

Двухлетний отчет 2024-2025

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЕ И ДИСТАНЦИОННОМУ
ЗОНДИРОВАНИЮ ИМ. НАНСЕНА
Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия



О НАНСЕН-ЦЕНТРЕ

Нансен- центр является некоммерческим исследовательским фондом, где выполняются фундаментальные и прикладные исследования окружающей среды и климата в глобальном масштабе, в особенности в Арктике и северной Евразии в интересах общества. Нансен- центр является проектно-ориентированной организацией, финансируемой российскими научными фондами, Министерством науки и высшего образования, а также коммерческими компаниями.

Нансен- центр был основан в 1992 году как коммерческая компания и затем в 2001 году зарегистрирован в Регистрационной палате администрации Санкт-Петербурга уже как некоммерческий научный фонд. В 2002 году Центр получил аккредитацию в Министерстве промышленности, науки и технологий Российской Федерации как научное учреждение. В 2006 году он был перерегистрирован в соответствии с новым законом о некоммерческих организациях. Нансен- центр активно участвует в отечественной и международной кооперации. Он также вносит свой вклад в подготовку магистров и аспирантов в рамках Программы поддержки им. Нансена, учрежденной в 1994 году. Целью Программы является поддержка магистрантов и аспирантов в российских образовательных и научных учреждениях, таких как Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербургский университет, Арктический и антарктический

научно- исследовательский институт, Институт физики атмосферы Российской академии наук и другие. Основные области исследований включают текущие и будущие изменения климата и окружающей среды в высоких северных широтах, а также методы спутникового дистанционного зондирования с акцентом на морском льде и полярных циклонах в Арктике. Программа обеспечивает магистрантов и аспирантов финансовой поддержкой, необходимыми для эффективной работы условиями, руководством ведущими российскими и зарубежными учеными и участием в национальных и международных исследовательских проектах. Все аспиранты обязаны публиковать результаты исследований в российских и международных реферируемых журналах и выступать с докладами на наиболее важных конференциях. К настоящему времени в рамках данной программы защитились уже 33 аспиранта.

АКТИВНОСТЬ И ДОСТИЖЕНИЯ

ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Климатическая изменчивость и изменения климата

- Арктическое усиление глобального потепления
- Влияние Атлантики на потепление в Арктике
- Проекция будущего климата Арктики на основе современных моделей циркуляции атмосферы и океана
- Изменение ледовых условий на Северном морском пути в прошлом, настоящем и будущем
- Изменчивость и изменения глубокой конвекции в океане
- Динамика океанических вихрей и их влияние на кромку льда и перенос тепла в Арктике

Мезомасштабные динамические структуры

- Обнаружение и определение характеристик полярных и мезомасштабных циклонов с использованием спутниковых данных и моделирования
- Региональный прогноз высокого разрешения атмосферных условий и волнения, основанный на моделях WRF и WAVEWATCH
- Автоматическое обнаружение океанических вихрей с использованием многоспектральных спутниковых данных и нейронных сетей

Оперативный анализ и прогноз морских ледовых условий с использованием спутниковых данных и нейронных сетей

- Классификация морского льда высокого разрешения
- Определение скорости дрейфа морского льда
- Обнаружение торосов и зон конвергенции и дивергенции морского льда
- Обнаружение айсбергов

Состояние морских и озерных экосистем

- Оценка морской первичной продуктивности и поглощения/эмиссии CO₂ с помощью спутниковых данных
- Трофическое состояние озер и водоемов в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки
- Обнаружение регионов массового цветения водорослей по спутниковым данным

Экстремальные явления погоды и климата

- Обнаружение, анализ и атрибуция экстремальных явлений
- Удаленные связи Арктического усиления потепления и экстремальных явлений в северных средних широтах

ПРОЕКТЫ

	2024	2025
ЗАВЕРШЕННЫЕ ПРОЕКТЫ	0	5
ПРОДОЛЖАЮЩИЕСЯ ПРОЕКТЫ	4	3
НОВЫЕ ПРОЕКТЫ	1	0
ВСЕ ПРОЕКТЫ	5	8

Список проектов:

Распределение айсбергов в арктических морях. Контракт с Арктическим исследовательским центром (АИЦ)/ Роснефть, 2022–2025

Карты ледового режима в арктических морях. Контракт с АИЦ/ Роснефть, 2022–2025

Влияние меридиональных атмосферных потоков тепла и влаги на климатические обратные связи в Арктике и формирование Арктического усиления/ М. Латонин. Грант Российского научного фонда (РНФ), 2023–2025

Арктическое усиление и экстремально холодные зимы в Сибири/ Н. Гнатюк. Грант РНФ, 2023–2025

Изучение трехмерной циркуляции в Лофотенском вихре по данным гидродинамического моделирования/ Е. Новоселова. Грант РНФ, 2024–2026

Разработка метода определения параметров морского льда по радиолокационным снимкам компактного аппаратного модуля. Контракт с Московским физико-техническим институтом, 2025

Экстремальные засухи/наводнения в Китае и России и влияние на их повторяемость связанных изменений климата средних и высоких широт в системе океан - морской лед - атмосфера/ Российско-китайский совместный проект. Грант РНФ, 2024–2027

Тенденции в изменении ледовых условий в проливе Вилькицкого как части Северного морского пути/ Е. Шалина, Грант РНФ, 2024–2026

ПУБЛИКАЦИИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

	2024	2025
СТАТЬИ В РЕФЕРИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛАХ	6	10
ДРУГИЕ СТАТЬИ	0	1
ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, ПОСТЕРЫ И НАУЧНЫЕ ПРЕЗЕНТАЦИИ	10	5
ВСЕГО	16	16

Реферируемые статьи:

1. Chen, Y., Yan, Q., *Bashmachnikov, I.*, Huang, K., Mu, F., Zhang, Z., Xu, M., Zhao, J. (2024). MFDA: Unified Multi- Task Architecture for Cross- Scene Sea Ice Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 4303221, 1-21, doi: 10.1109/TGRS.2024.3491190 (Q1).
2. Hu, H., Zhao, J., Ma, J., *Bashmachnikov, I.*, Gnatiuk, N., Hui, F. (2024). The sudden ocean warming and its potential influences on early -frozen landfast ice in the Prydz Bay, East Antarctica. *Acta Oceanologica Sinica*, 43 (5), 65-77, doi: 10.1007/s13131-024-2326-7
3. Коляда В. С., Голубкин П. А., Смирнова Ю. Е. (2024). Влияние релаксационных методов ассимиляции на воспроизведение поля скорости ветра в полярном циклоне. *Гидрометеорология и экология*. № 76. С. 422—436. doi: 0.33933/2713-3001-2024-76-422-436
4. Latonin, M., *Bashmachnikov, I.*, Radchenko, I., Gnatiuk, N., Bobylev, L. P., Pettersson, L. H. (2024). Meridional oceanic and atmospheric heat fluxes at the entrance to the Atlantic sector of the Arctic: verification of CMIP6 models and climate projections based on the selected sub- ensembles. *Russian Journal of Earth Sciences*, 24 (4), ES4007, <https://doi.org/10.2205/2024ES000917>
5. Moreno- Ibáñez, M., Casado, M., Gremion, ... *Latonin, M.*, et al. (2024). Engagement of Early Career Researchers in Collaborative Assessments of IPCC Reports: Achievements and Insights. *Frontiers in Climate*, 6, 1395040, <https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1395040>(Q1).
6. Latonin, M. M., Demchenko, A. Yu. (2024). A robust stepwise jump in the Arctic wintertime warming in 2005 coherent with the increased clear - sky downward longwave radiation flux. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 108, 101503, <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2024.101503>

