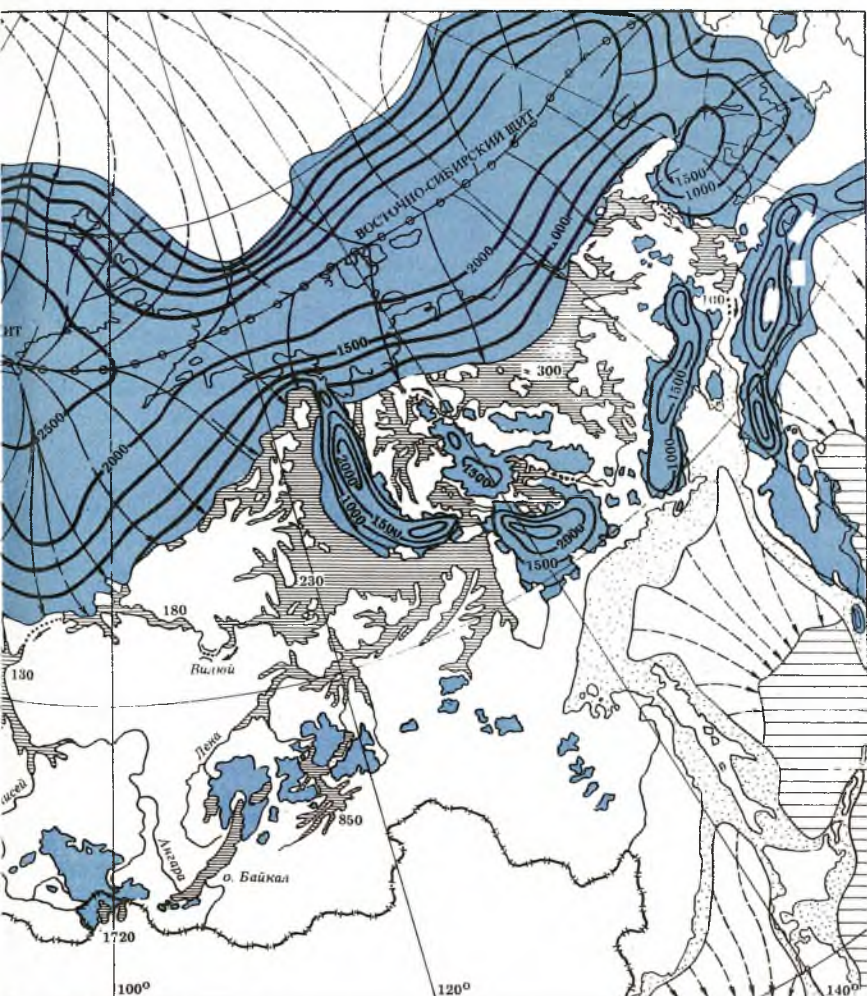


Рис.5. Последнее оледенение территории СССР: сопряженная система ледниковых покровов, озер и проток около 20 тысяч лет назад. По М.Гроссвальду и Л.Глебовой. Рельеф ледниковых щитов по Т.Хьюзу

1 - ледниковые покровы равнин и гор; 2 - плавающие шельфовые ледники; 3 - озера; 4 - каналы стока талых вод; 5 - направления их стока; 6 - осушенные шельфы; 7 - свободный от ледников океан. Числа у озер - их уровни



расходных (что известно каждому, кто волнуется за состояние нашего госбюджета), между тем сравнительно невысокая скорость питания здесь с лихвой компенсировалась слабым таянием и затрудненностью стока льда в океан.

На новой карте мы не видим ставшего привычным Баренцева ледникового щита. Судя по ней, почти всю площадь Баренцева шельфа занимали гигантские ледяные потоки, в которых карский лед объединялся со скандинавским. Движением этих потоков и их эродирующим воздействием можно объяснить и положение желобов-трогов шельфа, и уступы его дна, и известные дислокации острова Колгуева. Последние, возможно, близки гляциотектоническим структурам Новосибирских островов.

Итак, последнее оледенение охватывало всю Евразийскую Арктику, включая и ее северо-восточную часть. Оно было представлено тремя ледниковыми щитами — Скандинавским, Карским и Восточносибирским, а также Чукотским ледниковым куполом. Их приблизительные площади соответственно составляли 3400 (на территории СССР — 1500), 5900, 2300 и 400 тысяч квадратных километров. Что касается Путоранского ледникового комплекса, оставившего яркие следы на северо-западе Средней Сибири, то он целиком поглощался Карским щитом и только на заключительных стадиях оледенения становился самостоятельным.

