

ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ

УДК 551.89:57.022(571.5:98)

**ПРИРОДНАЯ ПЕРЕСТРОЙКА В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ АРКТИКЕ
НА РУБЕЖЕ ПЛЕЙСТОЦЕНА И ГОЛОЦЕНА И ЕЕ РОЛЬ В ВЫМИРАНИИ
МЛЕКОПИТАЮЩИХ И СТАНОВЛЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ
(Сообщение 2)**

А. В. Шер

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН, 117071, Москва, Ленинский пр., 33, Россия

В первом сообщении рассмотрены условия природной среды в Восточно-Сибирской Арктике во время глобальных похолоданий и потеплений климата и хронология перестройки экосистем на рубеже плейстоцена и голоцена. В данном сообщении рассмотрена роль Арктического бассейна в природной среде региона в плейстоцене и голоцене. Катастрофическое по темпам и масштабам затопление шельфа внесло решающий вклад в процесс распада тундростепных сообществ и появления современных экосистем зональной тундры и лиственничной тайги. Изменения климата и растительности в ходе плейстоцен-голоценовой перестройки должны были привести к резкому усилению эмиссии метана в высоких широтах. Сделана попытка сопоставить природные изменения в Восточно-Сибирской Арктике с глобальными климатическими событиями, восстанавливаемыми по колонкам гренландских ледников. Основной вывод статьи состоит в том, что необратимый распад тундростепной биоты и гибель мамонтовой фауны произошли в результате сочетания глобальных и региональных событий, радикально изменивших природу Восточно-Сибирской Арктики — региона, игравшего в плейстоцене ключевую роль в поддержании этой биоты.

Плейстоцен, голоцен, Арктика, Сибирь, трансгрессия моря, изменения климата, млекопитающие, вымирание, эмиссия метана

**ENVIRONMENTAL RESTRUCTURING AT THE PLEISTOCENE/HOLOCENE BOUNDARY
IN THE EAST SIBERIAN ARCTIC AND ITS ROLE IN MAMMALIAN EXTINCTION AND
ESTABLISHMENT OF MODERN ECOSYSTEMS (Communication 2)**

A. V. Sher

Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, 117071, Moscow, Leninsky Pr., 33, Russia

In the first communication, environmental conditions in the East Siberian Arctic during the global cold and warm climatic stages, as well as the chronology of the ecosystem restructuring around the Pleistocene/Holocene boundary were considered. In this paper, the influence of the Arctic Ocean on the environment of this region during the Pleistocene and Holocene is analyzed. Inundation of the shelf, catastrophic in its rate and scale, made an important contribution to the disintegration of the tundra-steppe communities and the development of modern zonal tundra and larch taiga. The changes in climate and vegetation during the Pleistocene/Holocene reconstruction had to result in a drastic increase of methane emission in high latitudes. Correlation of the environmental changes in the East Siberian Arctic with the global climatic changes recorded in the Greenland ice cores has been attempted. The main conclusion from this paper is that the irreversible destruction of the tundra-steppe biome and the demise of mammoth fauna resulted from a certain combination of global and regional events, which have radically changed the environment in the East Siberian Arctic — the region that had played the key role in the existence of that biome.

Pleistocene, Holocene, Arctic Siberia, sea transgression, climatic change, mammals, extinction, methane emission

В первой части этой статьи [Шер, 1997] мы кратко рассмотрели основные особенности природной обстановки Восточно-Сибирской Арктики во время плейстоценовых похолоданий и потеплений климата. Ряд данных указывает на то, что в эпохи глобальных потеплений (межледниковий) природные условия в этом регионе

отличались от голоценовых, и ландшафты были более сходны с тундростепными, чем с современной тундрой или тайгой. Это объясняет преемственность в развитии тундростепной биоты в ходе климатических изменений. Предполагается, что именно эти регионы обеспечивали выживание тундростепных сообществ и мамонтовой фауны

во время межледниковий. Необратимое разрушение этих сообществ и вымирание мамонтов и их спутников произошло лишь тогда, когда Восточно-Сибирская Арктика подверглась радикальной природной перестройке на рубеже плейстоцена и голоцена. Рассмотрение хронологии происходивших в это время изменений позволяет предположить, что начало перестройки следовало обычному „межледниковому“ сценарию. Критические (необратимые) изменения были связаны со следующим, небольшим по продолжительности, этапом активизации термокарста и смены растительных сообществ. В данном (заключительном) сообщении мы рассмотрим, какую роль в природной перестройке Восточно-Сибирской Арктики играли особенности истории Арктического бассейна, а также попытаемся сопоставить региональные природные события с изменениями более широкого масштаба, происходившими на рубеже плейстоцена и голоцена.

ПОДЪЕМ УРОВНЯ МОРЯ В АРКТИКЕ И ПЕРЕСТРОЙКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Современное влияние Северного Ледовитого океана на прибрежные районы северной Сибири трудно переоценить. В летнее время огромная масса открытой холодной воды служит основным генератором низких температур и высокой влажности. Метеоданные указывают на очень быстрое возрастание континентальности вглубь материка [Кузнецова, 1978]; например, летние температуры возрастают к югу значительно резче, чем можно было бы ожидать, только за счет широтного градиента. Представляется, что само существование современной зональной тундры с ее характерным климатом и растительностью обусловлено не только ее широтным, но в основном „прибрежным“ положением, т.е. влиянием холодной водной массы арктических морей в летний период. К этому вопросу мы еще вернемся ниже.