7. Latonin, M.M., *Bashmachnikov, I.L.*, Semenov, V.A. (2025). Enhanced Wintertime Convergence of Atmospheric and Oceanic Heat Transports in the Barents Sea Region under Present Climate Warming. *Russian Journal of Earth Sciences*, 25 (2), ES2008, <https://doi.org/10.2205/2025ES000967>
8. *Bashmachnikov I.L.*, Priakhin S. S., Kozlov I. E., Wekerle C., Zhong W., Shliapin S. A., *Kaledina A. S.* (2025). Eddies stabilize the sea- ice margin along the East Greenland Current. *Journal of Geophysical Research - Oceans* (Q1).
9. Tuchinskaya V.I., *Bashmachnikov I.L.*, Zakhvatkina N. Yu., Kozlov I.E., *Iakovleva D. A.* (2025). Automatic identification of ocean eddies in SAR using U- Net convolutional neural network. *Russian Journal of Earth Sciences* (in press).
10. Demchenko A. Yu, Budiansky M.V., *Bashmachnikov I. L.*, Udalov A. A. (2025). Lagrangian analysis of fast-transported recirculating Atlantic Water in Fram Strait. *Oceanology* (in press).
11. *Bashmachnikov, I.L.* (2025). The manifestation of deep underwater eddies in the sea level and sea surface temperature using the example of meddies. Part 1: Observations. *Hydrometeorology and Ecology*, 79, 207-225, doi: 10.33933/2713-3001-2025-79-207-225
12. *Bashmachnikov, I.L.* (2025). The manifestation of deep underwater eddies in the sea level and sea surface temperature using the example of meddies. Part 2: Theory. *Hydrometeorology and Ecology*, 80, 484-509, doi: 10.33933/2713-3001-2025-80-484-509
13. Shalina, E., Radchenko, I., Gnatiuk, N., Kolyada V. (2025). Ice- Free Conditions in the Arctic Projected by Score- Based Selected Models and Models' Spread Analysis. *Earth Syst Environment*. <https://doi.org/10.1007/s41748-025-00856-z> (Q1).
14. Голубкин П. А., Коляда В. С., Смирнова Ю. Е. (2025). Мезомасштабные полярные циклоны над Антарктикой по данным анализа ERA5. *Гидрометеорология и экология*. № 78. С. 7—19.
15. Gnatiuk, N.V., Radchenko, I.V., Davy, R., Zhao, J., Bobylev, L.P. (2025). Which climate model evaluation methods can consistently select skillful models from the CMIP6 ensemble? *Geography, Environment, Sustainability*, 18(2), 125-149.
16. Kalashnikova, O. Y., Radchenko, I., & Kretova, Z. (2025). Mudflow and flood hazard risk evaluation in Kyrgyzstan using hydrological modeling and CMIP6 models. *Earth Systems and Environment*, 1-28.

ДИССЕРТАЦИИ

Игорь Башмачников защитил докторскую диссертацию в Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ) 5 февраля 2025 года.

Тема: Мезомасштабные подповерхностные вихри и их проявления на поверхности океана.



Диана Яковлева защитила диссертацию в СПбГУ 3 июля 2025 года.

Тема: Влияние океанической адвекции на формирование термохалинной структуры морей Норвежского, Ирмингера, Лабрадор и на развитие глубокой конвекции.



МЕДАЛЬ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК
МОЛОДЫМ УЧЕНЫМ

Михаил Латонин, научный сотрудник Нансен-центра, награжден медалью Российской академии наук за работу: **Исследование механизмов Арктического усиления глобального потепления.**

Это исследование, выполненное в Нансен-центре, дало новые результаты по развитию Арктического усиления на различных временных масштабах, роли меридионального переноса тепла атмосферой и океаном и радиационных процессов в атмосфере в формировании и изменчивости Арктического усиления.



НАНСЕН-ЦЕНТР - НАУЧНАЯ ШКОЛА

Нансен-центр включен в Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга в области климата высоких северных широт.

Научный руководитель школы: **Леонид Бобылев.**

Тематика школы: Исследование недавней и текущей изменчивости арктической климатической системы и оценка воздействия климатических изменений в северных высоких широтах с акцентом на территории России.

Тематические разделы:

- Арктический морской лед
- Оценка качества современных климатических моделей CMIP
- Полярные циклоны
- Взаимодействие атмосферы и океана, включая области глубокой океанической конвекции
- Водные экосистемы и их отклик на глобальные изменения

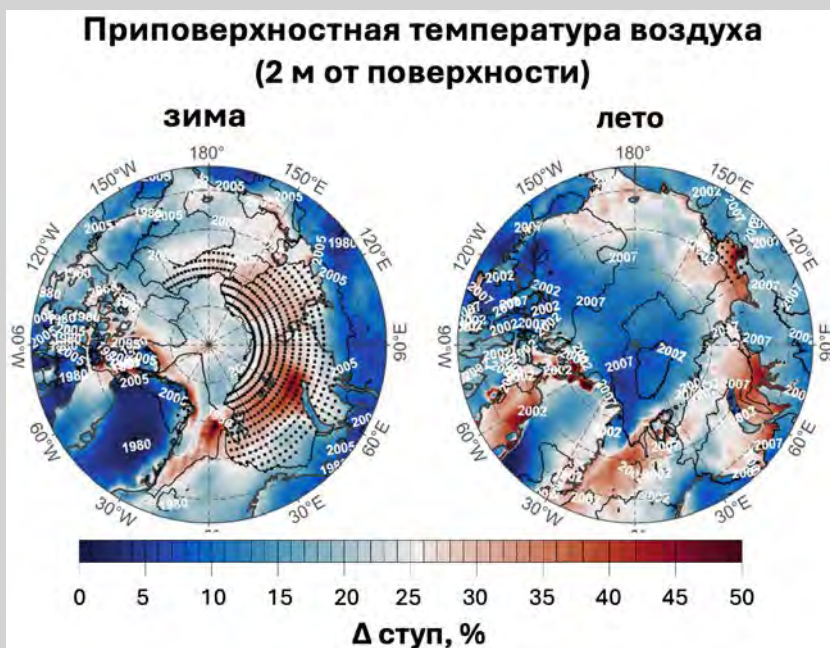
ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

Устойчивый ступенчатый скачок зимнего потепления Арктики в 2005 году, связанный с возросшим потоком нисходящей длинноволновой радиации

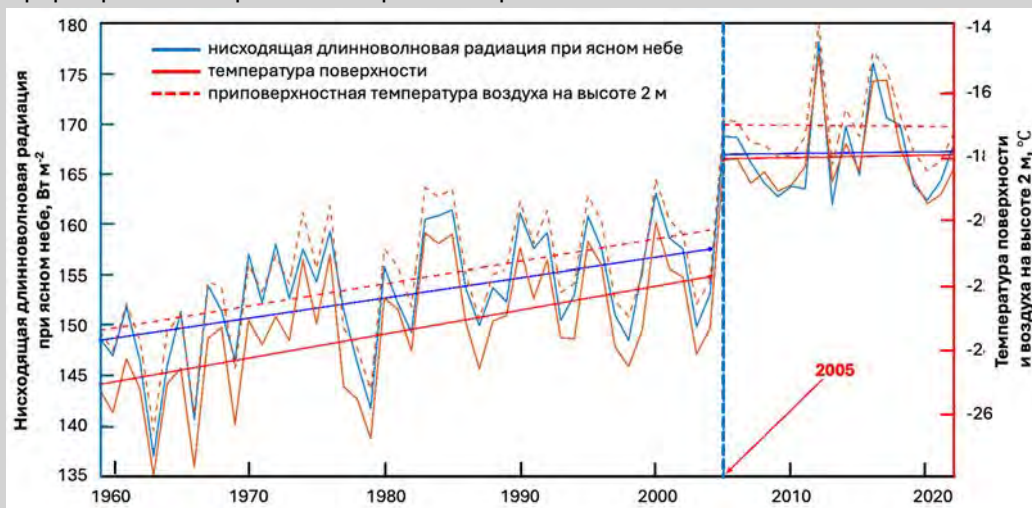
Михаил Латонин

В некоторых районах Арктики температура поверхности Земли и приповерхностная температура воздуха растут быстрее, чем в других. Цель исследования – выявить по данным климатического реанализа ERA5 пространственно-временную структуру климатических изменений в Арктике за период 1959–2022 гг. Основное внимание уделено трем параметрам: среднему поверхностному потоку нисходящей длинноволновой радиации при ясном небе, температуре поверхности Земли и приповерхностной температуре воздуха. К временным рядам изучаемых характеристик в каждой точке сетки всей Арктики (67–90 °с. ш.) была применена статистическая модель ступенчатых изменений. Полученные результаты свидетельствуют о тесной взаимосвязи между всеми параметрами в зимний сезон. Доминирующим зимним годом ступенчатых изменений в Арктике оказался 2005 г. При этом именно этот переход из одного состояния климатической системы в другое статистически значим на большой территории, расположенной в основном в Восточном полушарии (верхний рис.).

Осреднённые по выделенным областям временные ряды высоко коррелируют между собой, а 2005 год характеризует смену резкого роста величин на их изменчивость без выраженного тренда (нижний рис.). Имеющиеся спутниковые наблюдения полностью подтверждают временную структуру ступенчатых изменений исследуемых параметров и в значительной степени подтверждают её пространственную структуру. Таким образом, поток нисходящей длинноволновой радиации при ясном небе является одним из ведущих факторов формирования термического режима Арктики.



Приповерхностная температуры воздуха для зимнего (декабрь, январь, февраль, март) и летнего (июнь, июль, август, сентябрь) сезонов. Области с оттенками цветов с соответствующей цветовой шкалой представляют собой относительные ошибки, обозначенные как Δ ступ. (эффективность ступенчатой модели). Контурные линии показывают два наиболее частых года ступенчатых изменений. Чёрные точки очерчивают регионы, где модель ступенчатых изменений статистически значима в соответствии с критерием Фишера на уровне значимости 5 % для 2005 года в зимний сезон и для 2007 года в летний сезон.