Компьютерная реконструкция высветила несколько морфологических особенностей ледникового покрова, которые заметно меняют сложившиеся представления о его форме. Во-первых, ледниковые седловины, которые разделяют

главные щиты, оказались на полкилометра выше, а степень обособленности Свальбардского купола (северо-западного «отрога» Карского щита) много слабее, чем было показано на прежних картах. В целом весь Евразийский ледниковый покров теперь выглядит более монолитным, чем он казался раньше, а его отдельные купола, возникавшие между ложбинами крупнейших ледяных потоков, не более обособленными, чем купола В и С в современной Антарктиде.

Во-вторых, бросается в глаза пологость южных краевых зон ледниковых щитов. Они уже не столь выпуклы, как на прежних реконструкциях, в чем сказалось падение значений предельного сопротивления сдвигу у ложа  $\tau_b$  в областях с «мягким», легко деформируемым ложем.

В-третьих, Восточносибирский щит оказался еще более крупным — он завоевал новую площадь, шагнув за пределы Чукотского шельфа в область подводных поднятий хребта Менделеева (плато Арлис), Чукотского купола и хребта Нортвинд. Глубины 300—700 метров не помешали краю щита закрепиться на этих поднятиях...

Но чтобы такое выдвигание льда на север, на значительные глубины в зоны шельфа и подводных поднятий стало возможным, края щитов должны быть подпружены. Чисто механические аргументы убеждают, что без подпора эти края никогда бы не стабилизировались — потери на откол айсбергов были бы столь велики, что никакие снегопады не смогли их восполнить. Есть и балансовые аргументы: сток ледниковых масс в Арктический бассейн, где тая-

ние прекращалось, должен был сравнительно быстро создать в нем шельфовый ледник толщиной до полутора километров. Этот вывод, впервые сделанный американским геологом Джоном Мерсером, успел найти немало подтверждений. Недавно его поддержали и уже упоминавшиеся математики Макайел и Линдстром, выполнив численное моделирование плавучего ледника Норвежско-Гренландского бассейна. Так что Евразийский покров не мог оканчиваться на внешних границах шельфа, а должен был продолжаться в глубоководную впадину Северного Ледовитого океана и переходить в плавучий шельфовый ледник. Выходит, что этот океан не только обрамлялся ледниковыми щитами, но и сам покрывался толстым плавучим ледником, объединявшим ледниковые системы Евразии и Северной Америки.

Конечно, шельфовый ледник, образованный из смерзшихся айсбергов и подверженный новым дроблениям на контактах с ледяными потоками и подводными хребтами, не мог быть сплошным. Он изобиловал полыньями и сквозными трещинами, а это значит, что под лед проникала солнечная энергия, поддерживая жизнь фитопланктона и привязанных к нему трофических цепочек морской фауны. В то же время способность такого ледника противостоять горизонтальному сжатию вряд ли снижалась. Ведь известно, что, например, металлы со структурой, похожей на пчелиные соты, не уступают по прочности своим массивным разностям. Это, кстати, давно поняли конструкторы вертолетов, стремившиеся облегчить их несущие винты. Таким

образом (подсказанным мне коллегой из США Джоржем Дентоном) удастся устранить видимое противоречие между необходимостью ледникового подпора «морских» щитов, а значит, толстого шельфового ледника в Арктическом бассейне, и фактом сохранности в нем нескольких видов доледниковых моллюсков и рыб.

## **Оледенение гор, подпрудные озера и все другое**

### **Горно-ледниковые комплексы**

Почти все горные системы СССР, за исключением, может быть, лишь Карпат, Копетдага и Сихотэ-Алиня, подвергались сильному оледенению. На Кавказе, Памиро-Алае, Тянь-Шане, Алтае, в Саянах, Прибайкалье и Забайкалье, на северо-востоке Сибири и Камчатке формировались ледниковые комплексы полупокровного, или покровно-сетчатого, типа. Работая над Атласом снежно-ледниковых ресурсов мира, недавно законченным в Институте географии АН СССР, мы составили их карты в масштабах от 1:3 000 000 до 1:10 000 000. При этом использовались ценнейшие данные, опубликованные предшественниками, в том числе книги и статьи, геоморфологические схемы из объяснительных записок к листам геологической карты СССР. Немалую роль сыграли и собственные полевые исследования, а также дешифрирование материалов космо-и аэро съемки. Выработывая свои подходы, мы опирались на опыт изучения современного горного оледенения, ко-

