

Обоснование
Материалы и
методы
Результаты
Выводы

Платонов Н. Г., Мордвинцев И. Н., Иванов Е. А.,
Рожнов В. В.

ИПЭЭ РАН

Исаченко А. И., Лазарева Р. Е.

Арктический научный центр

Многолетняя динамика ледовой обстановки в районе Земли Франца-Иосифа

«Земля Франца-Иосифа: 150 лет исследований»
Архангельск
03 октября 2023 г.



Акватория архипелага Земля Франца-Иосифа

- Соседство Баренцева и Карского морей и прилегающей части Северного Ледовитого океана
- Близость трансарктического течения обеспечивает импорт льда из различных районов Арктики
- Соседство шельфовой зоны и глубоководного бассейна

Морской лёд

- Биология – местообитания морских млекопитающих
- Климат – участник энергетических процессов «океан-атмосфера»
- Человек – транспорт, экосистемные услуги

Цель

Оценить изменчивость ледового покрова в местах обитания белых медведя, встречающихся на ЗФИ

Задачи

Количественные параметры:

- Коцентрация морского льда Арктики
- Число дней с открытой водой
- Протяженность кромки льда

Статистические характеристики:

- Межгодовая изменчивость
- Линейные тренды
- Точки сдвигов (change points)

Обоснование

Материалы и методы

Район исследований

Данные

Методы

Результаты

Выводы



Минимальный выпуклый многоугольник по всем локациям белых медведей, отловленных на ЗФИ весной 2021 г., расширенный на 300 км

