

УДК 504.5.06  
DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art80

## СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ: ПРОЯВЛЕНИЯ И РИСКИ

Данилов А.И., Арктический и антарктический НИИ Росгидромета  
E-mail: aid@aari.ru

**Аннотация.** Климатические изменения оказывают влияние на природные комплексы, на экосистемы, социально-экономическое развитие. Особенно чувствительны к этим изменениям арктические районы, прежде всего их криосфера. Одним из проявлений такой чувствительности является возможное усиление природной дегазации в континентальной и морской Арктике вследствие оттаивания вечномёрзлых пород. В силу положительной обратной связи между температурой атмосферы и содержанием парниковых газов происходит дополнительный нагрев воздуха. Учитывая, что Арктика вносит заметный вклад в планетарную эмиссию метана отмеченные эффекты требуют достоверной количественной оценки.

**Ключевые слова:** Арктика, климат, дегазация, криосфера

## RECENT CLIMATE CHANGES IN THE ARCTIC: MANIFESTATIONS AND RISKS

Danilov A.I., Rosgidromet Arctic and Antarctic Science Research Institute  
E-mail: aid@aari.ru

**Abstract.** Climate change has an impact on natural systems, ecosystems, and socio-economic development. The arctic regions, especially their cryosphere, are very sensitive to these changes. One of the manifestations of such sensitivity is the possible strengthening of natural degassing in the continental and marine Arctic as a result of the permafrost thawing. Due to the positive feedback between the temperature of the atmosphere and the greenhouse gases content, additional air heating occurs. Considering that the Arctic makes a significant contribution to the planetary emission of methane, the noted effects require a reliable quantitative assessment.

**Keywords:** Arctic, climate, degassing, cryosphere

Выводы Межправительственной группы экспертов по изменению климата [1], о несомненном современном глобальном потеплении климата, находят подтверждение в

данных наблюдений. На территории Российской Федерации потепление климата происходит примерно в 2,5 раза интенсивнее, чем в среднем по Земному шару [2]. За период 1976–2016 гг. оно составило  $0,45^{\circ}\text{C}$  за 10 лет. Наибольшая скорость роста среднегодовой температуры отмечается на побережье Северного Ледовитого океана, особенно в Азиатской части России (на Таймыре – более  $+0,9^{\circ}\text{C}/10$  лет) Весной и осенью максимум потепления наблюдается на побережье Восточно-Сибирского моря, а зимой – на северо-западе Европейской части России. Климатические изменения в разной степени проявляются практически во всех компонентах окружающей природной среды Арктики, влияют на характер известных нам природных угроз, меняют их интенсивность, повторяемость, географию. Сохраняется тенденция на сокращение площади морских льдов в Северном Ледовитом океане в сентябре месяце, когда после летнего таяния достигается годовой минимум этого параметра.

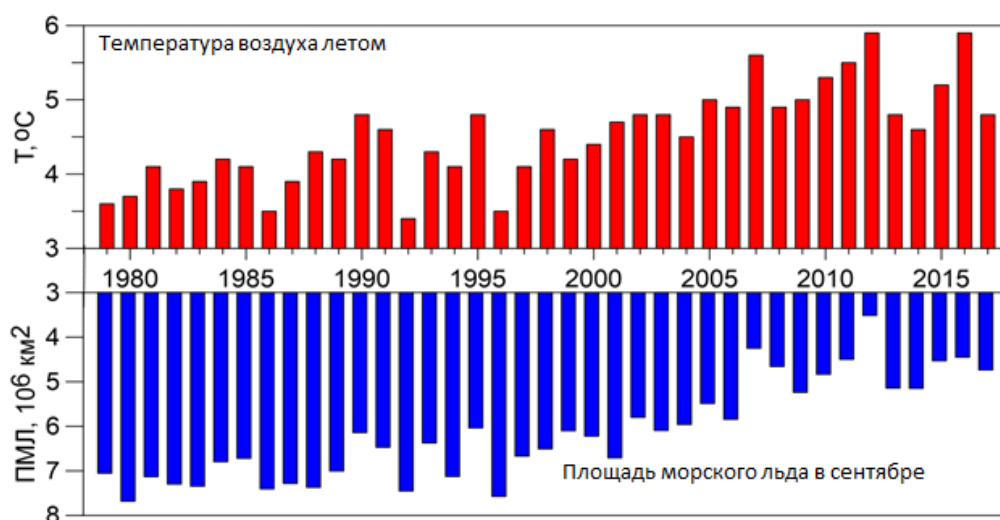


Рис. 1. Средняя за летний сезон приземная температура воздуха в морской Арктике и площадь морского льда в середине сентября за период 1978-2017 гг. (по данным АНИИ).

Рекордный минимум площади морского льда за тридцать с лишним лет космических наблюдений был достигнут в 2012 г. (3,39 млн. кв. км В 2017 г она составила 4.74 млн млн. кв. км

Морской лед в Арктике может стать сезонным, подобно ледяному покрову неарктических морей. Межгодовые изменения площади льда имеют высокую корреляцию с летней температурой воздуха в морской Арктике, рис 1. Особенно значительны изменения ледовых условий в арктических морях рис. 2, где одновременно отмечается ускорение в отступлении льдистых и рыхлых берегов арктических морей, за счет чего Россия теряет в год около 16 км кв. территории Вследствие потепления возможны

изменения частоты и интенсивности экстремальных явлений погоды, в Арктике отмечается рост количества опасных явлений..

В последние десятилетия на многих участках криолитозоны происходит рост температуры верхнего слоя многолетнемерзлых грунтов (МГГ), а в отдельных регионах отмечается увеличение глубины сезонного протаивания, что приводит к нарушениям инфраструктуры, создает дополнительные геориски, подобные воронкам газовых выбросов, на п-овах Ямал и Гыдан, а также обуславливает дополнительную эмиссию метана.

Все без исключения современные климатические модели дают потепление климата [3]. С высокой вероятностью Арктика будет теплеть в этом веке сильнее, чем планета в среднем. При этом Арктика является одним из наиболее уязвимых к изменению климата регионов Земли. Выводы Пятого оценочного доклада МГЭИК утверждают, что температурные изменения начиная со второй половины 20-го века не менее чем на половину обусловлены антропогенным воздействием при определяющей роли углекислого газа в долгопериодных изменениях климата. Вклад метана, как парникового газа, постоянно возрастает, с доиндустриального периода почти на 150% (вклад углекислого газа вырос на 40%).

Наибольший рост приземной температуры ожидается зимой, причем он усиливается к северу, достигая максимальных значений в Арктике.

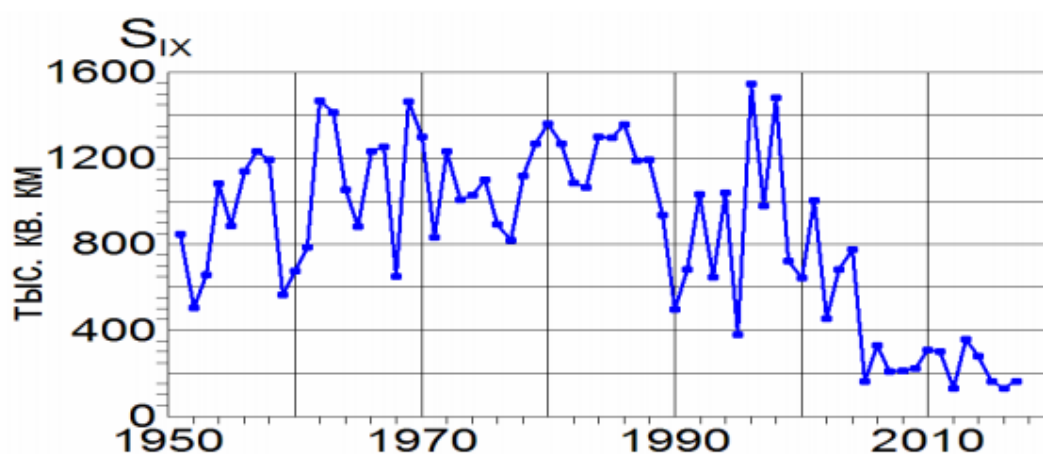


Рис.2. Площадь, занятая морским льдом в сентябре в Сибирских арктических морях (моря: Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) по данным ААНИИ.

Изменения криолитозоны имеют первостепенное значение для России. Наибольшие риски изменения образа жизни под влиянием климатических изменений ожидают коренные малочисленные народы Севера, чей уклад и традиционные виды

экономической деятельности (рыболовство, оленеводство, сельское хозяйство и т. п.) напрямую зависят от климатических условий.

Значительная часть Российской Арктики индустриально развита и имеет разветвленную транспортную инфраструктуру. Устойчивость и надежность объектов инфраструктуры напрямую зависят от несущей способности многолетних мерзлых грунтов (ММГ), которая уменьшается с ростом температуры. Уже выявлены многочисленные проблемы и имеют место случаи частичного и полного разрушения объектов из-за деградации ММГ [4]. Кроме того, многочисленные деструктивные геоморфологические процессы, развивающиеся при деградации ММГ, в том числе оползни, береговая эрозия, термокарстовые просадки, ведут к изменению гидрологического режима, заболачиванию, исчезновению и возникновению озер, гибели леса. Существенно, что усиление эмиссии парниковых газов, в особенности метана, при таянии ММГ влияет на углеродный цикл и на глобальный климат. Среднегодовая планетарная эмиссия метана по оценкам МГЭИК составляет около 600 Мг, треть которой – естественная. Вклад арктических стран в естественную эмиссию, главным образом от заболоченных земель, составляет 30-50 %. Оттаивание болот (оценки 6-8 Тг в год) повышает температуру на доли градуса. Проблема роста дегазации в Арктике вследствие потепления и является одной из наиболее обсуждаемой в последние годы. Оценки скоростей эмиссии метана в Арктике расходятся на порядок величины. Например, диапазон оценок эмиссии метана от морей Восточной Арктики (МВА) составляет от 1 до 17 Тг  $\text{CH}_4$  в год [5]. Возможно более реалистичной является величина 4 Тг  $\text{CH}_4$  /год, что совпадает с данными дистанционного зондирования. В работе [6] был сделан вывод, что выброс метана от морей СЛО лишь несколько меньше поступления метана от континентальной Арктики, причем 2/3 морских выбросов сосредоточено в районе МЗА. Значительная часть выброса метана от морей происходит вдоль северного побережья Норвегии и западных побережий Новой Земли и Шпицбергена с шириной полосы не более 60 км и на глубине моря в диапазоне от 100 до 300 м. Кроме этих районов, повышенные концентрации метана наблюдаются вдоль северо-западных берегов Охотского моря и Курильской гряды, западного берега Гренландии, над полыньей Баффинова залива. Расходятся мнения ученых относительно скорости дестабилизации газогидратов шельфа, вследствие деградации мерзлых газонепроницаемых слоев [8]. Медленная эмиссия по модельным оценкам дает незначительный вклад в повышение

температуры к концу века. «Быстрая», масштабный выброс в течении нескольких лет, более одного градуса. Пока нет убедительных доказательств о масштабном пространственном охвате шельфа таким усилением, имеются лишь локальные данные. Отмечается рост придонной температуры в море Лаптевых, заглубление кровли многолетних мерзлых грунтов в мелководной зоне, однако масштабного и быстрого образования таликов за счет современного потепления не зафиксировано. В целом, в пределах подводного берегового склона, прилегающего к льдистым берегам, средний темп понижения кровли СММП (за весь период растепления) составляет от долей сантиметра до 40 см в год [9].

Серьезную озабоченность вызывают экстремальные опасные геокриологические явления, подобные воронкам газовых выбросов на п-овах Ямал и Гыдан, Предполагается, что подобные явления были и раньше. Однако появление новых воронок в районах наиболее заметного повышения температуры заставляет исследовать связь таких событий с происходящим потеплением. Оценки с помощью моделей показывают, что их образование можно объяснить повышением приповерхностной температуры в регионах Северной Евразии, в частности на Ямале, в последние годы (с диссоциацией реликтовых гидратов, “переживших” потепление в оптимуме голоцена). Существенное увеличение риска таких эффектов в континентальной криолитозоне Северного полушария можно ожидать при региональном потеплении более чем на 2°C относительно современного климата [10].

Не вызывает сомнений, что гидрометеорологические условия один из важнейших факторов обуславливающих естественную эмиссию метана в арктической зоне. Необходимо поддерживать и развивать долговременный мониторинг атмосферы (температура, осадки, газовый состав и др.), вечной мерзлоты с использованием сети гидрометеорологических станций, сети CALM, научных станций и обсерваторий, подобных ГМО Тикси, НИС «Ледовая база Мыс Баранова», Российский научный центр на арх. Шпицберген. Необходимо продолжать полевые исследования деградации наземной и шельфовой мерзлоты в условиях потепления. В последние годы масштабные работы выполняются на базе НИС «Остров Самойловский», проведены несколько десятков морских экспедиций с участием институтов РАН. Данные этих и новых будущих экспедиций позволят получить более точные оценки эмиссии метана в Российской

Арктике и её вклада в климатические изменения, разработать методы прогнозирования экстремальных геокриологических явлений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. МГЭИК, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
2. *Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации* (Катцов В.М., Семенов С.М., ред.), Росгидромет, 2014, 1009 с.
3. П.В. Спорышев, В.М. Катцов, В.П. Мелешко, Г.В. Алексеев, И.Л. Кароль, В. М. Мирвис. Причины наблюдаемых изменений климата, Труды ГГО, вып. 574, 2014 г., с. 59.
4. *Доклад о климатических рисках на территории РФ*, Климатический центр Росгидромета, Санкт-Петербург, 2017 г. с.12-14.
5. Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V., Salyuk A., Salomatin A., Chernykh D., Kosmach D., Panteleev G., Nicolsky D., Samarkin V., Joye S., Charkin A., Dudarev O., Meluzov A., Gustafsson O. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice // *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 2015. Vol. 373. Issue 2052. P. 1–13.
6. *AMAP Assessment Methane as an Arctic climate forcer*. 2015.
7. Л.Н. Юрганов, А. Лейфер. Оценки эмиссии метана от некоторых арктических приарктических районов по данным орбитального интерферометра IASI. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 173–183.
8. Анисимов О.А., Ю.Г.Забойкина, В.А.Кокарев, Л.Н. Юрганов. Возможные причины эмиссии метана на шельфе морей Восточной Арктики. Лед и снег, 2014 Г., №2(126), сс. 69-81.
9. М.Н. Григорьев. Исследования деградации многолетнемерзлых пород морей Восточной Сибири (по результатам экспедиций 2014–2016 гг.), Проблемы Арктики и Антарктики, №1(111), 2017 г, с.89-96.

10. *М. М. Аржанов, И. И. Мохов* Оценка степени устойчивости континентальных реликтовых метангидратов в оптимуме голоцена и при современных климатических условиях. Доклады РАН, 2017, том 476, № 4, с. 456–460.