

- [4] Математическое моделирование с применением графических построений в EXCEL: Учебное пособие / А. А. Черный. Пенза: Пензенский государственный университет, 2010. 91 с.
- [5] Результаты исследования экологического состояния природной среды территории Западно-Озерного газового месторождения: отчет о НИР по договору от 20-09-01 ЗАО НПЦ «СибГео»: Чукотский филиал СВКНИИ ДВО РАН / Рук. В. С. Кривошеков; исп. О. Д. Трегубов, А. Н. Котов, В. Ю. Разживин и др. Анадырь: ЧФ СВКНИИ ДВО РАН, 2001. 159 с.
- [6] Реймерс Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
- [7] Трегубов О. Д. Геохимия урбанизированных ландшафтов Чукотки. Магадан: МПО СВНЦ ДВО РАН, 1997. 120 с.
- [8] Трегубов О. Д. Об устойчивости тундр к техногенному воздействию и глобальным изменениям среды // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 4. С. 79—89.
- [9] Трегубов О. Д. Палеографические реконструкции как метод поисков источников водоснабжения для газового промысла Западно-Озерного месторождения // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 4. С. 20—27.
- [10] Трегубов О. Д. Факторы и механизмы самовосстановления горнотундровых ландшафтов Чукотки // География и природные ресурсы. 2010. № 3. С. 38—43.
- [11] EDU-Main Математика и статистика. Учебник по системе Statistica. Электронный ресурс: <http://edu-main.narod.ru/math/statistica/>

Анадырь
mailto:tregubov2@yandex.ru
Северо-Восточный комплексный
научно-исследовательский институт ДВО РАН

Поступило в редакцию
2 августа 2012 г.

Изв. РГО. 2012. Т. 144. Вып. 6

© В. Г. ЧУВАРДИНСКИЙ

О ТЕМПАХ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ ЛЕДНИКОВЫХ ПОКРОВОВ

Известно, что Антарктический ледниковый покров начал формироваться еще в олигоцене — более 30 млн л. н., а ледниковый щит, близкий к современному, образовался на рубеже среднего и позднего миоцена — 11—14 млн л. н. [2, 4, 12]. По заключению Л. Д. Долгушина и Г. Б. Осиповой [2], «Антарктический ледниковый покров очень устойчив и за последние 30 млн лет испытывал лишь незначительные изменения размеров и формы».

Ледниковый покров Гренландии образовался в среднем миоцене, а 3—5 млн л. н. достиг размеров, близких к современным [12]. И. А. Зотиков [3] особо подчеркивает стационарность ледниковых покровов Антарктиды и Гренландии, «размеры которых почти не менялись за последние несколько миллионов лет».

А какова была продолжительность последней ледниковой эпохи в Европе и Северной Америке? Согласно существующим схемам, общая продолжительность этой ледниковой эпохи в Европе не более 14—16 тыс. лет. В монографической сводке, посвященной хронологии последней ледниковой эпохи, Н. С. Чеботарева и И. А. Макарычева [6] определяют начало валдайского оле-

денения около 24 тыс. л. н., максимальную фазу — 18—17 тыс. л. н., а период исчезновения ледниковых масс — 16—9.4 тыс. л. н. В работе [13] начало последнего оледенения также определено в 24 тыс. л. н., а окончание — 12.4 тыс. л. н. Последняя ледниковая эпоха в Северной Америке — висконсинская — также укладывается в этот временной интервал. Оледенение началось 26 тыс. л. н., достигло максимума 18 тыс. л. н. и закончилось около 7 тыс. л. н. [5, 12].

Итак, за время, определенное палеогеографами и составляющее 10—15 тыс. лет для Европы и 18 тыс. лет для Северной Америки огромные массы льда толщиной 3—4.5 км надвинулись на равнины этих континентов, сформировали толщи ледниковых отложений, разнообразные формы рельефа и исчезли. При этом, чтобы сошелся дебит с кредитом, на таяние ледника надо отпустить не менее половины этого времени, т. е. 7—9 тыс. лет.