торый учит: усиление такого оледенения всегда означает не только рост числа и длины ледников, но и их утолщение. А это ведет к объединению ледников соседних долин, выходу льда на водоразделы и общему повышению связности ледниковых систем. Ведь ледниковые комплексы всех районов современного горного оледенения большой интенсивности — Аляски, Каракорума, острова Элсмир — отличаются высокой степенью сплошности.

В нескольких горных районах — на Тянь-Шане, Памире, Восточном Саяне, хребтах Сунтар-Хаята и Верхоянском, Колымском и Корьянском — вероятно, существовали локальные ледниковые купола, т. е. небольшие формы покровного оледенения. На это указывают концентрический плановый рисунок конечных морен, почти полное отсутствие нунатаков, рельеф интенсивной экзарации, одинаково характерный для долин и водораздельных пространств, а также наличие уже упоминавшихся сквозных трогов, секущих основные хребты. Средние мощности льда крупнейших горноледниковых комплексов, видимо, были близки к 500 метрам. Эта оценка совпадает с результатами расчетов, сделанных для подобных образований американскими геофизиками Дж. Холлином и Д. Шиллингом, а также с данными зондирования современных ледников Аляски и Канадской Арктики.

Изучение древнего оледенения гор СССР продолжается, в последние годы в нем достигнуты некоторые успехи, связанные с работами Д. Б. Базарова, В. В. Колпакова, И. В. Мелекесцева,

П. А. Окишева, В. Н. Орлянкина и других. Их данные позволяют заключить, что во всех горных районах страны плейстоценовая снеговая граница снижалась как минимум на 1000 метров, вызывая оледенения высокой интенсивности. Правда, с этим согласны далеко не все. И вообще работа по восстановлению древнего оледенения гор идет совсем не бесконфликтно, публикуемые результаты часто противоречивы и нелогичны, что, как мне кажется, связано не столько с нехваткой материалов, сколько с пробелами в подготовке специалистов. В подтверждение могли бы привести немало примеров из собственного опыта, полученного в Саянах, на Памире и Тянь-Шане. Однако ограничусь лишь парой слов о впечатлениях, оставшихся от недавней поездки в прииссыкульскую часть Тянь-Шаня. За три недели, проведенные в «поле», мы со спутниками убедились, что депрессия позднеплейстоценовой снеговой линии там составляла 1100—1200 метров, в связи с чем ледники с хребтов Кунгей и Терской Алатау сползали в Иссык-Куль и запирали Боомское ущелье, а само озеро становилось ледниково-подпрудным. Надо ли говорить, что данные выводы новы и неожиданны. Но ведь что интересно: все факты, на основе которых они сделаны, вовсе не спрятаны у заоблачных вершин, все они тут же, на берегу озера, по обе стороны от асфальтового шоссе. И никто их не видит.

В общем-то, феномен такой слепо-давно объяснен. Исследователь еще до начала работы должен иметь разумную, основанную на новейших достижениях

науки гипотезу, делающую его поиск осмысленным. Не имея ее, можно проглядеть даже самые красноречивые факты. Академик Марков любил приводить пример, как даже такой внимательный наблюдатель, как И. В. Мушкетов, не будучи знаком с ледниковой теорией, прошел мимо морен Алайской долины. А в книге А. Ю. Ретеюма приведены впечатления Ч. Дарвина от его путешествия с геологом А. Седжвиком по одной из альпийских долин. «Не догадываясь о плейстоценовом оледенении Европы, — писал Дарвин, — мы и тут не смогли заметить ни отчетливых шрамов на скалах, ни нагромождений валунов, ни боковых и конечных морен. Между тем они окружали нас со всех сторон. И были настолько очевидны, что даже дом, сгоревший во время пожара, не расскажет о том, что с ним произошло, более ясно, чем эта долина об оледенении».

