

АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КЛИМАТ

УДК 551.345

**РЕАКЦИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ГОРНОГО КЛИМАТА
НА ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ “ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ”
(ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ НА АЛЯСКЕ И ТЕРРИТОРИИ ЮКОН)**

С.А. Харрис

*Университет Калгари, географический ф-т,
ТЗА1Е4, Альберта, Калгари, Далтон драйв, 6316, Канада, harriss@ucalgary.ca*

Анализ климатических данных на метеостанциях Аляски и территории Юкон не подтверждает глобального потепления климата, прогнозируемого моделями изменений климата, вызванных повышением содержания CO_2 в атмосфере. Выявлена обширная территория, на которой в период с 1975 по 1980 г. был отмечен подъем средней годовой температуры воздуха на 2°C . В это же время на значительной территории в центральной части континентальных гор повышения средней годовой температуры не зафиксировано. Это объясняется сочетанием нескольких факторов: тумана испарения, стока холодного воздуха и инверсии воздушных масс в замкнутых горных котловинах. Кратко рассмотрено влияние изменения климата на распространение многолетнемерзлых пород и строительство.

Изменение климата, климат континентальных гор, сток холодного воздуха, туман испарения, инверсия воздушных масс, изменение океанических течений

**REACTION OF CONTINENTAL MOUNTAIN CLIMATES TO THE POSTULATED
“GLOBAL WARMING”: EVIDENCE FROM ALASKA AND THE YUKON TERRITORY**

S.A. Harris

*University of Calgary, Department of Geography,
6316, Dalton Drive, Calgary, Alberta, TZA1E4, Canada, harriss@ucalgary.ca*

Examination of the climatic data for Alaska and the Yukon Territory fails to show the warming trend predicted by CO_2 climate-change models. Instead, there is a large area affected by a sudden 2°C rise in temperature between 1975 and 1980, while the core of the continental mountain change appears to be buffered from the warming seen in data from the marginal mountain slopes and the adjacent lowlands. This appears to be due to a combination of steam fog, cold air drainage, and air mass inversions in closed mountain basins. The implications for permafrost distribution and engineering construction are briefly discussed.

Climate change, continental mountain climates, cold air drainage, steam fog, air mass inversions, changes in ocean currents

ВВЕДЕНИЕ

Концепция глобального повышения средней годовой температуры воздуха основана на сопоставлении этой величины за 1900 г. и через 90 лет [Anisimov, Poliakov, 2003]. То есть средняя годовая температура воздуха, измеренная сразу после максимума последнего неоледникового события (1880 г.), сравнивается со средней годовой температурой воздуха в последующий теплый период. Неудивительно, что такое сравнение указывает на существование тренда потепления, который часто связывают с повышением содержания антропогенного CO_2 в атмосфере. Модели, учитывающие воздействие увеличения содержания CO_2 , описывают тенденцию потепления климата. Максимум потепления (до 5°C за 100 лет) приходится на Аляску и Сибирь.

© С.А. Харрис, 2007

Данные об изменении температуры пород на Северном склоне Аляски и на арктическом побережье Канады подтверждают эту тенденцию [Osterkamp, Romanovsky, 1999; Smith et al., 2003], тогда как данные по Юго-Восточной Аляске, центральным и южным районам территории Юкон ее не подтверждают. В статье проанализированы различные материалы, полученные в континентальных горных районах, в том числе криогенные образования, отражающие совокупный эффект климатических изменений, и сделана попытка выяснить причины этих особенностей.

Результаты исследований указывают на необходимость выделения континентальных горных районов в группу со специфическим климатом, реакция которой на изменения климата может силь-

но отличаться от реакции приморских районов. Выявлено также, что устойчивость сооружений (например, трубопроводов) в криолитозоне горных районов выше, чем в равнинных.

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

С 1974 г. автор собирал данные о температуре пород и воздуха в районах распространения многолетнемерзлых пород вдоль Кордильер западной Канады между южной Альбертой и центральной частью территории Юкон. Первоначально работа по оценке распространения многолетнемерзлых пород вдоль Канадских Кордильер финансировалась бывшим Отделением по изысканиям в строительстве Национального научно-исследовательского совета Канады [Harris, 1986] и грантом NSERC. Потом в течение трех лет геокриологические и климатические исследования в районе оз. Саммит в Британской Колумбии финансировались Геологической Службой Канады, а с недавних пор финансирование производится самим автором. В результате этих работ накоплен и обобщен большой фактический материал по конкретным участкам, но только по двум станциям данные указывают на тренд потепления, а это противоречит моделям климатического прогноза.

Чтобы обеспечить независимую проверку полученной информации и лучше представить региональную картину, необходимо было получить дополнительные климатические данные. Из Интернета взяты графики временных рядов наблюдений за средней годовой температурой воздуха для основных метеостанций первого класса на Аляске (Аляскинский Центр климатических данных при Геофизическом институте Университета Аляски в г. Фербенксе) и данные по метеостанциям на территории Юкон (размещены на веб-сайте Службы охраны атмосферы в ноябре 2005 г.).

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Прежде всего, удивление вызвал тот факт, что на многих метеостанциях Аляски в период с 1975 по 1980 г. наблюдалось резкое скачкообразное повышение (на 2 °С) средней годовой температуры воздуха. Этот скачок температуры воздуха ясно виден на графике средней годовой температуры для Фербенкса (рис. 1). При сохранении незначительных циклических флуктуаций на протяжении пятилетнего периода отчетливо прослеживается изменение в сторону нового равновесного состояния. Станции, на которых отмечено резкое повышение температуры воздуха на 2 °С, представлены на рис. 2. Они группируются вдоль северной части Тихого океана и к югу вдоль Тихоокеанского побережья Британской Колумбии. В целом площадь, в пределах которой на метеостанциях зафиксирован скачкообразный подъем средней годовой темпера-

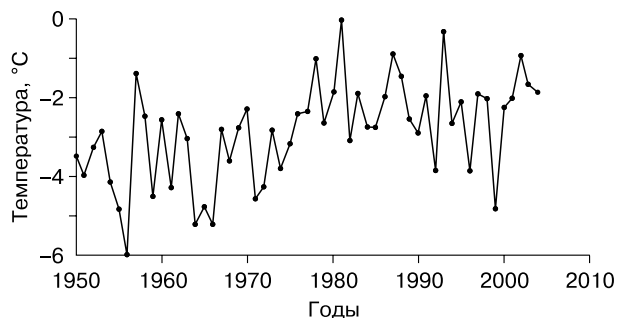


Рис. 1. Средняя годовая температура воздуха в Фербенксе (результаты Аляскинского Центра климатических данных при Геофизическом институте Университета Аляски в г. Фербенксе).

туры воздуха, занимает 60–70 % территории Аляски. Местоположение метеостанций дает основания предполагать изменения в относительной интенсивности теплых и холодных течений в северной части Тихого океана. Для того чтобы сохранять среднюю годовую температуру воздуха Арктики на современном уровне, около 30 % накопленного в тропиках тепла должно перемещаться к полюсу поверхностными океаническими течениями и более глубокими термогалинными течениями. Любые изменения в интенсивности или локализации этих течений неизбежно приведут к потеплению в одной области и похолоданию в другой. На рис. 1 видно, что скачкообразные повышения температуры воздуха выравняются за пять лет. Следует иметь в виду, что аналогичный скачок повышения средней годовой температуры воздуха, вызванный увеличением содержания CO₂, выявлен и для сто-

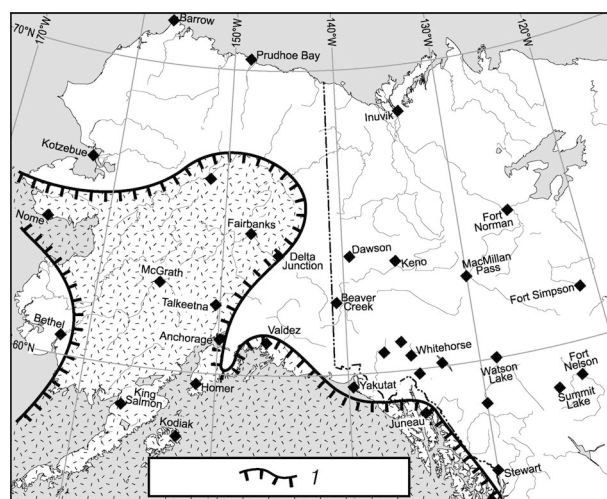


Рис. 2. Карта территории на северо-западе Северной Америки, где наблюдалось повышение средней годовой температуры воздуха на 2 °С:

1 – граница области потепления в 1975–1980 гг.

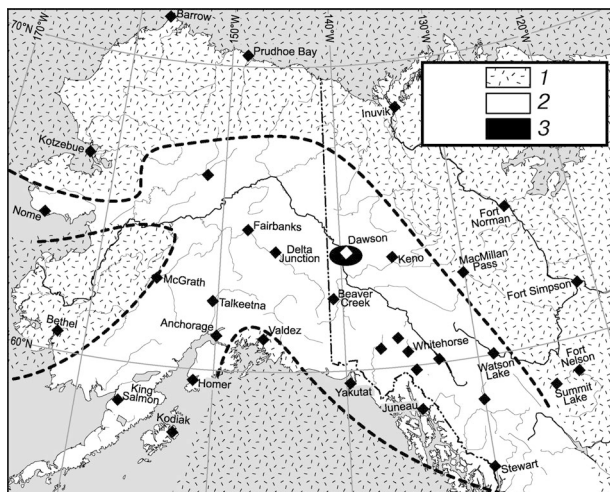


Рис. 3. Карта изменений средней годовой температуры воздуха с 1950 г. на северо-западе Северной Америки:

1 – потепление с 1950 г., 2 – без изменений, 3 – похолодание с 1950 г.

летнего периода потепления. Очевидно, многие климатические тренды, наблюдаемые на континенте за последние 200 миллионов лет истории Земли, можно объяснить изменениями океанических течений, вызванных тектоническими движениями плит [Harris, 2002].

Результаты долгосрочных наблюдений за температурой воздуха на метеостанциях, расположенных в северо-западных районах Северной Америки, целесообразно разделить на три группы (рис. 3). На рис. 3 видно, что на 30–40 % площади Аляски и 10–15 % площади территории Юкон выявлено потепление климата, которое началось с 1950 г. На большей же части Аляски (60–70 %) и территории Юкон (85–90 %) за тот же период от-

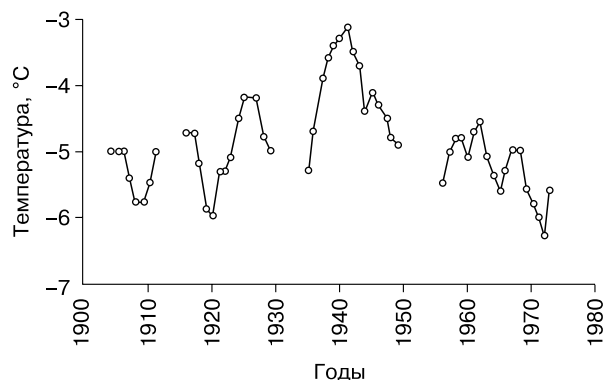


Рис. 4. Пятилетние “скользящие средние” температуры воздуха в г. Доусоне (данные канадской Службы защиты окружающей среды [Environment..., 1993]).

мечались лишь незначительные изменения климата, не приводящие к его потеплению. Похолодание климата зафиксировано только в окрестностях г. Доусона (рис. 3, 4). Следует отметить, что эпоха потепления климата, начавшаяся после неоледникового периода в этом регионе, завершилась примерно в 1942 г. Этот факт подтверждается длительными климатическими наблюдениями на метеостанциях в районах Уайтхорса и оз. Уотсон [Harris, 2005, fig. 8], а также дендрохронологическими данными [Allen, 1982]. В течение этого времени в южной части территории Юкон в буграх пучения, поросших двухсотлетними деревьями, сохранились многолетнемерзлые породы, что также указывает на отсутствие потепления климата [Harris, 1993].

Данные наблюдений за температурой воздуха, полученные из независимых источников, свидетельствуют о том, что в горных районах на северо-западе Северной Америки потепления климата, прогнозируемого климатическими моделями, не происходит. В то же время измерения температуры воздуха на метеостанциях, расположенных в долине р. Маккензи, указывают на потепление климата. Следовательно, в главном хребте Кордильер действуют буферные процессы, ослабляющие изменения климата или препятствующие им. Анализ результатов наблюдений за изменениями средней годовой температуры воздуха начиная с 1950 г. (см. рис. 3) показывает, что все районы, где зафиксировано потепление климата, расположены либо на склонах гор, либо в широких долинах с постоянным уклоном к морю. Районы, на метеостанциях которых потепление климата не зафиксировано, расположены либо в горных впадинах, либо в долинах рек внутренней части Кордильер. Равнинный рельеф арктической приморской низменности не создает каких-либо препятствий для активного перемещения воздушных масс, тогда как горный рельеф препятствует передвижению воздушных масс и обеспечивает их скопление в глубоковрезанных речных долинах и котловинах. Хребт Врангеля–Святого Ильи (абсолютная высота – 5500 м, относительная высота над дном долины – порядка 4800 м) препятствует проникновению воздушных масс из Аляскинского залива в южные горные хребты Аляски и территории Юкона. Однако в эти хребты и с севера, и с запада легко проникают холодные арктические и полярные континентальные воздушные массы. Они надолго задерживаются в глубоковрезанных долинах горных рек.

МАЛОИЗУЧЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГОРНОГО КЛИМАТА

Существует старинная английская поговорка, что “у гор своя собственная погода”. В действи-

тельности, климатологи детально не изучали, на чем основана эта поговорка. Они утверждают, что в горных районах температура воздуха понижается с высотой, а охлаждение, в свою очередь, вызывает выпадение осадков на наветренных склонах. За горными хребтами количество осадков, как известно, уменьшается. Хорошо известно также влияние на температуру воздуха теплого сухого ветра Чинук, или Фен, дующего вниз по подветренной стороне гор. Однако перечисленные выше факторы должны приводить к повышению температуры воздуха в долинах, тогда как имеющиеся данные указывают на ее понижение.

Известны три малоизученных фактора, понижающих температуру в днищах долин, а именно туман испарения, сток холодного воздуха и температурная инверсия.

Туман испарения редко учитывают как фактор, оказывающий влияние на климатические условия в горных районах. Туман испарения образуется осенью, когда температура воздуха опускается ниже температуры воды в реках и озерах. Он сохраняется до середины ноября, пока реки и озера не замерзнут. Туман уменьшает количество солнечной радиации, поступающей к земной поверхности. В результате максимальные и средние значения амплитуды суточных колебаний температуры воздуха сближаются. Средняя суточная температура воздуха изучалась на участке с минеральными буграми в окрестностях оз. Фокс с 1989 по 1995 г. На рис. 5 для каждого месяца приведены средние и максимальные значения амплитуды колебаний суточной температуры воздуха. До января воздействие солнечной радиации существенно уменьшается из-за короткого дня и низкого стояния Солнца. С января по март величина солнечной радиации неуклонно возрастает, обуславливая увеличение амплитуды колебаний температуры в течение суток. В апреле и мае этому противодействует увеличение облачности, образовавшейся в результате таяния снега и льда. Летом, когда прекращаются грозы, величина суточной амплитуды колебаний температуры воздуха часто достигает 32 °С. Следовательно, воздействие тумана испарения сводится к осеннему охлаждению самых низких участков горного ландшафта.

Известно [Wahl et al., 1987], что сток холодного воздуха – основная причина температурных инверсий и исключительно низкой температуры воздуха в Юконе. Яркий пример стока холодного воздуха с гор на равнину был зафиксирован в 1982 г. к западу от форта Нельсона в Британской Колумбии [Harris, 1993]. Изотермы на рис. 6 построены по нескорректированным записям на метеостанциях с использованием термографа Ламбрехта и по измерениям радиозонда над фортом Нельсон. Сток холодного воздуха происходит зимой в ясные холодные ночи, когда воздух в горах на высо-

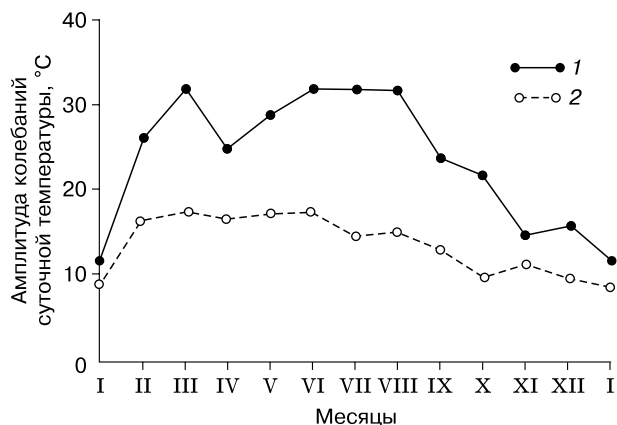


Рис. 5. Средние и максимальные значения амплитуды колебаний суточной температуры по месяцам в окрестностях оз. Фокс за период 1989–1995 гг.:

1 – максимальные значения; 2 – средние значения.

ких отметках охлаждается и становится более плотным, чем в долинах. Когда сила тяжести, обусловленная разностью плотностей воздуха, превысит трение, вызванное неровностями рельефа, он опускается вниз к днищам долин, вытесняя теплый воздух.

За период с 1989 по 1995 г. самая низкая температура воздуха (–68 °С) в окрестностях оз. Фокс (южная часть территории Юкон) была отмечена 9 января 1994 г. В более южных районах, например на хр. Паркера (53° с.ш.) и на горе "О" Плато (50° с.ш.), температура холодного воздуха, стекающего с гор, составляет –50 °С. Безусловно, температура воздуха во многом определяется размером и абсолютной высотой горного массива, но холмы, окружающие оз. Фокс, не особенно высоки.

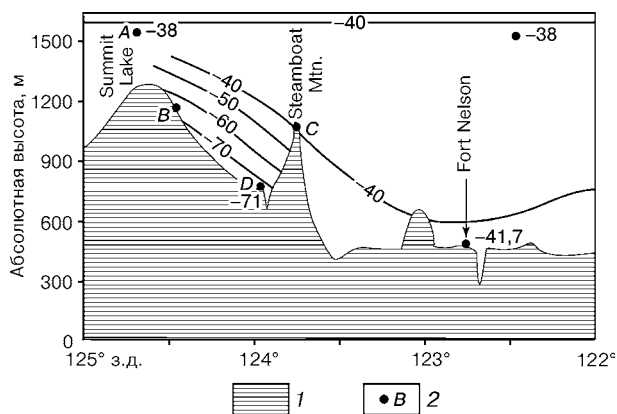


Рис. 6. Сток холодного воздуха с гор на равнину (Британская Колумбия, 7 января 1982 г. [Harris, 1983]):

1 – горные породы; 2 – точки измерения температуры (°С).

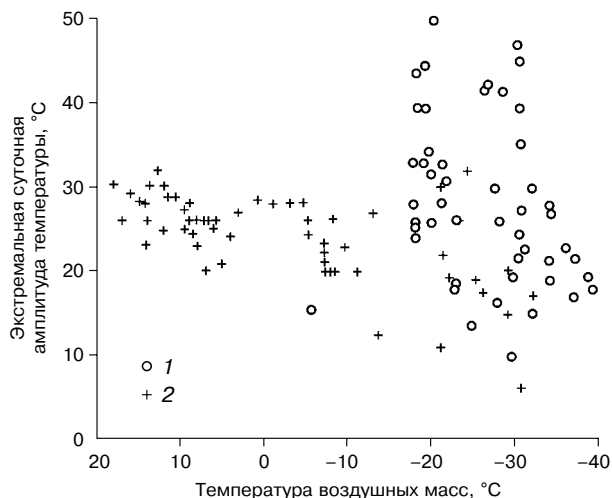


Рис. 7. Зависимость экстремальной суточной амплитуды температуры от температуры окружающих воздушных масс на оз. Фокс в 1989–1995 гг.

1 – есть сток холодного воздуха, 2 – нет стока холодного воздуха.

Сток холодного воздуха происходит только зимой. На рис. 7 приведена зависимость экстремальной суточной температуры воздуха зимой от температуры основных масс воздуха в долинах рек в окрестностях оз. Фокс (территория Юкон) за период с 1989 по 1995 г. Условия для стока холодного воздуха возникают при безветренной погоде, когда температура в долинах опускается ниже -16°C . Критическая температура воздуха в долинах, при которой появляется возможность стока в них холодного воздуха, зависит от локальных условий. Она достигается зимой (декабрь–март), когда на территорию Юкона проникают холодные арктические или полярные воздушные массы. Наблюдениями с 1989 по 1995 г. выявлено, что в зависимости от суровости зимы ежемесячное количество эпизодов стока холодного воздуха изменяется от 0 до 14 (в среднем 6–7 раз в месяц), а

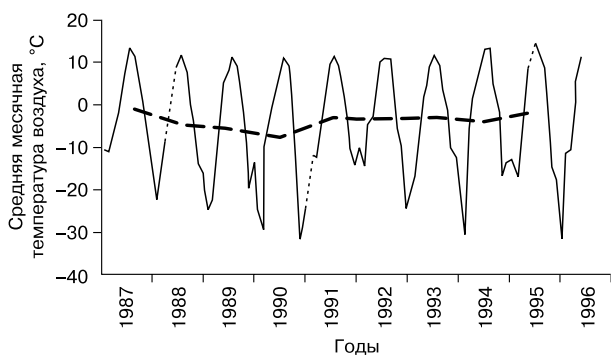


Рис. 8. Средняя месячная температура воздуха в окрестностях оз. Фокс:

штриховая линия – средняя годовая температура воздуха.

продолжительность периодов стока холодного воздуха – от 1 до 14 сут (в среднем 3,5 сут). Низкая температура воздуха в днищах долин в сочетании с маломощным снежным покровом обуславливает значительные потери тепла почвой в зимнее время, что приводит к формированию многолетнемерзлых пород. Значения средней годовой температуры воздуха для окрестностей оз. Фокс за период с 1989 по 1995 г. представлены на рис. 8. Анализ рис. 7, 8 свидетельствует о том, что повышение средней температуры воздуха на 2°C на этом участке не повлияет сколько-нибудь значительно на повторяемость стока холодного воздуха и, соответственно, на среднюю годовую температуру воздуха и многолетнемерзлых пород. Результатом стока холодного воздуха может быть лишь кратковременное понижение температуры пород на склонах гор, где нет условий для его накопления и застоя.

Рассмотрим климатические условия в районе г. Доусона. Вначале р. Юкон стекала с гор Огилви и протекала севернее территории города, затем текла на юг к Уайтхорсу, затем на юго-запад через речную долину Дездеш и Алсек к северной части Тихого океана. Когда хр. Св. Ильи оказался под ледниковым щитом, сток речных вод в южном направлении был блокирован. Образовалось крупное озеро, вода из которого, стекая в северном и западном направлениях через отроги хр. Огилви, прорезала ущелье в районе г. Доусона. В результате сформировалась современная гидросеть бассейна р. Юкон. Очень холодный воздух стекает с гор в долину р. Юкон на участке южнее г. Доусона. Он не может достаточно быстро миновать узкое ущелье и надолго застаивается. Поэтому влияние стока холодного воздуха на температуру в районе г. Доусона оказывается особенно значительным.

Инверсия температуры воздуха в горных долинах – явление обычное. Она может формироваться и в летнее время. Когда холодные массы воздуха опускаются с гор в долины, менее плотные теплые массы его стремятся занять место над ними. На границе раздела холодной и теплой воздушных масс обычно появляется слой облаков, который поглощает значительную часть приходящей солнечной радиации и уменьшает долю излучения. Летом из этих облаков могут выпасть атмосферные осадки, охлаждая поверхность земли как непосредственно, так и в процессе испарения/сублимации. Зимой такие облака могут закрывать небо в течение многих дней, поглощая значительную часть солнечной радиации. Таким образом, в долинах горных рек в результате инверсии температура воздуха понижается в любое время года. На равнинах и внешних склонах горных хребтов, с которых холодный воздух беспрепятственно стекает вниз, такие температурные инверсии практически не формируются.

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

По мнению автора, изменение температуры воздуха происходит по трем причинам. Первая причина – циклические изменения с известной периодичностью. Именно они определяют постоянные флуктуации суточной, средней годовой и средней многолетней температуры воздуха. Предполагается, что достаточно большие флуктуации в пределах одной фазы могут создать критический порог перехода от межледниковых эпох к ледниковым, и наоборот [Harris, 2005].

Вторая причина – существование медленных постоянных изменений, которые, вероятно, и являются “глобальным потеплением”. Примером этого служит установленное длительное похолодание, выявленное по изотопно-кислородным данным в керне морских отложений за последние 3,5 миллиона лет [Harris, 2002, fig. 3]. Реальная продолжительность эпох похолоданий и потеплений (тренда) может изменяться от нескольких лет до миллионов лет, установить же причины их существования пока трудно.

Третья причина – внезапные, эпизодические, в том числе и катастрофические, изменения температуры воздуха. Хорошим примером сказанному служит резкое изменение течений Тихого океана в 1975 г., которое привело к изменению средней годовой температуры воздуха на 2 °С на значительной территории северной части Тихоокеанского побережья [Ghil, Vautard, 1991; Mantua et al., 1997; Gedalof, Smith, 2001]. Достаточно сильные изменения направлений океанических течений могут инициировать существенное похолодание климата на огромной территории. Именно такая картина наблюдалась в раннем дриасе [Isarin, 1997], когда теплое течение Гольфстрим почти целое столетие не проникало на север Западной Европы.

РЕАКЦИЯ БУФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Независимо от того, есть буферизация или нет, циклические изменения температуры воздуха происходят всегда, что и регистрируется наблюдениями на всех метеостанциях. Результаты наблюдений за температурой воздуха на метеостанциях Аляски показывают, что внезапные изменения условий переноса тепла и влаги из тропиков оказывают воздействие на температуру воздуха всей территории на пути следования этого воздушного потока. Упомянутая выше буферизация лишь несколько модифицирует следствия медленных постоянных изменений.

Туман испарения формируется только на тех участках, где есть подходящие условия, вне зависимости от изменения средней годовой температу-

ры. Решающий фактор, который может изменить ситуацию, – это гидрологические процессы. Повышение средней годовой температуры или удлинение летнего сезона приводит к увеличению эффективности охлаждения пород температурной инверсией. Это обусловлено повышением влажности в основании перемещающихся воздушных масс, увеличением облачности и ее продолжительности, а следовательно, ростом количества атмосферных осадков. Понижение средней годовой температуры приводит к противоположному эффекту, главным образом за счет снижения облачности. Таким образом, в горных районах эти два процесса чередуются, сохраняя тем самым неизменной среднюю годовую температуру воздуха. В то же время на прилегающих низменностях происходят длительные изменения средней годовой температуры воздуха.

Сток холодного воздуха приобретет несколько иной характер, если изменится не только средняя годовая температура воздуха, но и период времени, когда этот процесс может произойти. Хотя изменения малы, но при повышении средней годовой температуры воздуха количество эпизодов стока холодного воздуха немного уменьшится, тогда как при понижении данной величины их количество немного увеличится. По этой причине, вероятно, произойдут некоторые изменения значений средней годовой температуры воздуха, и тогда нарушится баланс между двумя другими факторами. К сожалению, сейчас мы не располагаем данными по этому балансу.

Когда А. Уошборн [Washburn, 1979] систематизировал данные и нанес на карту значения средней годовой температуры воздуха в эпоху крупных оледенений, стало очевидным, насколько значительно они отличаются от современных. Сейчас мы знаем, что в континентальных горных районах средняя годовая температура воздуха в ледниковую эпоху была ниже современной на 8–10 °С. В Западной Европе во время раннего дриаса эта величина, по-видимому, была на 18 °С ниже современной [Vandenberghe, Pissart, 1993; Isarin, 1997]. И все же это не завершилось полным оледенением. Поэтому представляется, что эти изменения средней годовой температуры воздуха не составляют даже половины тех изменений, которые выявлены для некоторых низменностей, расположенных на тех же широтах. Вероятно, подобное заключение является чрезмерным упрощением, и, возможно, в Берингии в ледниковые эпохи средняя годовая температура воздуха не понижалась столь значительно, так как в этот регион входят территории с континентальным горным климатом. Наряду с увеличением количества осадков, эти условия могут частично объяснить возникновение необычайно большой кормовой базы для крупных травоядных животных.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше убедительно доказано, что континентальный горный климат формируется при участии буферных процессов, объясняющих некоторые изменения средней годовой температуры воздуха. Показано, что даже вынужденные изменения климата в горных континентальных районах будут проявляться значительно слабее по сравнению с равнинами. Если распределение криогенных образований в горных районах будет таким же, как и на прилегающих равнинах, то изменения средней годовой температуры воздуха в горных районах будут происходить значительно реже. В результате и криогенные образования, и сопутствующая растительность будут намного меньше подвержены изменениям.

Исходя из сказанного предлагается рассматривать отдельно горные территории с континентальным климатом и территории с морским климатом. К районам с горным континентальным климатом следует отнести территории, рассмотренные в данной статье: часть Восточных Кордильер в Скалистых горах Альберты и ряд обширных горных территорий Восточной Сибири. В перечисленных горных районах реакция климата на любые глобальные изменения средней годовой температуры воздуха будет иной по сравнению с равнинными районами. Возможно, формирование многолетнемерзлых пород на юге Восточной Сибири следует объяснить особенностями горного климата, но такое заключение требует дальнейшего изучения.

На основе проведенного анализа можно сделать конкретный вывод: криолитозона в горах более стабильна к изменению средней годовой температуры воздуха. Поэтому горные территории безопаснее использовать для промышленного строительства, в том числе трубопроводов. Так, при прокладке и эксплуатации Трансаляскинского трубопровода не возникало особых проблем, поскольку его большая часть проложена в горах. В то же время прокладка трубопровода Маккензи проектируется по территориям, где выявлены четкие признаки повышения средней годовой температуры воздуха и пород. Вероятность протаивания многолетнемерзлых пород вдоль трассы трубопровода достаточно высокая. Ответвление Аляскинской автомагистрали на Демпстер проектируется главным образом в континентальных горных районах. На этом основании можно предположить, что при строительстве и эксплуатации магистрали проблем будет не больше, чем при прокладке и эксплуатации Аляскинского трубопровода.

Автор признателен Арту и Линде Хатчинсон с ранчо Рокин Хорс на оз. Фокс за предоставление климатических карт и организацию полевых работ для автора и его студентов. Рик Смит помог получить канадские климатические данные, а Робин Пойтрас сделал рисунки.

Литература

- Allen H.** Dendrochronological studies in the Slims River valley, Yukon Territory. Unpublished M. Sc. Thesis, Department of Geography, Calgary, Univ. of Calgary, 1982, 179 p.
- Anisimov O.A., Poliakov V.Yu.** GIS assessment of climatic-change impacts in permafrost regions // Proc. of the 8th Intern. Conf. on Permafrost, Zurich, Balkema, Lisse, 2003, vol. 1, p. 9–14.
- Environment Canada,** Canadian Monthly Climatic Data. Ontario, Downsview, 1993. (CD-ROM version 3.0E).
- Gedalof Z., Smith D.J.** Interdecadal climate variability and regime-scale shifts in Pacific North America // Geophys. Res. Lett., 2001, vol. 28, p. 1515–1518.
- Ghil M., Vautard R.** Interdecadal oscillations and the warming trend in global time series // Nature, 1991, vol. 350, p. 324–327.
- Harris S.A.** Permafrost distribution, zonation, and stability along the eastern ranges of the Cordillera of North America // Arctic, 1986, vol. 39, p. 29–38.
- Harris S.A.** Palsa-like mounds in a mineral substrate, Fox Lake, Yukon Territory // Proc. of the 6th Intern. Conf. on Permafrost, Beijing, China, 1993, vol. 1, p. 238–243.
- Harris S.A.** Global heat budget, plate tectonics and climatic change // Geografiska Annaler, 2002, vol. 84A, p. 1–10.
- Harris S.A.** Thermal history of the Arctic Ocean environs adjacent to North America during the last 3.5 Ma and a possible mechanism for the cause of the cold events (major glaciations and permafrost events) // Progress in Phys. Geography, 2005, vol. 29, No. 4, p. 218–237.
- Isarin R.B.F.** Permafrost distribution and temperatures in Europe during the Younger Dryas // Permafrost and Periglacial Processes, 1997, vol. 8, p. 313–333.
- Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y. et al.** A pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production // Bull. Amer. Meteorol. Soc., 1997, vol. 78, p. 1069–1079.
- Osterkamp T.E., Romanovsky V.E.** Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska // Permafrost and Periglacial Processes, 1999, vol. 10, p. 17–37.
- Smith S.I., Burgess M.M., Taylor A.E.** High Arctic permafrost Observatory at Alert, Nunavut – analysis of a 23 year data set // Proc. of the 8th Intern. Conf. on Permafrost, Zurich, Balkema, Lisse, 2003, vol. 2, p. 1073–1078.
- Vandenbergh J., Pissart A.** Permafrost changes in Europe during the last Glacial // Permafrost and Periglacial Processes, 1993, vol. 4, p. 121–135.
- Wahl H.E., Fraser D.B., Harvey R.C., Maxwell J.B.** Climate of Yukon // Environ. Canada. Climatol. Ser., 1987, No. 40, 323 p.
- Washburn A.L.** Geocryology. L., Edward Arnold, 1979, 406 p.

Поступила в редакцию
11 сентября 2006 г.