На фоне этих удивительных превращений неправдоподобно выглядит консервативность, стационарность Антарктического и Гренландского ледниковых щитов, существующих непрерывно многие миллионы лет. Более того, размеры этих покровов почти не менялись последние несколько миллионов лет. Эта парадоксальность становится еще рельефнее при сравнении Гренландского ледникового покрова с соседним огромным Лаврентийским ледниковым щитом, покрывавшим в последнюю ледниковую эпоху территории Канады и части США. Будучи по объему льда в 11.5 раза меньше Лаврентийского покрова (3.0 против 34.8 млн км³) [12], Гренландский покров почти не изменялся последние несколько миллионов лет, тогда как Лаврентийский покров за период с 26 до 18 тыс. л. н. покрыл льдом толщиной до 4.5 км более 11.6 млн км² территории Канады и США и растаял. В четвертичном периоде выделяют несколько таких оледенений и несколько эпох таяния и исчезновения ледниковых покровов.

Установленные хронологические рамки продвижения ледниковых масс до очерченных границ соответствуют скоростям движения льда в 100—200 раз большим, чем это установлено для ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии. Напомним, что в Антарктиде в районе ст. Восток расстояние 150 км лед проходит за 150—200 тыс. лет, а в центрально-ледниковой зоне Антарктиды расстояние 50 км лед преодолевает за 1 млн лет [3]. Принятые скорости деградации оледенений также не находят даже отдаленных аналогов в природном гляциологическом процессе.

В связи с этим правомерен вопрос: какова научно обоснованная продолжительность распада и исчезновения ледниковых покровов типа Лаврентийского (Канадского), а также Гренландского и Антарктического? Такие расчеты на основе математического моделирования выполнили П. А. Шумский и М. С. Красс [11]. Их метод основан на эволюционной модели разогрева ледниковых покровов в условиях общих климатических потеплений. Принимая приращение положительных температур равным 5 % и прогнозируя это потепление на десятки тысяч лет вперед, они получили следующие результаты.

Гренландский ледниковый покров остается термически устойчивым: прогрессивное увеличение температур на 5 % не приводит к его разогреву, хотя температура льда на дне становится близкой к точке плавления. При допуске 5%-ном климатическом потеплении Антарктического ледникового щита происходит потепление его нижних горизонтов льда до температур, близких к плавлению. За период времени от 15 до 40 тыс. лет в разных частях ледникового покрова образуется слой тающего льда толщиной от 100 до 240 м. При этом для того чтобы этот слой нагретого льда растаял на 25 %, дополнительно требуется не менее 60 тыс. лет [11]. Что касается Лаврентийского ледникового

щита, то 5%-ное приращение температур не приводит к его необходимому отеплению, он остается термически устойчивым.

При предположении термической неустойчивости Лаврентийского и Гренландского ледников П. А. Шумский и М. С. Красс при том же 5%-ном прогрессивном приращении температур рассчитали другую математическую модель, в которой было увеличено в 2 раза напряжение сдвига на ледниковом ложе и соответственно в 16 раз увеличен параметр тепловыделения и подобран нужный параметр адвекции. При таких условиях за 60 тыс. лет в донной части покровов образуется слой льда толщиной 200 м, разогретого до температуры таяния. В последующем за дополнительные 60 тыс. лет этот слой должен растаять на 25 %. Как подчеркивают П. А. Шумский и М. С. Красс, это не означает, что ледниковые покровы механически неустойчивы, и они могут существовать в режиме донного таяния неопределенно долго, хотя тенденция к деградации льдов, к их механической неустойчивости сохраняется.

Итак, можно констатировать, что эволюционные математические модели, основанные на 5%-ном наращивании положительных температур, демонстрируют разогрев Антарктического ледникового щита и образование в его придонной части слоя льда мощностью 100—240 м с температурой плавления. Но при таких условиях не происходит разогрева Гренландского и Лаврентийского покровов, они остаются термически устойчивыми. Лишь при увеличении напряжения сдвига (какие природные силы будут обеспечивать это увеличение — неизвестно), сильном изменении параметра тепловыделения и подбора необходимого для решения задачи параметра адвекции, в новой модели Лаврентийского ледникового покрова и Гренландского ледника за 60 тыс. лет образуется 200-метровый слой тающего льда. В последующем (за 60 тыс. лет) происходит растаивание этого слоя на 25 %.