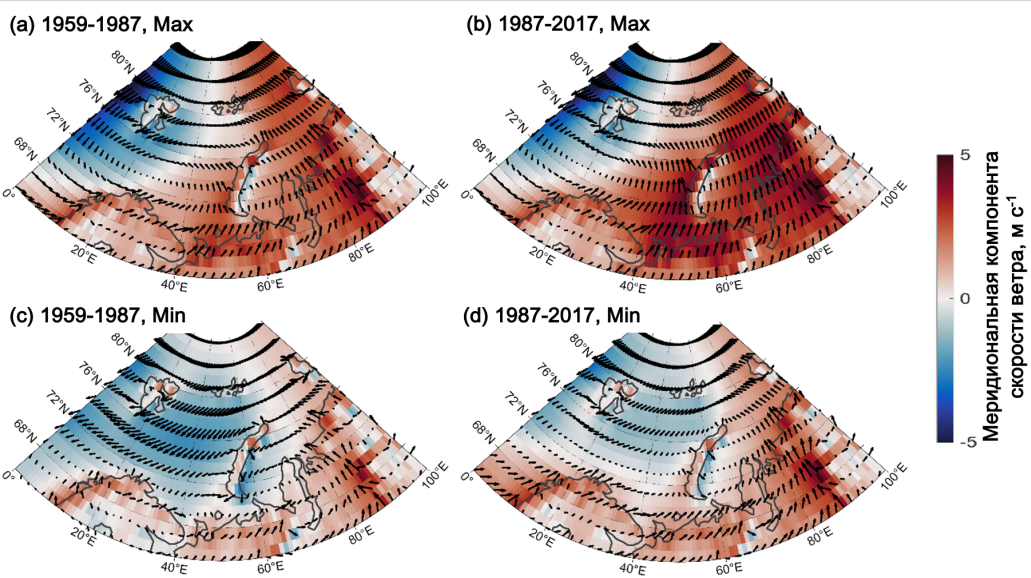
Нисходящая длинноволновая радиация при ясном небе, температура поверхности и воздуха на высоте 2 м., осредненные по значимым районам для зимнего сезона, и их линейные тренды. Опорная линия построена для 2005 года, который является моментом ступенчатых изменений.

Публикация: Latonin, M. M., Demchenko, A. Yu. (2024). A robust stepwise jump in the Arctic wintertime warming in 2005 coherent with the increased clear-sky downward longwave radiation flux. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 108, 101503. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2024.101503>.

Благодарности: Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-77-01046 (<https://rscf.ru/project/23-77-01046/>)

Усиление зимней конвергенции атмосферных и океанических переносов тепла в районе Баренцева моря при современном потеплении климата

Михаил Латонин



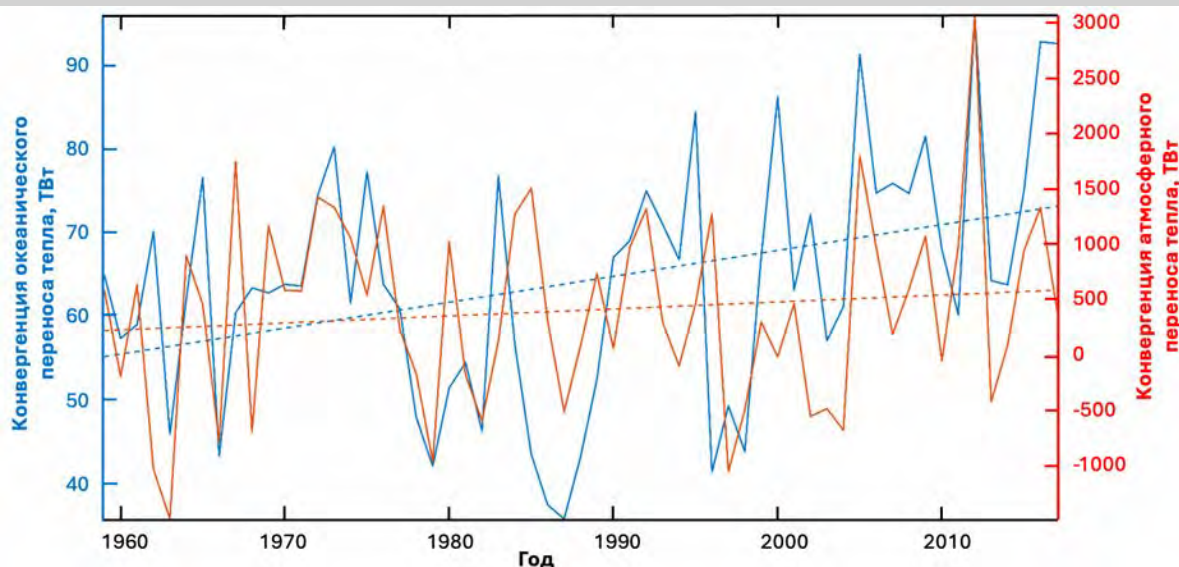
Средние векторы скорости ветра (чёрные стрелки) на высоте 10 м в годы с максимальными значениями океанического переноса тепла на входе в Баренцево море (a,b) и в годы с минимальными значениями океанического переноса тепла на входе в Баренцево море (c,d). Цветом показаны значения меридиональной составляющей скорости ветра; положительные значения соответствуют северному направлению.

Отличительной особенностью климатической системы Баренцева моря является предполагаемая положительная обратная связь в системе океан – морской лёд– атмосфера, которая может усиливать региональные изменения климата. Цель исследования – оценить эффективность этой обратной связи для адвективных потоков тепла в зимний сезон, используя данные океанического реанализа ORAS4 и атмосферного реанализа ERA5 за период 1959–2017 гг. На основе знаков линейных трендов океанического переноса тепла были выделены два периода для анализа: 1959–1987 гг. и 1987–2017 гг. Композитные карты полей приземного ветра указывают на увеличение эффективности положительной обратной связи в

районе Баренцева моря в современный период по сравнению с предыдущим. Это проявляется в усилении южных ветров над юго-восточной частью моря в годы с максимальным океаническим переносом тепла и в ослаблении северных ветров над северо-западной частью моря в годы с минимальным океаническим переносом тепла (верхний рис.). Конвергенция атмосферного переноса явного тепла над Баренцевым морем достигает максимума в нижней тропосфере, на уровнях 1000–900 гПа. Выявленная в данном исследовании возрастающая синхронизация конвергенции атмосферного и океанического переносов тепла в районе Баренцева моря способствует ускорению локального потепления (нижний рис.).

Publication: Latonin, M., Bashmachnikov, I., Semenov, V. (2025). Enhanced wintertime convergence of atmospheric and oceanic heat transports in the Barents Sea region under present climate warming. *Russian Journal of Earth Sciences*, 25, ES2008. <https://doi.org/10.2205/2025ES000967>.

Благодарности: Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-77-01046 (<https://rscf.ru/project/23-77-01046/>).



Конвергенция океанических и атмосферных переносов тепла в районе Баренцева моря. 1 TВт = 10¹² Вт. Пунктирные линии показывают линейные тренды.

Сравнение методов валидации для выбора климатических моделей наиболее точно воспроизводящих приповерхностную температуру воздуха в Арктике

Наталья Гнатюк

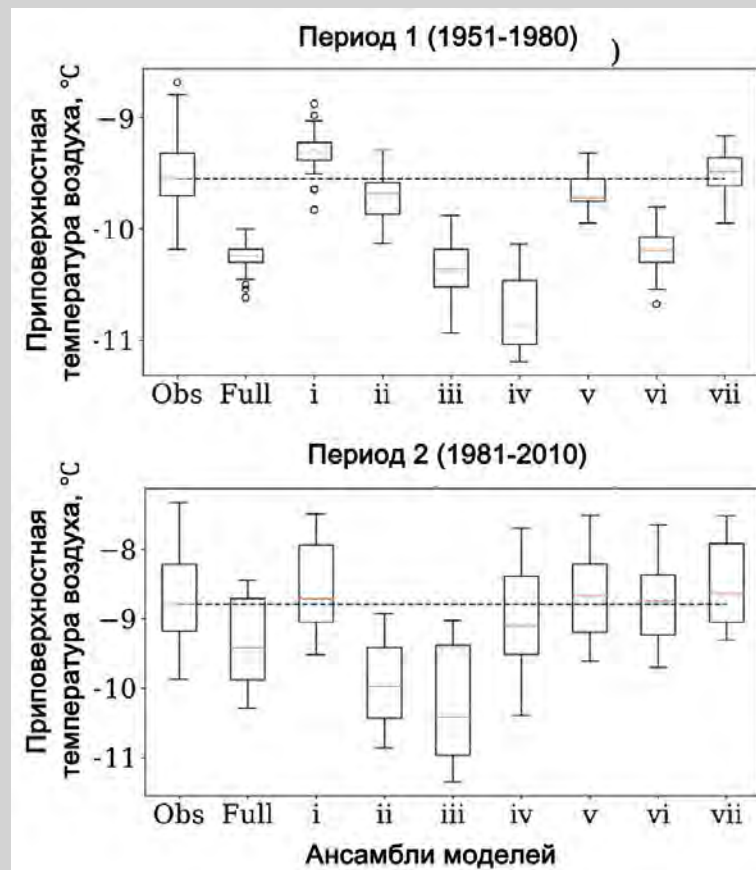
Юлия Радченко

Ричард Дэви

Йечень Жао

Леонид Бобылев

Для определения наиболее устойчивого метода оценки климатических моделей независимо от выбранного временного периода были сравнены семь широко применяемых методов. Анализ проводился на основе данных о приземной температуре воздуха 25-и моделей CMIP6 для Арктики. Исследуемые методы включали: методы на основе одиночной статистической метрики – (i) среднеквадратическая ошибка и (ii) анализ пространственные трендов; методы на основе одиночного комплексного критерия (skill score) – (iii) критерий Тейлора и (iv) сравнение функций плотности вероятности; комбинированные методы, использующие несколько статистических метрик – (v) диаграмма Тейлора в сочетании с оценкой межгодовой изменчивости и (vi) диаграмма Тейлора в сочетании с анализом систематических ошибок и трендов; метод, основанный на множественных статистических критериях – (vii) перцентильный подход. Для оценки устойчивости методов каждый из них применяли к двум периодам: 1951- 1980 и 1981- 2010. По результатам каждого метода модели ранжировали и относили к одной из трёх категорий качества: очень хорошие, удовлетворительные, и неудовлетворительные. На основе ранжирования для каждого метода формировали оптимальную подвыборку, включающую 25 % лучших моделей (верхний квартиль). Ключевой целью исследования было сравнение способности методов стабильно идентифицировать оптимальные модели для ансамбля вне зависимости от выбранного временного периода (то есть их устойчивости к смене климатических условий). Это сравнение наглядно представлено на рисунке, где показаны диаграммы размаха годовой приповерхностной температуры воздуха для данных наблюдений, полного ансамбля из 25 моделей и подвыборок, отобранных по каждому из методов, за два указанных периода. Результаты свидетельствуют в пользу перцентильного подхода, который продемонстрировал наилучшую согласованность (72 %). В то же время, согласованность остальных методов варьировалась в диапазоне от 40 до 60%.



Диаграммы размаха годовой приповерхностной температуры воздуха в арктическом регионе для данных наблюдений (Obs), полного ансамбля из 25 моделей (Full) и подвыборок, отобранных на основе семи методов оценки моделей (i-vii), за периоды 1951-1980 и 1981-2010 гг.

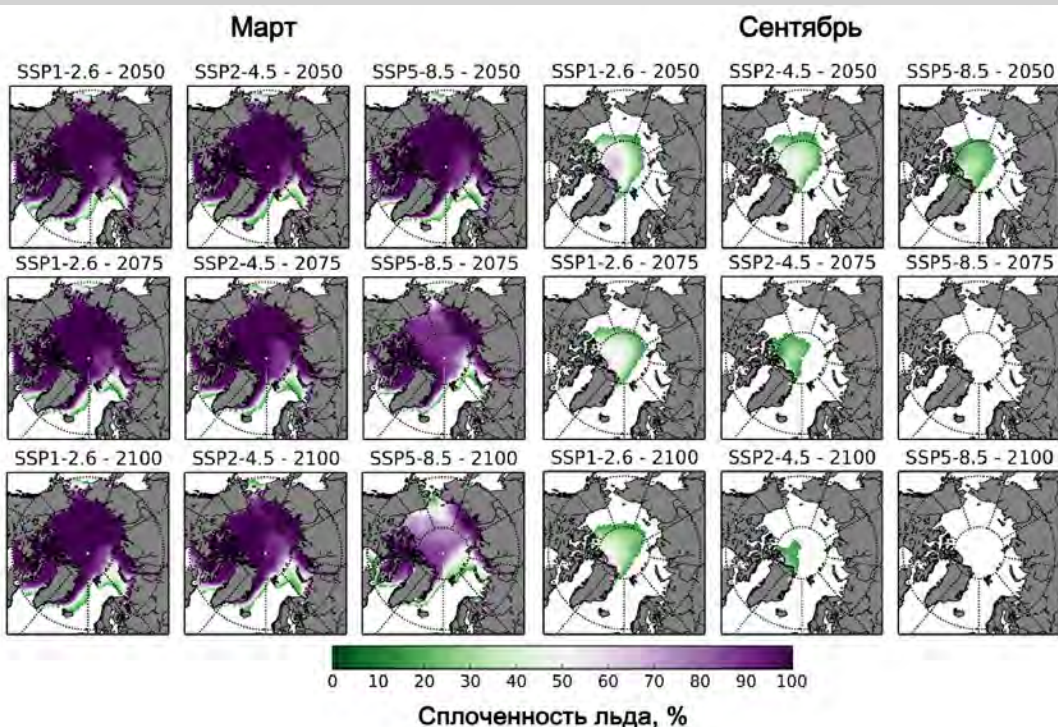
Публикация: Gnatiuk N.V., Radchenko I.V., Davy R., Zhao J., Bobylev L.P. (2025). Which climate model evaluation methods can consistently select skillful models from the CMIP6 ensemble? *Geography, Environment, Sustainability*, 2 (18), 126-149 <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2025-3694>.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда (РНФ) №23- 77- 01106, [https:// rscf. ru/ en/ project/23-77-01106/](https://rscf.ru/en/project/23-77-01106/).

Безледные условия в Арктике в 21-м столетии по данным климатических моделей

Елена Шалина
Юлия Радченко
Наталья Гнатюк
Всеволод Коляда

Морской лёд играет ключевую роль в климатической системе, что определяет значительный научный интерес к прогнозам его будущего состояния. В данной работе представлена оценка трансформации площади морского льда (ПМЛ) в Арктике в период с 2020 по 2100 год для трёх сценариев изменения климата: SSP1-2.6, SSP2-4.5 и SSP5-8.5. Проекция получены на основе ансамбля из девяти моделей CMIP6 (25% лучших моделей из всех доступных), отобранных по критерию наилучшего воспроизведения наблюдаемых характеристик за период 1979-2014 гг., включая межгодовую изменчивость, сезонный цикл и распределения трендов сплоченности морского льда по территории Арктики. По прогнозам, с 2020 по 2100 год значение ПМЛ в марте



Сплоченность морского льда в Арктике в марте и сентябре, осреднённая по ансамблю из 9-ти выбранных моделей CMIP6, для 2050, 2075 и 2100 гг. по сценариям SSP1-2.6, SSP2-4.5 и SSP5-8.5.

уменьшится на 5%, 11% и 32% в рамках сценариев SSP1-2,6, SSP2-4,5 и SSP5-8,5 соответственно. Аналогичное снижение значения ПМЛ в сентябре составит 65%, 92% и 100% (верхний рисунок). Полное исчезновение льда в Арктике по умеренному сценарию SSP1-2.6 маловероятно. По сценарию SSP2-4.5 безледные условия в сентябре могут наступить к началу 2060-х годов, а в августе – к середине 2070-х. Сценарий с высоким уровнем выбросов SSP5-8.5 предполагает более быстрое и масштабное сокращение ледяного покрова: Арктика может стать практически свободной ото льда в сентябре уже в конце 2040-х годов, затем в августе (середина 2050-х), июле (начало 2080-х), октябре (середина 2060-х) и ноябре (середина 2080-х). Таким образом, по сценарию SSP5-8.5 сентябрьский ледяной покров полностью исчезнет, что будет означать переход Арктики к режиму сезонного льда, существующего только в холодный период года.

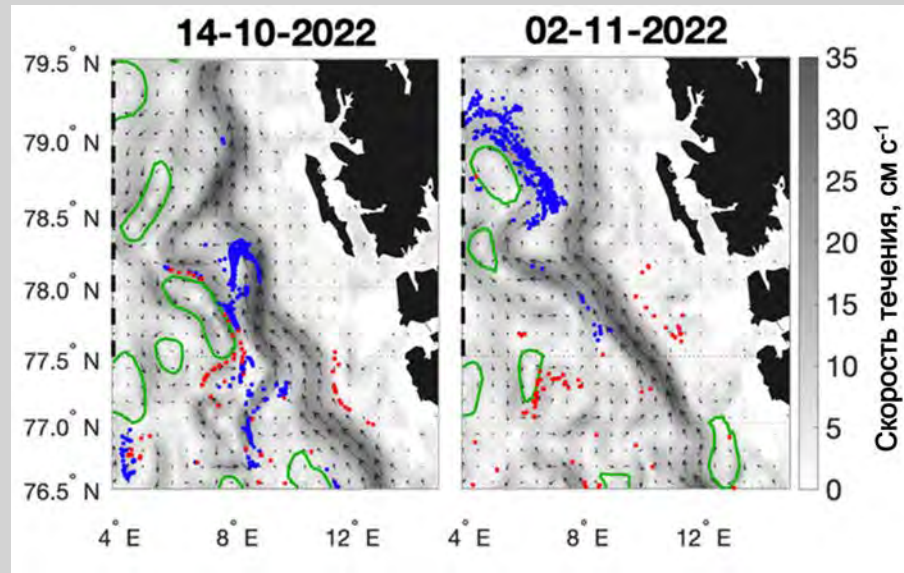
Публикация: Shalina, E., Radchenko, I., Gnatiuk, N., Kolyada, V. (2025). Ice-Free Conditions in the Arctic Projected by Score-Based Selected Models and Models' Spread Analysis. *Earth Systems and Environment*.
<https://doi.org/10.1007/s41748-025-00856-z>

МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ

Быстро-переносимые рециркулирующие атлантические воды в проливе Фрама

Анна Демченко
Игорь Башмачников
и др.

Особенности рециркуляции атлантических вод в проливе Фрама исследовались путем анализа характеристик лагранжева переноса пассивных маркеров к западу от Западно-Шпицбергенского течения. Было выявлено, что существует два режима перемещения маркеров: (1) быстрый адвективно-вихревой и (2) медленный вихревой. Быстрый перенос маркеров связан с адвекцией средним течением или движением вдоль периферий цепочек вихрей. Медленный перенос обусловлен длительным удержанием маркеров ядрами вихрей разной полярности.



Поле скорости Западно-Шпицбергенского течения на горизонте 100 м по данным реанализа GLORYS12V1. Синим обозначены "быстрые" маркеры, быстро достигшие западной границы региона, красными – "медленные" маркеры на даты: 14.10.2022 и 02.11.2022. Все маркеры были вброшены на южной границе региона 23.09.2022 г. Зелеными замкнутыми контурами отмечены границы выделенных вихрей.

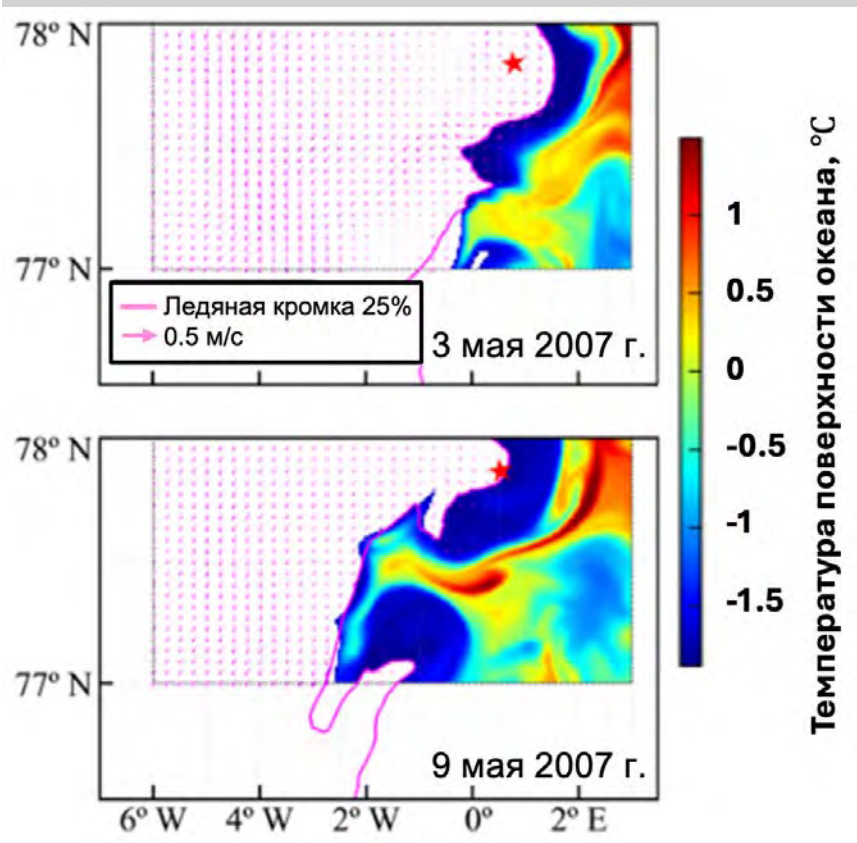
При этом маркеры перемещаются на запад либо вместе с движущимися вихрями, либо "передаваясь" от одного вихря другому, после совершения нескольких оборотов вокруг ядра. Определены транспортные коридоры – наиболее вероятные пути перемещения маркеров в зоне рециркуляции. Отмечается порционность прихода рециркулирующих быстрых маркеров на меридиональный разрез на западе района исследования, что связано с эпизодическим формированием ветви рециркуляции в проливе Фрама от Западно-Шпицбергенского течения между 78.5–79.5 ° с.ш.

Публикация: Demchenko A.Yu., Budyansky M.V., Bashmachnikov I.L., Udalov A.A., 2025. Lagrangian analysis of fast-transported recirculating Atlantic Water in Fram Strait. *Oceanology*

Отступление морского льда вследствие эффекта воздействия вихрей на прикромочную ледовую зону Восточно-Гренландского течения

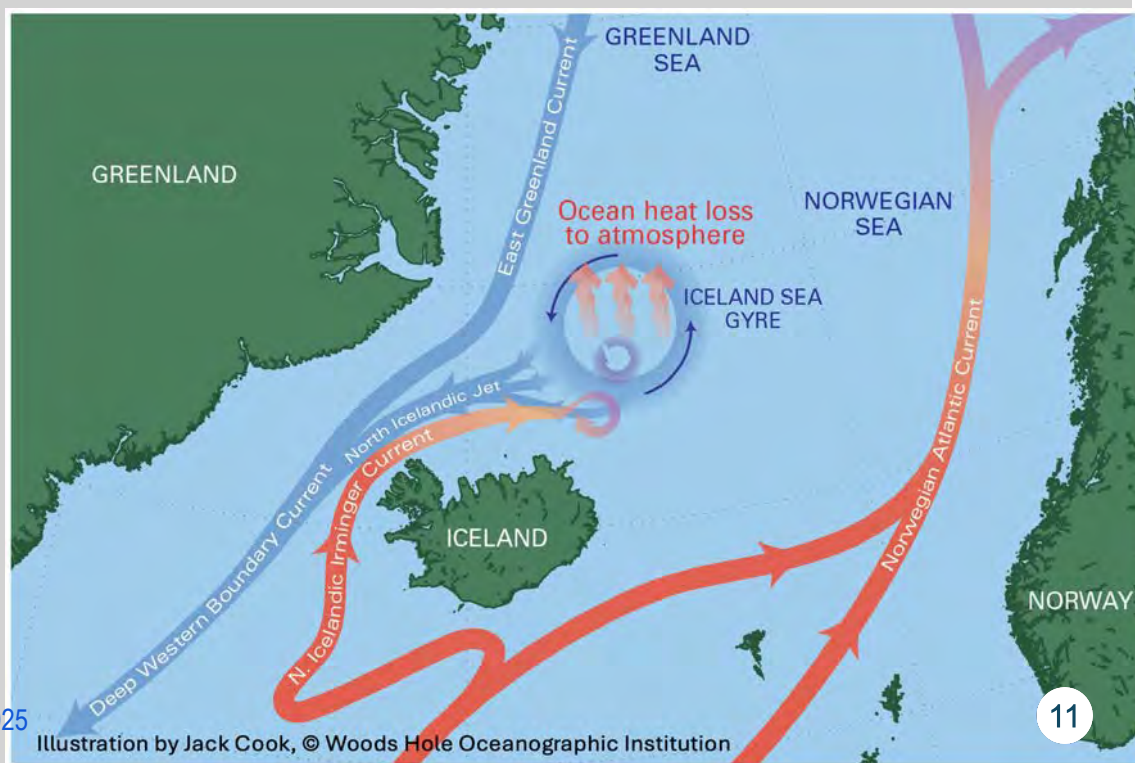
Игорь Башмачников
Анастасия Каледина
и др.

Мезомасштабные вихри в океане могут быть важнейшим фактором изменения положения границы морского льда, особенно в регионах, характеризующихся высокими фоновыми градиентами температуры поверхности моря (Рис. X). Одним из таких районов является север Гренландского моря, где интенсивный вынос морского льда и полярных вод из Арктического бассейна сливается с потоком теплых атлантических вод из Норвежского течения. Влияние вихрей на прикромочную ледовую зону Восточно-Гренландского течения изучалось с использованием вихререзающей гидродинамической модели океана FESOM1.4 с пространственным разрешением 1 км. Было выявлено, что горизонтальное перемешивание в океанических вихрях может приводить к локальному отступлению кромки льда со скоростью 3-8 км в сутки. Однако подобное отступление кромки быстро восстанавливается за счет конвергенции льда Восточно-Гренландским течением. Формируемый таким образом баланс потоков льда является причиной относительно стабильного положения прикромочной ледовой зоны в течение практически всего года, за исключением 1-2 месяцев (август-сентябрь), когда рост температуры воздуха приводит к недолгому, но резкому отступлению кромки льда на запад.



