КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ В ПЕРИОД ГОЛОЦЕНА И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

Дергачев В.А.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

CLIMATE FLUCTUATIONS IN THE ARCTIC REGION DURING THE HOLOCENE AND SOLAR ACTIVITY

Dergachev V.A.

Ioffe Physical-Technical Institute, St. Petersburg, Russia

A characteristic feature of the Arctic region is insufficient knowledge of both complex climatic processes and feedbacks inherent in enhanced natural climate variability both in the past and in the present. Unlike other regions of the globe, the formation of the temperature regime in the Arctic is characterized by a number of features: 1) the flow of heat from the Sun into the polar regions is lower than into non-polar ones; 2) the region is located near the geographic pole, and at present the geomagnetic pole is included here, due to which streams of charged cosmic and solar particles invade the atmosphere of high latitudes; 3) circulating oceanic and atmospheric processes and the high reflectivity of snow and ice determine the amount of heat brought by ocean currents and air currents from low geographic latitudes; 4) the Arctic is the climatic region most sensitive to changes in the amount of greenhouse gases in the atmosphere and cloud cover.

The paper analyzes the time series of changes in the Arctic climate, reflected in its main components, at time intervals covering the Holocene epoch, the last 2000 years and the interval of anthropogenic impact on the climate. Questions are discussed that are of paramount importance for understanding the nature of climate change in our century and the main physical processes responsible for these changes. The possible role of solar activity in climate changes on Earth in the past and in the future and the role of an accelerated rise in temperature and a reduction in the area of sea ice in the Arctic in the formation of climate and weather anomalies in the Northern Hemisphere are considered. The contribution of anomalous turbulent heat fluxes in the Arctic to the current climatic trends of global temperature is noted.

DOI: 10.31725/0552-5829-2020-89-92

Введение

(Арктика. Сведения о регионе)

Северные регионы нашей планеты играют важную роль в исследовании процессов, которые влияют на окружающую среду в глобальном масштабе, и являются индикаторами глобальных климатических изменений. Арктический регион наиболее сильно реагирует на все климатические изменения, происходящие на планете. Арктический регион включает в себя Гренландский ледниковый щит, примыкающие к северному полюсу северные окраины Европы, Евразии, Северной Америки, Канадский Арктический архипелаг, Северный Ледовитый океан, Арктические воды периферийных морей Северного Атлантического и Тихого океанов (рис. 1).

Климат Арктического региона в настоящее время характеризуется новыми особенностями: наблюдается смягчение климата от года к году, о чем свидетельствует повышение температуры воздуха, таяние Гренландского ледяного щита, уменьшение толщины и площади морского льда. Особенность арктического климата заключается в очень суровых условиях. Арктическая многолетняя мерзлота удерживает в себе большие объёмы органического углерода, почти вдвое больше объема углерода, содержащегося в атмосфере, что способствует существенному увеличению концентрации парниковых газов, выбрасываемых в атмосферу, при таянии мерзлоты.

Рис. 1. Карта Арктического региона. Штриховой линией представлена температура 10°C (изотермы) в июле, обычно используемая для определения Арктического региона. Стрелки указывают на связь Северного Ледовитого океана с Атлантическим и Тихим океанами. Отдельно выделен Северный Полярный круг (штриховая линия очерчивает границы Полярного круга).

Арктика и Антарктида – наиболее холодные регионы на нашей планете. Арктический регион как часть климатической системы наиболее сильно реагирует на все климатические изменения, происходящие на планете, что связано со льдом и снежным покровом. Многочисленные факторы окружающей среды, такие как выпадение осадков, изменение атмосферной циркуляции, повышенная влагообеспеченность, увеличение частоты зимних оттепелей, потепление, изменение растительности, а также обратные связи вызывают климатические изменения. Следует принимать во внимание, что из-за теплового расширения океана и уменьшения ледников и ледяных щитов, которые доставляют воду в океаны, повышается глобальный уровень океана. Изменение во времени тепловых потоков, поступающих из Тихого и Атлантического океанов в Арктический регион, могут оказывать влияние на климат Арктики. Ключевую роль в глобальной климатической системе играет Лабрадорское море между Атлантической Канадой и Грен-

ландией. В работе [1] показано, что изменения теплового потока в северной части Тихого океана могут оказывать большее влияние на климат Арктики, чем считалось ранее.

Во время последнего ледникового максимума около 21 000 лет назад ледяной покров Северного полушария оказался на порядок меньше ледяного покрова в предыдущем ледниковом периоде. Отметим, что основной вклад в повышение уровня Мирового океана в настоящее время вносит именно Гренландский ледниковый покров.

Для отдельных районов Арктического региона получены обширные наборы временных рядов климатических прокси данных на интервале голоценового климата. Ниже рассматривается возможная роль солнечной активности в изменениях климата на рассматриваемом временном интервале.

Изменение климата в эпоху голоцена

Оценивая различия между сезонными и годовыми тенденциями и изменчивостью температуры масштаба от тысячелетия к столетию и изменения среднегодовой температуры земного шара, в работе [2] были созданы реконструкции, которые документируют такие изменения (рис. 2), общие для Северной Америки и Европы. Показано [3], что глобальное похолодание для голоцена, в значительной степени может быть связано с тенденций в нескольких северных среднеширотных температурных данных. Анализ прокси данных по Арктической и Антарктической изменчивости климата с момента окончания последнего оледенения позволяет сделать вывод [4], что главная климатическая тенденция, прослеживаемая в изменении температуры в течение голоцена и в последние 2000 лет, в отличие от модельных данных, характеризуется долгосрочным похолоданием.

Следует обратить внимание, что в реконструкциях (рис. 2А) изменений температуры Северной Атлантики и Северной морской границы и глобальной средней температуры (1, 2, 3) проявляется тенденция похолодания, в то время, как в реконструкциях (4, 5) тенденция похолодания выражена слабо, но можно выделить интервалы вековых колебаний, указывающих на потепления или похолодания в эти интервалы времени, например, потепления около 9000, 7000 и 5500 лет назад.

Влияние Солнца (солнечное излучение и солнечная активность) на климат в течение голоцена представлено на рис. 2Б. Изменение солнечной изменчивости и особенности циркуляции атмосферы и изменение климата Северной Атлантики в течение голоцена рассмотрены в работах [6, 7]. Выделены статистически значимые периодичности, характерные для солнечной изменчивости и большие колебания в тысячелетних временных масштабах Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции (АМОС). АМОС – зонально интегрированный компонент поверхностных и глубинных течений в Атлантическом океане. Для АМОС характерно тече-

ние на север теплой соленой воды в верхних слоях Атлантики и на юг течение более холодных и глубоких вод.

Рис. 2. А. Сравнение реконструкций изменения глобальной температуры морских границ северного полушария (Северной Америки и Европы) и среднегодовой температуры земного шара, полученные по различным наборам данных (1, 2, 3, 4, 5): 1 – шотландская морская граница Северной Атлантики [5]; 2 – северная морская граница [5]; 3 – реконструкция изменения среднегодовой приповерхностной температуры земного шара после удаления североатлантических данных (неопределенность 1σ) [4]; 4, 5 – реконструкция континентальной среднегодовой температуры для Северной Америки и Европы [2] (полосы неопределенности составляют 2,5% -97,5%).

Б. Сравнение изменений солнечного воздействия на климатические параметры: инсоляция на широте 65°N (a) [8]; изменения глобального среднего уровня моря (b) [7]; холодные периоды (c) [9]; концентрация космогенного ^{14}C (d) [10].

Вывод

На примерах изменения температуры в отдельных областях арктического региона прослежены тенденции этих изменений и влияние Солнца на изменения климата, что является важным для понимания природы климатических изменений в прошлом и в настоящее время.

Литература

1. Praetorius S., Rugenstein M., Persad G. et al. // Nat. Commun. 2018. V. 9 (1): 3124.
2. Marsicek J., Shuman B.N., Bartlein P.J. et al. // Nature. 2018. V. 554. P. 92-96.
3. Marcott S.A., Shakun J.D., Clark P.U., Mix A.C. // Science. 2013. V. 339. P. 1198-1201.
4. Dergachev V.A. // Geomagnetism and Aeronomy, 2019, V. 59, No. 7, P. 918-925.
5. Sachs J.P. // Geophys. Res. Lett. 2007. V. 34, L03609.
6. Ojala A.E.K., Launonen I., Holmstrom L. et al. // Quaternary Science Reviews. 2015. V. 112. P. 153-171.
7. Clark P.U., He F., Golledge N.R. et al. // Nature. 2020. V. 577. P. 660-664.
8. Berger A. and Loutre M.F. // Quaternary Science Reviews. 1991. V. 10(4). P. 297-317.
9. Wanner H., Solomina O., Grosjean M. et al. // Quatern. Sci. Rev. 2011. V. 30. P. 3109-3123.
10. Stuiver M., Reimer P.J., Bard E. et al. // Radiocarbon. 1998. V. 40(3). P. 1041-83.