Обоснование

Материалы и методы

Район исследований

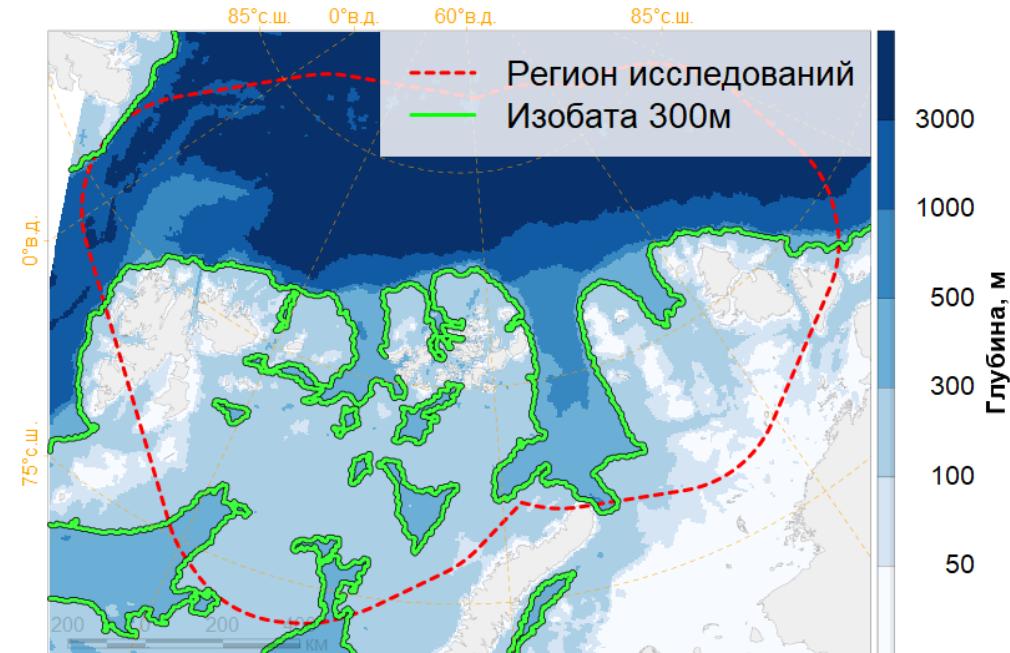
Данные

Методы

Результаты

Выводы

- Ежесуточные данные концентрации морского льда Арктики Nimbus-7 SMMR and DMSP SSM/I-SSMIS, алгоритм «Bootstrap» ([Comiso, 2017](#)). Размер ячейки (пикселя) 25 км. Период 1979 - 2022 гг.
- Ежесуточные данные концентрации морского льда Арктики AMSR-E and AMSR2 ([Spreen et al., 2008](#)), алгоритм «ASI» ([Melsheimer, 2019](#)). Размер ячейки (пикселя) 6.25 км. Период 2002 - 2023 гг.
- Данные GEBCO ([GEBCO Bathymetric Compilation Group, 2022](#)) по глубине моря ([Weatherall et al., 2015](#)).



Обоснование

Материалы и методы

Район исследований

Данные

Методы •

Результаты

Выводы

Среднемесячные значение

Осреднение для каждой ячейки (пикселя) ежесуточных данных.

Кромка льда

Суммарная протяженность изоплеты концентрации 15% внутри исследуемого региона.

Число дней с открытой водой

Период между 26 апреля предыдущего и 25 апреля текущего года.

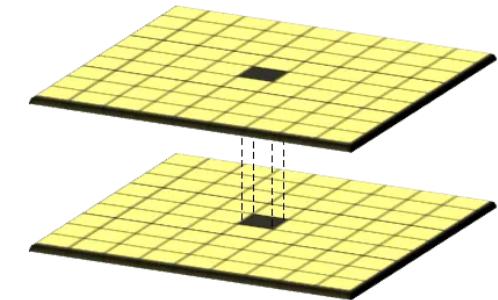
Сроки

- Период с 01 августа по 31 октября
- Дата летнего минимума протяженности ледяного покрова



Анализ временных рядов

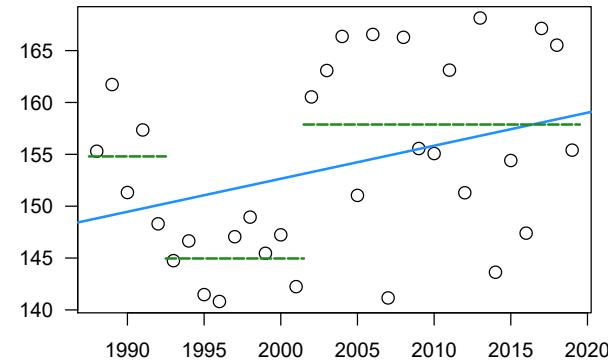
Локальная статистика
изображений – выборка
значений с одинаковой
географической локацией и
формирование матрицы
характеристики (изображения)



(Источник картинки)

Точки сдвигов

Поиск структурных изменений
методом непараметрической
сегментации ([Lavielle, 1999](#)),
([Lavielle, 2005](#)) по отличию
среднего, дисперсии и
среднегодисперсии.



