

Об изменении температуры поверхности океана при прохождении полярных циклонов над морями Северо-Европейского бассейна*

П. А. Голубкин¹, Ю. Е. Смирнова¹, В. С. Коляда²

¹ Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, 14-я линия В. О., 7

² Российский государственный гидрометеорологический университет, Российская Федерация, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98

Для цитирования: Голубкин, П. А., Смирнова, Ю. Е., Коляда, В. С. (2020). Об изменении температуры поверхности океана при прохождении полярных циклонов над морями Северо-Европейского бассейна. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 65 (4), 654–661. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.403>

В работе рассматриваются возможные изменения температуры поверхности океана (ТПО), вызванные прохождением полярных циклонов. Полярные циклоны являются характерными для высоких широт экстремальными атмосферными явлениями. Они могут развивать скорости приводного ветра от 15 м/с вплоть до ураганных значений и отличаются малыми размерами (в среднем 300 км) и временем существования (менее двух суток), что затрудняет их обнаружение и изучение. Предполагается, что подобно тропическим циклонам, в результате прохождения которых ТПО может существенно понижаться за счет интенсивного перемешивания и вовлечения более холодных вод в верхний перемешанный слой океана, полярные циклоны схожим образом могут влиять на ТПО. При этом в Арктике, где часто наблюдается соленостная стратификация вод, а не температурная, возможны случаи, когда в результате прохождения циклона ТПО повысится за счет перемешивания вод с залегающим более теплым слоем. В работе проанализировано 330 случаев прохождения полярных циклонов с использованием измерений ТПО спутниковыми пассивными микроволновыми радиометрами. В результате в 47 случаях обнаружено изменение средних значений ТПО в области воздействия циклона, из которых в шести случаях было зафиксировано увеличение средних значений ТПО более чем на 0.5 °С и в пятнадцати — уменьшение на более чем 0.5 °С. Это показывает, что отклик океана на прохождение полярного циклона является достаточно редким явлением, которое должно быть исследовано далее вместе с его возможной ролью в системе океан — лед — атмосфера.

Ключевые слова: полярный циклон, температура поверхности океана, Северо-Европейский бассейн, дистанционное зондирование.

1. Введение

Полярные циклоны являются характерными для высоких широт экстремальными атмосферными явлениями, которые образуются и развиваются исключительно над свободной ото льда морской поверхностью (Rasmussen and Turner,

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 17-77-10122).

2003). Полярные циклоны представляют подкласс полярных мезоциклонов и, соответственно, характеризуются небольшими размерами (до 1000 км). Существуют полярные циклоны не более 48 ч., обычно время существования не превышает 36 ч. (Smirnova et al., 2015). Выделить полярные циклоны в отдельный подкласс позволяет развиваемая ими скорость приводного ветра, которая может достигать ураганных значений (свыше 33 м/с). В качестве минимальной скорости ветра, позволяющей отнести полярный мезоциклон к подклассу полярных циклонов, обычно используется значение 15 м/с. Северо-Европейский бассейн является одним из основных районов образования полярных циклонов. Для этого региона составлены климатологии полярных циклонов (Wilhelmsen, 1985; Blechschmidt, 2008; Zahn and von Storch, 2008; Noer et al., 2011; Rojo et al., 2015; Smirnova et al., 2015), количество случаев в которых варьируется в зависимости от используемых определений и критериев для отбора полярных циклонов приблизительно от 12 до 45 случаев в год.

К малоизученным в настоящее время вопросам относится влияние полярных циклонов на температуру поверхности океана. Известно, что тропические циклоны способны вызывать интенсивное турбулентное и волновое перемешивание, в результате которого более холодные воды вовлекаются в верхний перемешанный слой океана (см., напр., Price, 1981; Meyers et al., 2016; Wang et al., 2016; Lin et al., 2019). Однако в высоких широтах стратификация верхнего слоя океана может быть не температурной, а солёностной. В таких случаях воздействие циклона может вызвать увеличение температуры поверхности океана. Подобное увеличение было продемонстрировано по результатам модельных расчетов в работе (Saetra et al., 2008). В работе (Isachsen et al., 2013) были проанализированы ежесуточные данные о температуре поверхности океана Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) для 96 случаев полярных циклонов. В результате было показано, что в среднем температура поверхности океана незначительно уменьшается в дни, предшествующие образованию полярных циклонов, что, наиболее вероятно, вызвано холодными вторжениями, которые предшествуют полярным циклонам и представляют собой перемещение холодных арктических воздушных масс на относительно теплую морскую поверхность. Также в работе (Isachsen et al., 2013) представлены измерения спутникового пассивного микроволнового радиометра Advanced Microwave Scanning Radiometer — Earth Observing System (AMSR-E) для одного случая полярного циклона, после прохождения которого в основной области воздействия циклона температура поверхности океана уменьшилась приблизительно на 1 °С, а в небольшом регионе увеличилась на 1 °С. Подобный результат получен и в работе (Diansky et al., 2019), где проведено численное моделирование интенсивного полярного циклона в январе 1975 г. и отклика верхнего слоя Баренцева моря на его прохождение и обнаружено уменьшение температуры поверхности в южной части моря почти на 1.5 °С и увеличение более чем на 1 °С в центральной и западной частях.

В данной работе проанализирован большой массив наблюдаемых полярных циклонов с целью выявления случаев изменения температуры поверхности океана при их прохождении и определения общих закономерностей подобных изменений.

2. Данные

В работе используется база случаев прохождения полярных циклонов над морями Северо-Европейского бассейна, полученная в работе (Smirnova et al., 2015). База была составлена на основе анализа полей влагосодержания атмосферы и скорости приводного ветра, полученных по данным спутникового микроволнового радиометра Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I). Среднее количество полярных циклонов, содержащихся в базе, составляет 45.5 случаев в год. Для каждого полярного циклона приведены не менее двух наборов следующих параметров: дата и время измерений SSM/I, координаты центра циклона, размер циклона, максимальная скорость ветра по данным SSM/I. Анализ проводился для всех имеющихся случаев с сентября 2002 по апрель 2009 г., общее количество случаев составило 330. На рис. 1 представлены траектории всех анализируемых полярных циклонов.

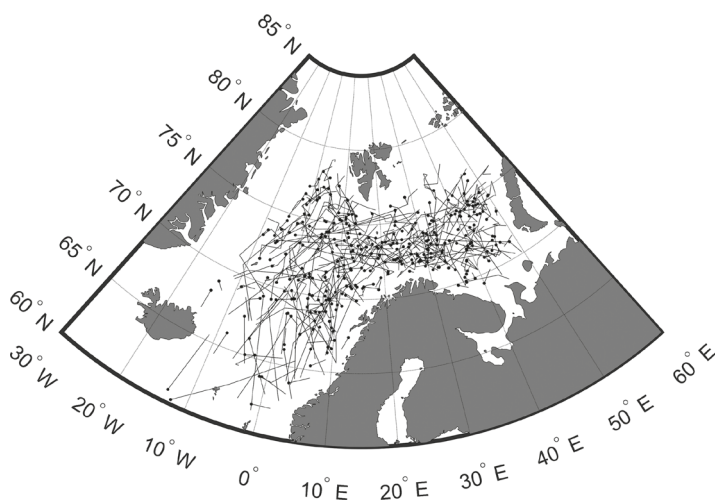


Рис. 1. Траектории анализируемых полярных циклонов с сентября 2002 г. по апрель 2009 г. Черные точки представляют собой начальную точку траектории

Основным источником данных о температуре поверхности океана являются предоставляемые Remote Sensing Systems (RSS) данные уровня L3, полученные по измерениям AMSR-E (Remss.com, 2018). Данные предоставляются на стандартной глобальной сетке $0.25 \times 0.25^\circ$ и содержат измерения, полученные в ходе восходящих и нисходящих проходов спутника. В работе использовались следующие параметры: температура поверхности океана, скорость приводного ветра, время измерения. Также использовались ежесуточные данные уровня L4 (Podaac.jpl.nasa.gov, 2018), полученные методом оптимальной интерполяции, в которых объединены как микроволновые, так и инфракрасные измерения с нескольких инструментов.

3. Методология

Для каждого из анализируемых полярных циклонов был определен район потенциального воздействия. Предполагалось, что аналогично тропическим циклонам в полярных циклонах скорость ветра в правой относительно движения циклона части выше (в Северном полушарии), и изменение температуры поверхности океана ожидалось именно в этой области. Для каждого циклона определялось направление перемещения и крайние точки, лежащие в его правой части на расстоянии, равном радиусу циклона. Таким образом, для каждого полярного циклона был составлен полигон на глобальной сетке $0.25 \times 0.25^\circ$, ограниченный с одной стороны траекторией циклона и имеющий ширину, равную радиусу циклона. Далее для каждой точки, попадающей в полигон, с использованием информации о размере и скорости передвижения циклона было рассчитано время, в течение которого на точку воздействовал циклон, а также начальное и конечное время воздействия. Если рассчитанная длительность воздействия в какой-либо точке составляла менее трех часов, то такая точка удалялась из дальнейшего анализа.

Данные уровня L3 привлекались для каждого полярного циклона за сутки до образования циклона, за дни существования циклона, а также за сутки после диссипации циклона. Для каждой точки, входящей в полигон, записывались время измерений и соответствующие значения температуры поверхности океана и скорости приводного ветра. Для дальнейшего анализа отбирались те точки, для которых имеются измерения температуры поверхности океана не более чем за 6 часов до начала воздействия циклона на эту точку и не более чем за 6 часов после окончания воздействия, а также требовалось, чтобы в данной точке в течение рассчитанного времени воздействия циклона была измерена скорость приводного ветра более 15 м/с. Значения во всех отобранных точках, удовлетворивших этим критериям, были усреднены для каждого полярного циклона для оценки его среднего воздействия на температуру поверхности океана.

4. Результаты

На рис. 2 представлены поля приведенного к уровню моря атмосферного давления для полярного циклона 16–17 марта 2008 г., образовавшегося над Норвежским морем к северу от Лофотенских о-вов. На рис. 3 представлено изменение температуры поверхности океана 17 марта по отношению к 15 марта 2008 г. по данным уровня L4. В начале траектории циклона в правой части отмечается существенное увеличение температуры поверхности океана, а по мере продвижения циклона на юго-запад — существенное уменьшение. Однако говорить о том, что эти изменения вызваны прохождением полярного циклона, не представляется возможным. Как видно из рис. 3, во всем регионе наблюдаются существенные изменения температуры поверхности океана, вызванные, по-видимому, особенностями используемых данных, а именно основанного на интерполяции метода «смешивания» спутниковых микроволновых и инфракрасных данных о температуре поверхности океана для получения полей уровня L4, а также горизонтальной адвекцией вод или другими факторами, не связанными с прохождением циклонов. В результате применения методологии, подобной используемой далее для данных уровня L3, к данным уров-

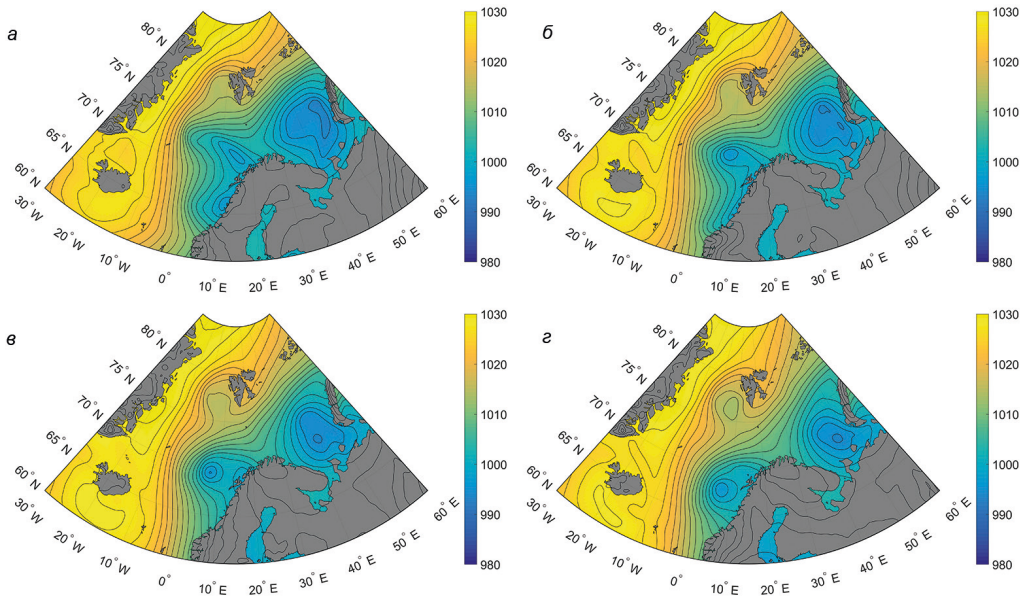


Рис. 2. Поля приведенного к уровню моря атмосферного давления реанализа ERA5 во время прохождения полярного циклона в Норвежском море: а — 16.03.2008 09:00, б — 16.03.2008 15:00, в — 16.03.2008 21:00, з — 17.03.2008 03:00

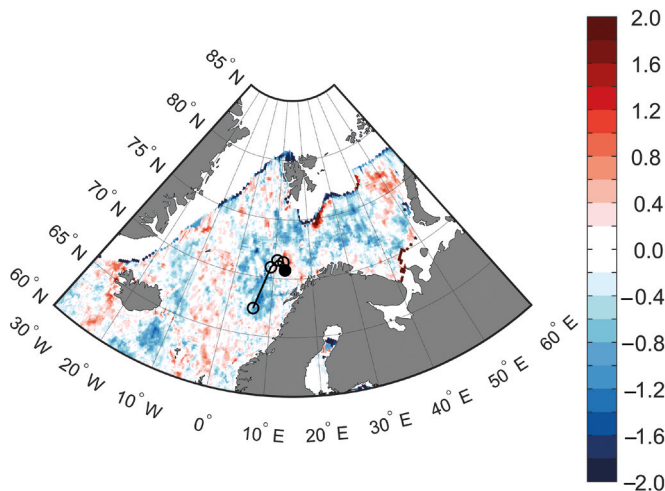


Рис. 3. Разность значений температуры поверхности океана между 17.03.2008 и 15.03.2008 для полярного циклона, образовавшегося 16.03.2008.

Черная линия соответствует траектории циклона, круги отображают имеющиеся в базе координаты центра циклона, закрашенный черный круг соответствует координатам генерации циклона

ния L4 для каждого полярного циклона находятся значительные изменения температуры поверхности океана, очевидно не соответствующие действительности.

В результате проведенного с использованием данных уровня L3 анализа было обнаружено 47 случаев полярных циклонов, когда хотя бы одна точка, находивша-

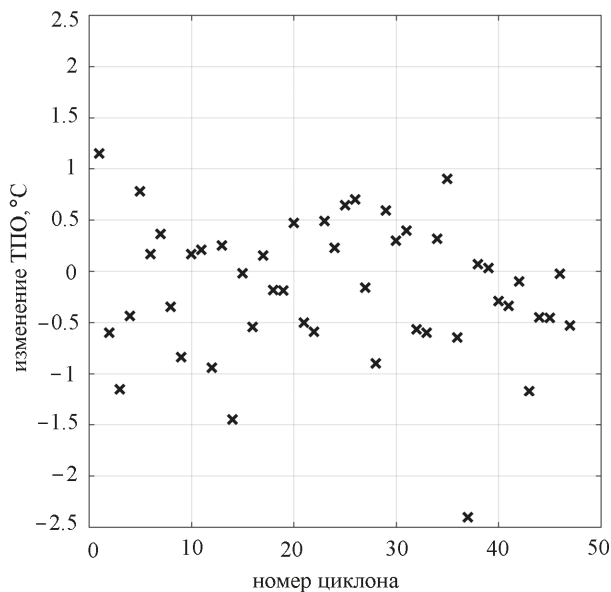


Рис. 4. Изменения температуры поверхности океана, обнаруженные при прохождении полярных циклонов

яся под воздействием циклона, удовлетворяла описанным выше критериям. Средние значения изменения температуры поверхности океана представлены на рис. 4. Как видно из рис. 4, в большинстве из этих случаев изменения несут существенны и находятся в пределах погрешности измерений микроволнового радиометра AMSR-E ($\sigma=0.28$) (Gentemann, 2014). Среднее уменьшение температуры поверхности океана более чем на 0.5°C было обнаружено в 15 случаях, более чем на 1°C — в четырех случаях. Случаев среднего увеличения температуры было найдено меньше. Увеличение более чем на 0.5°C было зафиксировано в шести случаях, из которых лишь в одном — более 1°C .

5. Заключение

В работе рассмотрен вопрос об изменении температуры поверхности океана при прохождении полярных циклонов. Проведен анализ для 330 случаев прохождения полярных циклонов. Как обнаружено, с использованием ежесуточных данных уровня L4 нахождение случаев изменения температуры поверхности океана, вызванных полярными циклонами, крайне маловероятно, поскольку невозможно установить причину наблюдаемых изменений и однозначно соотнести их с воздействием циклона. С использованием данных уровня L3 обнаружены случаи прямого воздействия полярных циклонов на верхний слой океана. В 15 случаях обнаружено уменьшение температуры поверхности океана на более чем 0.5°C и в шести случаях — увеличение на более чем 0.5°C . Таким образом, установлено, что существенное изменение температуры поверхности океана при прохождении полярных циклонов является достаточно редким явлением: уменьшение температуры происходит в $\sim 6\%$ случаев, а увеличение — в $\sim 2\%$. Тем не менее изменение температуры

поверхности океана в таких случаях модифицирует статическую устойчивость атмосферы, что может способствовать изменению интенсивности циклонов, а именно их углублению при повышении температуры поверхности океана и ослаблению при ее уменьшении. Детальный анализ подобных взаимосвязей может являться предметом дальнейших исследований.

Литература/References

- Blechschmidt, A.-M. (2008). A 2-year climatology of polar low events over the Nordic seas from satellite remote sensing. *Geophysical Research Letters*, 35, L09815.
- Diansky, N. A., Panasenкова, I. I. and Fomin, V. V. (2019). Investigation of the Barents Sea Upper Layer Response to the Polar Low in 1975. *Physical Oceanography*, 26 (6), 467–483. (In Russian)
- Gentemann, C. L. (2014). Three way validation of MODIS and AMSR-E sea surface temperatures. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119, 2583–2598.
- Isachsen, P. E., Drivdal, M., Eastwood, S., Gusdal, Y., Noer, G. and Saetra, Ø. (2013). Observations of the ocean response to cold air outbreaks and polar lows over the Nordic Seas. *Geophysical Research Letters*, 40, 3667–3671.
- Liu, X., Wei, J., Zhang, D. -L. and Miller, W. (2019). Parameterizing sea surface temperature cooling induced by tropical cyclones: 1. Theory and an application to Typhoon Matsa (2005). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124, 1215–123.
- Meyers, P. C., Shay, L. K., Brewster, J. K. and Jaimes, B. (2016). Observed ocean thermal response to Hurricanes Gustav and Ike. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121, 162–179.
- Noer, G., Saetra, Ø., Lien, T., Gusdal, Y. (2011). A climatological study of polar lows in the Nordic Seas. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137(660), 1762–1772.
- Podaac.jpl.nasa.gov (2018). NASA's Physical Oceanography Distributed Active Archive Center. [online] Available at: https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MW_IR_OI-REMSS-L4-GLOB-v4.0/ [Accessed 01.05.2019].
- Price, J. F. (1981). Upper ocean response to a hurricane. *Journal of Physical Oceanography*, 11 (2), 153–175.
- Rasmussen, E. and Turner, J. (2003). *Polar Lows: Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press.
- Remss.com (2018). Remote Sensing Systems. [online] Available at: <http://www.remss.com/missions/amsr/> [Accessed May 1, 2019].
- Rojo, M., Claud, C., Mallet, P., Noer, G., Carleton, A. and Vicomte, M. (2015). Polar low tracks over the Nordic seas: A 14-winter climatic analysis. *Tellus, Ser. A*, 67, 24660.
- Saetra, Ø, Linders, T. and Debernard, J. (2008). Can polar lows lead to a warming of the ocean surface? *Tellus*, 60, 141–153.
- Smirnova, J. E., Golubkin, P. A., Bobylev, L. P., Zabolotskikh, E. V. and Chapron, B. (2015). Polar low climatology over the Nordic and Barents seas based on satellite passive microwave data. *Geophysical Research Letters*, 42, 5603–5609.
- Wang, G., Wu, L., Johnson, N. C. and Ling, Z. (2016). Observed three-dimensional structure of ocean cooling induced by Pacific tropical cyclones. *Geophysical Research Letters*, 43, 7632–7638.
- Wilhelmsen, K. (1985). Climatological study of gale-producing polar lows near Norway. *Tellus, Ser. A*, 37, 451–459.
- Zahn, M. and von Storch, H (2008). A long term climatology of North Atlantic polar lows. *Geophysical Research Letters*, 35, L22702.

Статья поступила в редакцию 15 мая 2019 г.
Статья рекомендована в печать 12 октября 2020 г.

Контактная информация:

Голубкин Павел Андреевич — pgolubkin@gmail.com
Смирнова Юлия Ефимовна — julia.smirnova@niersc.spb.ru
Коляда Всеволод Сергеевич — jostersplus@gmail.com

Sea surface temperature changes due to polar lows over the Nordic Seas*

P. A. Golubkin¹, Ju. E. Smirnova¹, V. S. Kolyada²

¹ Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre,
7, 14-ia liniia V. O., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

² Russian State Hydrometeorological University,
98, Maloohhtinsky pr., St. Petersburg, 195196, Russian Federation

For citation: Golubkin, P. A., Smirnova, Ju. E., Kolyada, V. S. (2020). Sea surface temperature changes due to polar lows over the Nordic Seas. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 65 (4), 654–661. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.403> (In Russian)

In this study we analyzed possible changes in sea surface temperature (SST) caused by the passage of polar lows. Polar lows are extreme atmospheric phenomena inherent to high latitudes. They develop sea surface wind speeds from 15 m/s up to hurricane force values and are characterized by small sizes (on average, 300 km) and lifetimes (less than two days), which complicates their detection and study. It is assumed that as in case of tropical cyclones, which may considerably lower SST due to intense mixing and entrainment of colder waters to the ocean upper mixed layer, polar lows could similarly influence SST. Moreover, in high latitude areas, where salt stratification may be present instead of temperature stratification, SST may increase due to mixing with a deeper warmer layer. In this study 330 polar lows were analyzed using satellite passive microwave radiometer measurements of SST. As a result, 47 cases were found in which average SST values changed in polar low forcing areas. Out of these cases, in six cases an SST increase of at least 0.5 °C was found, and in fifteen cases an SST decrease of at least 0.5 °C was found. This indicates that upper ocean response to polar lows is quite a rare phenomenon, which should be further analyzed along with its possible role in the ocean-ice-atmosphere system.

Keywords: polar low, sea surface temperature, Nordic Seas, remote sensing.

Received: May 15, 2019
Accepted: October 12, 2020

Contact information:

Pavel A. Golubkin — pgolubkin@gmail.com

Julia E. Smirnova — julia.smirnova@niersc.spb.ru

Vsevolod S. Kolyada — jostersplus@gmail.com

* This work is supported by Russian Science Foundation (project No. 17-77-10122).