Горно-ледниковые комплексы, показанные на рис. 5, были измерены по крупномасштабным картам. В результате выяснено, что площадь объединенной покровно-сетчатой системы Памира и Тянь-Шаня составляла 250 000 квадратных километров, такие же ледниковые системы Алтая и Саяно-Тувинского нагорья — по 90 000, Прибайкалья и Забайкалья — свыше 110 000. Еще более крупные комплексы существовали на северо-востоке: Верхоянский имел площадь 225 000 квадратных километров, Сунтархатинский — 185 000, Колымский — 205 000, а Камчатско-Корякский — даже 550 000. Наветренный (восточный) край последнего на широком фронте выдвигался на Берингийский шельф,

но иначе и не могло быть: снеговая линия здесь снижалась до уровня моря.

Не противоречит ли столь крупное оледенение горному климату ледниковой эпохи? Еще недавно споры на эту тему носили схоластический характер, поскольку ни древние температуры гор, ни количество осадков известны не были. Однако теперь положение изменилось. Из работ палеоботаников, геохимиков, мерзлотоведов, из численных моделей палеоклиматологов мы знаем, что в умеренных широтах среднее похолодание материков составляло 7—8°, причем в межгорных котловинах и над крупными нагорьями оно могло доходить и до 14—20°. А применение гляциологического метода, предложенного А. Н. Кренке, позволило на базе палеотемператур и высот снеговой линии рассчитывать и интенсивность снежного питания горных ледников. Так что сегодня известно: на Северо-Востоке СССР, в Верхоянском и Колымском хребтах и горах Черского, ледники наветренных склонов ежегодно получали снега по 50 граммов на квадратный сантиметр. На наветренные склоны гор Средней Азии, Южной Сибири и Тихоокеанского побережья в среднем поступало вдвое больше влаги. А рекордной была аккумуляция снега на ледниках Западного Кавказа, которая доходила до 300 граммов на квадратный сантиметр. Велики или малы эти значения? Судите сами: на половине площади современной Антарктиды аккумуляция меньше 10 граммов на квадратный сантиметр, а на Шпицбергене, считающемся областью океанического климата, этот показатель варьирует от

150 до 25. Так что древние ледники гор СССР имели совсем неплохую норму питания.

### Приледниковые озера, системы стока талых вод

Одним из самых ярких следствий оледенения арктической окраины Евразии было подпруживание северных рек — Северной Двины, Печоры, Оби с Иртышом, Енисея, Лены, Колымы и множества более мелких. В их бассейнах возникали подпрудные озера, в ряде случаев — огромные. Вместе с целым комплексом русел-проток, спиллвеев, прадолин и внутренних озер-морей они объединились в две приледниковые системы стока талых вод — Западную и Восточную.

Западная система была поистине грандиозной — недаром И. А. Волков и В. С. Волкова, первыми понявшие неизбежность ее образования, дали ей имя Великой. На рис. 5 можно видеть, что в эпоху максимума последнего оледенения пресноводные бассейны и протоки Западной системы простирались от Верхоянского хребта на востоке до Альп на западе, т. е. более чем на 7 тысяч километров по широте. Система собирала воду с площади, которая составляла около 21 миллиона квадратных километров. Это значит, что по своим размерам она втрое превосходила современный бассейн Амазонки и, возможно, была крупнейшей водосборной системой в истории Земли. Приведем данные о площадях ее главных элементов (в тысячах квадратных километров): Новозвксинский пресноводный бассейн, занимавший впадину Черного моря, — 300, Хвалынский бассейн —

более 900, Аральский — 240, Мансийское озеро-море — около 950, Лено-Вилюйское озеро — свыше 500. Весь сток этой колоссальной системы поступал сначала в Новозвксинский бассейн, а затем через Мраморное море, становившееся тоже пресноводным, в восточную часть Средиземного моря. Картина, прямо скажем, неожиданная: сток Оби, Енисея и даже Лены поворачивал (перебрасывался!) на юго-запад, попадая в Мировой океан через Босфор и Дарданеллы. Но таковы факты.

Что касается Восточной системы стока, вызванной к жизни подпруживающим воздействием Восточносибирского щита, то она протягивалась от Верхоянского хребта до Чукотки и далее на юго-восток и юг до Охотского моря на расстояние около 3 тысяч километров. В ее состав входили ледниково-подпрудные озера, возникавшие в бассейнах Яны, Индигирки и Колымы, на месте Чаунской губы и ее низменных побережий, а также в долинах Анадыря и ее притоков Белой и Майна. Из них самым большим было Индигиро-Колымское озеро, разливавшееся на площади до 220 тысяч квадратных километров. На месте именно этих (а также Лено-Вилюйского) озер сформировалась толща едомы, накопление которой было очень быстрым — ведь в ее составе до 80—90 процентов льда. Возможно даже, что это накопление успевало компенсировать подъем озерных уровней. В итоге приледниковые впадины оказались целиком заполнены льдистыми осадками и их поверхности достигали уровня, близкого к 300 метрам, так что только голоценовое таяние (главным образом озерный термокарст) смог-

ло снизить ее до современных отметок.