Обоснование

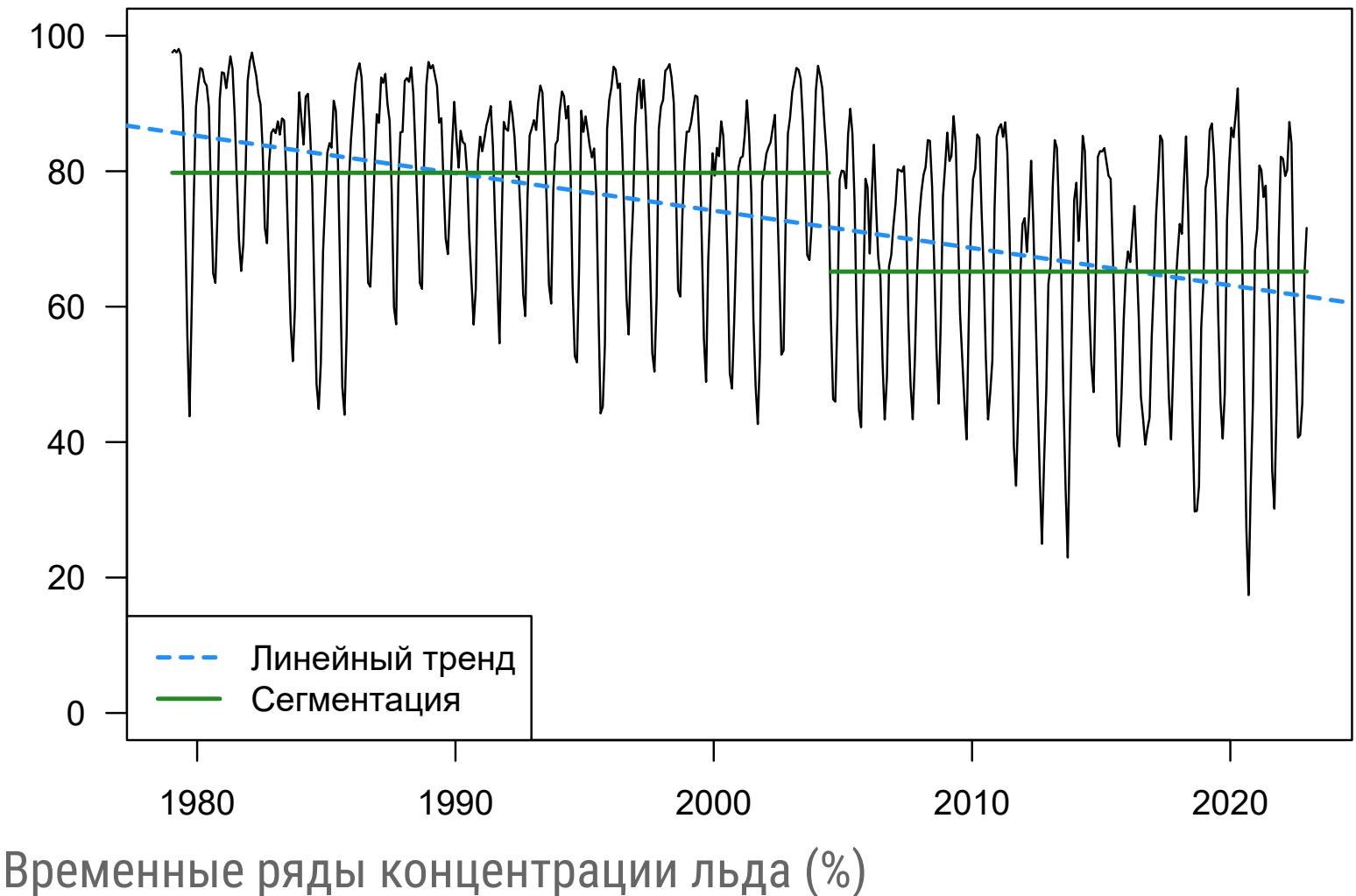
Материалы и методы

Результаты

Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой
Кромка льда

Выводы



Обоснование

Материалы и методы

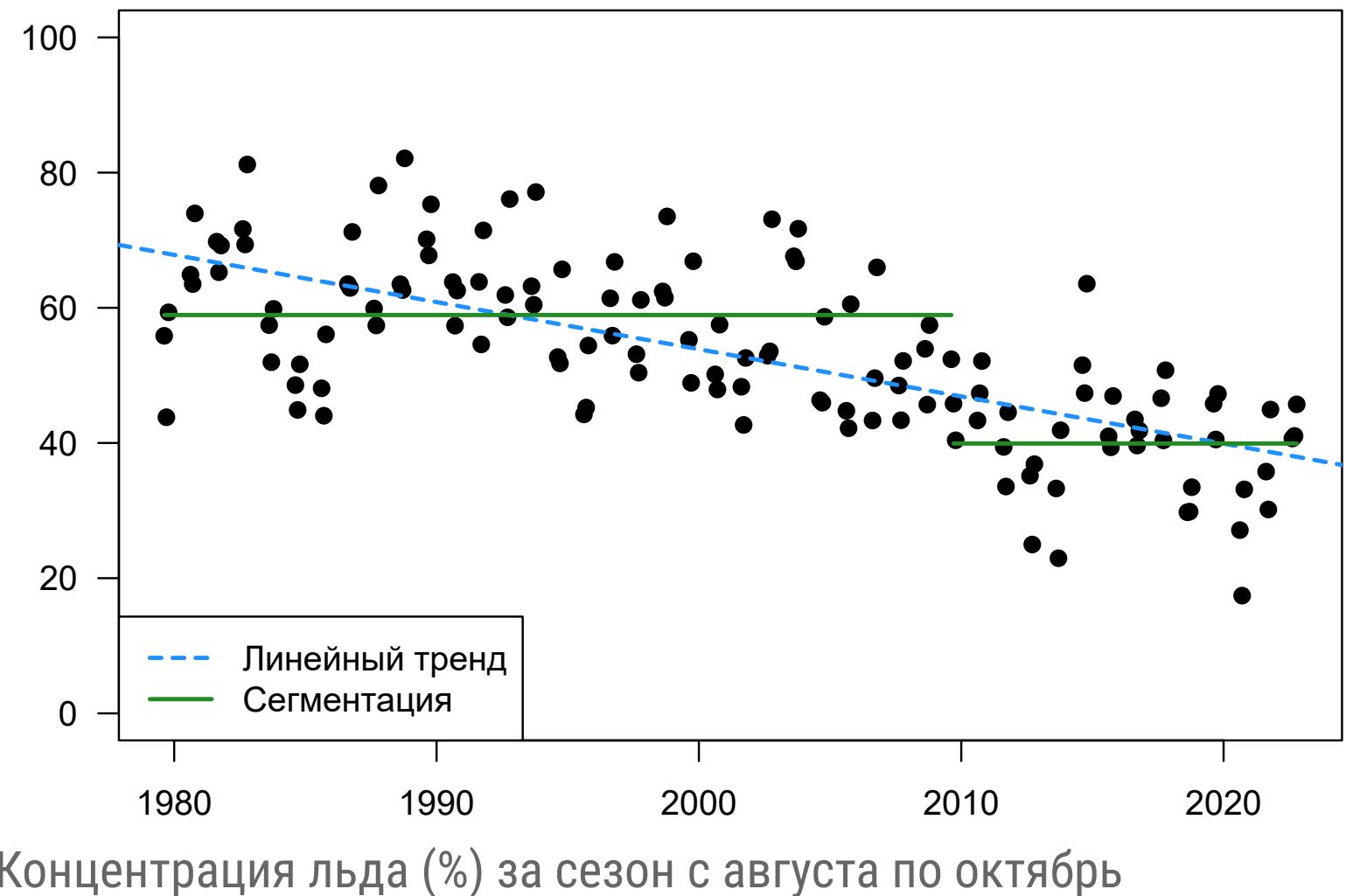
Результаты

Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

Кромка льда

Выводы



Период	Длина	Среднее, %	Медиана, %	СКО, %
1979-08-15 - 2009-08-15	91	58.9	58.7	10.0
2009-09-15 - 2022-10-15	41	39.9	40.7	8.8

