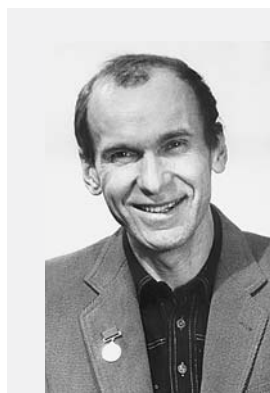


Ледниковые пустыни в истории Земли

А.А.Свиточ

В наши дни, когда все чаще налицо признаки глобального потепления, гораздо реже вспоминают о противоположной тенденции изменения климата. Между тем в истории Земли неоднократно происходили крупные по масштабам и длительные по времени похолодания, когда под мощным ледяным панцирем оказывались значительные участки континентальной суши и даже целые материка совместно со смежными участками океана. В этих районах были распространены ледниковые пустыни. Занимаясь палеогеографией суши фанерозоя в рамках проекта РФФИ, автор этих строк попытался собрать материалы об этих экзотических ландшафтах. Такого рода данных оказалось не так уж много. Думается, что они представляют определенный интерес, особенно в связи с проведением Международного полярного года 2007—2008 и некоторыми прогнозами специалистов.

В отличие от других ландшафтов, для ледниковых пустынь был характерен крупный, мощный (от сотен метров до нескольких километров) ледяной покров (щит) выположенной куполообразной формы, утончавшийся к периферии, где происходили таяние и разгрузка ледника. К этому можно добавить разнообразный микрорельеф, разную крутизну склонов, крайне холодный климат с осадками в виде снега и почти пол-



Александр Адамович Свиточ, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — древние ландшафты Земли и палеогеография фанерозоя.

ное отсутствие органической жизни. Ландшафты древних ледниковых эпох с разной достоверностью реконструируют по аналогии с современными ландшафтами Антарктиды и Гренландии, а выделяют их по распространению ископаемых морен (тиллитов и тиллоидов), их составу, фациям и занимаемой площади, а также по следам сохранившихся ледниковых форм рельефа [1]. В настоящее время вполне достоверно прослеживаются следы до 20 крупных ледниковых эпох, объединенных в четыре гляциоэры: лавразийскую, гондванскую, африканскую и канадскую [2].

В **лавразийскую гляциоэру** около 30 млн лет назад в Антарктиде началось **кайнозойское оледенение Земли**. Максимальное распространение оно получило в последний миллион лет, когда в приполярных широтах материков Северного

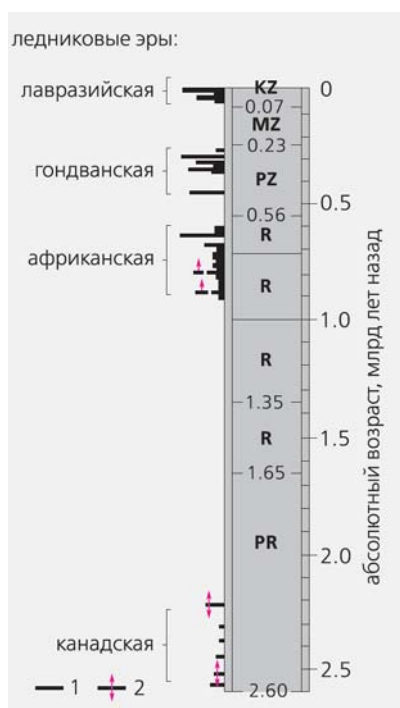
полушария стали периодически возникать мощные покровные ледники. Широкими языками они растекались далеко к югу, в область умеренных широт. Современные ледники Антарктиды и Гренландии — это сохранившиеся крупные фрагменты континентальных ледниковых покровов прошлого, позволяющие зримо представить палеоландшафты древних ледниковых пустынь, неоднократно возникавших в геологической истории Земли в областях полярных и умеренных широт.

Установлено, что Антарктида в последние 100 млн лет располагается в Южной полярной области, а ее покровное оледенение возникло по причине образования циркумполярного течения, блокировавшего меридиональный теплообмен в океане. Оледенение началось в горах Восточной Антарктиды, в дальнейшем образовался кон-



Ледяная пустыня Антарктиды.

Фото В.Н.Государева



Ледниковые эры в истории Земли [2].
 1 — оледенения;
 2 — возможные возрастные пределы оледенений;
 длина линий пропорциональна числу материков, на которых известны ледниковые отложения.
 KZ — кайнозой, MZ — мезозой, PZ — палеозой, R — рифей, PR — протерозой.

