

М.Г. Гросвальд

О ВЕРОЯТНОЙ РОЛИ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ РАЗЛИВОВ ЛЕДНИКОВ (СЁРДЖЕЙ) В РАЗРАСТАНИИ И ДЕГРАДАЦИИ ЛЕДНИКОВЫХ ПОКРОВОВ ПРОШЛОГО

Быстрое развитие динамической гляциологии, накопление данных о резких подвижках ледников и геологических следствиях таких подвижек ставят серьёзные задачи перед палеогляциологией и открывают для неё новые возможности.

С одной стороны, выяснение автоколебательной природы наиболее значительных наступаний современных ледников заставляет проявлять осторожность при реконструкциях колебаний климата прошлого по так называемым «стадиальным» моренам. Становится очевидной необходимость сбора фактов, подтверждающих климатическую обусловленность («вынужденный» характер) наступаний ледников, маркированных этими моренами, с помощью независимых палеоклиматологических данных, прежде всего материалов палеоботанических и палеотемпературных исследований. Следует также подвергнуть проверке обоснованность ранее выделенных климатических стадий и провести ревизию ряда дедуктивных построений, опирающихся на них (в частности, проверить достоверность некоторых «волн» на эвстатических кривых Р. Фейрбриджа и Н.-А. Мёрнера).

С другой стороны, выяснение способности ледников к автоколебаниям открывает новые горизонты, создавая основу для объяснения явлений, которые долго казались необъяснимыми: климатически неоправданных наступаний ледников, несинхронности поздне- и послеледниковых стадий разных материков и районов (например, Европы и Северной Америки), ненормально пологих продольных уклонов поверхности некоторых ледниковых лопастей (например, Днепровской и Донской) и т.п.

Таким образом, новые факты и идеи, появившиеся в результате изучения ледниковых пульсаций, выбивают почву из-под одних палеогеографических построений, но помогают обрести её многим другим.

В зависимости от того, на какой стадии развития находились ледниковые покровы прошлого, их катастрофические разливы (сёрджи) и происходящие при этом быстрые разрастания площадей льда, сопровождающиеся уменьшением его толщины, должны были оказывать принципиально различное воздействие на оледенение в целом.

На *прогрессивной* стадии развития оледенения, когда граница питания опускается до земной поверхности или сильно приближается к ней, сёрджи и вызванное ими распластывание ледниковых щитов ведут к скачкообразному увеличению площадей аккумуляции (без непременно роста площадей абляции), дальнейшему охлаждению климата и ускоренной экспансии ледников за пределы

очагов их зарождения, в частности, из горных стран на низменности и с суши в акватории мелководных морей.

На стадии *стационарного режима* оледенения, когда ледниковые покровы обладают значительными по площади областями аккумуляции и абляции, сёрджи льда отдельных дренажных бассейнов могут вызывать локальные нарушения равновесности баланса массы и как следствие этого - своеобразную «игру лопастей», т.е. наступания одних лопастей на фоне отступления или стационарности других, с быстрой и одновременной сменой направления и темпа их колебаний. Судя по данным Р. Голдтвейта, А. Дрейманиса и др., именно так вел себя южный край Лаврентьевского ледникового покрова в период между 21 и 15 тыс. лет назад. По-видимому, одновременные сёрджи льда происходили и в некоторых секторах поздневалдайского покрова Русской равнины. В итоге разные лопасти обоих покровов кульминировали в разное время, что может объяснить некоторую неопределенность в оценках возраста максимумов оледенений в целом. Сёрджи должны были найти выражение и в морфологии краевых комплексов древних оледенений, сообщив им извилистый - лопастной и фестончатый - рисунок. Сами ледниковые лопасти, возникшие при быстрых подвижках, в силу снижения донного трения должны были иметь значительно более пологие продольные профили, чем обычные выводные ледники.