Обоснование

Материалы и методы

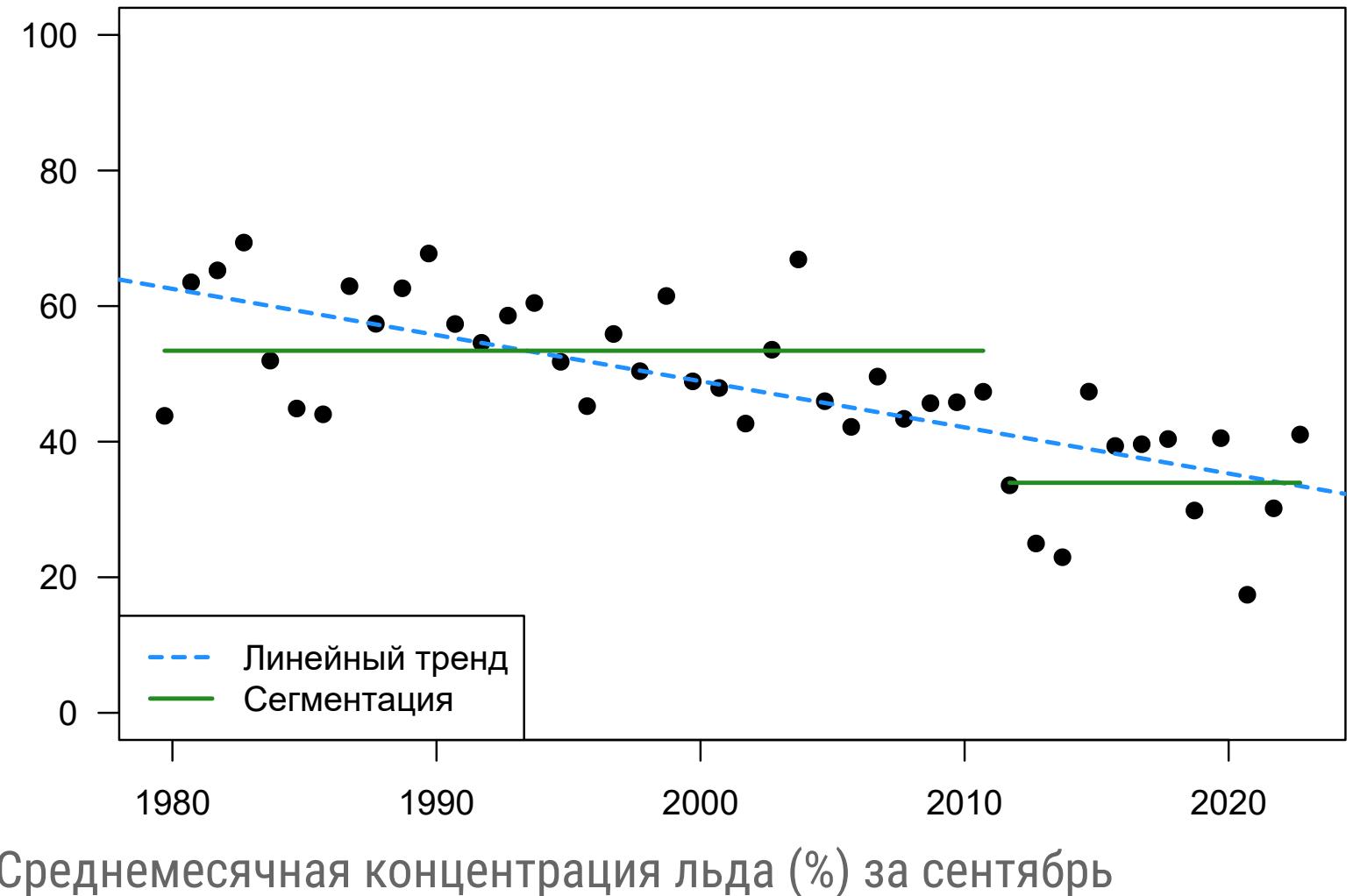
Результаты

Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

Кромка льда

Выводы



Период	Длина	Среднее, %	Медиана, %	СКО, %
1979-09-15 - 2010-09-15	32	53.4	51.9	8.4
2011-09-15 - 2022-09-15	12	33.9	36.5	9.0