тинентальный ледниковый покров, достигший максимума около 5.5 млн лет назад и превышавший площадь нынешнего в 1.5 раза [2].

По материалам первых советских антарктических экспедиций физико-географ А.И.Орлов выполнил ландшафтное районирование Антарктиды, выделив в ледниковой зоне подзоны ледникового покрова, ледникового склона и края ледникового покрова. А в пределах этих структур — ландшафты снежных пустынь Мирового полюса холода, пустынь с характерными формами ледникового микро рельефа, а также высокогорных оазисов, выводных ледников и ледоломов [3]. Учитывая, что определяющее обстоятельство образования ландшафтов ледниковых пустынь — обширный и мощный ледяной купол, существовавший в гляциальные эпохи Земли, — можно полагать, что и в лавразийскую гляциоэру имели место ландшафты, характерные для центральных частей таких куполов с максимально холодным климатом, а на их склонах с сильными стоковыми ветрами — так называемые заструженные фор-

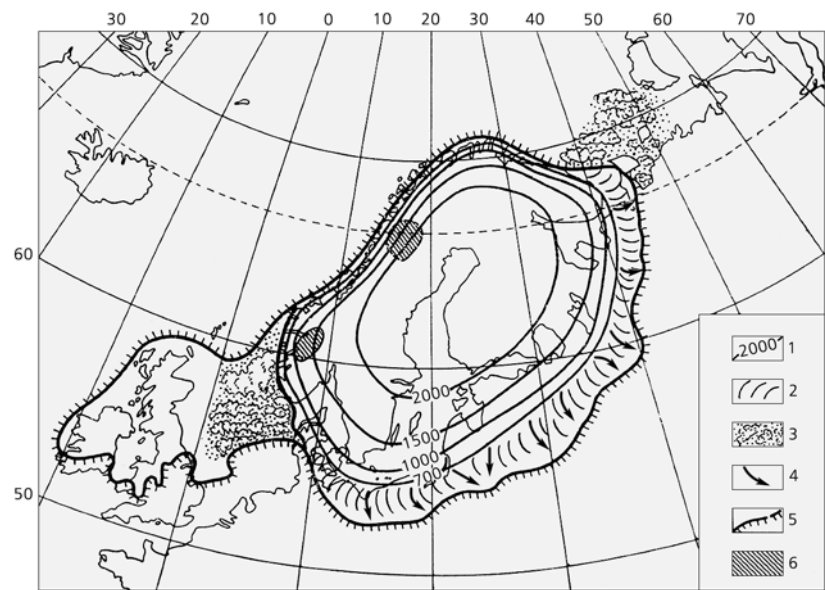
мы микро рельефа, а также ландшафты зон абляции и разгрузки каменного материала в море или на сушу с менее суровым климатом и разнообразными формами рельефа.

В кайнозойскую ледниковую эпоху, помимо постоянно существовавших ледяных покровов в полярных районах Земли, периодически образовывались обширные ледники, распространявшиеся в умеренные широты. Особенно масштабно это проявлялось в Северном полушарии, где только за последний 1 млн лет не менее пяти-шести раз возникали огромные массивы континентального льда, достигавшие в Европе 50°, а в Северной Америке — 40°с.ш. В крупных чертах и по своей структуре они во многом были весьма сходны с современными ледниковыми покровами Антарктиды и Гренландии. Данные, полученные на Шестом континенте советскими исследователями антарктических экспедиций в 50-х годах, позволили географам К.К.Маркову и А.П.Капице [4] предположить, что древние ледниковые купола имели профиль, близкий к правильной эллиптической кривой, свойственной современным ледниковым массивам, и, следовательно, сходную структуру ландшафтной зональности. Это были огромные (до 13 млн км² и более) ледяные покровы с мощностью льда несколько километров, часто состоящие из нескольких куполов, с гористым подледным рельефом. Из центров аккумуляции осуществлялся отток льда в соседние низменные районы.

Достаточно хорошо изученное Валдайское оледенение позволяет представить, как выглядели ландшафты того времени в Европе. Валдайский ледник площадью 2748 км² и объемом 4.8 млн км³ располагался на северо-западе Европы с центром в районе Ботнического залива, где мощность льда достигала 2 км [5]. Ледяной купол был асимметричным, с крутым се-

ро-западным склоном, где господствовали сильные стоковые ветры, обращенным к Баренцеву морю, и более выположенным — на юго-востоке с несколькими лопастями выводных ледников. Ландшафты этой зоны, располагавшиеся ниже изогипсы 0.7 км, по строению не были сходными с аналогичными по положению участками антарктического ледникового покрова. Здесь располагалась широкая полоса — «кайма» — маломощного льда конца выводных лопастей ледников, разобренных неровностями коренного рельефа, с холмами и грядами моренного материала и полями мертвого льда [2]. Климат на этих периферийных участках был не столь суровым и позволял существовать в теплые сезоны разреженному покрову скудной растительности, а ландшафты настоящей ледниковой пустыни здесь существовали только в холодное время года.