Загадочным остается тот факт, что ледниковый покров Гренландии при таком приращении температур и других параметров остался в почти первозданном виде и зримо существует, а его сосед — могучий Лаврентийский ледник — напрочь исчез. Более того, в Гренландском леднике не выявлено даже следов его частичного таяния. Вновь имеет смысл повторить выводы ученых [3, 12] о стационарности Гренландского ледника, его непрерывном существовании в последние несколько миллионов лет. В капитальной монографии Д. Ю. Большианова [1] эти выводы уточняются: периодически уменьшалась и увеличивалась толщина ледниковых щитов Гренландии с амплитудой 250 и Антарктиды с амплитудой 150 м. Но «дело даже не в уменьшении толщины ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии, а в том, что они были стабильны на протяжении последних сотен тысяч лет» ([1], с. 151).

Почему эволюционное (климатического типа) отепление ледниковых щитов с поверхности в итоге приводит к отеплению нижних горизонтов льда, вплоть до образования слоя тающего льда, а не ведет к процессу таяния с поверхности? Это объясняется следующими причинами.

1. Температуры льда близ ложа ледниковых щитов выше, чем на их поверхности, что связано с геотермическим потоком тепла, наиболее эффективно сказывающимся в больших по мощности ледниковых щитах.

2. При разогреве ледниковых щитов сверху на начальном этапе идет повышение температуры верхних слоев льда, но затем, по мере проникновения температурного возмущения (за счет адвекции) вглубь, происходит нарастающий по времени разогрев придонных слоев льда, где и сосредотачиваются процессы таяния ледника, ведущие к его тепловой неустойчивости.

Но моделируемые и математически рассчитанные скорости отепления явно противоречат принятым палеогеографическим схемам дегляциации гипотетических ошашковского и висконсинского оледенения. Только для того чтобы нагреть определенный слой льда материкового ледника до точки плавления и на четверть растопить его, требуется 100—120 тыс. лет. Для дальнейшего полного таяния ледниковых масс при тех же 5 % приращений температуры необходимо еще несколько сотен тысяч лет. А палеогеографы оценивают период таяния покровных ледников всего в 7—9 тыс. лет (!).

Но при моделировании, может быть, было бы проще, увеличить цифру прироста положительных температур, увеличить масштаб климатического потепления? Такой вариант тоже был математически рассчитан П. А. Шумским и М. С. Крассом [11] и показал, что более сильное общеклиматическое потепление (посредством принятия в модели безразмерного увеличения положительных температур и соответственно увеличения интенсивности адвекции — в 100 раз) действительно сокращает время разогрева льда, но не столь значительно, как можно было ожидать, а всего на 25 %. Кроме того, оказалось, что безразмерное повышение температур заключает в себе опасность получения абсурдных результатов, что и подтвердилось: в донной части Антарктического ледника расчетная температура оказалась равной +13 °С. Допущение безразмерного повышения температур, необходимых для быстрого таяния Европейского и Лаврентийского ледниковых покровов, с большой вероятностью должно привести к одновременной деградации, исчезновению Гренландского и Антарктического покровов.

Итак, математическое моделирование показывает, что гипотетический ледниковый покров Северной Америки — огромный Лаврентийский ледниковый щит — не поддается разрушению и исчезновению при 5%-ном приращении плюсовых температур, даже в течение многих сотен тысяч лет. И только приняв допущение безразмерного увеличения положительных температур, можно моделировать исчезновение гипотетических ледниковых покровов. Но при таких условиях моделирования должны растаять и исчезнуть и Гренландский, и Антарктический ледниковые покровы. Но они существовали и функционируют в стационарном режиме.

Получается, что только «безразмерное» потепление климата ведет к исчезновению могучего Лаврентийского покрова. Но одновременно возникает проблема сохранения при «безразмерном» потеплении Гренландского ледникового покрова, расположенного рядом с Лаврентийским, а также сохранения Антарктического ледникового щита. Как могли сохраниться эти стационарные ледники при «безразмерном» потеплении климата от неизбежного исчезновения? На взгляд автора, выход один — отказаться от гипотетического Лаврентийского ледникового щита.

Что касается неизбежно возникающего вопроса о происхождении ледниковых образований на равнинах Северной Америки и Европы — от баранных лбов до фиордов, от валунов до громадных отторженцев, то формирование этих «следов ледника» связано с реально существующими геологическими явлениями — в первую очередь с разломно-тектоническими процессами [7—9].

В заключение следует еще раз подчеркнуть значимость выводов выдающегося отечественного гляциолога П. А. Шумского об устойчивости ледниковых систем. По П. А. Шумскому [10], ледниковые щиты, достигнув в своем развитии равновесия, поддерживают стационарность, реагируя на изменение природных условий посредством релаксационных автоколебаний. «Ледниковым

куполам не нужно внезапно разрастаться на тысячи километров до материковых размеров и исчезать: чтобы приспособиться к малым колебаниям условий, достаточно немного изменить форму своей поверхности. Ледники и ледниковые покровы весьма устойчивы и не угрожают случайными ледниковыми эпохами и всемирными потопами» [10]. В последующих работах П. А. Шумский неоднократно указывал на ошибочность распространенных представлений о мнимой имманентной неустойчивости ледников, на необоснованность идей о быстром разрастании и таянии ледниковых покровов.

Выводы П. А. Шумского как нельзя актуальны, они не позволяют поддаваться массированным кампаниям о идущем глобальном потеплении климата, о якобы грядущем таянии материковых льдов Гренландии и Антарктиды и повышении вследствие этого на 75 м уровня Мирового океана, о затоплении морских портов и обширных низменных территорий. Следует напомнить вдохновителям таких кампаний и о работах других исследователей, доказывающих устойчивость ледниковых покровов, о непрерывном существовании ледниковых щитов Гренландии и Антарктиды в течение нескольких миллионов лет [2–4, 12].

Список литературы

- [1] *Большакинов Д. Ю.* Пассивное оледенение Арктики и Антарктиды. СПб.: Изд-во ААНИИ, 2006. 296 с.
- [2] *Долгушин Л. Д., Осипова Г. Б.* Ледники. М.: Мысль, 1989. 447 с.
- [3] *Зотиков И. А.* Моделирование процессов движения и теплообмена в ледниковом покрове // Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет (атлас-монография). М.: Наука, 1982. С. 63—67.
- [4] Основные проблемы палеогеографии позднего кайнозоя Арктики. Л.: Недра, 1983. 263 с.
- [5] *Флинт Р.* Ледники и палеогеография плейстоцена. М.: ИЛ, 1963. 576 с.
- [6] *Чеботарева Н. С., Макарычева И. А.* Последнее оледенение Европы и его геохронология. М.: Наука, 1974. 216 с.
- [7] *Чувардинский В. Г.* О ледниковой теории. Происхождение образований ледниковой формации. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. 302 с.
- [8] *Чувардинский В. Г.* Неотектоника восточной части Балтийского щита. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. 287 с.
- [9] *Чувардинский В. Г.* Букварь неотектоники. Новый взгляд на ледниковый период. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. 85 с.
- [10] *Шумский П. А.* Теория колебания ледников // Материалы гляциол. иссл. 1978. Вып. 32. С. 99—109.
- [11] *Шумский П. А., Красс М. С.* Динамика и тепловой режим ледников. М.: Наука, 1983. 86 с.
- [12] *Эндрюс Дж.* Современный ледниковый период: кайнозойский // Зимы нашей планеты. М., 1982. С. 220—281.
- [13] Эволюция экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24—8 тыс. л. н.) / Отв. ред. А. К. Маркова, Т. ван Кольфсхотен. М.: Изд-во КМК, 2008. 556 с.

Апатиты,
Мурманская обл.
Lavrentieva@arcticsu.ru
Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

Поступило в редакцию
23 апреля 2012 г.