Своеобразие строения восточно-сибирского шельфа отчетливо видно по батиметрическим картам. Его основная часть представляет собой пологую и весьма мелководную платформу с хорошо выраженными, но неглубокими (15-25 м) подводными долинами. Внешний край (бровка) этой платформы лежит на расстоянии 300-600 км от современной береговой линии и на глубинах порядка 50-60 м. Бровка отмечает перегиб от плоско-пологой части к относительно более крутому склону, переходящему далее в материковый склон. Такое строение восточно-сибирского

шельфа определяет особенности его конфигурации и динамики в эпохи регрессий и трансгрессий, отличающие его от шельфов других частей Арктики. Рассмотрим их подробнее.

Во время последнего оледенения понижение уровня Мирового океана достигало примерно 100 м. Своеобразие восточно-сибирского шельфа проявлялось в том, что даже вдвое меньшая регрессия должна была приводить к огромному приросту площади суши (рис. 1, а). Особенный интерес представляет то обстоятельство, что на многих участках этого шельфа (например, все Восточно-Сибирское море) береговая линия в ледниковые (до 12 тыс. лет назад) лежала севернее современной южной границы паковых льдов*. Весьма вероятно, что в эпохи ледниковых регрессий прибрежные воды вообще не вскрывались летом ото льда или, во всяком случае, вскрывались на значительно меньшей площади, чем ныне (чему, вероятно, способствовало и предполагаемое для этих эпох сокращение речного стока). Гипотеза о том, что в ледниковую регрессию восточно-сибирская шельфовая суша непосредственно граничила со сплошным покровом паковых льдов и открытая поверхность моря сводилась к минимуму, высказывалась ранее [Dunaev et al., 1988], но вытекающие из нее палеогеографические следствия оценены совершенно недостаточно. Нам представляется, что как отсутствие свободных в летнее время ото льда морей в восточно-сибирском секторе Арктики, так и возникновение их в начале голоцена имели огромное климатообразующее и биологическое значение, сопоставимое по масштабу с глобальными климатическими изменениями в этот период. В совокупности с физическим приростом массы суши во время регрессии, отсутствие открытого морского бассейна значительно усиливало и без того высокую континентальность плейстоценового климата региона. Эта ситуация должна была способствовать устойчивости антициклонального режима в этом секторе Арктики, определенному повышению испаряемости и летних температур, т.е. тем условиям, которые благоприятствовали поддержанию тундростепной биоты и препятствовали возникновению зональной тундры.

Противоположный эффект должен был проявляться при трансгрессии моря. Благодаря положению бровки шельфа на малых глубинах, общепланетарный подъем уровня моря долгое время сказывался на региональной палеогеографической ситуации весьма незначительно. Зато с определенного момента, после выхода моря

* Положение границы многолетних паковых льдов определяется разнообразными факторами, включая циркуляцию вод в океане, речной сток и т. д., но климат занимает среди них не последнее место; поэтому обычно предполагается, что в холодную ледниковую эпоху многолетние паковые льды занимали, по крайней мере, не меньшую площадь, чем в современную („межледниковую“).

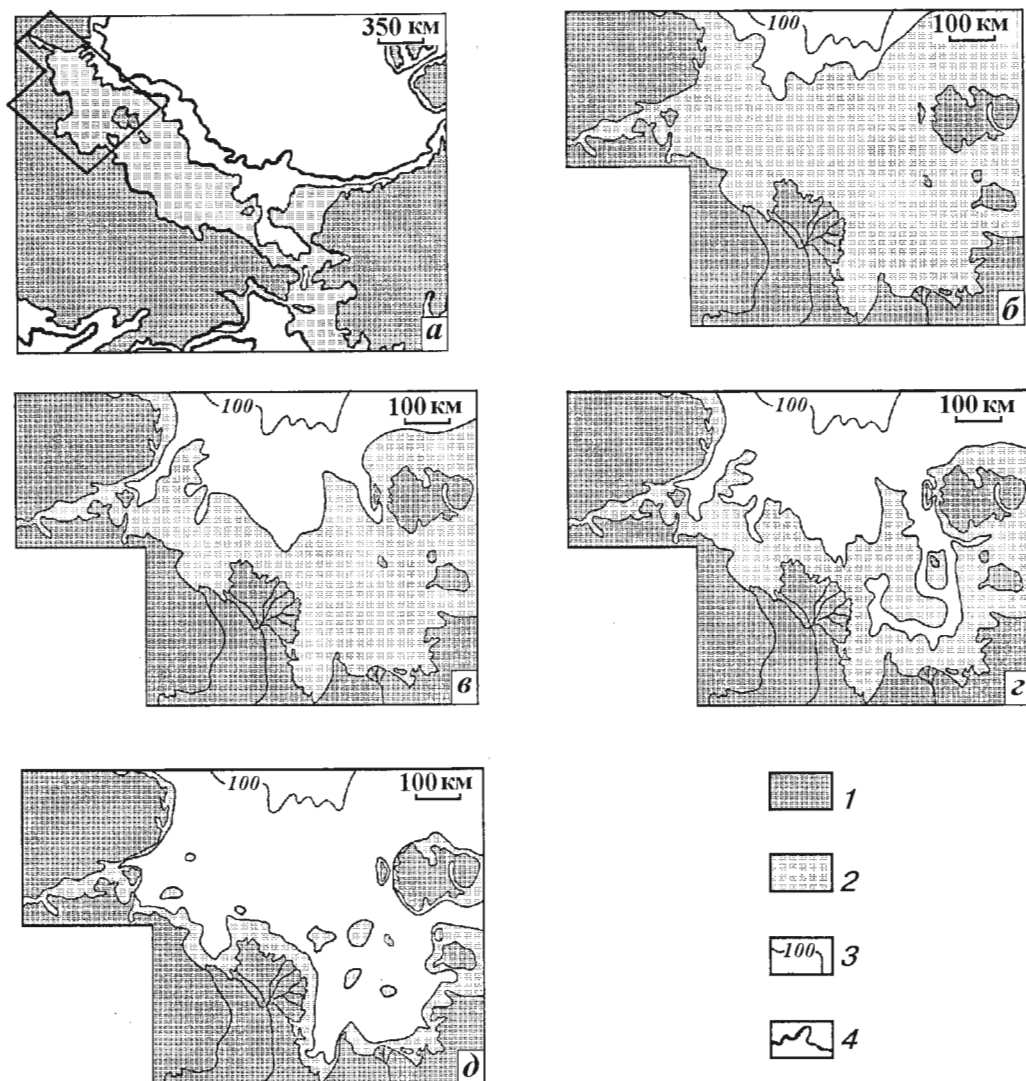


Рис. 1. Распределение моря и суши в северо-восточной Сибири (а) и в море Лаптевых (б—д) в конце плейстоцена и начале голоцена. а — по А.В. Шеру (1976); б—д — по А.И. Фартышеву (1993), с изменениями.

а — около 15000 лет назад (уровень моря -50 м); рамка показывает положение карт б—д; б — около 11500 лет назад (-40 — -45 м); в — около 9000 лет назад (-30 — -35); г — 8000—9000 лет назад (-20 — -25 м); д — около 7000 лет назад (-10 — -15 м). 1 — современная суша; 2 — осушенные участки шельфа; 3 — море с современной изобатой 100 м; 4 — внешняя граница шельфа (схематизирована по изобате 200 м).

на уровень плоского шельфа, скорость смещения береговой линии к югу резко возросла. За короткий промежуток времени этот процесс, складываясь с другими факторами (общее повышение температуры, возрастание речного стока), должен был привести к стремительному расширению акватории, свободной ото льда в летние месяцы. Появление обширной холодной водной массы коренным образом изменило наиболее важные характеристики летнего кли-

мата региона, в частности, снижая температуры и увеличивая количество осадков. Климат становился все более сходен с современным климатом прибрежной тундры по параметрам вегетационного периода. Наряду с усилением летней облачности это должно было привести к резкому падению испаряемости, уменьшению аэрации почв, заболачиванию. Возникали условия мало благоприятные для ксерофитных травянистых ассоциаций, и, напротив, способствовавшие экс-

пансии олиготрофных мхов и кустарничков. Сдвиг конкурентных условий в пользу последних неизбежно приводил к сокращению мощности слоя сезонного оттаивания, подтягиванию водупора мерзлых пород к поверхности, что в совокупности реализовывалось в появлении весьма устойчивой новой экосистемы.

Таким образом, послеледниковое поднятие уровня моря само по себе должно было оказать огромное влияние на региональный климат и растительность. Можно предположить, что трансгрессия арктического моря и смещение береговой линии к югу по сравнению с плейстоценовой была основным фактором формирования „зональной“ тундры, достаточно мощным, чтобы обеспечить развитие природной обстановки по этому сценарию в прибрежной зоне даже без участия глобального изменения климатических факторов. Но появление обширных шельфовых морей в Восточно-Сибирской Арктике не могло не сказаться и на более масштабных климатических процессах, способствуя изменению региональной циркуляции и снижению континентальности климата даже за пределами этой прибрежной зоны. В совокупности с глобальными факторами, это вызвало сходный сдвиг в конкуренции травянистых и кустарничково-моховых сообществ и в более глубоких частях материка. Практически единственной древесной породой, способной существовать в новой мерзлотно-геоботанической обстановке, на северо-востоке Сибири оказалась даурская лиственница.

Для проверки этого сценария нужна хорошо датированная кривая эвстатического поднятия уровня моря для этого региона. Попытка построить такую кривую для моря Лаптевых [Фартышев, 1993] основана на данных, полнота и точность датирования которых далеки от желаемых. Тем не менее она представляет большой интерес, т.к. показывает, что до 10 тыс. лет назад поднятие уровня моря имело, скорее всего, весьма ограниченное влияние на сушу (рис. 1, б). Зато позднее трансгрессия происходила столь стремительно, что данные о возрасте затопленных береговых линий становятся противоречивыми (рис. 1, в). К 8 тыс. лет назад вода занимала большую часть современной акватории моря Лаптевых (рис. 1, г), а к 7 тыс. лет назад береговая линия лишь немного отличалась от современной (рис. 1, д). Таким образом, за какие-то 2-3 тыс. лет море не только поглотило почти миллион квадратных километров суши (которая, судя по всему, была неплохим пастбищем для плейстоценовых травоядных), но и ввело в действие мощный новый климатический фактор, который определенно не способствовал сохранению тундростепной биоты.

Возникает естественный вопрос: оказывали ли более ранние трансгрессии Арктического бас-

сейна столь же серьезное воздействие на климат и природу данного региона? К сожалению, о более ранних повышениях уровня моря в Восточно-Сибирской Арктике нам известно намного меньше, чем о раннеголоценовом. Можно только отметить, что судя по весьма ограниченному распространению морских отложений, этот сектор Арктики испытывал, по-видимому, значительно менее обширные морские трансгрессии, чем другие ее районы (к западу от 110° в.д. и в районе Берингова пролива). Установлены лишь редкие выходы морских отложений вдоль современного побережья восточной Арктики и на островах шельфа [Алексеев, 1989; Махеев и др., 1989; Решения..., 1987]. Даже на островах эти осадки часто имеют признаки прибрежного (лагунного или дельтового) формирования и залегают на невысоких гипсометрических уровнях (8-15 м), что свидетельствует о небольшом поднятии уровня моря. Достоверные отложения каргинской трансгрессии в регионе вообще не известны; большая часть выходов морских осадков условно относится к казанцевскому времени, но они могут иметь и более древний возраст. Ограниченность трансгрессий в восточно-сибирском секторе Арктики подмечена давно и предположительно объяснялась его тектоническим режимом, отличным от западной Арктики и Чукотки [Суздальский, 1971].

Большинство исследователей отмечает преобладание континентального осадконакопления на островах Новосибирского архипелага в плейстоцене, в частности, широкое распространение позднеплейстоценовых синкриогенных отложений „ледового комплекса“. Несомненно, что до послеледниковой трансгрессии эти отложения были распространены еще шире и, вероятно, покрывали большую часть шельфа. Благодаря исключительно высокой льдистости, эти осадки должны были легко разрушаться морской и термической абразией. Тем не менее их обширные тела сохранялись на шельфе вплоть до голоценовой трансгрессии; некоторые острова уничтожены в историческое время. В пределах современной суши сохранились и более древние массивы отложений „ледового комплекса“, формирование которых, как известно, началось еще в среднем плейстоцене, а возможно и ранее [Каплина и др., 1980; Решения... 1987]. Установление присутствия древних (допозднеплейстоценовых) льдистых синкриогенных отложений на островах заставит еще более критически оценивать масштабы затопления шельфа в казанцевское время.

Таким образом, есть основания думать, что, по крайней мере, во второй половине плейстоцена морские трансгрессии на севере Восточной Сибири распространялись менее широко, чем послеледниковая; некоторые могли сводиться лишь к приустьевым ингрессиям вдоль крупных рек.

БЫЛА ЛИ УНИКАЛЬНОСТЬ ГОЛОЦЕНА РЕГИОНАЛЬНОЙ ИЛИ ГЛОБАЛЬНОЙ?

Одно из самых сенсационных открытий последних лет — это доказательство уникальной стабильности голоценового климата по сравнению с плейстоценовым, выявленное в детальных летописях колонок гренландских ледников. Две скважины — GRIP [Dansgaard et al., 1993] и GISP2 [Grootes et al., 1993], пробуренные на вершине Гренландского купола до глубины 3 км, показали исключительно высокую изменчивость климата последнего ледниковья. Судя по содержанию изотопа кислорода ^{18}O , температура на поверхности ледника менялась на 6–8° за несколько сот лет, а иногда и быстрее. Столь же резко менялись и другие (косвенные) показатели климата. На протяжении голоцена эти показатели почти не меняются и характер их кривых в голоценовой части профилей практически не имеет аналогов в плейстоценовой.

Скважина GRIP отразила также значительные колебания климата во время последнего (земского) межледниковья (несколько эпизодов резкого похолодания), что сближало характер земских кривых с ледниковыми и в еще большей степени подчеркивало уникальный характер монотонных кривых голоцена. Нестабильный характер земских кривых, однако, не нашел отражения в разрезе скважины GISP2 и в донных осадках северной Атлантики, и было высказано предположение, что колебания в земской части колонки GRIP отражают не климатический сигнал, а деформации слоев льда [Zahn, 1994]. Позднее было показано, что о большей климатической нестабильности последнего межледниковья по сравнению с голоценом свидетельствуют палинологические данные по континентальным осадкам Франции [Thouveny et al., 1994], Германии [Field et al., 1994]; наконец, резкие похолодания земского климата выявлены в осадках шельфа северо-западной Европы [Seidenkrantz et al., 1995].

Как отмечают многие авторы, ряд особенностей летописи гренландского ледника может отражать региональные черты циркуляции морских вод в северной Атлантике, ледовой разгрузки айсбергов, режима ледника и т.п. В частности, одной из неожиданных особенностей

является отсутствие в гренландских колонках следов раннеголоценового оптимума, хорошо документированного по всей северной Европе. Отмечается, однако, что по различным данным это потепление не носило характер такого резкого пика, какие в большом числе отмечаются на плейстоценовых колонках [Larsen et al., 1995].

Таким образом, появляется все больше данных о резких колебаниях климата во время последнего межледниковья. Хотя дискуссии по этому вопросу продолжаются, едва ли кто сомневается в принципиальной разнице между весьма изменчивым климатом позднего плейстоцена и уникальным по своей стабильности климатом голоцена.