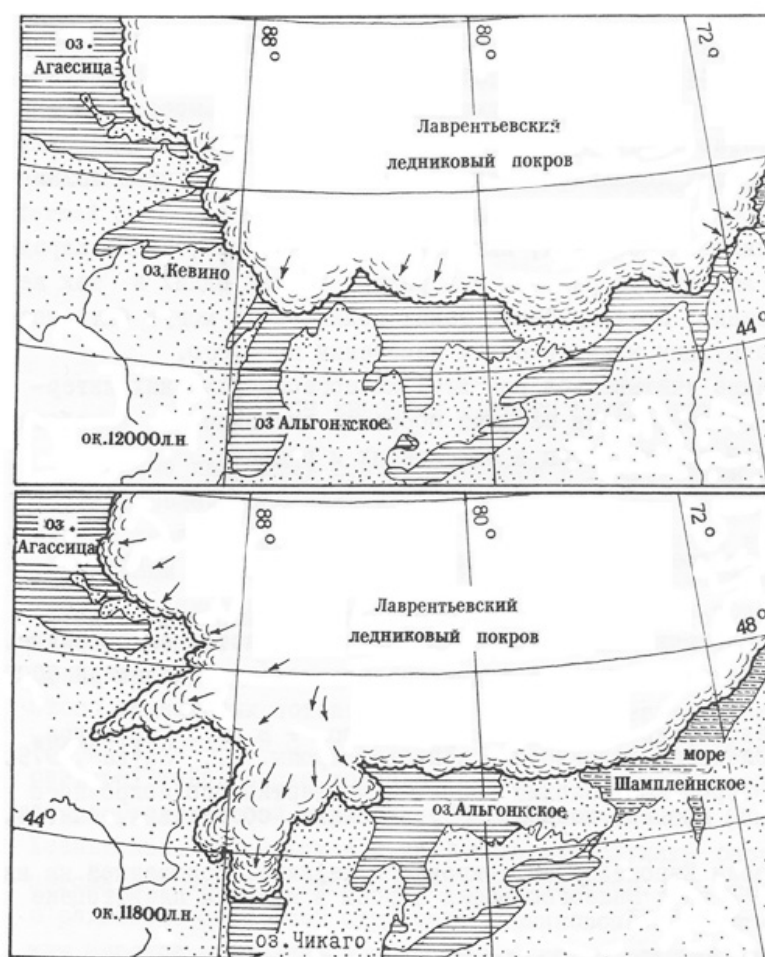


Рис. I. Типичный пример сёрджа периода деградации оледенения: "стадия вальдерс" Лаврентьевского ледникового покрова и её связь с фазами развития ледниково-подпрудных озёр, 12000-11800 лет назад (по В.К.Престу [10])

На стадии *деградации* оледенения, когда граница питания располагается высоко, сёрджи имеют своим результатом резкое изменение ледникового коэффициента в сторону, неблагоприятную для баланса массы ледников: площади абляции возрастают, площади аккумуляции сокращаются, причем в некоторых случаях, возможно, до нуля. Усиление таяния, связанное с изменением ледникового коэффициента, усугубляется раздроблением льда при сёрдже. Потери массы льда, следующие за сёрджами, уже не могут быть компенсированы аккумуляцией, и их следствием является ускоренное исчезновение ледниковых покровов. В этой связи В.Г. Ходаков назвал сёрджи заключительной стадии оледенений «деградационными наступаниями». Не случайно он [Ходаков, 1968; 1973] и И. Вертман [Weertman, 1961] прибегли к постулату катастрофических разливов валдайского и висконсинского ледниковых покровов для объяснения несоответствия между фактическим темпом их отступления, установленным методами абсолютной геохронологии, и результатами расчётов, учитывающих объёмы льда и палеотемпературы.

Среди условий, вызывающих быстрые подвижки ледников, Л.Д. Долгушин и А.Н. Кренке [1972] называют: уменьшение трения на ложе благодаря появлению водной смазки; переход ледников в неустойчивое состояние, когда увеличение скорости движения льда приводит к уменьшению трения вследствие сокращения площади его контакта с ложем; температурную неустойчивость, при которой из-за локального разогрева в результате локальной деформации происходит дальнейшее усиление деформируемости льда; механическую неустойчивость, когда переход через критический уровень напряжений вызывает быстрые деформации и разломы льда. Легко видеть, что состояние неустойчивости, связанное с перечисленными условиями, может возникать достаточно быстро и приводить к современным сёрджам, доступным наблюдениям очевидцев, т.е. запечатлеться на том моментальном снимке режима оледенения, который дает гляциология существующих ледников.