Валдайское оледенение Европы было относительно скромным по размерам по сравнению с другими кайнозойскими ледниковыми покровами Северного полушария. Особенно грандиозными они были в Северной Америке [6]. Здесь 11.5—9.0 тыс. лет назад существовал огромный лаврентийский ледниковый покров, сопоставимый по площади с оледенением Антарктиды и даже превышавший его. Первоначально он зародился в горах Квебека и Лабрадора, а по мере наращивания льда, активно происходившего за счет влаги воздушных масс Северной Атлантики, его центр расширялся и смещался к югу и юго-востоку, пока, около 10 тыс. лет назад, оледенение не достигло максимума. При большой площади и мощности ледника, состоявшего из нескольких локальных купольных поднятий, можно предполагать широкое распространение в это время палеоландшафтов ледяной равнины с выположенным волнистым рельефом и климатом арктической пустыни. По мере раз-



Валдайский ледниковый щит [6].

1 — изогипсы поверхности материкового льда (высоты над современным уровнем моря); 2 — периферический покров; 3 — участки вероятного образования шельфовых ледников и скоплений айсбергов; 4 — лопасти выводных ледников; 5 — граница области максимального распространения материкового льда; 6 — районы возможного образования местных центров растекания.

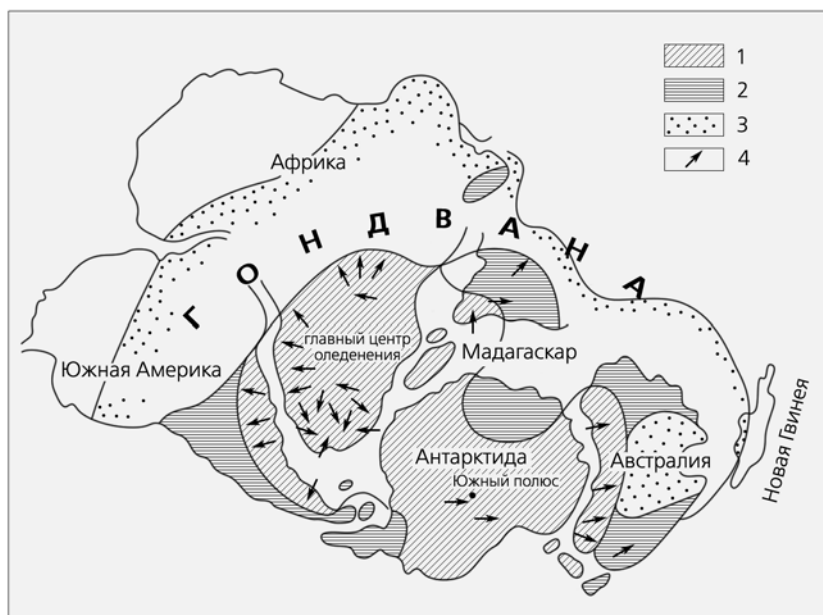
растания оледенения расширение такого типа палеоландшафтов, по-видимому, происходило за счет сокращения площади ландшафтов, характерных для склонов ледяных куполов с системой стоковых ветров. Большое распространение также получили ландшафты, типичные для участков абляции ледника. При их структурном разнообразии общим для них было отсутствие сплошного ледникового покрова и менее суровый (циклонический) климат.

В **гондванскую гляциоэру в позднем палеозое** макроматерик Гондвана объединил Африку, Южную Америку, Индию, Австралию и Антарктиду, вследствие континентального дрейфа расположился в полярных областях Южного полушария и испытал обширное оледенение [7]. Общая продолжительность гондванского оледенения оценивается в 100 млн лет, особенно сильным оно было в интервале 310—270 млн лет

назад. В это время обширный массив льда многокилометровой мощности располагался в Южной Африке. Он состоял из нескольких слившихся ледяных куполов и по площади в несколько раз превышал современное оледенение Антарктиды. Радиально растекавшиеся из основного купола ледники достигали 30—35° ю.ш. По периферии Гондваны, в горах Южной Америки, Северной Индии и Восточной Антарктиды, существовали самостоятельные ледниковые купола.