Из всех проток и спиллвеев, соединявших озера Восточной системы, особенно важную роль играла сквозная долина в верховьях рек Эльгыкаквын, впадающей в Чаунскую губу, и Юрумкувеем, впадающей в приток Анадыря Белую. Высота ее днища — около 300 метров — как раз и определила максимальный уровень, до которого поднималась вода в североякутских озерах. Важно и другое: переброска воды этих озер на юго-восток в бассейн Анадыря могла происходить только в том случае, если Восточносибирский щит смыкался с Чукотским куполом. Иначе она бы стекала на восток по Чукотскому шельфу.

Наконец, из Анадырского озера, о террасах которого московский геолог И. П. Карташов писал еще в 1962 году, вода сбрасывалась через долины Майна и Пенжины. Следы ее сброса сохранились и на дне Охотского моря: согласно Геоморфологической карте СССР (ГУГК, 1987) от устья Восточной системы на юг, через Пенжинскую губу и залив Шелехова, на 700 километров тянется подводная долина с цепочкой замкнутых котловин-плесов на днище. Эти котловины наводят на мысль о сверхмощных бурных потоках, возникающих при прорывах ледниково-подпрудных озер.

Ключевое место в обеих системах стока занимали протоки, особенно ложбины, текущие водоразделы, — спиллвеи. Крупнейшие из них — Маньчский, Тургайский, Кас-Кетский, Чаун-Анадырский — до сих пор хорошо сохранились и без труда обнаруживаются на топокартах и аэрокосмических снимках. Читатель

может сравнить их географию, отраженную на рис. 5, с доступными ему картами материалами и сам сделать выводы: ведь если бы мы не знали ничего, кроме этой географии, то и тогда могли бы с уверенностью заключить, что низовья рек Северной Евразии испытывали подпруживание.

Итак, причиной возникновения как обеих систем стока талых вод, так и каждого их элемента в отдельности было оледенение. Откуда следует, что эти системы были синхронны оледенению и определение возраста любого из указанных элементов — озерных террас, заполнителей спиллвеев или следов трансгрессии Каспия — равнозначно прямому датированию Евразийского ледникового покрова. Я уже писал, что наличных датировок древнеозерных террас европейского Севера и Западной Сибири достаточно, чтобы быть уверенным: последнее оледенение обеих областей достигало своего пика около 20 тысяч лет назад. То же самое можно сказать и о возрасте Восточносибирского ледникового щита, поскольку возраст едомы (сформированной, как вы помните, в условиях подпруживания) также близок к 20 тысячам лет. Именно об этом свидетельствуют датировки, полученные Г. Ф. Грависом, Т. Н. Каплиной и А. В. Ложкиным. Тот же возраст установлен и для всей цепочки озер и проток, которая соединяла Енисей с Черным морем, причем он определен прямым датированием следов как Енисейского и Мансийского озер, так и Кас-Кетского и Тургайского спиллвеев, Аральского и Хвалынского бассейнов.