Захват теплой воды антициклоническим вихрем, центр которого отмечен красной звездочкой, 3 и 9 мая. Пурпурные вектора показывают скорость дрейфа морского льда (м/с), пурпурная изолиния 25%-ной концентрации льда отмечает кромку морского льда. Данные модели FESOM,

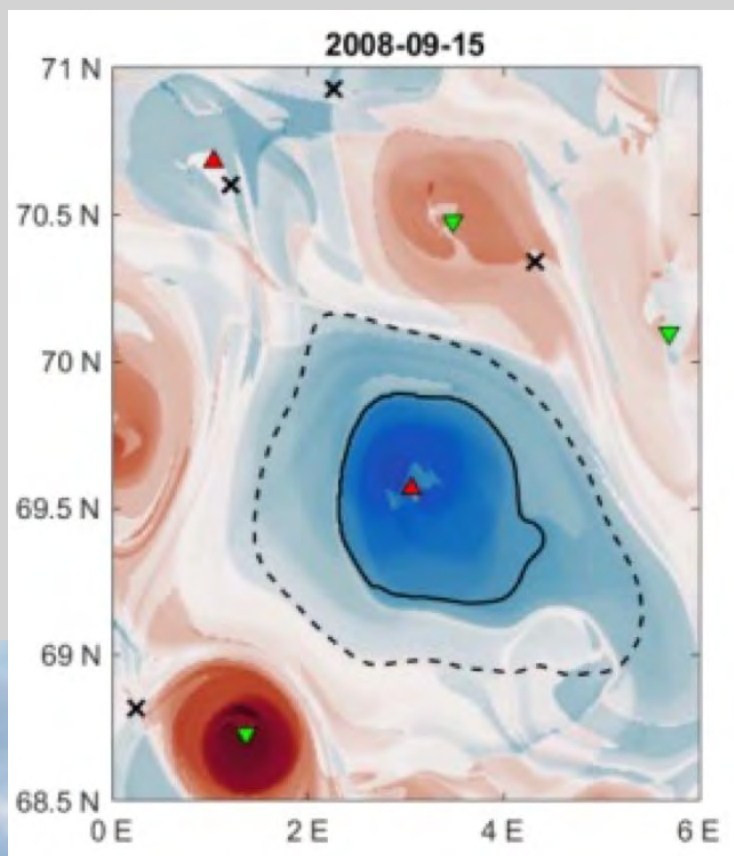
Публикация: Bashmachnikov, I., Pryakhin, S., Kozlov, I., Wekerle, C., Zhong, W., Shliapin, S., & Kaledina, A. (2025). Sea - ice retreat by eddies in the marginal ice zone of the East Greenland Current. *Journal of Geophysical Research, Oceans*, 130(11). e2025JC022330, <https://doi.org/10.1029/2025JC022330>



Определение горизонтальных границ мезомасштабных квазистационарных вихрей

Елена Новоселова

Разработан новый лагранжев алгоритм определения границ вихрей LEBDA (Lagrangian Eddy Boundary Delineation Algorithm), предназначенный для определения горизонтальных границ мезомасштабных квазистационарных вихрей. В отличие от традиционных эйлеровых методов, используемых для решения аналогичных задач, LEBDA сводит к минимуму резкие изменения границ, что является важным преимуществом, особенно актуальным для анализа долгоживущих структур. Ключевой особенностью алгоритма является использование траекторий лагранжевых маркеров, что позволяет точно идентифицировать как ядро вихря, так и его периферию, эффективно отфильтровывая временные возмущения.



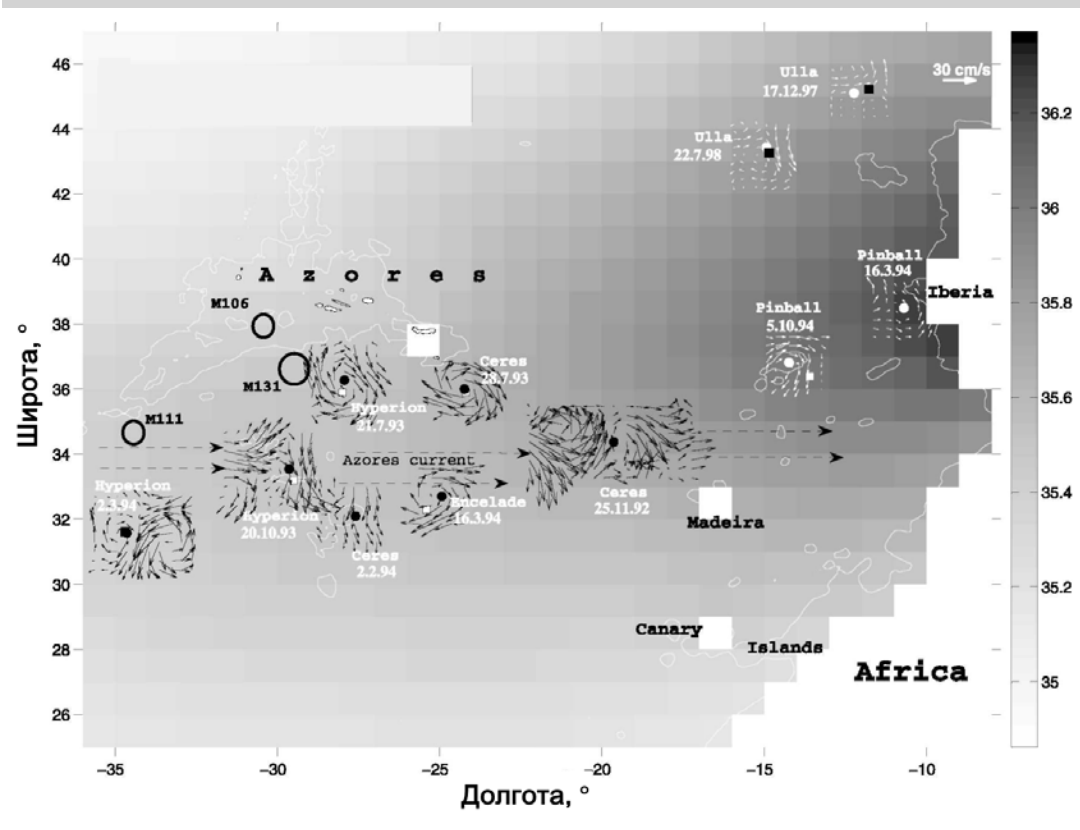
Граница Лофотенского вихря, определённая методом LEBDA (сплошной контур) и методом AMEDA (пунктирный контур). Расположение центров вихрей обозначено символами ∇ для циклонов и \blacktriangle для антициклонов; гиперболические точки обозначены крестиками \times .

Сравнение с автоматизированным алгоритмом обнаружения мезомасштабных вихрей AMEDA (Angular Momentum Eddy Detection and Tracking Algorithm) показало, что LEBDA обеспечивает более физически последовательное и плавное во времени определение границы вихря. В отличие от AMEDA, которая склонна завышать размеры вихрей (до 1,5 раз), LEBDA демонстрирует постепенную и реалистичную эволюцию границ. Пример оконтуривания Лофотенского вихря двумя методами приведён на верхнем рисунке.

Acknowledgements: Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда..

Проявление подповерхностных внутри-термоклинных вихрей на поверхности океана

Игорь Башмачников



Соленость на глубине 1000 м (цвет) Черные/ белые маленькие квадратики – положения центров медди на траекториях поплавков RAFOS на указанные даты; черные и белые стрелки – геострофические течения по данным альтиметрии на тот же период; черные/белые круги – центры антициклонических вихрей на поверхности моря, ближайших к центрам медди. Штриховые горизонтальные стрелки показывают среднее положение струи Азорского течения. Черные окружности – положения трех медди (M 131, M 111 и M 106), наблюдавшихся во время рейса НИС «Архипелаго» в августе 2005г. Белая линия – изобата 2000 м