Оледенение Гондваны протекало не одновременно, в первую очередь оно охватило Южную Америку и Намибию, в дальнейшем Южную Африку и Мадагаскар, Индию и Аравийский п-ов, а позднее Австралию и Восточную Антарктиду.

Судя по частому присутствию в разрезе ледниковых пород осадков морского происхождения, можно полагать, что гондванские ледники в основ-



Пермско-каменноугольное оледенение Гондваны [7].

- 1 — области распространения ледниковых покровов,
- 2 — прочие области оледенения,
- 3 — районы распространения ископаемых папоротникообразных,
- 4 — направления движения льда.

ном разгружались в окружающие моря. В этих случаях палеоландшафты ледниковых окраин, по-видимому, были сходны с ландшафтами выводных ледников и смежных участков льдоразделов Антарктиды — хаотичному нагромождению разбитых трещинами ледовых блоков, перемежающихся с потоками льда выводных ледников, образующих шельфовые ледники и отколовшиеся от них айсберги.

В более редких случаях, когда разгрузка осуществлялась в низменных районах континентов, палеоландшафтная ситуация могла быть сходной с обстановкой, отмечавшейся во время деградации позднеплейстоценовых ледников, располагавшихся на равнинах Восточной Европы и Северной Америки. Здесь отмечалось быстрое сокращение мощности льда в лопастях выводных ледников, а расположение последних прямо зависело от подледного рельефа. Были характерны обширные площади мертвого льда, находившиеся среди нагроможде-

ния холмов моренного материала. Таким образом, в ледниковых районах Гондваны, возможно, существовали ландшафты, сходные с Антарктикой.

В 1960—1970-е годы французскими геологами в массиве Ахаггар в центре Сахары были получены прямые доказательства существования раннепалеозойского оледенения (ордовика), предсказывавшиеся ранее. Здесь были открыты ордовикские тиллиты. В настоящее время следы этого оледенения выявлены в Южной Африке, Южной Америке, Западной Европе и Аравии. Оно развивалось стадийно (отмечается от трех до 20 ледниковых эпох) и, возможно, охватывало не только поздний ордовик, но и ранний силур.

В максимуме оледенения (около 450 млн лет назад) его площадь, по разным оценкам, составляла от 6—8 до 20 млн км² и более. Ледниковый массив простирался на 4000 км с запада на восток и на 2000 км с севера на юг. Центральный ледниковый купол с мощностью льда до 3 км

находился на юге Сахары, откуда ледники расползались в воды окружающего материк океана. Можно полагать, что здесь в максимуме похолодания на обширной площади Центральной Африки существовали палеоландшафты ледниковых пустынь, свойственные гигантским ледяным куполам с крайне суровыми климатическими условиями. Основная разгрузка льда происходила в океан. Морской край ледника, возможно, был неустойчивым, с катастрофическим распадом, соответствующими были и палеоландшафты ледяных куполов — с контрастным ледово-глыбовым рельефом, циклоническим климатом и присутствием шельфовых ледников. Можно полагать, что континентальная разгрузка ледников и соответствующие наземные палеоландшафты отмечались во время конечной стадии дегляциации ледников, когда из-под льда освобождались низменные участки приморской суши.