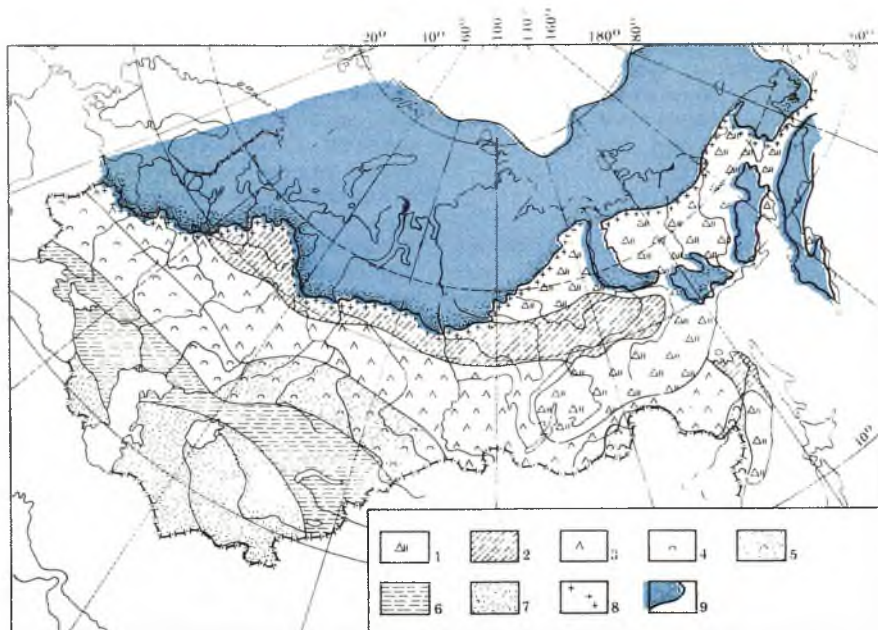
Многие тысячи озер возникали и у краев горно-ледниковых комп-

лексов, лед которых часто перегораживал речные долины или запырал межгорные впадины. Сведения о следах таких озер распылены по множеству статей и отчетов, их обобщение и анализ пока остаются делом будущего. Между тем их роль в плейстоценовом развитии ландшафтов трудно переоценить. Они уступали равнинным озерам в размерах, имея объемы, которые редко превышали десятки и сотни кубических километров, однако лежали на больших высотах и потому обладали огромными запасами энергии. Так, подпрудное озеро, возникавшее при деградации оледенения Алтая в Чуйской впадине, имело уровень свыше 2200 метров, озеро Дархатской котловины Восточного Саяна — 1720 метров, Оймяконское озеро верховьев Индигирки — более 1000 метров, а огромное озеро, подпруживавшееся льдом хребта Кодар в долине Витима и Муйской котловине, — около 850 м.

Как известно, главная особенность режима ледниково-подпрудных озер состоит в периодических прорывах их воды через ледяные плотины. При таких прорывах озерные ванны быстро осушаются, а нижележащие долины подвергаются катастрофическим паводкам. Эти прорывы и паводки происходят очень быстро, за 10—20 дней, а интервалы с максимальными расходами оказываются еще на порядок короче. Зато значения этих — максимальных — расходов крайне высоки. При прорывах современных озер Аляски и Исландии они достигают 5—10 тысяч кубометров в секунду, а при прорывах плейстоценовых озер становились поистине огромными. По моим расчетам, прорыв-

ные потоки Дархатского озера, имевшего объем 250 кубокилометров (равный годовому стоку Волги!), характеризовались расходами до 400 тысяч кубометров в секунду. Еще выше были расходы Катунки при прорывах Чуйского и Курайского озер. А при катастрофических осушениях озера Мизула, возникавшего у края Кордильерского комплекса Северной Америки, расходы потоков доходили до 20 миллионов кубометров в секунду, т. е. в 100 раз превышали расход Амазонки у ее устья. Да и скорости этих потоков достигали 20 метров в секунду. Естественно, что они могли производить колоссальную работу — пропиливать ущелья в базальтах и гранитах, перебрасывать гигантские глыбы, отлагать мощные толщи валунно-галечного материала, придавая их поверхностям специфический рельеф «гигантских знаков ржи». Нередко можно слышать, что все эти явления уникальны, присущи лишь Мизуле и ее прорывам. Но ведь до сих пор никто не обратил внимания на геоморфологические следствия прорывов «Сибирской Мизулы» — гигантского Витимского озера. Между тем оно по площади втрое, а по объему вдвое превосходило Мизулу.

Наконец, особые проблемы возникают в связи с двухъярусностью приледниковых озер Евразии, т. е. наличием их равнинных и горных разностей и неизбежностью динамических взаимодействий между ними. В самом деле, какие встряски получали равнинные озера при прорывах вышележащих горных? Что происходило, когда в них врывались массы воды, имеющие скорость электропоезда, и объемы, близкие к годовому стоку Волги? Вряд ли мож-



**Рис. 6.** Растительные зоны в эпоху последнего оледенения. По Г. Лидтке с уточнениями М. Муратовой: 1 — безлесная тундра, равнинная и горная; 2 — лесотундра; 3 — хвойные редколесья; 4 — холодная лесостепь; 5 — лесостепь; 6 — степь; 7 — полупустыни и пустыни; 8 — приледниковая растительность; 9 — ледниковые щиты и горно-ледниковые комплексы

но сомневаться, что такие катастрофы, повторяющиеся через интервалы в несколько десятилетий, вызывали мощные всплески турбулентности, быстрые подъемы и перекосы озерных поверхностей. А значит, и переработку донных осадков, уничтожение террас, прорывы воды из равнинных озер сразу по нескольким направлениям. Думаю, что это одна из причин относительно слабой сохранности следов равнинных озер.