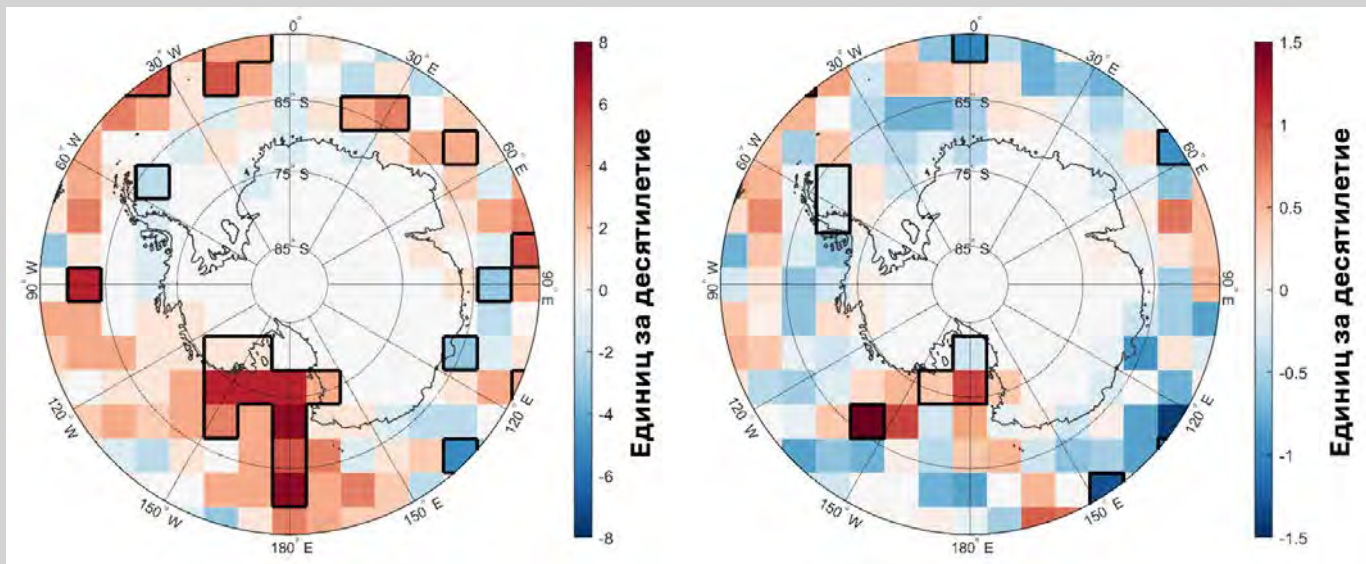
Теоретические оценки проявлений внутри-термоклинных вихрей на поверхности океана рассмотрены на примере линзы средиземноморских вод в Атлантике (медди), но полученные результаты применимы и к другим типам мезомасштабных вихрей с глубоким ядром. Результаты показали, что интенсивность сигнала на поверхности океана подповерхностного вихря с глубоким ядром зависит от характеристик ядра вихря (потенциальной завихренности и отношения радиуса к глубине залегания ядра) и от условий окружающей среды (отношения параметра Кориолиса к стратификации вод над вихрем, а также скорости фонового течения). Показано, что данные спутниковой альтиметрии AVISO позволяют обнаружить только вихри с динамическими радиусами не менее 15- 20 км. Естественно, что для вихрей с ядром ближе к поверхности моря этот критический радиус меньше.

Меридиональное изменение соотношения параметра Кориолиса и стратификации вод над вихрем в субтропической Атлантике определяло 6-кратное уменьшение интенсивности сигналов медди на поверхности моря с севера на юг при одновременном увеличении радиуса сигнала относительно радиуса генерирующего медди. Сезонная изменчивость интенсивности сигналов вихрей на поверхности моря связана с сезонной изменчивостью стратификации верхних слоев океана. Сравнение теоретических и наблюдаемых сигналов медди позволило, в частности, идентифицировать эпизоды распада и слияния их ядер. Сравнение теории с наблюдениями показало, что сигнал вихрей на поверхности моря может значительно усиливаться при взаимодействии медди с фоновыми течениями. Локально такие взаимодействия могут также приводить к резкому ослаблению или полной потере сигнала на поверхности моря.

Публикация: The manifestation of deep underwater eddies in the sea level and sea surface temperature using the example of meddies. Part 2: Theory. *Hydrometeorology and Ecology*. 80, 484- 509, doi: 10. 33933/ 2713-3001-2025-80-484-509

Климатология полярных мезомасштабных циклонов вокруг Антарктиды в 2000–2020 годах

Павел Голубкин
Всеволод Коляда
Юлия Смирнова



Мезомасштабные полярные циклоны являются атмосферными вихрями, которые наблюдаются в высоких широтах обоих полушарий Земли. Наиболее интенсивные из таких вихрей, называемые полярными циклонами, являются опасными явлениями, которые могут представлять угрозу для морской деятельности и прибрежных сооружений за счет развиваемых ими штормовых значений скорости ветра и высот волн. Кроме того, эти небольшие атмосферные образования играют важную роль в обмене теплом и влагой между океаном и атмосферой в критически важных для климата всей планеты полярных регионах. Для оценки частоты возникновения, основных районов распространения и основных характеристик мезомасштабных полярных циклонов над Антарктикой использовались данные атмосферного реанализа ERA5.

С использованием специально настроенного автоматического алгоритма идентификации и отслеживания циклонов была создана детальная климатология мезомасштабных полярных циклонов за период 2000–2020 гг. В ходе работы было идентифицировано более 34000 циклонов, из которых 2650 были классифицированы как наиболее интенсивные. Из результатов работы следует, что межгодовая изменчивость количества циклонов составляет около 10%, тогда как число наиболее интенсивных вихрей колеблется гораздо сильнее — до 40%. Большая часть циклонов формируется арктическими летом и осенью, чему способствует обширная площадь свободной ото льда воды. При этом наиболее мощные вихри чаще зарождаются зимой, что объясняется более сильным контрастом температур между океаном и холодным воздухом, служащим источником энергии для развития циклонов. Основными районами циклонической активности являются моря Беллинсгаузена и Амундсена. Важным результатом также стало выявление статистически значимой положительной тенденции к увеличению количества циклонов над морем Росса. Среднее время существования идентифицированных циклонов составляет около 16 часов, а пройденное расстояние — 487 км. Более интенсивные циклоны, в среднем, существуют дольше (28 часов) и проходят большие расстояния (869 км).

Полученные в результате работы новые данные о распространенности и характерных параметрах мезомасштабных полярных циклонов над Антарктикой могут быть использованы в дальнейших исследованиях взаимодействий в системе океан-лед-атмосфера в регионе.

Тренды изменения количества (единиц за декаду) траекторий мезомасштабных полярных циклонов, пересекающих ячейки сетки размером 500 × 500 км. Слева – для всех случаев; справа – для наиболее интенсивных случаев. Черным рамками отмечены ячейки, тренды в которых статистически значимы на уровне, превышающем 95 %.

Публикация: Голубкин П.А., Коляда В.С., Смирнова Ю.Е. (2025). Мезомасштабные полярные циклоны над Антарктикой по данным реанализа ERA5. Гидрометеорология и экология, № 78. С. 7—19. doi: 10.33933/2713-3001-2025-78-7-19

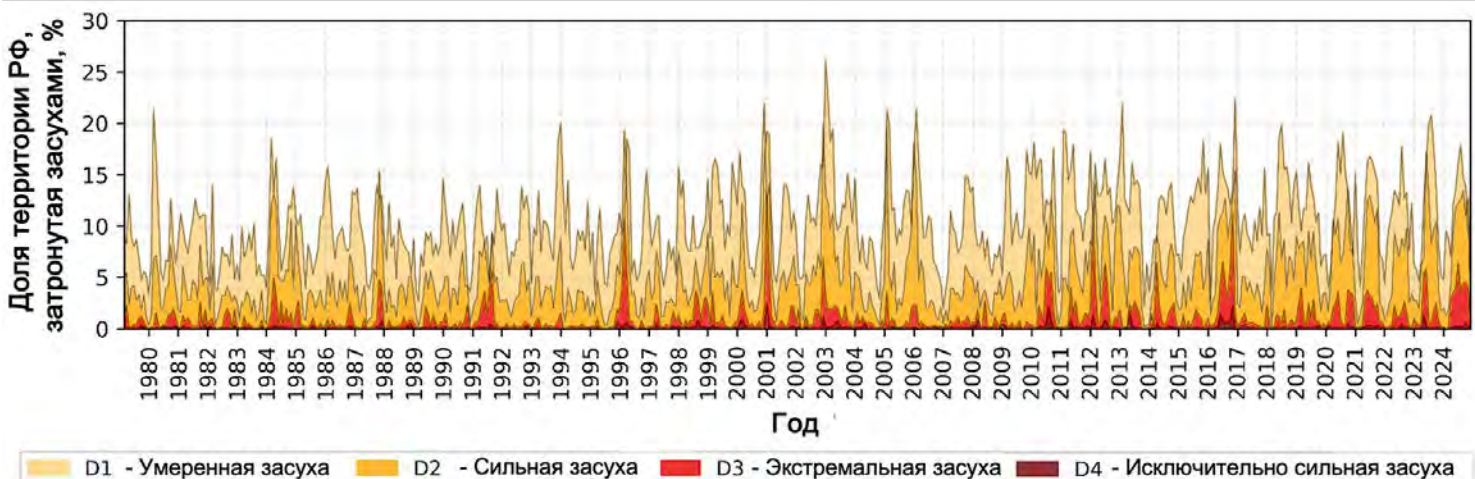
ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ И КЛИМАТА

Изменение площади сильных засух в России

Юлия Радченко

Наталья Гнатюк

Леонид Бобылев



Доля территории России, затронутая засухами, 1979–2024 гг.

Впервые был проведен анализ изменений площади засух различной интенсивности в России за период с 1979 по 2024 год. Площадь, подверженная засухе, и ее интенсивность оценивались с помощью Стандартизированного индекса осадков-эвапотранспирации (SPEI). Индекс рассчитывался для трехмесячного масштаба времени, отражающий агрометеорологический тип засухи (SPEI-3), учитывая водный баланс за предыдущие три месяца.

В целом, частота широкомасштабных засух возросла (верхний рисунок). За последние два десятилетия площадь, затронутая сильными и экстремальными засухами, существенно увеличилась – почти вдвое. Площадь с умеренным типом засухи превысила 25% в 2003 году и была выше 20% в 1980, 2001, 2002, 2006, 2013, 2017 и 2023 годах. Сильная засуха затронула почти 20% территории в 2001, 2003 и 2005 годах, со значительными пиками также в 1984, 1996, 2006, 2020 и 2023 годах. Очень сильная и экстремальная засуха охватила более 10% площади в 1996, 2001 и 2016 годах, и более 5% – в 2003, 2010, 2012, 2014 и 2023 годах.

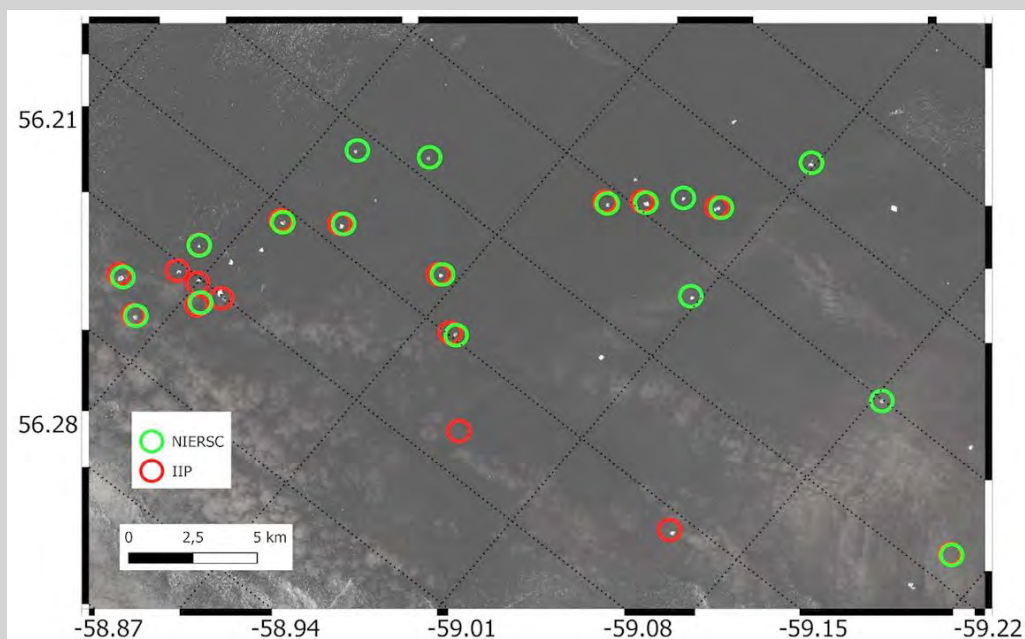


ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ МОРСКИХ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Алгоритм обнаружения айсбергов по данным Sentinel-1 среднего разрешения с использованием нейронных сетей

Антон Волков
Всеволод Коляда
Владимир Волков
Игорь Башмачников
Наталья Захваткина
Дения Демчев

Разработан новый эффективный алгоритм, сочетающий методы обнаружения «ярких точек» с унифицированной архитектурой нейронной сети с затворным остаточным соединением (Gated Residual Network - GRN) и сети с селекцией переменных (Variable Selection Network - VSN). Разработанный метод позволяет идентифицировать даже относительно небольшие айсберги длиной около 100 метров на снимках спутника Sentinel-1 Extra Wide (EW) среднего пространственного разрешения. Данные Sentinel-1 EW обеспечивают наиболее подробный охват Арктического региона. Валидация алгоритма с использованием независимой выборки в море Лабрадор показала, что разработанный метод обеспечивает точность (более 90%) и повторяемость (90%), сопоставимые или выше, чем результаты работы алгоритма Международного ледового патруля (International Ice Patrol - IIP) для спутниковых изображений Sentinel-1 EW (верхний рисунок).



Айсберги, обнаруженные автоматическими алгоритмами Международного ледового патруля (красные маркеры) и NIERSC (зеленые маркеры), наложенные на оптическое изображение. Последнее получено с интервалом в 6 часов относительно радиолокационного снимка от 6 июня 2019 года. Белые точки представляют собой айсберги на оптических данных. К моменту проведения исследования дрейфующий лед полностью растаял.



Многие из относительно небольших айсбергов, обнаруживаемых с помощью разработанного алгоритма и которые часто встречаются как в Арктике, так и в субполярных регионах, часто не обнаруживаются алгоритмом IIP. Разработанный быстрый вычислительный алгоритм автоматического обнаружения айсбергов увеличит безопасность навигации в высоких широтах.

Автоматический алгоритм распознавания классов ледяного покрова по радиолокационным данным с беспилотного летательного аппарата

(совместно с Научно-техническим центром экологии и мониторинга среды Московского физико-технического института (МФТИ))

Наталья Захваткина

Антон Волков

Валерий Цепелев

Всеволод Коляда

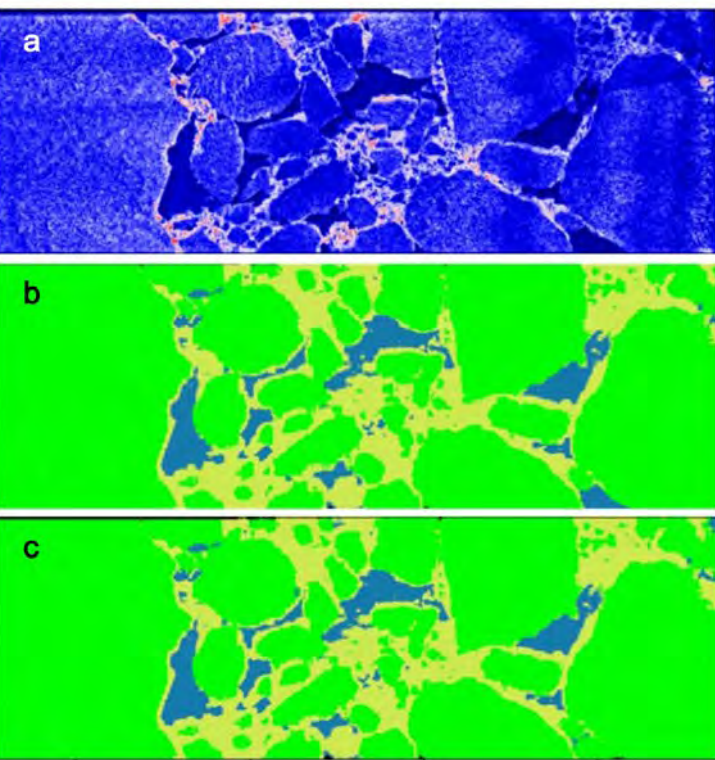
Денис Демчев

Никита Печеркин

Владимир Козлов

Игорь Башмачников

Оперативный мониторинг ледовой обстановки в Арктике имеет критическое значение для безопасного судоходства, особенно в условиях активизации использования Северного морского пути. Существующие спутниковые системы, несмотря на широкий охват, обладают ограниченной периодичностью съемки, что недостаточно для оперативного сопровождения судов. Данные радиолокационного зондирования с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) представляют собой перспективную альтернативу, обеспечивая высокое пространственное разрешение, гибкость и оперативность. Однако их использование сопряжено с проблемами радиометрических характеристик, артефактов съемки и ограниченной поляризационной информации, что затрудняет автоматическую классификацию. В работе представлен комплексный метод сегментации ледяного покрова по однополяризационным (VV) данным радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) X-диапазона, полученным с БПЛА в Обской губе Карского моря. Комбинация адаптивной фильтрации и семантической сегментации на базе модифицированной архитектуры нейронной сети Swin- Unet позволила компенсировать аппаратные ограничения и получить высокую эффективность в решении задачи автоматической сегментации зашумленных однополяризационных РСА-данных БПЛА (левый рисунок). Качество оценки по показателю F1-меры составило: 0.94 для класса «Лед», 0.93 для класса «Битый лед» и 0.79 для класса «Вода». Полученные результаты имеют практическую применимость при решении задач оперативной ледовой разведки на базе разработанного графического интерфейса программного комплекса.



Пример автоматической сегментации снимка БПЛА с помощью Swin- Unet: а) исходные данные; б) экспертная маска; в) результат сегментации (зеленый – припай и льдины, желтый – битый лед, синий – вода)

Российский атомный ледокол "Ямал", прокладывающий путь в Арктике. Фото: Sue Flood/Alamy (The Guardian, четверг, 15 января 2026 года).



См. публикации Нансен-центра на: [https:// www. niersc. spb. ru/ en/ research/publications/list-of-publications/](https://www.niersc.spb.ru/en/research/publications/list-of-publications/)



**Нансен-
центр**

Адрес: 14 линия 7, Васильевский остров,
199034 Санкт-Петербург, Россия

Телефон: +7 (812) 324 51 01

E-mail: adm@niersc.spb.ru

Сайт: <http://www.niersc.spb.ru>