Есть, однако, другие факторы изменения условий на ложе, которые также снижают сопротивление скольжению и могут вызывать начало быстрых подвижек, но сами по себе действуют значительно медленнее. К числу таких факторов относится понижение уровня краевых частей ледников относительно уровней сопредельных водных бассейнов и его следствия - усиление гидростатического давления воды на лед и падение нормального давления ледников на ложе. По отношению к возможной продолжительности прямых гляциологических наблюдений (годы - десятки лет) изменения соотношения названных уровней происходят крайне медленно, но по сравнению с длительностью жизни ледниковых покровов (тысячи - десятки тысяч лет и более) - достаточно быстро. Поэтому, если гляциология существующих ледников может допускать неизменность обоих уровней и относить их к числу «фоновых» характеристик, то при рассмотрении режима ледниковых покровов в историческом плане это допущение становится неправомерным. В этой связи В.Г. Ходаков [1968] включил влияние моря (т.е. действие архимедовой силы) в число факторов, усиливавших стадийные пульсации ледников.

Сейчас достаточно хорошо известно, что уровни моря и внутренних водоёмов на протяжении четвертичного периода не оставались стационарными, а испытывали колебания большого размаха, весьма быстрые относительно длительности существования ледников. Можно назвать следующие причины снижения поверхности ледников относительно уровней сопредельных водоёмов: а) эвстатическое повышение уровня моря, б) гляциоизостатическое прогибание земной коры, в) формирование крупных подпрудных озер у краев ледниковых покровов. Сходное по результатам влияние мог оказывать и другой процесс - разрушение ледников-шельфов (шельфовых ледников) и вхождение краев ледниковых покровов в непосредственный контакт с

глубоким морем. Упираясь в острова, отмели или в противоположные берега бассейнов, толстые ледники-шельфы подпруживают ледниковые покровы и резко сокращают расход льда на айсберги. Устранение таких подпруд может привести покровы в состояние неустойчивости, вызвать их быстрое разрушение, особенно если площади, на которых подошвы этих покровов лежат ниже уровня моря, велики. Как недавно показал И. Вертман [*Weertman, 1974*], такая неустойчивость свойственна всем ледниковым покровам, основание которых расположено ниже уровня моря, причем она возрастает с глубиной, так что при достижении последней некоторого критического значения ледниковые покровы вообще не могут существовать без подпруды.

Изменения условий на ледниковом ложе, связанные с перечисленными процессами, должны были вести к переходу от режима «нормального» движения льда к его катастрофическим разливам. Причем, раз начавшись, разливы-сёрджи данного класса могли вызывать драматические изменения продольных профилей целых ледниковых щитов, чему способствовали следующие обстоятельства. Во-первых, лед двигался в сторону глубоких бассейнов, вследствие чего его массы, сброшенные при сёрджах, переходили на плав, а потому почти никогда не образовывали «упоров», способных подпрудить верхние участки ледников и положить начало стадии восстановления. Во-вторых, подошвы ледниковых покровов на больших площадях оказывались лежащими ниже уровня моря, чем создавалась возможность затяжных «многоступенчатых» сёрджей, в ходе развития которых влияние гидростатического давления воды постепенно распространялось на все более внутренние части ледниковых покровов, вызывая соскальзывание новых и новых порций льда. По-видимому, именно с такими сёрджами была связана геологически мгновенная дегляциация Гудзонова залива и Баренцева моря [*Гросвальд и др., 1974; Prest, 1970*], а также таких областей, как о-ва Королевы Елизаветы (Арктическая Канада), Северное и Балтийское моря.

Намечается связь периодов активизации ледниковых пульсаций с определенными климатическими эпохами. Л.Д. Долгушин и А.Н. Кренке, например, указывают, что на этапах похолоданий климата и обусловленных ими разрастаний оледенения мог происходить массовый переход «нормальных» ледников в пульсирующие. При этом названные исследователи принимали во внимание возможность изменения лишь тех условий, от которых зависит устойчивость современных ледников (см. выше). Если, однако, в перечень этих условий включить и колебания высоты ледников по отношению к уровням сопредельных водных бассейнов, то придется признать, что не менее (а возможно и более) благоприятным для сёрджей временем были этапы деградации покровных оледенений, или позднеледниковья. Именно на этих этапах возникали уникальные комбинации условий, когда эвстатическое повышение уровня моря уже быстро прогрессирует, земная кора районов оледенения еще остается изостатически прогнутой, у краев ледниковых щитов формируются крупные бассейны талых вод, а проникновение теплых течений в Арктику способствует взлому и разрушению плавучих ледников-шельфов. Поэтому позднеледниковья должны быть подлинным «временем сёрджей». Поскольку же сёрджи этого этапа происходили в условиях отрицательного баланса массы льда и вызывали дальнейшее увеличение балансового дефицита, за быстрыми подвижками не следовали этапы восстановления, так что они были деградационными, т.е. ускоряющими дегляциацию.