Здесь же надо бы остановиться на ряде других следствий оледенения. Ведь реконструкция ледниковых щитов и комплексов создает основу для решения всего

разнообразия проблем геоморфологии и происхождения поверхностных отложений, а также палеоклиматологии, биогеографии, истории древнего человека. А роль больших ледниково-подпрудных озер? Недавно ленинградский ихтиолог Л. А. Кудерский показал, что они служили убежищами, в которых пресноводные рыбы смогли пережить оледенение. Использовали рыбы и спиллвеи: только наличие спиллвеев позволяет объяснить такое явление, как проникновение ледовитоморских лососей и форелей в Арало-Каспийский и Черноморский бассейны.



Но пожалуй, в наиболее полном, комплексном виде изменения природы, связанные с оледенением, запечатлелись в «ледниковой» географии почвенно-растительных зон (рис. 6).

## Заключение

Итак, мы знаем, что в последний ледниковый максимум, около 20 тысяч лет назад, северная окраина Евразии скрывалась под сплошным ледниковым покровом. Его площадь достигала 12 миллионов квадратных километров, из которых 9,5 приходилось на территорию СССР. Еще 2 миллиона квадратных километров той же территории занимали горноледниковые комплексы. А объем всего льда здесь был близок к 15 миллионам кубокилометров. Эти цифры втрое превышают прежние оценки, они означают коренной пересмотр взглядов на масштабы оледенения, а значит и на его роль в природных системах прошлого. А что со взгляда-

ми на географию ледниковых покровов? В Евразии их центры лежали не в умеренных широтах, как до сих пор пишут в учебниках, а в Арктике, на полярном шельфе. Объединяясь через плавающий ледник Полярного бассейна с ледниковыми щитами Северной Америки, Евразийский покров оказывался частью еще более крупной ледниковой системы — Пан-Арктической. Последняя неизбежно становилась природным фактором глобального значения...

Другая поразительная черта нашей «ледниковой» географии — обилие и размеры связанных с оледенением пресноводных бассейнов, а также необычность направлений сброса их вод. Глядя на карту, начинаешь понимать: оледенение было как бы природным минводхозом неслыханной мощности, который мог осуществлять колоссальные межбассейновые переброски стока, создав для этого и огромные равнинные водохранилища, и каналы, пересекавшие водоразделы.

---

Научно-популярное издание

---

**Михаил Григорьевич Гросвальд**

**ПОСЛЕДНЕЕ ВЕЛИКОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ СССР**

---

Главный отраслевой редактор А. Нелюбов. Редактор Л. Иваненко. Художник А. Григорьев. Худож. редактор П. Храмцов. Техн. редактор Н. Клецкая. Корректор Е. Альшевская

ИБ № 9885

Сдано в набор 26.06.89. Подписано к печати 15.08.89. Т-01198. Формат бумаги 60×84<sup>1/16</sup>. Бумага для глубокой печати. Гарнитура журнально-рублиная. Печать глубокая. Усл. печ. л. 2,80. Усл. кр.-отт. 6,06. Уч.-изд. л. 3,31. Тираж 17 056. Заказ 422. Цена 20 коп. Издательство «Знание», 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 896610.  
Ордена Трудового Красного Знамени Калининский полиграфический комбинат Государственного комитета СССР по печати 170024, г. Калинин, пр. Ленина, 5

**ДОРОГОЙ ЧИТАТЕЛЬ!**

Брошюры этой серии в розничную продажу не поступают, поэтому своевременно оформляйте подписку. Подписка на брошюры издательства „Знание“ ежеквартальная, принимается в любом отделении „Союзпечати“.

Напоминаем Вам, что сведения о подписке Вы можете найти в „Каталоге советских газет и журналов“ в разделе „Центральные журналы“, рубрика „Брошюры издательства „Знание““.

Цена подписки на год 2 р. 40 к.



СЕРИЯ

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ**