НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ

*Криосфера Земли*, 2004, т. VIII, № 4, с. 78–87

*АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КЛИМАТ*

УДК: 551.8: 56.074.6 : 551.626 (571-01)

# РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕРМОФИТНЫХ ТУНДРОСТЕПЕЙ И КЛИМАТ ПОСЛЕДНЕГО ЛЕДНИКОВОГО МАКСИМУМА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ АЗИИ

**А. В. Алфимов, Д. И. Берман**

*Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, 68500, Магадан, ул. Портовая,18, Россия*

На основе анализа современных градиентов температуры воздуха реконструировано возможное положение изотерм июля и линий максимальной континентальности климата северо-востока Азии в последний ледниковый максимум. В качестве опорных использованы температуры, полученные для последнего ледникового максимума в северо-западной части Тихого океана (CLIMAP, 1994). Различия характеристик современного и сартанского климата в одних районах западной Берингии были преимущественно результатом регрессии океана, а в других – глобального похолодания. Влияние этих факторов должно было привести к повышению температуры воздуха в июле на арктических равнинах на 5–7 °С и к ее понижению на 2 °С в континентальных районах. Воссозданное поле температур позволило определить возможное положение границ термофитных тундростепей. Показано, что даже при максимальной регрессии моря (100 м) летняя температура не препятствовала распространению этих экосистем за пределы современной суши на шельфе, ширина которого между устьем Колымы и Чаунской губой – 200–250 км. На востоке, из-за уменьшения континентальности климата и летней температуры воздуха, термофитные тундростепи скорее всего не достигали бассейна Анадыря, а на юге – верховий Колымы и Индигирки.

*Северо-восток Азии, климат, поздний плейстоцен, тундростепи, микроклимат, термофильные насекомые*

## THE THERMOPHITIC TUNDRO-STEPPE EXPANSION AND THE CLIMATE OF THE LAST GLACIAL MAXIMUM ON THE NORTHEAST OF ASIA

**A. V. Alfimov, D. I. Berman**

*Institute of biological problems of the North FEB RAS, 68500, Magadan, Portovaya str, 18, Russia*

Using gradients of modern air temperature as the basis, the probable position of July isotherms and isolines of maximum climate continentality over the Northeast of Asia during the Last Glacial Maximum was reconstructed. The temperature obtained for the Last Glacial Maximum in the Northwestern part of the Pacific Ocean (CLIMAP, 1994) was used as the initial point for this reconstruction. It has been shown that in some parts of western Beringia the difference between the modern and the Sartan climate was predominantly formed by ocean regression, and in the others – by global cooling. The impact of these factors should have resulted in an increase of July summer air temperature on arctic plains by 5–7 °C and its decrease by 2 °C in continental regions. In a reconstructed field of temperatures the possible borders of thermophitic tundro-steppe extension were determined. It has been demonstrated that even if sea level regression runs up to 100 m, summer air temperature did not prevent thermophitic tundro-steppe expansion (outside the limits of a modern terrain) on a shelf of 200–250 km width between the Kolyma mouth and Chaun Inlet. In the East, due to the decrease of both climate continentality and summer air temperature, thermophitic tundro-steppe, most likely, did not reach the basin of the Anadyr river, and in the south, the headstreams of the Kolyma and the Indigirka.

*Northeast of Asia, Late Pleistocene, climate, tundro-steppe, microclimate, termophilic insects*

## ВВЕДЕНИЕ

Восстановление облика и климата тундростепей, уникальных ландшафтов плейстоцена – цель многочисленных исследований. Напомним, что тундростепями принято называть перигляциальные (в широком смысле) ландшафты с так называемыми смешанными флорами и фаунами позвоночных животных и насекомых [*Тугаринов, 1929; Киселев, 1981; Шер, 1990; Юрцев, 1974*]. Главная сложность реконструкции состоит в отсутствии полных современных аналогов тундростепей, а простое суммирование экологических требований обитавших в них организмов ведет к эклектично-

© А.В. Алфимов, Д.И. Берман, 2004

сти представлений и, в конце концов, – к полному отрицанию идеи существования тундростепей [*Colinvaux, 1996*].

Один из неизменных выводов большинства реконструкций климата, и глобальных, и региональных [*Борзенкова, 1992; Развитие..., 1993; Global climate..., 1993; Kutzbach et al., 1998; Manabe, Broccoli, 1985; Shin et al., 2003; и др.*], – представление о тундростепях как о холодных ландшафтах с температурными условиями тундр или даже арктических пустынь. Обстоятельства же, обеспечившие существование „степной составляющей", не обсуждаются. Между тем в ископаемых комплексах плейстоцена северо-востока Азии помимо тундровых и северо-бореальных видов насекомых, обнаружено не менее 24 видов степных жуков [*Киселев, 1981*], некоторые из них имеют жесткие требования к теплообеспеченности. К их числу относятся в первую очередь жуки-долгоносики рода *Stephanocleonus* – единственное, по нашему мнению, свидетельство того, что в холодные периоды плейстоцена на большой части северо-востока Азии температуры лета были выше, чем ныне в зоне тундр.

Степные виды, менее требовательные к режиму температур (в том числе массовый на протяжении всего плейстоцена жук-пилюльщик *Morychus viridis*), способны существовать в так называемых холодных степях с доминированием корневищных осочек *Carex argunensis*. Эти варианты степей имеют иные, нежели термофитные, характеристики климата, топографическую привязку и закономерности распространения [*Берман, 2001*], и в настоящей статье не рассматриваются.

Несколькими методами, основанными на анализе температурных требований рецентных жуков, известных также из отложений сартанского периода, мы оценили возможные значения температуры воздуха июля, при которой в пик последнего ледникового максимума (ПЛМ) и на его исходе существовали термофитные тундростепные группировки в низовьях Колымы и Лены [*Берман, Алфимов, 1998; Alfimov, Berman, 2001; Sher et al., 2002; Алфимов и др., 2003*]. По нашим данным, 17–18 тыс. лет назад в низовьях Колымы температуры составляли 12–14 °С, что выше современных, меняющихся от 6–7 °С в устье до 11–12 °С в 100 км вверх по течению [*Справочник..., 1966–1968*]. Такие температуры были достаточны для обеспечения жизнедеятельности степных термофильных жуков, но только при экстремальной континентальности климата, составлявшей 2,4–2,5 ед. Температуры, реконструированные для ПЛМ в низовьях Лены, были ниже (9–10 °С) и не отвечали потребности в тепле термофильных насекомых.

Как уже отмечалось, среди большого числа глобальных и региональных реконструкций климата на северо-востоке Азии нет оценок, допускающих возможность существования термофитных тундростепей в сартане и особенно в ПЛМ. Как установленный факт во многих работах обсуждаются подобные ландшафты, занимавшие осушенные шельфы морей Северного Ледовитого и Тихого океанов, и роль шельфов в трансконтинентальных миграциях термофитной биоты [*Юрцев, 1981; Paleoecology..., 1982; и др.*]. В этом контексте нельзя не упомянуть и крайнюю точку зрения, изложенную в работах С.В. Томирдиаро [*1976; и др.*], согласно которой мамонтовые степи (тундростепи в широком смысле – *Авт.*), простирались с континента на полярные льды, покрытые слоем лесса.

Для описания возможных границ термофитных тундростепей северо-востока Азии мы на основе анализа современных градиентов температур восстановили положение изотерм воздуха июля и линий максимальной континентальности климата западной Берингии в ПЛМ. Затем значения полученных изотерм были приведены в соответствие с опорными температурами, для чего использовались температуры, воссозданные для северо-западной части Тихого океана в ПЛМ [*CLIMAP, 1976, 1994*]. Для этого, ближайшего к обсуждаемой территории района, большинство упомянутых реконструкций дает достаточно близкие оценки. При таком подходе мы можем считать, что та часть реконструированного поля, в которой температуры июля и континентальность климата удовлетворяют описанным выше требованиям степных видов насекомых, и есть область, где в ПЛМ было возможно распространение термофитных тундростепей.

Из сказанного ясно, что выбор в рамках сартана именно ПЛМ объяснялся, во-первых, наличием глобальных моделей климата, независимых по отношению к реконструкциям, выполненным на основе требований к среде насекомых; во-вторых, относительно хорошей изученностью таких сторон палеогеографии, как величина регрессии моря и масштабы оледенения. Мы использовали в качестве „опорных" температуры из электронной базы данных NOAA/NGDC (CLIMAP, 1994) как наиболее детальные. В отличие от прочих моделей здесь не использовались интерпретации результатов наземных палеонтологических исследований в качестве граничных условий.

## Материал и методы

Температурное поле западной Берингии в ПЛМ реконструировано методом профилей, ранее уже применявшимся для воссоздания условий на Беринговом мосту [*Сергин, Щеглова, 1976*]. Из названной работы взято распределение температур для района Берингова моста. Для западной части региона (бассейны Яны, Индигирки и Колымы) мы описали широтные градиенты температур воздуха в июле и градиенты температур океан–материк в июле и январе. Интерполяция характерис-

тик западной и восточной частей региона позволила представить распределение средних температур июля по всей западной Берингии. Тем же путем, интерполируя результаты, полученные нами на западном профиле, и используя данные С.Я. Сергина и М.С. Щегловой для Берингова моста, было определено положение изолинии континентальности климата, второго из анализируемых показателей.

Подчеркнем отличия нашего подхода от подхода названных авторов. Во-первых, при анализе распределения температур воздуха мы разделяли вклады географической широты и океанов, что позволило точнее оценить влияние регрессии Северного Ледовитого океана на климат ПЛМ. Во-вторых, строили профили по данным метеостанций [*Справочник..., 1966–1968*], а не по генерализованным картам климата; такой подход дает возможность оценить погрешность полученных зависимостей.

Большая часть северо-востока Азии занята горами, что требует учета изменений температур воздуха с высотой. Температуры июля мы привели к уровню моря по значениям вертикальных градиентов, вычисленных для высотных пар метеостанций, расположенных в основных горных массивах региона. Температуры января из-за широкого распространения инверсий растут с высотой и существенно изменяют поле континентальности. Привести их к уровню моря сложно из-за большой изменчивости инверсионных градиентов, зависящих в первую очередь от местоположения метеостанции; поэтому при построении профилей распределения температур января и континентальности климата исключались данные пунктов, расположенных выше 500 м над уровнем моря. Мы не использовали также данные береговых станций, чтобы избежать вариаций, связанных с влиянием холодных или теплых течений летом, наличием или отсутствием полыньи зимой, расположением на мысу или в бухте и других обстоятельств, определяющих климатические градиенты в узкой прибрежной полосе.

## Результаты

Современный климат северо-востока Азии формируется под влиянием отрога Азиатского антициклона и циклонов на полярном и арктическом фронтах [*Алисов, Полтараус, 1962; и др.*]. Широтный градиент ощутимо сказывается лишь на западе региона в бассейнах Яны и Индигирки, поэтому изотермы июля (особенно приведенные к уровню моря) повторяют очертания береговой линии. В ПЛМ на фоне общего похолодания Северный Ледовитый океан отступал на сотни километров (рис. 1), и его воздействие на климат ослабевало. Влияние же Тихого океана, шельфы которого (кроме беринговоморских) осушались лишь на десятки километров, должно было оставаться близким к современному. Приращение суши на севере и востоке расширяло в том же направлении отрог Азиатского антициклона, ныне лежащий к западу от 140° в.д. между 62 и 65° с.ш. Поэтому в ПЛМ на западе региона с юга на север должны были сменять друг друга три зоны с доминированием влияния Тихого океана, широтного градиента и Северного Ледовитого океана. Конечно, и в первой и в третьей зоне, как и ныне, широтный градиент сказывался на температуре воздуха, но значительно слабее воздействия океанов. Температурные градиенты в приморских зонах определялись соотношением морских и материковых воздушных масс, а в континентальной – изменением инсоляции с широтой. Оба фактора в ПЛМ должны были действовать так же, как в наши дни, поэтому близкими к современным должны были быть и градиенты во всех трех случаях.

Для первой из названных зон оценим градиенты температур июля „океан–материк" по данным 86 метеостанций, расположенных между 130 и 150° в.д. (рис. 2, *а*). Выбор коридора объясняется тем, что к востоку от него на температуры воздуха влияет (и искажает искомую зависимость) не только Охотское, но и Берингово моря. Как следует из рис. 2, на расстоянии 700–750 км к северу и северо-западу от побережья приведенные к уровню моря температуры возрастают на 5–6°, но на последних 200 км их рост не превышает 0,5°. Следовательно, действие Тихого океана здесь ослабевает и становится сравнимым с проявлением широты. На еще большем удалении от берега темпе-

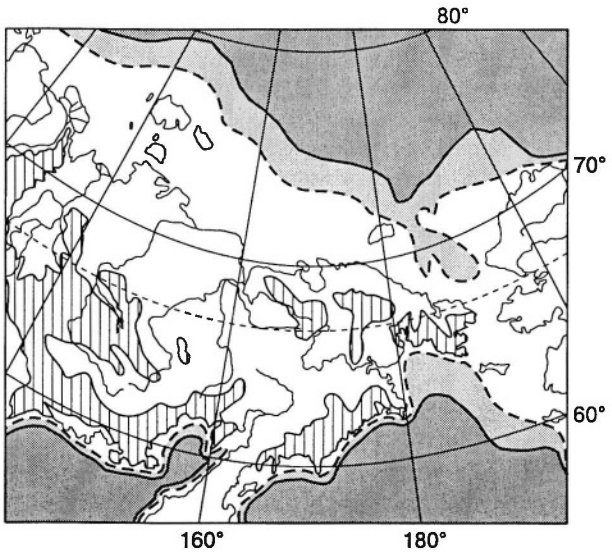


**Рис. 1. Береговые линии Северного Ледовитого и Тихого океанов по изобатам 50 м (штриховая линия) и 100 м (сплошная линия) и площади оледенения территории западной Берингии в последний ледниковый максимум [*Глушкова, Прохорова, 1989; Развитие.., 1993*].**

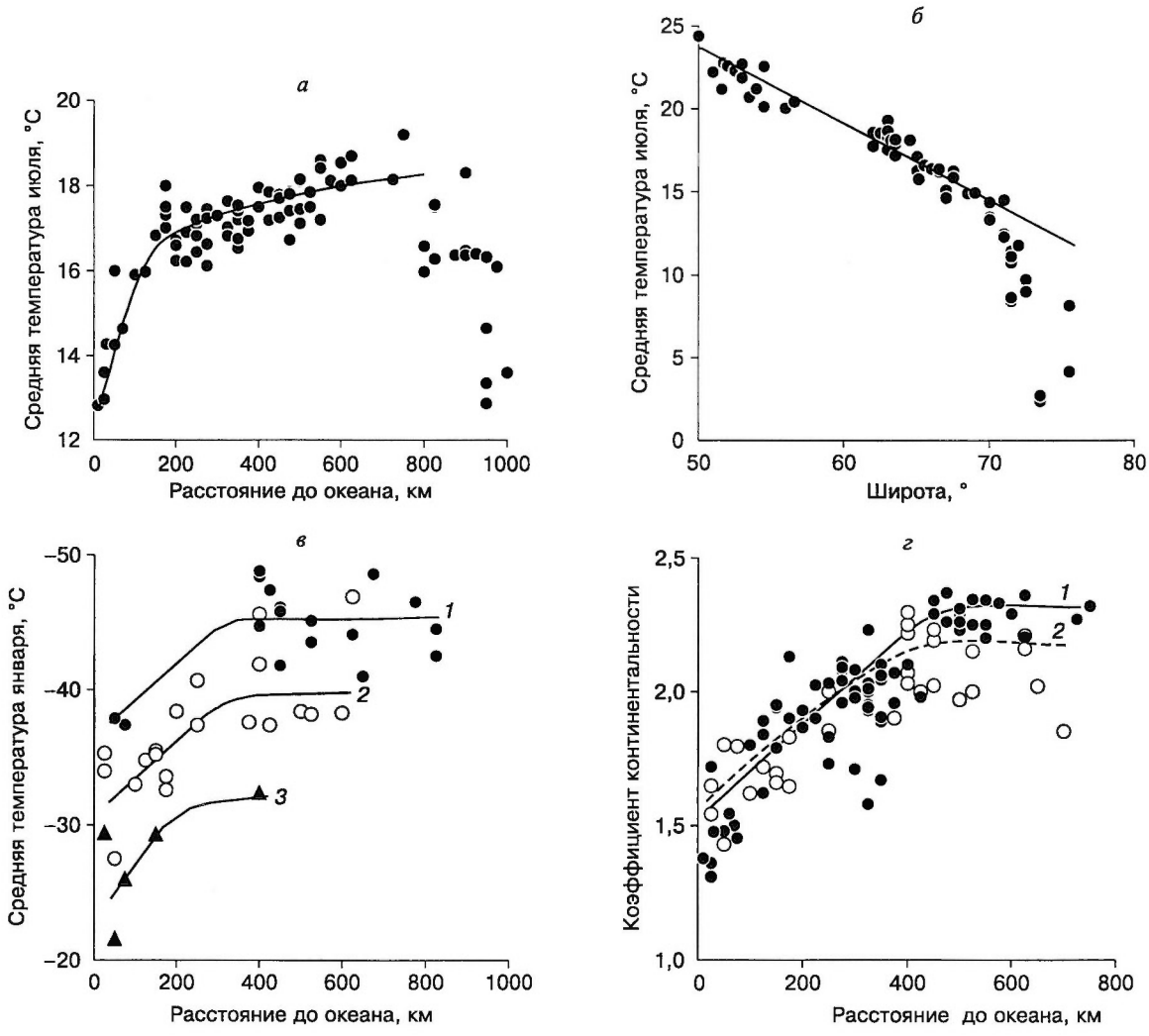


**Рис. 2. Северо-восток Азии.**

*а* – средняя температура июля в зависимости от расстояния до берега Охотского моря; *б* – изменение средней температуры июля (в интервале 120–130° в.д., 50–80° с.ш.) с широтой; *в* – средняя температура января в зависимости от расстояния до берега морей: Лаптевых (*1*), Восточно-Сибирского (*2*), Чукотского (*3*); *г* – коэффициент континентальности в зависимости от расстояния до океана: Тихого (*1*), Северного Ледовитого (*2*).

ратуры начинают быстро падать, так как здесь начинается зона влияния Северного Ледовитого океана. В ПЛМ в континентальных районах западной Берингии, севернее зоны влияния Охотского моря, поле температур июля формировалось широтным градиентом. Ныне он отчетливо проявляется лишь западнее 130° в.д. [*Алисов, Полтараус, 1962*] или, в соответствии с полученным выше результатом, на удалении от берега Охотского моря более чем 700–750 км. На рис. 2, *б*, построенном по данным 50 метеостанций, расположенных в коридоре 120–130° в.д., видно, что между 50 и 70° с.ш. температуры июля убывают с градиентом 0,4–0,5° на градус широты ($r^2 = 0{,}92$). На удалении от берега Северного Ледовитого океана в 250–300 км градиент резко возрастает, а в ПЛМ благодаря регрессии океана он должен был сохранять свое значение и севернее 70° широты.

Северный предел приоритета широтного градиента в ПЛМ можно определить, оценив, куда распространялось тогда влияние Северного Ледовитого океана. Его взаимодействие с сушей в ПЛМ должно было отличаться от современного, так как океан, скорее всего, был покрыт льдом круглый год [*Чижов, 1970; Shin et al., 2003; и др.*]. Ныне же открытая вода в южной части моря Лаптевых в июле занимает небольшие площади, но отмечается ежегодно. К сожалению, массивы суши, к которым ныне морской лед примыкает круглый год (Канадский архипелаг, Гренландия и Антарктида), существенно отличаются от осушенного арктического шельфа западной Берингии, в первую очередь, ши-

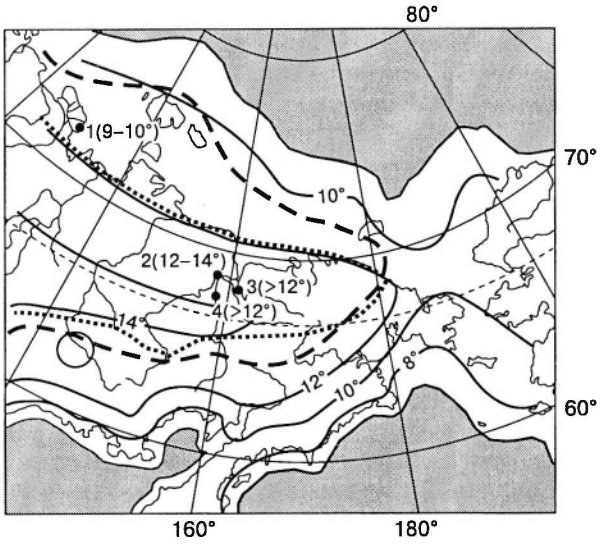


**Рис. 3. Реконструкция изотерм июля (сплошные линии), изолинии максимальной континентальности климата (штриховая линия), зоны возможного существования термофитных тундростепей в последний ледниковый максимум при регрессии моря на 100 м (пунктирная линия).**

Места палеоэнтомологических исследований: 1 – п-ов Быковский, 2 – Алешкина заимка, 3 – обнажение „Красивое", 4 – обнажение Омолон. Кружок – Оймяконское нагорье; цифры в скобках – реконструкция температур июля методом MCR для ПЛМ в низовьях Лены [*Sher et al., 2002*] и для 17–18 тыс. лет назад в низовьях р. Колыма [*Алфимов и др., 2003; Шер и др. (в подготовке)*].

роким распространением ледников и горным рельефом, что сказывается на их климате. К тому же, плохая обеспеченность этих территорий климатическими данными не позволяет использовать их в качестве аналога. Поэтому в дополнение к оценке влияния Северного Ледовитого океана на температуру июля на западе северо-востока Азии (см. рис. 2, *б*) опишем, как он изменяет температуру января по всему побережью региона. На рис. 2, *в*, построенном по данным 43 метеостанций, видно, что в январе, как и в июле, воздействие океана различимо не далее 250–300 км от берега. В ПЛМ активность циклонов над осушенными шельфами и ледовым покровом океана уступала современной, следовательно, зона его влияния тем более не должна была превышать указанных значений. Низкая точность такой оценки для поставленной задачи не принципиальна, так как анализ показал, что в ПЛМ северный предел распространения термофитных степей должен был определяться не влиянием Северного Ледовитого океана, а убыванием температур с широтой и воздействием Тихого океана.

За опорную точку дальнейших построений примем, как сказано выше, реконструкцию температур поверхности воды и воздуха в июле–августе в северо-западной части Тихого океана в ПЛМ [*Борзенкова, 1992; CLIMAP..., 1976, 1994*]. В северной части Охотского и Берингова морей они были ниже современных на 2–3 °С и составили 8–9 °С и 6–7 °С соответственно. Исходя из указанных значений и величины современного градиента океан–материк (см. рис. 2, *а*), мы можем считать, что в этот период самые высокие температуры воздуха на западе западной Берингии на уровне моря должны были достигать 14 °С и отмечаться в 700–750 км севернее побережья Охотского моря, т. е. на 66° с.ш. Однако точность применяемых методов и исходных данных невысока: оценки температур воздуха над северной частью Тихого океана варьируют в пределах 1–2° [*Борзенкова, 1998*], широтный градиент температур – 0,1 °С/градус широты, а ширина зоны влияния Тихого океана – 100 км. Учитывая это „суммарное разрешение", будем считать, что протяженность "теплого" отрога Азиатского антициклона, где изменением температуры июля с широтой можно пренебречь, с юга на север составляла 2°, т. е. его границы проходили по 65° и 67° с.ш. (рис. 3). Между 67° с.ш. и зоной действия Северного Ледовитого океана температуры воздуха в ПЛМ должны были убывать под воздействием широтного градиента. Данные рис. 3 показывают, что у Новосибирских островов этот градиент определяет изменение температур июля вплоть до 76° с.ш., а у устья Колымы и Чаунской губы лишь до 73–74° с.ш.

На Беринговом мосту, как установили С.Я. Сергин и М.С. Щеглова [*1976*], в ПЛМ оптимум температур июля должен был формироваться на расстоянии 400–600 км к северу от южного побережья моста. Благодаря малой абсолютной высоте и равнинному рельефу, влияние Тихого океана даже в этой части моста было сильным, и температуры там (9–10 °С) были выше, чем на тихоокеанском побережье всего на 3 °С (см. рис. 3). Слабое (относительно западных районов) отступление Северного Ледовитого океана определило ширину зоны приоритетного влияния широтного градиента лишь в 100–150 км. В ее пределах температура июля должна была понизиться до 8 °С, а далее к северу убывать уже под воздействием Северного Ледовитого океана.

Закономерности изменения континентальности климата на северо-востоке Азии оценены по данным 106 метеостанций. На рис. 2, *г* видно, что коэффициент континентальности линейно растет по мере удаления от берегов Тихого и Северного Ледовитого океанов на расстояние не более 400–500 и 300–400 км ($r^2$ равен 0,71 и 0,57 соответственно). Отсюда следует, что южная граница территорий с максимальной континентальностью климата в ПЛМ проходила не дальше 500 км от побережья Тихого океана, а северная – 300–400 км от побережья Северного Ледовитого. Однако, как уже отмечалось, влияние последнего на температу-

ру воздуха, а значит и на континентальность, в ПЛМ должно было быть слабее, чем ныне, и распространяться менее чем на 250–300 км. На самом перешейке континентальность, как следует из реконструкции С.Я. Сергина и М.С. Щегловой [*1976*], даже в ПЛМ не достигала максимальных для западной Берингии значений.

Подчеркнем различия предельных значений коэффициента континентальности ныне и в ПЛМ. В современном климате северо-востока Азии эта величина составляет 2,4 ед. [*Иванов, 1959*], а в ПЛМ она должна была выйти за указанный предел, так как зависит не только от годовой и суточной амплитуды температур, но и от относительной влажности воздуха. Оценочные расчеты показывают, что максимальные амплитуды температур в этом регионе в ПЛМ и ныне различались не сильно [*Берман, Алфимов, 1998; Алфимов и др., 2003*], а сокращение количества осадков и рост площади суши должны были привести к уменьшению влажности воздуха в самый сухой месяц на 5–10 %, что, в свою очередь, вело к росту коэффициента континентальности, как минимум, до 2,5 ед.

## Обсуждение

Отличия климата западной Берингии в ПЛМ от климата современного северо-востока Азии формировались под противоположно направленным влиянием глобальных и региональных факторов. Если первые (уменьшение инсоляции и охлаждающее влияние ледниковых щитов) вызывали в северном полушарии понижение температуры воздуха в течение всего года, то вторые (будучи следствием роста площади суши) вели к подъему летних температур в регионе. Поэтому в ПЛМ показатели климата разных частей западной Берингии отличались от современных не только величиной, но даже и знаком отклонений. Из сравнения данных рис. 3 и современных климатических схем [*Алисов, Полтараус, 1962*] следует, что в отроге Азиатского антициклона, где не сказывается близость океанов, под влиянием глобального похолодания в ПЛМ температура июля на уровне моря должна была понизиться на 2 °С. Считая величину вертикального температурного градиента ныне и в ПЛМ одинаковой, мы можем отнести эту разность и к приземным температурам воздуха. Иными словами, в самых теплых ныне частях северо-востока Азии – верхнем течении Яны, Индигирки и Колымы (300–500 м над уровнем моря) температура июля должна была составлять 11–12 °С, что совпадает с оценками, полученными другими методами [*Васьковский, 1959; Velichko et al., 1997; и др.*]. Напротив, на приморских низменностях к западу от Колымы главную роль в формировании климата ПЛМ играла регрессия океана, и температуры июля должны были подняться на 5–7 °С (с современных 5–7 °С до тех же 11–12°).

На Беринговом мосту результат совместного действия глобальных и региональных факторов был иной. Даже при наиболее вероятном из обсуждаемых понижений уровня моря на 100 м [*Clark, Mix, 2002; Paleoecology, 1982; и др.*] влияние Тихого океана оставалось значительным, и температура июля в северной части моста достигала лишь 10°, а изолиния экстремальной континентальности не заходила восточнее 180° в.д. Если же уровень моря падал на 50–60 м [*Шер, 1976; Данилов и др., 2000*], то температуры июля не превышали 7–8 °С, а влияние Тихого океана должно было распространиться вплоть до покрытого льдом бассейна Хоуп (залив Северного Ледовитого океана между 178° и 168° з.д.).

Предложенная схема позволяет очертить районы западной Берингии, где в ПЛМ было возможно распространение термофитных тундростепей (см. рис. 3). На северных равнинах оно было ограничено температурами июля, поскольку граница максимальной континентальности располагалась много севернее изотермы 12 °С. На юге, востоке и западе искомая граница проходила в горах, поэтому ее трудно отобразить в масштабе рисунка. На конфигурацию границы влияет ряд факторов. Во-первых, даже в самых теплых долинах рек на высотах около 400 м температуры июля как минимум на 2 °С ниже уровня моря (т. е. ниже, чем показано на рис. 3). Во-вторых, с высотой уменьшается не только температура, но и континентальность климата, остающаяся высокой лишь в горных котловинах. Рассчитать ее изменения сложно. Самым вероятным, на наш взгляд, может быть допущение: влияние высоты и „котловинного эффекта" на степень континентальности уравновешивали друг друга. В-третьих, на климате районов расположения самых высоких горных сооружений (Анюйский и Экитыкский массивы, хребты Черского, Момский и Сунтар-Хаята) сказывались ледники (см. рис. 1), языки которых делали непригодными для существования термофитных тундростепей даже долины с небольшой абсолютной высотой.

Хорошая иллюстрация указанных сложностей – реконструкция климата ПЛМ для Оймяконского нагорья (650–750 м над уровнем моря). В этом районе в ПЛМ континентальность была ниже 2,4–2,5 ед., а температура июля не превышала 10 °С (см. рис. 3). Между тем ныне здесь обычно помещают полюс континентальности; температура воздуха варьирует в пределах 13,5–14,5 °С, что для ПЛМ дает 11–12 °С (за вычетом предлагаемой нами поправки в 2–2,5 °С). Разница же в 1,5–2 °С между схемой и приведенным расчетом в данном случае принципиальна, поскольку именно между 10 и 12 °С должна проходить температурная граница термофитных тундростепей.

С учетом сказанного мы полагаем, что большая часть южной границы термофитных тундро-

степей (см. рис. 3) проходила приблизительно по изотерме 14 °С. Лишь по долине Колымы, высота которой в этом месте не превышает 150–200 м над уровнем моря, и, может быть, в ряде горных котловин верхней Индигирки термофитные сообщества могли продвинуться на юг. На большей же части юго-запада очерченной на схеме области, в предгорьях хребтов Черского, Момского и Сунтар-Хаята, на высотах более 500–600 м над уровнем моря, как отмечено выше, существование термофитных тундростепей в ПЛМ, скорее всего, было невозможно из-за спускавшихся сюда ледников.

Восточная граница описываемой территории выглядит клинообразной из-за аналогичной формы изотермы 12° и изолинии максимальной континентальности – они доходят лишь до 180°, т. е. до верховий Анадыря. Так как в ПЛМ большая часть Чукотки была занята горным оледенением (см. выше), термофитные тундростепи не достигали Берингова моста, а термофильные насекомые не могли использовать для миграции на восток не только сам „мост" [*Берман, Алфимов, 1998*], но даже бассейн Анадыря. Если схема недостаточно точна и для термофильных насекомых мост был достижим, он, вероятно, не служил путем их миграции из Азии в Америку из-за низких для названных насекомых температур. Иными словами, по Берингову мосту в ПЛМ способны были проникнуть из западной в восточную Берингию лишь толерантные к недостатку тепла степные виды [*Юрцев, 1974; Берман, 2001*]. В их числе мог быть упомянутый выше жук-пилюльщик *Morychus viridis* – доминант ископаемых комплексов северо-востока Азии и современных „холодных" (криофитных и гемикриофитных) степей и отдельных вариантов тундростепей с господством корневищных осочек *Carex argunensis*. Вместе с названным жуком могли мигрировать и некоторые другие ксерофильные насекомые, ландшафтное распределение которых не контролируется температурой [*Берман, 2001*]. Фрагменты „холодных" степей встречаются по всему северо-востоку от долин крупных рек до горных тундр, участки тундростепей приурочены преимущественно к верхним частям гор континентальных районов. В наиболее холодных местообитаниях *M. viridis* суммы положительных температур в верхних сантиметрах почвы не превышают 800–950° [*Берман, 2001; Алфимов, Берман, 2001*], и такие значения теплообеспеченности, несомненно, были в срединных частях Берингова моста в ПЛМ. Не была препятствием для обсуждаемых насекомых также низкая температура зимы (средняя температура января –36...–39 °С), и бесснежье (суммы твердых осадков – 30–50 мм), реконструируемые для наиболее теплой – северной части моста в ПЛМ большинством исследователей [*Сергин, Щеглова, 1976; Kutzbach et al., 1998; Shin et al., 2003; и др.*]. Подобные условия складываются ныне в современных „холодных степях", где температуры в верхнем сантиметре почвы падают до –50 °С. Происходили ли подобные миграции в сартане или раньше, можно проверить, проведя таксономическую идентификацию современных и ископаемых азиатских и американских видов рода *Morychus*, которая до сих пор не осуществлена.

К сожалению, мы не располагаем достаточными данными для реконструкции условий на мосту в более теплые периоды сартана. Предварительные оценки [*Sher et al., 2002*] показали, что 17–14 тыс. лет назад в дельте Лены, где в отложениях этого возраста обнаружены останки термофильных долгоносиков рода *Stephanocleonus*, температура июля была выше, чем в ПЛМ, на 2–3 °С. Если и в центральной части моста температуры возрастали на ту же величину, то они удовлетворяли лишь одному из двух принятых нами граничных условий термофитных тундростепей. Континентальность же климата на мосту 17–14 тыс. лет назад, благодаря таянию ледниковых щитов и началу трансгрессии океана, заведомо уступала таковой в ПЛМ и, тем самым, не обеспечивала существование этих экосистем. Таким образом, и в теплые периоды сартана миграция термофильных насекомых по мосту скорее всего была невозможна. Сказанное, быть может, объясняет отсутствие степных азиатских видов насекомых в отложениях висконсина и в современных биотах Аляски и территории Юкон [*Берман, 2001*].

Западная граница тундростепей сложна для обсуждения, так как здесь недостаточно данных и по современной реликтовой, и по ископаемой энтомофауне. Кроме того, климат бассейна Лены ныне [*Алисов, Полтараус, 1962*] и в сартане [*Развитие..., 1993; Anderson et al., 2002*], а скорее всего и в ПЛМ, существенно отличался от климата континентальных районов западной Беринги.

Таким образом, термофитные тундростепи западной Берингии в ПЛМ могли занимать почти весь бассейн Яны, среднюю и нижнюю часть бассейнов Индигирки и Колымы, а также низменности в междуречьях этих рек, включая запад Чукотки. Однако на осушенные шельфы они выходили не далее, чем на 200–250 км между устьем Колымы и Чаунской губой. В верховьях названных рек, где ныне степные виды насекомых распространены наиболее широко, условия для термофитных тундростепей в ПЛМ, скорее всего, были неблагоприятны. Принятое нами для этого района падение температуры июля на 2 °С должно было привести при прочих равных условиях к понижению верхней границы их распространения на 350–400 м. Таким образом, если ныне в Оймяконской и Нерской котловинах, в бассейне р. Тебюлях (левый приток Индигирки), в верховьях р. Колыма (район пос. Оротук) и ряде других территорий эти

виды встречаются до высот 700–800 м над уровнем моря, то в ПЛМ высотная граница их распространения не должна была превысить 400–450 м над уровнем моря. Уязвимость такой позиции описана выше на примере Оймяконского нагорья; она противоречит также широкому распространению ныне в верховьях Индигирки участков термофитных степей, имеющих богатую реликтовую флору и фауну, основной ареал большинства видов которых лежит в южной Сибири, Монголии, Казахстане [*Юрцев, 1981; Берман, 2001*]. Конечно, можно предположить, что они проникли сюда во время голоценового максимума из рефугиев, которыми могли служить, например, в бассейне Индигирки Нерская котловина, долина р. Тебюлях и др. Однако подобное объяснение пока не имеет реального обоснования, ибо роль голоценового максимума в миграциях термофилов, которая может оказаться чрезвычайно важной, никем не исследована. Вероятнее всего, возникшее противоречие – результат попытки реконструкции пороговых характеристик климата горных территорий, при которых падение температур на 1–2 °С, связанное с небольшим изменением увлажнения, вело к смене ландшафтной обстановки. Подчеркнем, что для севера обсуждаемой области подобных сложностей не возникает, ибо проведенная реконструкция „повышает" температуры лета на 5–7 °С.

На предложенной схеме видно, что тундростепи западной Берингии в ПЛМ существовали при широтной инверсии климата: на юге (в горных частях бассейнов Яны, Индигирки и Колымы) и севере (на осушенном шельфе от устья Колымы до Чаунской губы) зоны складывались в относительно холодные (11–12 °С) и высоко континентальные условия. Район с самым теплым (12–14 °С) и континентальным климатом располагался в среднем и нижнем течении названных рек и на современном арктическом побережье. Среди бассейнов трех главных рек северо-востока наименее благоприятна обстановка для степных видов была в верховьях Колымы, наиболее благоприятна – в бассейне Яны. Существование в ПЛМ такого градиента условий, показанного и на палинологическом материале [*Anderson et al., 2002*], возможно, и служит причиной резкого уменьшения современного разнообразия реликтовых степных видов насекомых от верховий Яны и Индигирки к верховьям Колымы [*Берман, 2001*], хотя в наши дни климат этих регионов различается слабо.

Справедливость предлагаемой схемы (см. рис. 3) можно проверить, сравнив ее с результатами палеоэнтомологических реконструкций западной Берингии в ПЛМ. Согласно последним данным [*Шер и др., 2004 (в подготовке)*] из двух десятков обследованных в Западной Берингии обнажений, относящихся к позднему плейстоцену, лишь в четырех обнаружена ископаемая фауна насекомых, достоверно относимая к ПЛМ по данным радиоуглеродного датирования. В трех разрезах, находящихся внутри области термофитных тундростепей, в отложениях ПЛМ найдены останки обоих ключевых для индикации термофитных тундростепей видов (жуки-слоники *Stephanocleonus eruditus* и *S. fossulatus*). Сам факт их присутствия, даже без проведения реконструкции температур методом MCR (Mutual Climate Range – метод, основанный на анализе температурных диапазонов существования всех видов, останки которых найдены в образце), гарантирует, что июль в местах находок был теплее 12 °С [*Алфимов и др., 2003*]. В единственном же разрезе за пределами области тундростепей хитин указанных видов не найден, а восстановленные по жукам температуры июля не превышают 9–10 °С. Понятно, что четыре разреза – еще не основание для констатации даже тенденции, однако нельзя не отметить совпадение на качественном уровне результатов, полученных двумя независимыми способами.

Расхождение температур, реконструированных для устья Лены, на 1–2 °С могло быть вызвано неучтенными нами изменениями в ПЛМ таких параметров, как альбедо поверхности, осадки и др., что ведет к отличиям современных и палеоградиентов температуры воздуха. Это обстоятельство не влияло вблизи опорного района (побережье Охотского моря), но по мере увеличения расстояния оно усиливалось и к побережью Северного Ледовитого океана могло стать ощутимо. Возможно, причина расхождения кроется также в несовершенстве модели CLIMAP, из которой мы взяли исходные температуры.

В одной из последних глобальных реконструкций климата ПЛМ с использованием модели NCAP-CCSM [*Shin et al., 2003*] содержится оценка летних температур воздуха в северо-западной части Тихого океана на 1–2 °С ниже принятых нами значений. Привязка нашей схемы к названной модели вызовет понижение на 1–2 °С значений всех изотерм на рис. 3. Следствием этого будет, с одной стороны, сближение температур, показанных нами для низовий Лены, с температурами, полученными методом MCR; с другой – сделает невозможным предположение о сохранности в ПЛМ термофитных степей в верховьях Индигирки и Яны, что противоречит их существованию там ныне [*Берман, 2001; Берман, Алфимов, 1985*].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отличия в распределении температуры воздуха и коэффициента континентальности в западной Берингии в ПЛМ от современной картины были вызваны, главным образом, региональным фактором – регрессией Северного Ледовитого океана. Важнейшей чертой климата было значитель-

ное (минимум на 5 °С) повышение температур на арктических низменностях и небольшое (на 2 °С) их понижение в центральной части. Эти изменения определили существование в центральной и западной частях азиатской Берингии обширной области, протяженностью с севера на юг около 1000 км, с экстраконтинентальным климатом и небольшими градиентами температур, так как рост температуры воздуха с севера на юг компенсировался ее уменьшением с высотой. Распространение тундростепей в долинах верховий Колымы и Индигирки ограничивалось температурами воздуха и континентальностью климата и не достигало районов южнее 64–65° с.ш. На севере за пределы современной суши термофитные тундростепи выходили лишь на полосу шельфа шириной 200–250 км между устьем Колымы и Чаунской губой, а на востоке (даже при максимальной регрессии моря) скорее всего не проникали в бассейн Анадыря. Приведенная оценка положения северной границы распространения термофитных тундростепей значительно более надежна, чем южной. Тундростепные сообщества иных вариантов, в первую очередь криофитные, могли занимать обширные пространства по периферии термофитных тундростепей.

Предложенная схема распространения термофитных тундростепей – первый опыт подобного анализа, предполагающий дальнейшие уточнения исходных данных и методов построения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 01-04-48921.

## Литература

**Алисов Б.П., Полтараус Б.А.** Климатология. М., Изд-во МГУ, 1962, 228 с.

**Алфимов А.В., Берман Д.И.** Гл. 1. Климат и микроклимат // Холодные степи северо-восточной Азии / Отв. ред. Д.И. Берман. Магадан, ИБПС ДВО РАН, 2001, с. 12–32.

**Алфимов А.В., Берман Д.И., Шер А.В.** Тундростепные группировки насекомых и реконструкция климата позднего плейстоцена низовий Колымы // Зоол. журн., 2003, т. 82, № 2, с. 281–300.

**Берман Д.И.** Беспозвоночные животные // Холодные степи северо-восточной Азии / Отв. ред. Д.И. Берман. Магадан, ИБПС ДВО РАН, 2001, с. 96–161.

**Берман Д.И., Алфимов А.В.** К зоогеографии континентальных районов северо-востока СССР и реконструкции плейстоценовых ландшафтов // Тез. Всесоюз. зоогеогр. конф. М., 1985, с. 169–171.

**Берман Д.И., Алфимов А.В.** Реконструкция климатов позднего плейстоцена азиатской и центральной Берингии по энтомологическим данным // Вестн. ДВО РАН, 1998, № 1, с. 27–34.

**Борзенкова И.И.** Изменения климата в кайнозое. СПб., Гидрометеоиздат, 1992, 247 с.

**Борзенкова И.И.** О точности палеоклиматической информации // Метеорология и гидрология, 1998, № 9, с. 51–61.

**Васьковский А.П.** Краткий очерк растительности, климата и хронологии четвертичного периода в верховьях рек Колымы, Индигирки и на северном побережье Охотского моря // Ледниковый период на территории Европейской части СССР и Сибири. М., Изд-во МГУ, 1959, с. 510–545.

**Глушкова О.Ю., Прохорова Т.П.** Плейстоценовые оледенения Северо-Востока СССР // Палеоклиматы и оледенения в плейстоцене. М., Наука, 1989, с. 224–232.

**Данилов И.Д., Комаров И.А., Власенко А.В.** Криолитозона Восточно-Сибирского шельфа в последние 80 000 лет // Криосфера Земли, 2000, т. IV, № 1, с. 18–23.

**Иванов Н.Н.** Пояса континентальности Земного шара // Изв. ВГО, 1959, вып. 5, с. 410–423.

**Киселев С.В.** Позднекайнозойские жесткокрылые северо-востока Сибири. М., Наука, 1981, 116 с.

**Развитие** ландшафтов и климатов Северной Евразии. Поздний плейстоцен–голоцен: элементы прогноза / Отв. ред. А.А. Величко. Вып. 1. Региональная палеогеография. М., Наука, 1993, 102 с.

**Сергин С.Я., Щеглова М.С.** Климат Берингии в ледниковые эпохи, как следствие влияния глобальных и местных факторов // Берингия в кайнозое. Владивосток, 1976, с. 171–175.

**Справочник** по климату СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1966, вып. 33, ч. 2, 288 с.; 1968, вып. 24, ч. 2, 398 с.

**Томирдиаро С.В.** Арктическая лессово-ледовая равнина как американо-азиатский мост и ее термокарстовое разрушение в голоцене // Берингия в кайнозое. Владивосток, 1976, с. 78–89.

**Тугаринов А.Я.** О происхождении арктической фауны // Природа, 1929, № 7–8, с. 653–680.

**Чижов О.П.** Об изменениях состояния Арктического бассейна со времени максимума последнего оледенения // Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. Л., Гидрометеоиздат, 1970, с. 71–76.

**Шер А.В.** Роль Берингийской суши в формировании фауны млекопитающих Голарктики в позднем кайнозое // Берингия в кайнозое. Владивосток, 1976, с. 227–242.

**Шер А.В.** Актуализм и дисконформизм в изучении экологии плейстоценовых млекопитающих // Журн. общ. биол., 1990, т. 51, № 2, с. 163–177.

**Шер А.В., Кузьмина С.А., Киселев С.В. и др.** Плейстоценовые насекомые северо-востока Сибири. База данных, 2004, Российско-Германская Лаборатория Полярных и Морских Исследований им О.Ю. Шмидта.

**Юрцев Б.А.** Проблемы ботанической географии Северо-Восточной Азии. Л., Наука, 1974, с. 1–160.

**Юрцев Б.А.** Реликтовые степные комплексы северо-восточной Азии. Новосибирск, Наука, 1981, 168 с.

**Alfimov A.V., Berman D.I.** Beringian climate during the Late Pleistocene and Holocene // Quaternary Science Reviews, 2001, vol. 20, No. 1–3, p. 127–134.

**Anderson P.M., Lozhkin A.V., Brubaker L.B.** Implications of 24 000-yr palinological records for a Younger Dryas cooling and for boreal forest development in Northeastern Siberia // Quaternary Research, 2002, vol. 57, p. 325–333.

**Clark P.U., Mix A.C.** Ice sheets and sea level of the Last Glacial Maximum // Quaternary Science Reviews, 2002, vol. 21, p. 1–7.

**CLIMAP** Project members. The surface of the Ice-Age Earth // Science, 1976, vol. 191, p. 1131–1137.

**CLIMAP** Project Members // CLIMAP 18K Database. IGBP PAGES / World Data Center-A for Paleoclimatology Data Contribution Series 1994. No. 94-001. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder Co, USA.

**Colinvaux P.** Low-down on a land bridge // Nature, 1996, vol. 382, p. 21–23.

**Global** climate since the Last Glacial Maximum / Eds. H.E.Jr. Wright, J.F. Kutzbach, et al. T. III. University of Minnesota Press, 1993, 569 p.

**Kutzbach J., Gallimore R., Harrison S. et al.** Climate and biome simulations for the last 21000 years // Quaternary Science Reviews, 1998, vol. 17, p. 473–506.

**Manabe S., Broccoli A.J.** Influence of continental ice sheets on the climate of an Ice Age // Journal of geophysical research, 1985, vol. 90, p. 2167–2190.

**Paleoecology of Beringia** / Eds. D.M. Hopkins, J.V. Matthews Jr., C.E. Schweger et al. New-York, Academ. Press, 1982, 489 p.

**Sher A., Alfimov A., Berman D., Kuzmina S.** Attempted reconstruction of seasonal temperature for the Late Pleistocene Arctic lowland of North-eastern Siberia based on fossil insects // Quaternary Environment of the Eurasian North (Queen) Sixth Workshop. Spiez Switzerland, 24–28 May, 2002, p. 50.

**Shin S-I., Lin Z., Otto-Bliesner et al.** Simulation of the Last Glacial Maximum Climate using the NCAP-CCSM // Climate Dinamics, 2003, vol. 20, p. 127–131.

**Velichko A.A., Andreev A.A., Klimanov V.A.** Climate and vegetation dynamics in the tundra and forest zone during the late Glacial and Holocene // Quaternary International, 1997, vol. 41–42 (1), p. 71–96.

*Поступила в редакцию*
*1 декабря 2003 г.*