Возможные последствия катастрофических разливов ледников прошлого уже довольно давно привлекли внимание палеогеографов. На протяжении ряда лет обсуждается вероятность сёрджей антарктического ледникового щита, анализируется их возможная роль в колебаниях уровня океана и глобальных изменениях климата

[*Hollim, 1969; Wilson, 1964*]. Рассматривается гипотеза причинной связи периодических «потопов» палеозоя, положивших начало формированию паралических месторождений каменного угля, с гигантскими сёрджами ледников Гондваны [*Hollim, 1969; Meier, 1969*]. Гипотеза сёрджей предложена для объяснения некоторых «климатически неоправданных» наступаний ледников прошлого, в частности позднеледниковых стадий вальдерс (рис.1), кокран (Северная Америка) и только что выделенной стадии мархида-вельт (северо-восток Европы) [*Гросвальд и др., 1974; Prest, 1970*].

В настоящее время на повестку дня встала задача выработки геолого-геоморфологических критериев, позволяющих выявлять сёрджи и реконструировать палеосёрджи по оставленным ими следам. Кое-что в этом направлении уже сделано. В частности, Н. Раттер [*Rutter, 1969*], проведя сравнительное изучение морен, оставленных «нормальным» и пульсирующим ледниками, выяснил, что для следов последних характерны малые мощности отложений, их прерывистое распространение, слабая выраженность краевых аккумулятивных форм и почти полное отсутствие предпочтительной ориентировки валунного материала. Замечу однако, что из этого правила может быть немало исключений. Например, в тех случаях, когда сёрджи вели к вторжению масс льда в заполненные илом озерные впадины или на приморские низменности с покровом осадков недавней трансгрессии, перед ледниковым фронтом могли формироваться внушительные валы, связанные с выдавливанием и напором, а в самой морене - возникать ориентированные текстуры. А.Н. Кренке (личное сообщение) предложил использовать в качестве диагностического признака пульсирующих ледников факт ненормально пологих, вплоть до нулевых и обратных, продольных уклонов береговых морен и «террас оседания», наблюдавшихся на ледниках Медвежий и Колка.

Установлено, что продольные уклоны поверхности ледников находятся в функциональной зависимости от величины сопротивления скольжению льда по ложу и что снижение этих уклонов обычно отражает падение указанного сопротивления. Ввиду этого, а также в свете данных о причинах и механизме сёрджей, использование факта ненормально низких продольных уклонов наземных ледников в качестве признака пульсационного режима их движения представляется физически обоснованным. По этой причине ненормально пологие уклоны поверхности льда некоторых периферических сегментов древнеледниковых покровов, выявляемые по геоморфологическим данным (например, Днепровской и Донской лопастей максимального плейстоценового покрова Европы [*Aceev, 1966*] и юго-западной окраины последнего Лаврентьевского покрова [*Mathews, 1974*]), видимо, могут рассматриваться как указание на то, что такие сегменты возникали (и эфемерно существовали) как результат периодических сёрджей, происходивших по периферии областей древних оледенений.

Для поверхностей, служивших ложем пульсировавших ледников, должны быть характерны друмлинизация и развитие желобчатого микрорельефа (флютинга), что объясняется очевидными связями механизма образования такого рельефа с быстрым скольжением ледников, с одной стороны, и характером движения льда при пульсациях, с другой. Эти соображения подтверждаются некоторыми полевыми наблюдениями, в частности свидетельством А.С. Лаврова [*1975*] о развитии флютинга внутри границ периферических лопастей на юге Баренцева ледникового щита, образованных, судя по ряду признаков, при сёрджах.

Изложенное позволяет сделать следующие выводы.

1. Катастрофические разливы ледников должны были играть крупную роль в истории древних оледенений, причем на разных этапах развития ледниковых покровов эта роль, видимо, была различной.

2. Существенным было влияние сёрджей на ход деградации оледенений, причем особенно благоприятные для сёрджей условия во время дегляциации возникали на участках, где подошвы ледниковых покровов оказывались погруженными ниже уровня моря.

3. Та же причина - гидростатическое давление воды на концевые части ледников - обуславливала приуроченность многих локальных сёрджей к секторам, в которых ледниковый край контактировал с глубокими прогляциальными озерами.

Значительное число ледниковых подвижек, включая весьма крупные, имело характер сёрджей, которые в разных ледниковых районах и в разных частях одних и тех же районов происходили неодновременно. Поэтому факты таких подвижек не могут быть достаточным основанием для реконструкции климатических изменений прошлого.

5. Возможность сёрджей должна учитываться при всех палеогеографических интерпретациях. Палеогляциологам и геоморфологам следует обратить внимание на выработку критериев выявления палеосёрджей по их следам в отложениях и рельефе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асеев А.А.* Опыт реконструкции древних европейских ледниковых щитов. - Изв. АН СССР, сер.геогр., 1966, № 6.

2. *Гросвальд М.Г., Лавров А.С., Потапенко Л.М.* [Ледниковая стадия мархидавельт: двойной сёрдж Баренцева ледникового щита?](#) // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. 1974. № 24. С. 173-188.

3. *Долгушин Л.Д., Кренке А.Н.* Катастрофические подвижки ледников. - Вестник АН СССР, 1972, № 6.

4. *Лавров А.С.* Кольско-Баренцевоморско-Новоземельский сектор. - В кн.: Структура, динамика и деградация последнего ледникового покрова Европы. М., «Наука», 1975.

5. *Ходаков В.Г.* Метод расчёта вероятных условий развития четвертичного покровного ледника. - В сб.: Материалы гляциол. исслед.(МГГ). Хроника, обсуждения, вып.14. М., 1968.

6. *Ходаков В.Г.* Построение модели Европейского покровного ледника, основанной на актуалистическом подходе. - В кн.: Палеогеография Европы в позднем плейстоцене (реконструкции и модели). М., 1973.

7. *Hollin J.T.* Ice-sheet surges and the geological record.- Canadian Journal of Earth Sciences, v. 6, N 4, 1969.

8. *Mathews W.H.* Surface profiles of the Laurentide Ice Sheet in its marginal areas. - Journal of Glaciology, v. 13, N 67, 1974.

9. *Meier M.P.* Seminar on the causes and mechanics of glacier surges, St. Hilaire, Canada, September 10-11, 1968: a summary. - Canadian Journal of Earth Sciences, v. 6, N 4, 1969.

10. *Prest V.K.* Quaternary geology of Canada. - In: Geology and Economic Minerals of Canada. Econ. Geology Rept. N 1, 5th ed. Ottawa, 1970.

11. *Rutter N.W.* Comparison of moraines formed by surging and normal glaciers. - Canadian Journal of Earth Sciences, v. 6, N 4, 1969.

12. *Weertman J.* Stability of ice-age ice sheets. - Journal of Geophys. Research, v. 66, 1961, p. 3783-3792.

13. *Weertman J.* Stability of the junction of an ice sheet and an ice shelf. - *Journal of Glaciology*, v. 13, N 67, 1974.

14. *Wilson A.T.* Origin of ice ages: an ice shelf theory for Pleistocene glaciation. - *Nature*, v. 201, N 4915, 1964.

SUMMARY

Increase in knowledge on surging glaciers poses challenging problems for glacial geology. It calls for caution when reconstructing climatic variations from the traces of glacier advances, but makes it possible to account for many phenomena which seemed unaccountable: asynchronism of glacier advances in different regions, lack of correlation between the advances and climatic fluctuations, abnormally gentle gradients of such peripheral lobes, as Dnepr and Don ones of Mid-Pleistocene European Ice Sheet. The effect of surges on the development of glaciations was different depending on whether the ice-sheets were growing, stationary or decreasing. Trigger-mechanism of paleo-surges was the same as that of the present-day surges, but in addition the lowering of glaciers with reference to the abutting water basins became of primary importance. The most favourable conditions for glacier surges existed in late-glacial intervals, when the sea-level was rising, the Earth crust remained depressed and big ice-dammed lakes were formed in front of glacier margins.

Ссылка на статью:



Гросвальд М.Г. **О вероятной роли катастрофических разливов ледников (сёрджей) в разрастании и деградации ледниковых покровов прошлого** // *Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения.* 1974. № 24. С. 164-169.