Обоснование

Материалы и методы

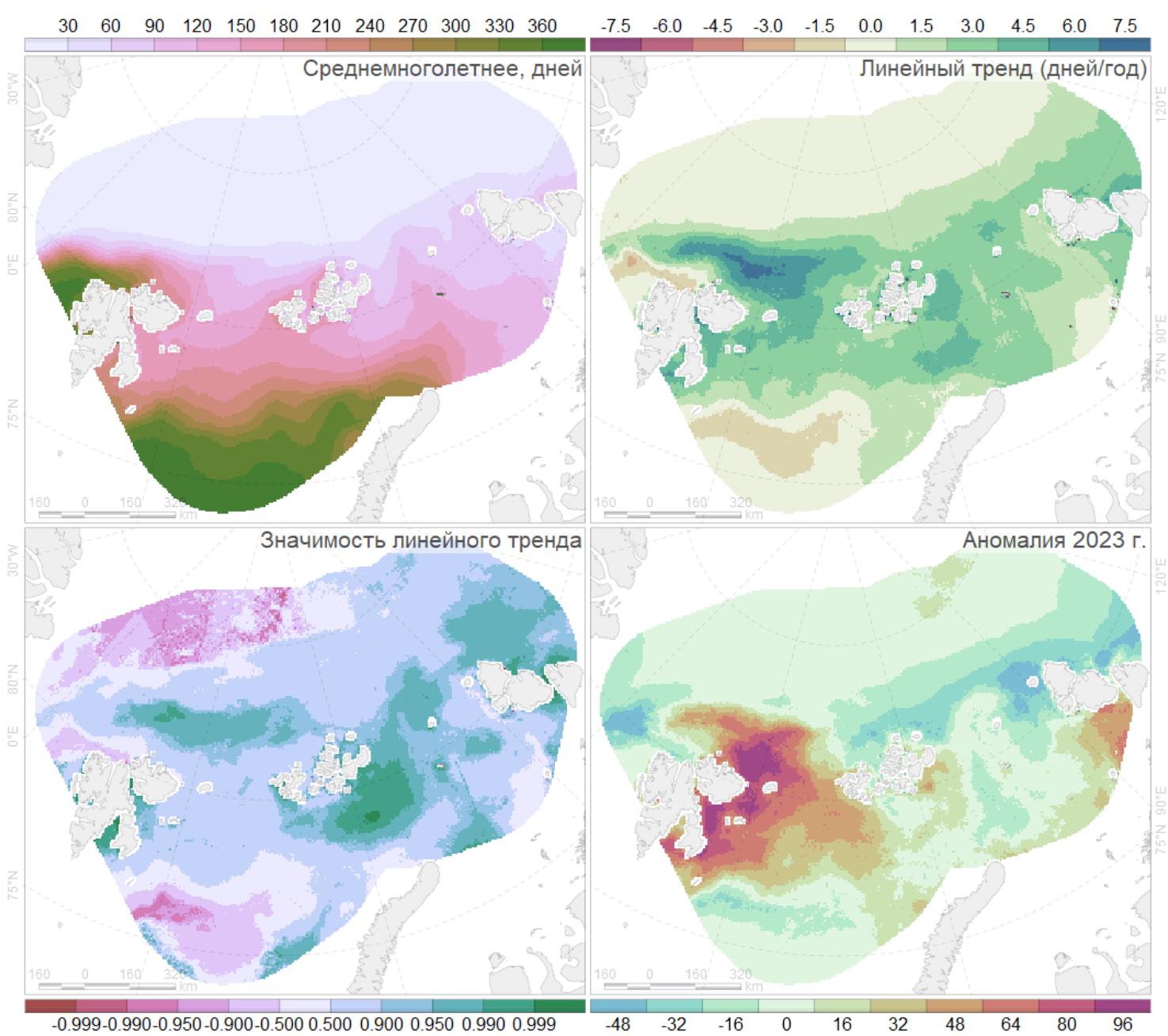
Результаты

Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой



Кромка льда