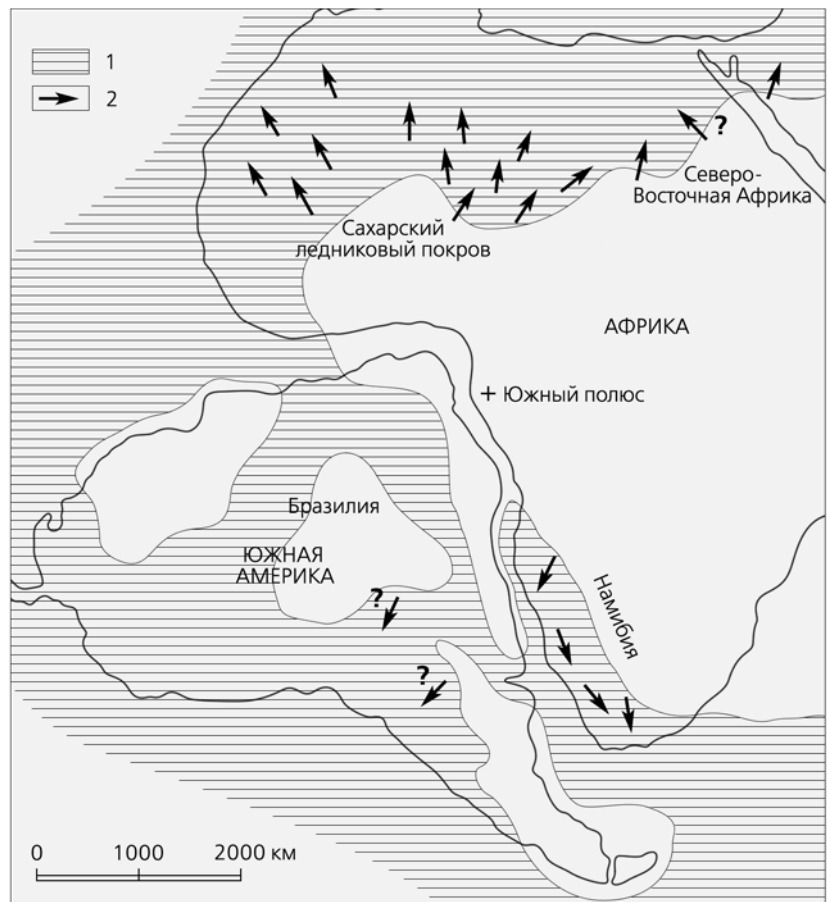
К африканской гляциоэре относятся следы трех крупных позднепротерозойских ледниковых эпох: конголезской (900—800 млн лет назад), стерстской (780—720 млн лет назад) и лапландской (670—630 млн лет назад) [2]. Они отмечаются практически на всех материках, кроме Антарктиды, и особенно широко в Африке, Европе, Северной Америке, Китае и Австралии, где оледенения имели покровный характер. Палеоландшафты крайне суровой ледяной пустыни, вероятно, были характерны для обширных ледяных куполов с мощностью льда 2.5 км и более, распространенных на востоке Европы с центром в Карелии. В соответствии с присутствием континентальных и морских ледниковых отложений, здесь выделяются две разные периферические зоны разгрузки ледников. На юге днепровско-окского района, где таяние происходило на суше, были характерны континентальные палеоландшафты.

В районах северо-западного побережья Скандинавии и верховьях р.Камы ледниковая разгрузка осуществлялась в море и, частично, на осушенном шельфе. Для этих районов, вероятно, были типичны палеоландшафты с контрастным ледниковым рельефом нижних участков склонов ледяных куполов и устьевых частей выводных ледников, сгружавших обломочный материал на затопленном и полузатопленном шельфе, господство циклонической погоды и сильных ветров.

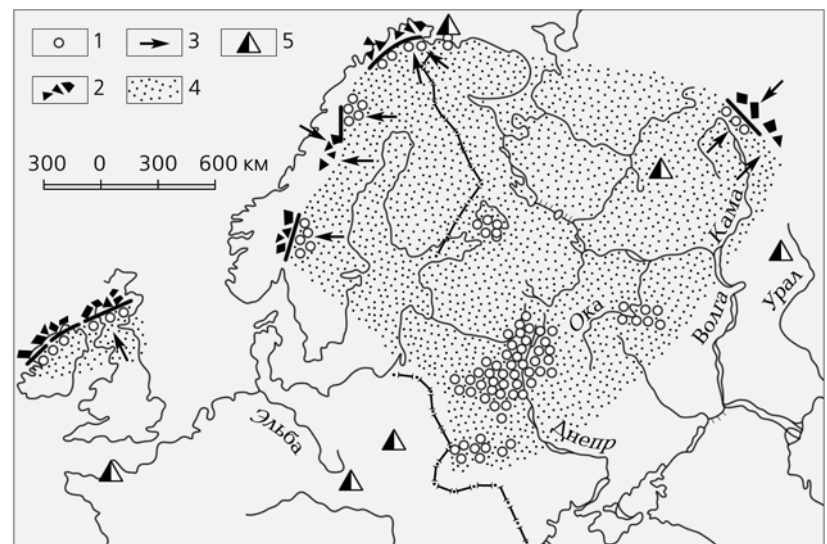
Судя по широкому распространению ледниково-морских отложений, сходные ландшафты могли существовать в позднем протерозое по периферии ледниковых массивов в Центральной Австралии, Африке и Северной Америке.