Интересно, что вопрос об уникальности голоценового климата ставили именно палеонтологи, пытавшиеся объяснить вымирание мамонтов и их спутников [Шер, 1976; Guthrie, 1984]. Высказывались гипотезы о том, что высокое разнообразие плейстоценовой биоты может отражать большую климатическую изменчивость в плейстоцене по сравнению с голоценом [Guthrie, 1984]. В новых данных по Гренландии мы видим подтверждение этих идей [Lister, Sher, 1995]. Можно предположить, что постоянные резкие колебания климата в плейстоцене в значительной степени способствовали поддержанию важнейших особенностей растительности тундростепного типа — мозаичного распределения ассоциаций и пионерного характера многих из них [Lister, Sher, 1995]. Напротив, уникальная стабильность голоценового климата, выявленная в колонках ледников, могла благоприятствовать установлению четкой зональности устойчивых климаксных типов растительности, таких как современная тундра и тайга, непригодных для крупных травоядных.

Хотя гренландские колонки и отражают некоторые региональные особенности климата северной Атлантики, в целом вскрытые ими тенденции имеют глобальное значение. С этой точки зрения интересно сопоставить их с имеющимися данными по развитию климата и природы Восточно-Сибирской Арктики на рубеже плейстоцена и голоцена*. Если посмотреть на полученную картину в целом (рис. 2), совпадение крупных этапов развития природной обстановки, зафиксированных в ледниковой ко-

* Чтобы сделать их сравнимыми, нам пришлось, во-первых, перевести изотопную кривую GRIP из шкалы глубин в линейную шкалу времени, адаптируя соответствующие отрезки кривой к стандартным интервалам продолжительностью в 1000 лет. Во-вторых, поскольку эта шкала календарная, а датировки палеоэкологических событий и изменений уровня моря представляют некалиброванный радиоуглеродный возраст, для их приведения к единой шкале была введена поправка, основанная на корреляции позднего дриаса. Это четко выраженное в Европе событие датировано по радиоуглероду 11,0–10,0 тыс. лет назад, в ледниковых колонках оно имеет возраст 12,5–11,5 тыс. лет назад, а по ленточным глинам — 12,2–11,0 тыс. лет назад (M. Saarnisto, устное сообщение). Основываясь на этих данных, мы приняли поправку в 1500 лет и совместили изотопную кривую с радиоуглеродной шкалой со сдвигом по отношению к последней на 1500 лет влево. Разумеется, такая поправка более или менее оправдана только для отрезка временной шкалы, прилегающего к позднему дриасу, но именно на этом отрезке сконцентрированы все интересующие нас события.

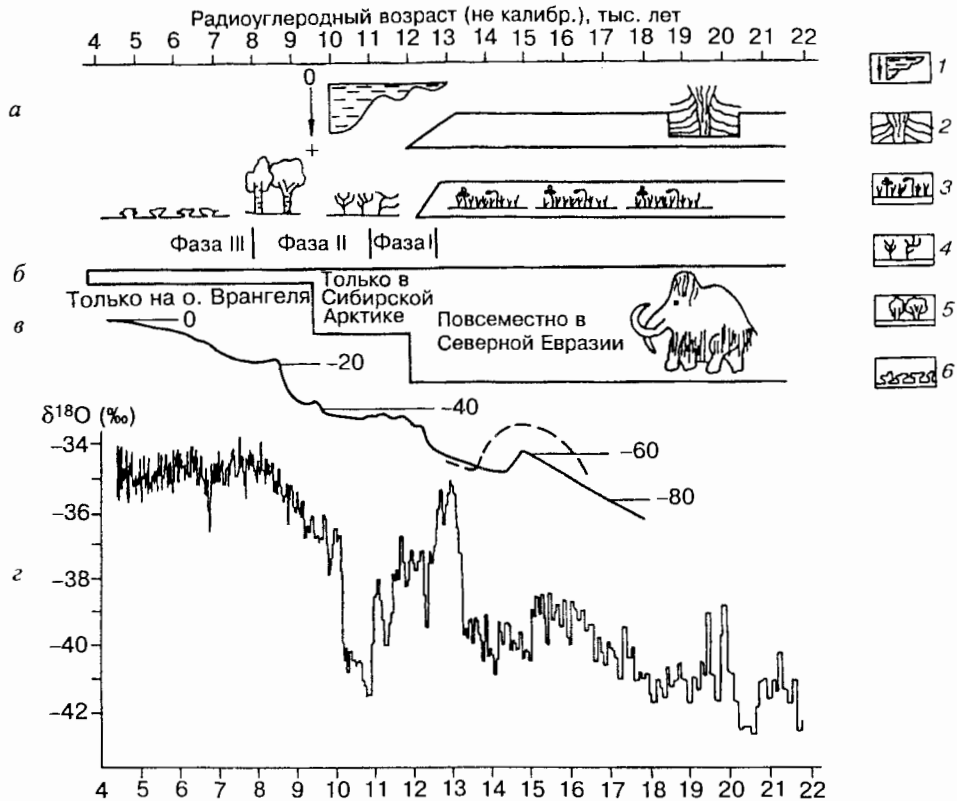


Рис. 2. Сопоставление природных событий на северо-востоке Сибири во время перехода от плейстоцена к голоцену (а) с динамикой ареала мамонта (б), историей уровня моря в этом секторе Арктики (в) и изотопной кривой колонки гренландского ледника GRIP (г).

в — по А.И. Фартышеву (1993); цифры отмечают положение уровня моря по отношению к современному, пунктирная линия — локальную кривую для моря Лаптевых; г — по W.Dansgaard et al. (1993), с изменениями. 1 — динамика активности термокарста, 2 — накопление едомных толщ, 3 — спорово-пыльцевые спектры с господством трав, 4 — распространение кустарников, 5 — распространение древовидной березы, 6 — растительность современной тундры.

лонке Гренландии (рис. 2, г) и в летописи событий в Восточно-Сибирской Арктике, очевидно. Этап сильно изменчивых, но в целом низких температур воздуха соответствует периоду когда тундростепная биота была весьма устойчивой, а многолетняя мерзлота имела стабильное состояние, и практически непрерывно продолжалось накопление синкриогенных толщ; этап резких скачков температуры в целом совпадает с периодом дестабилизации тундростепной экосистемы и резкого изменения состояния мерзлых толщ; этап стабильного голоценового климата и температуры на уровне современной отвечает периоду быстрого становления современных экосистем. При более детальном сопоставлении видны следующие особенности.

1. Начальный период перестройки в Восточно-Сибирской Арктике (фаза I) приблизительно соответствует потеплениям бёллинга и аллерёда. Уровень моря еще не достиг положения, существенно меняющего соотношение суши и моря в

этом регионе (рис. 2, в). 2. В настоящее время мы не видим никаких важных событий в окружающей среде региона, которые можно было бы коррелировать с резким похолоданием позднего дриаса; напротив, этому эпизоду, вероятно соответствует прогрессирующее развитие термокарста. 3. Если наши сопоставления верны, максимальное развитие термокарста (фаза II) близко по времени к быстрому повышению температуры в конце позднего дриаса. 4. Это последнее резкое изменение на изотопной кривой. После него кривая приобретает фактически уже голоценовый стабильный характер (колебания с очень небольшой амплитудой), хотя в целом еще продолжает подниматься. Этому периоду соответствует климатический „оптимум“ в Восточно-Сибирской Арктике и максимальное продвижение древовидной березы и крупных кустарников в Арктику. Завершается эта фаза стремительным поднятием уровня моря на севере Сибири, и очень скоро более половины бывшей шельфовой

суши оказывается под водой. 5. Период становления растительности современного типа в Арктике (фаза III) уже целиком находится в пределах стабильного плато на кривой GRIP (современная фаза климатической стабильности).

К сожалению, точность этих сопоставлений далека от идеальной. Хронологическая погрешность исходных палеоэкологических данных составляет как минимум ± 500 лет; наши манипуляции с кривыми также могли добавить ошибки. Между тем радикальные изменения в критические периоды ландшафтно-климатической перестройки происходили в течение всего 1-1,5 тыс. лет. Для того чтобы понять, какое явление было причиной, а какое следствием, необходимо значительно более высокое хронологическое разрешение палеоэкологических данных. Кроме того, можно с уверенностью предполагать наличие многочисленных обратных связей в сложной системе арктического климата и ландшафта. Одним из примеров, когда для понимания связей между глобальными и региональными событиями необходима очень высокая точность датировок, является вопрос о голоценовом всплеске эмиссии метана.

ЭМИССИЯ МЕТАНА И ЕЕ ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ С ЛАНДШАФТНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ В АРКТИКЕ

Гренландские колонки полностью подтвердили известный ранее (в частности, по скважине Восток в Антарктиде) факт: резкое (в два раза) повышение содержания метана в пузырьках воздуха из голоценового льда по сравнению с тем, что формировался во время последнего оледенения [Chappelaz et al., 1993]. Концентрация метана удваивается за ничтожно малый отрезок времени; наиболее резкий скачок совпадает со стремительным подъемом кривой $\delta^{18}\text{O}$ в начале бёллинга, около 14,5 тыс. лет назад (или 13,0 тыс. лет назад по ^{14}C). Позднему дриасу соответствует резкий спад концентрации метана, сменяющийся столь же стремительным подъемом 11,5 тыс. лет назад (или 10,0 тыс. лет назад по ^{14}C).

Послеледниковое глобальное повышение содержания метана в атмосфере может быть гипотетически связано с тремя основными источниками эмиссии: 1) с тропическими болотами, обводненность которых сокращалась в ледниковье и резко возросла в голоцене; 2) с катастрофическим высвобождением метана из газовых гидратов, накапливавшихся во время оледенения под ледниками, в многолетней мерзлоте и в отложениях континентальных шельфов; и 3) с распространением переувлажненных почв и болот в высоких широтах. Предпочтение отдается первому источнику, поскольку значительные снижения содержания метана за последние

12 тыс. лет хорошо коррелируются с периодами засухи в Африке, Тибете и на севере Южной Америки [Chappelaz et al., 1993]. Признавая умеренную, хотя и не решающую роль источников второй группы в резком увеличении эмиссии метана, эти исследователи считают третью гипотезу наименее вероятной. Скачок в содержании метана происходит раньше, отмечают они, чем обширные северные территории освобождаются от ледниковых покровов, и опережает развитие бореальной растительности и связанного с ней переувлажнения в высоких широтах.

Думается, однако, что в свете изложенных выше данных следует более внимательно рассмотреть вклад обширных пространств арктических равнин, не покрывавшихся ледниками, в глобальную эмиссию метана в историческом аспекте. Известно, что сейчас северные экосистемы являются одним из самых крупных поставщиков метана в атмосферу, что связано с преобладанием анаэробных условий в переувлажненных почвах севера. Однако вплоть до самого конца плейстоцена на огромной территории Восточно-Сибирской Арктики (вполне сопоставимой по площади с районами, покрытыми ледниками), преобладали ландшафтно-биогеохимические условия, резко отличные от современных и, в определенном смысле, противоположные им. Реконструируемые по разнообразным палеоэкологическим данным тундростепные травянистые сообщества существовали в условиях с относительно хорошим прогревом и аэрацией поверхностного слоя почвы. Об этом, в частности, свидетельствует широкое распространение степных и ксерофильных насекомых и растений, некоторые признаки ксероморфности почв того времени и ряд других признаков. Очевидно, что такие условия должны были способствовать лучшей переработке органического вещества (разложению растительных остатков) и препятствовать выделению метана в атмосферу. Показано, что, по крайней мере, в некоторых регионах широко распространенные льдистые толщи едомного типа, формировавшиеся в этих условиях, практически не содержат метана [Ривкина и др., 1996], и резкое увеличение концентрации CH_4 происходит лишь в перекрывающих их термокарстовых отложениях.

Выше мы показали, сколь резко изменились эти условия в конце плейстоцена. Повсеместное исчезновение ксерофильных травянистых сообществ и замена их более мезофильными на плакорах, резкое возрастание интенсивности термокарста, возникновение огромного числа озер и последовавшее вскоре массовое зарастание этих озер и превращение их в моховые и осоковые болота — все это свидетельствует о радикальном изменении биогеохимической обстановки, которое не могло не привести к резкому возрастанию

продукции метана. Принимая во внимание то, что эти ландшафтные перестройки охватили огромную территорию Восточно-Сибирской Арктики, очевидно, что в результате этого появляется практически новый источник атмосферного метана, который должен быть весьма ощутим в глобальном масштабе, причем происходило это когда обширные территории Северного полушария еще находились подо льдом.

Имеющиеся на сегодня данные позволяют говорить лишь о примерном совпадении во времени глобального всплеска эмиссии метана и ландшафтной перестройки в Восточно-Сибирской Арктике, причем последняя, если судить по датировкам спорово-пыльцевых спектров (резкое сокращение доли пыльцы трав) происходит 12,3–12,5 тыс. лет назад (^{14}C), в то время как возраст первого резкого увеличения концентрации метана в гренландской колонке оценивается по радиоуглеродной шкале примерно в 13 тыс. лет назад. Таким образом, утверждение о том, что скачок метана опережает появление заболоченных северных равнин [Chappelaz et al., 1993], пока остается в силе, хотя авторы, несомненно, подразумевали существенно более длительный разрыв во времени между этими событиями. Однако сегодняшние оценки возраста явно недостаточно точны и требуют подтверждения более детальными хронологическими исследованиями. Впрочем, даже если они подтвердят отсутствие прямой связи между перестройкой в Арктике и началом роста концентрации метана, остается очевидным, что вклад „северного метана“ должен был очень скоро проявиться в глобальном масштабе. С точки зрения развиваемой в данной статье концепции о весьма молодом возрасте современного тундрового биома, Восточно-Сибирская Арктика едва ли играла важную роль в более ранних (до 15 тыс. лет назад) осцилляциях содержания этого парникового газа. Однако для позднеледниковой и голоценовой эпохи высокой концентрации метана роль Арктики была, вероятно, не менее (если не более) существенна, чем роль тропических источников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Географическое положение и определенная тектоническая стабильность Восточно-Сибирской Арктики обусловили своеобразие позднекайнозойской истории этого обширного региона. Гораздо раньше, чем в других регионах Евразии, здесь устанавливается холодный резко континентальный климат и еще в плиоцене развивается устойчивая многолетняя мерзлота. В силу этих обстоятельств именно здесь в начале плейстоцена возникает природный комплекс, не имеющий полных современных аналогов — тундростепная биота. По мере распространения похолодания на

умеренные широты в плейстоцене, тундростепные сообщества широко расселялись к югу и западу. Ряд данных позволяет предположить, что во время плейстоценовых глобальных потеплений климата природные условия в Восточно-Сибирской Арктике также не были идентичны современным (голоценовым) и обеспечивали большую преемственность между биотами „холодных“ эпох, сохранение ядра тундростепных биоценозов, и выживание плейстоценовых млекопитающих. Более того, этот регион, по-видимому, поддерживал сохранение тундростепных сообществ и фаун во время неблагоприятных для них межледниковых фаз в умеренных широтах и обеспечивал их повторную экспансию в очередное ледниковье.

Необратимое разрушение этого природного комплекса и вымирание наиболее характерных для него млекопитающих происходит лишь тогда, когда радикальные изменения затрагивают его очаговую область, т. е. Восточно-Сибирскую Арктику, что отмечается на рубеже плейстоцена и голоцена. Предполагается, что одним из важнейших факторов этой необратимости было, наряду с глобальными изменениями климата, катастрофическое по своим масштабам и темпам затопление обширного восточно-сибирского шельфа водами Арктического бассейна и возникновение холодных шельфовых морей, имеющих огромное климатообразующее значение. Мы полагаем, что лишь в это время возникают устойчивые современные зональные экосистемы тундр в прибрежной зоне и лиственничной тайги в глубине материка.

Хотя сочетание различных природных изменений (климат, растительность, трансгрессия моря) в этом секторе Арктики носит региональный характер, оно, несомненно, имело глобальные последствия (изменение циркуляции атмосферы, возрастание эмиссии метана, разрушение тундростепной биоты, вымирание млекопитающих). Предположения об уникальности голоцена в последние годы получили независимое подтверждение в детальной летописи гренландских ледников. Отмечаются интересные моменты корреляции зафиксированных там глобальных событий с данными по истории природы на севере Восточной Сибири, но дальнейшие сопоставления требуют восстановления истории природной среды Арктики на значительно более высоком уровне хронологического разрешения.