Выводы



Обоснование

Материалы и методы

Результаты

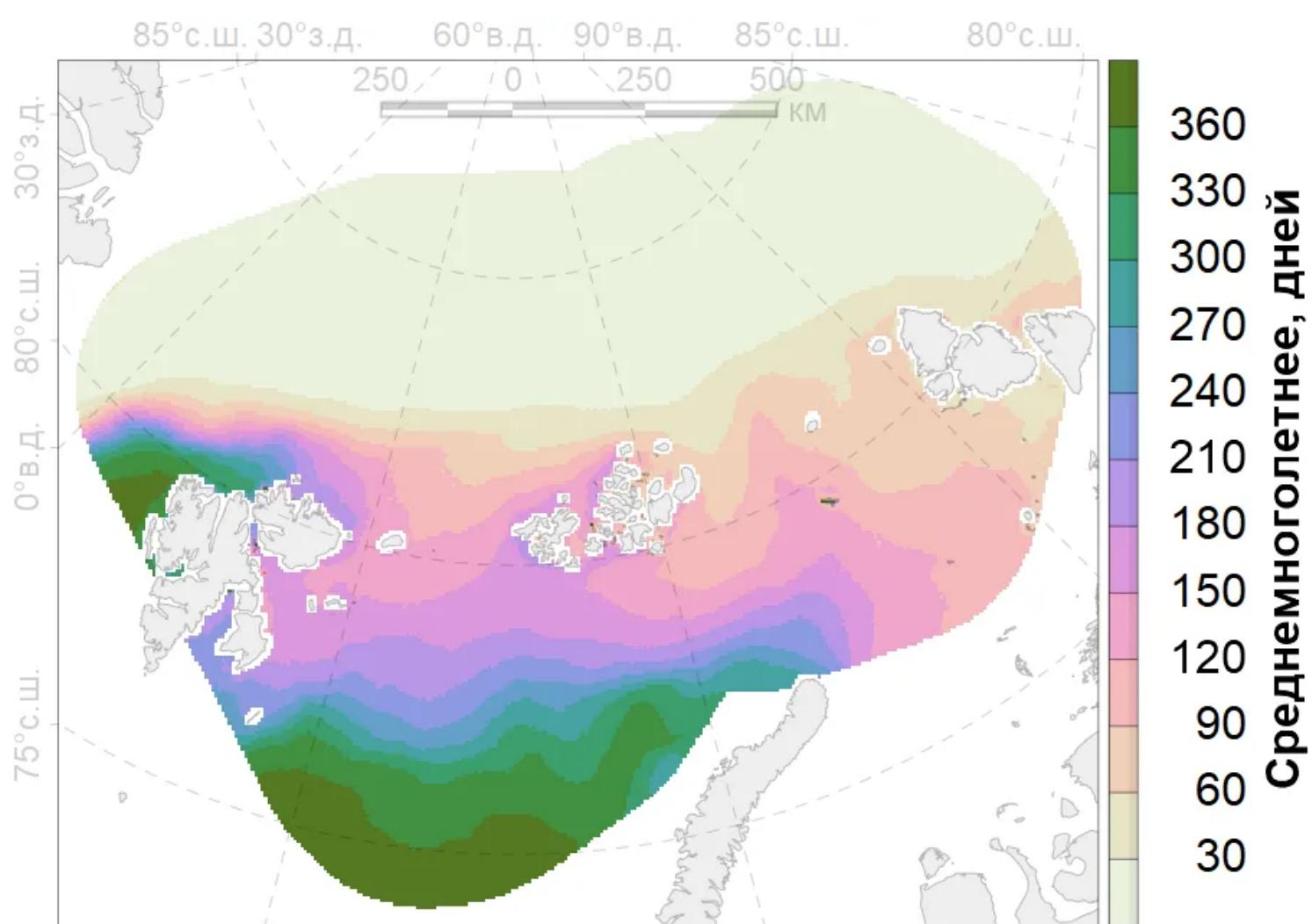
Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

.....