К **канадской гляциозере** относят достоверные следы покровных оледенений раннего протерозоя. Они отмечаются во временных интервалах 2.5–2.3 и 2.2–2.0 млрд лет назад. В разрезе мощной (около 12 км) толщи нижнепротерозойских пород оз. Гурон в Канаде обнаружены три крупные формации ледниковых пород. Наиболее молодая из них — формация Гауганда возрастом 2.3 млрд лет, — распространена на площади около 120 тыс. км² и свидетельствует о том, что в это время на юго-востоке Канады располагался обширный ледниковый покров с радиальным разносом ледникового материала. Вдоль его восточного края существовали шельфовые моря, в которые выходили ледники. Следы более молодых ледниковых покровов установлены на юге Африки и предполагаются на Балтийском щите, в Индии и Австралии.

Судя по большой (несколько километров) мощности ледниковых горизонтов и их сложном строении, можно предполагать большую длительность, масштабность и неоднократность раннепротерозойских оледенений. В максимумы оле-



Районы обнаружения следов ордовикского оледенения [7].
1 — океан, 2 — следы оледенения.



Палеогеографическая схема лапландского оледенения Европы.
1 — континентальные ледниковые отложения; 2 — мариногляциальные отложения; 3 — направления движения ледников; 4 — предполагаемый лапландский ледниковый покров; 5 — гаплоиды того же или близкого возраста.

денения они, подобно кайнозойским покровам, были очень обширными и, вероятно, распространялись в умеренные широты планеты. Возможно, были сходными и палеоландшафты ледниковых пустынь, существовавшие на ледяных купо-

лах, их склонах и в местах разгрузки льда в морские бассейны и на низменные районы суши. Однако помимо сходства, между современными ландшафтами ледяных пустынь и их древними аналогами, несомненно, существовали и различия, связан-

ные с принадлежностью к разным геологическим эпохам, разницей в продолжительности существования и динамике накопления, истечения и абляции льда, а также структурно-тектонической и природно-климатической обстановкой. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 05-05-044297.

Литература

1. Чумаков Н.М. Докембрийские тиллиты и тиллоиды. М., 1978.
2. Котляков В.М. Гляциология Антарктиды // Избр. соч. Кн.1. М., 2000.
3. География Антарктиды. М., 1968.
4. Марков К.К., Капица А.П. Гляциология Антарктиды и вопросы палеогляциологии // Антарктида. Докл. Межвед. комис. по изучению Антарктики. Сб.2. М., 1962.
5. Асеев А.А. Древние материковые оледенения Европы. М., 1974.
6. Величко А.А., Кононов Ю.М., Фаустова М.А. Последнее оледенение Земли в позднем плейстоцене // Природа. 1994. №7. С.63—68.
7. Зимы нашей планеты / Ред. Б.Джон. М., 1982.

<http://popovgeo.sfedu.ru/>

Геофизика

Модель геодинамо

Впервые в лабораторных условиях геофизики воспроизвели магнитное поле, аналогичное земному. Эта модель позволяет проверить гипотезу геодинамо, которая объясняет существование магнитного поля Земли.

Геодинамо имеет своим источником конвективные течения, существующие на глубине от 2900 до 5100 км. Они и приводят в движение расплавленное железо и никель внешнего ядра Земли. Эти движения жидкого металла генерируют электрические токи, которые в свою очередь индуцируют магнитное поле.

Поскольку расчеты по численным моделям этого явления дают самую общую его картину,

возникла идея воссоздать магнитное поле малого масштаба в лаборатории. После 10 лет безуспешных попыток специалистам Национального центра научных исследований и других научных учреждений Франции удалось воспроизвести эффект динамо в емкости, заполненной жидким натрием, который приводится в движение двумя моторами, вращающимися в перпендикулярных направлениях. Специалисты отметили, что фигура возникающего магнитного поля могла меняться случайным образом, очень сходным с тем, что происходит с полем Земли. Это первое наблюдение эффекта динамо может приблизить специалистов к пониманию генезиса магнитного поля Земли.

Science et Vie. 2007. №1076. P.42 (Франция).

Гляциология

Воздействие приливов на скорость ледовых потоков

Расход ледовых потоков, которые дренируют верхний покров Антарктиды, колеблется в зависимости от амплитуды приливов. Основанием для такого заключения, к которому пришел Х.Гудмундсон (H.Gudmundsson; Британская антарктическая служба), послужило исследование изменений скорости одного из таких потоков льда за одномесечный период.

Скорость ледового потока измерялась по перерам GPS (Глобальной спутниковой системы позиционирования), установленным на поверхности движущегося льда. Скорость перемещения этого ледового язы-