Таким образом, попытка рассмотреть широкий круг природных явлений, происходивших на рубеже плейстоцена и голоцена в Восточно-Сибирской Арктике приводит нас к выводу о масштабности и уникальности экосистемной перестройки на этом рубеже. Изложенная концепция этой перестройки, несмотря на гипотетичность некоторых ее моментов, позволяет

по-новому взглянуть на историю криолитозоны на обширных шельфовых равнинах Восточно-Сибирской Арктики.

Статья написана при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований (грант 95-04-12816)

Литература

- Алексеев М. Н. Стратиграфия четвертичных отложений Новосибирских островов // Четвертичный период. Стратиграфия. М., Наука, 1989, с. 159-167.
- Каплина Т. Н., Шер А. В., Гитерман Р. Е. и др. Опорный разрез плейстоценовых отложений на реке Аллаихе (низовья Индигирки) // Бюл. Комис. по изуч. четвертич. периода АН СССР. 1980, № 50, М., Наука, с. 73-95.
- Кузнецова И. Л. Закономерности формирования температурного режима пород восточной части Приморской низменности Якутии // Закономерности формирования и развития многолетнемерзлых пород Северо-Востока СССР / Тр. произв. и научн.-иссл. ин-та по инж. изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя СССР. М., Стройиздат, 1978, вып. 54, с. 55-101
- Макеев В. М., Арсланов Х. А., Барановская О. Ф. и др. Стратиграфия, геохронология и палеогеография позднего плейстоцена и голоцена о-ва Котельного // Бюл. Комис. по изуч. четвертич. периода АН СССР. 1989, № 58, с. 58-69.
- Решения Межведомственного стратиграфического совещания по четвертичной системе Востока СССР (Магадан, 1982). Объяснительные записки к региональным стратиграфическим схемам четвертичных отложений Востока СССР. Магадан, СВ КНИИ ДВО АН СССР, 1987, 241 с.
- Ривкина Е. М., Гиличинский Д. А. Метан как палеоиндикатор динамики мерзлых толщ // Литолог. и полезн. ископ., 1996, № 4, с. 445-448.
- Суздальский О. В. Режим новейших тектонических движений — первопричина особенностей строения антропогена на севере Евразии // Проблемы корреляции новейших отложений севера Евразии. Материалы симпозиума. Л, 1971, с. 137-143.
- Фартышев А. И. Особенности прибрежно-шельфовой криолитозоны моря Лаптевых. Новосибирск, ВО Наука, 1993, 136 с.
- Шер А. Кто виноват: человек или климат ? // Техника молодежи, 1975, № 4, с. 62.
- Шер А. В. Роль Берингийской суши в формировании фауны млекопитающих Голарктики в позднем кайнозое // Берингия в кайнозое. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1976, с. 227-241.
- Шер А. В. Природная перестройка в Восточно-Сибирской Арктике на рубеже плейстоцена и голоцена и ее роль в вымирании млекопитающих и становлении современных экосистем (сообщение 1) // Криосфера Земли, 1997, т. 1, № 1, с. 21-29.
- Chappelaz J., Blunier T., Raynaud D. et al. Synchronous changes in atmospheric CH₄ and Greenland climate between 40 and 8 kyr BP // Nature, 1993, vol. 366, p. 443-445.
- Dansgaard W., Johnsen S.J., Clausen H. B. et al. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record // Nature, 1993, vol. 364, p. 218-220.
- Dunaev N. N. and Pavlidis Ju. A. A model of the Late Pleistocene glaciation of Eurasiatic Arctic shelf // Arctic Research: Advances and Prospects / Proc. Conf. of Arctic and Nordic countries on Coordination of Research in the Arctic, Leningrad, 1988. М., Наука, 1990, Pt. 2., p. 70-72.
- Field M. H., Huntley B., Müller H. Eemian climate fluctuations observed in a European pollen record // Nature, 1994, vol. 371, p. 779-783.
- Grootes P. M., Stuiver M., White J. W. C. et al. Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores // Nature, 1993, vol. 366, p. 552-554.
- Guthrie R. D. Mosaics, allelochemicals, and nutrients: an ecological theory of late Pleistocene megafaunal extinctions // Quaternary Extinctions: a Prehistoric Revolution / P. S. Martin and R. G. Klein, Eds. Tucson, Univ Arizona Press, 1984, p. 259-298.
- Larsen E., Sejrup H. P., Johnsen S. J., Knudsen K. L. Do Greenland cores reflect NW European interglacial climate variations ? // Quaternary Research, 1995, vol. 43, p. 125-132.
- Lister A. and Bahn P. Mammoths. London: Boxtree, 1995, 168 p.
- Lister A. M. and Sher A. V. Ice cores and mammoth extinction // Nature, 1995, vol. 378, p. 23-24.
- Seidenkrantz M.-S., Kristensen P., Knudsen K. L. Marine evidence for climatic instability during the last interglacial in shelf records from northwest Europe // J. Quatern. Sci., 1995, vol. 10, № 1, p. 77-82.
- Thouveny N., de Beaulieu J.-L., Bonifay E. et al. Climate variations in Europe over the past 140 kyr deduced from rock magnetism // Nature, 1994, vol. 371, p. 503-506.
- Zahn R. Core correlations // Nature, 1994, vol. 371, p. 289-290.

Поступила в редакцию
14 февраля 1997 г.