Кромка льда

Выводы



Обоснование

Материалы и методы

Результаты

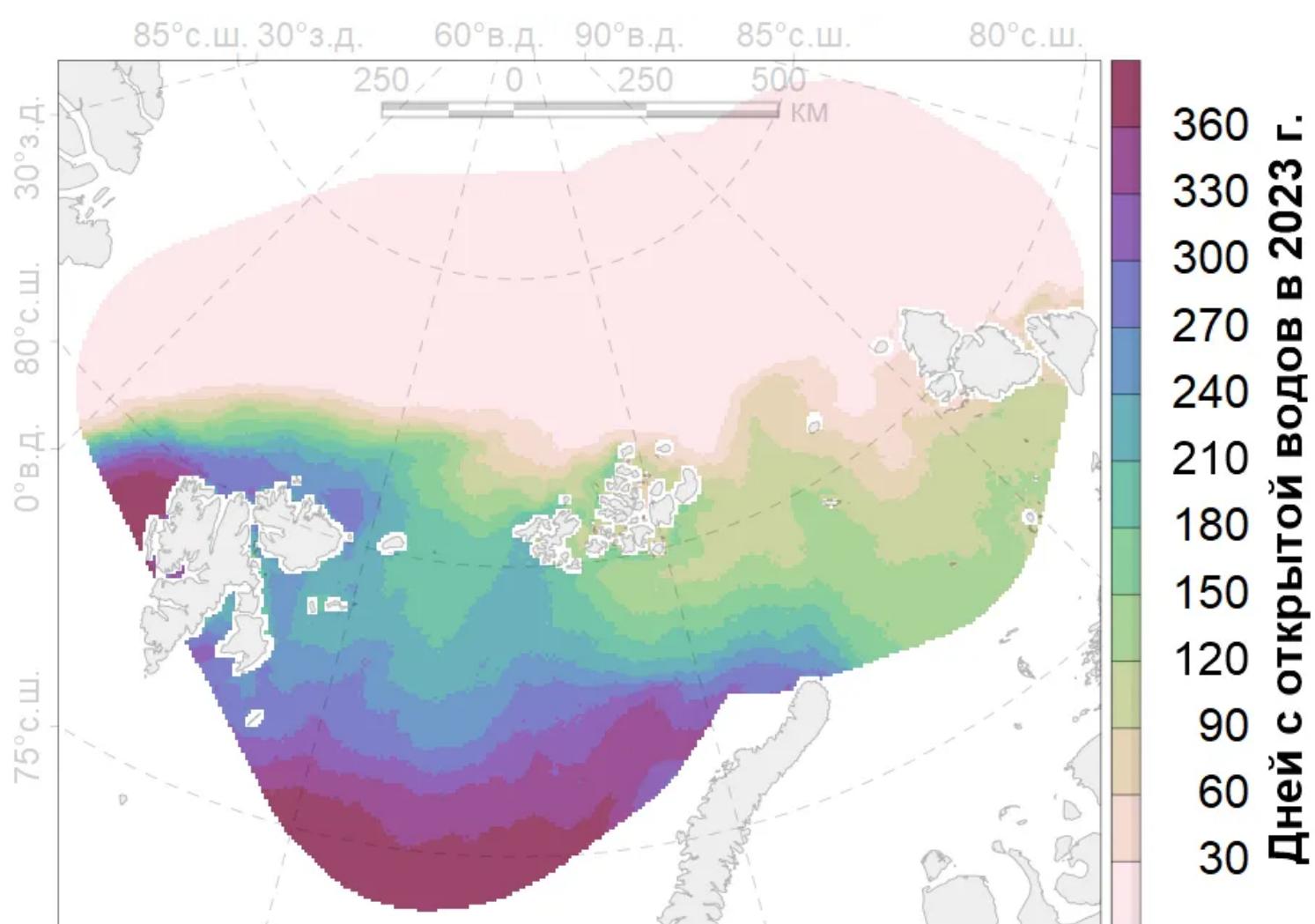
Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

.....

Кромка льда

Выводы



Район	Дней с открытой водой	Квартили, дней
Шельфовая зона	205.2	117, 217, 292
Глубоководный бассейн	55.3	0, 0, 83

Обоснование Материалы и методы

Результаты

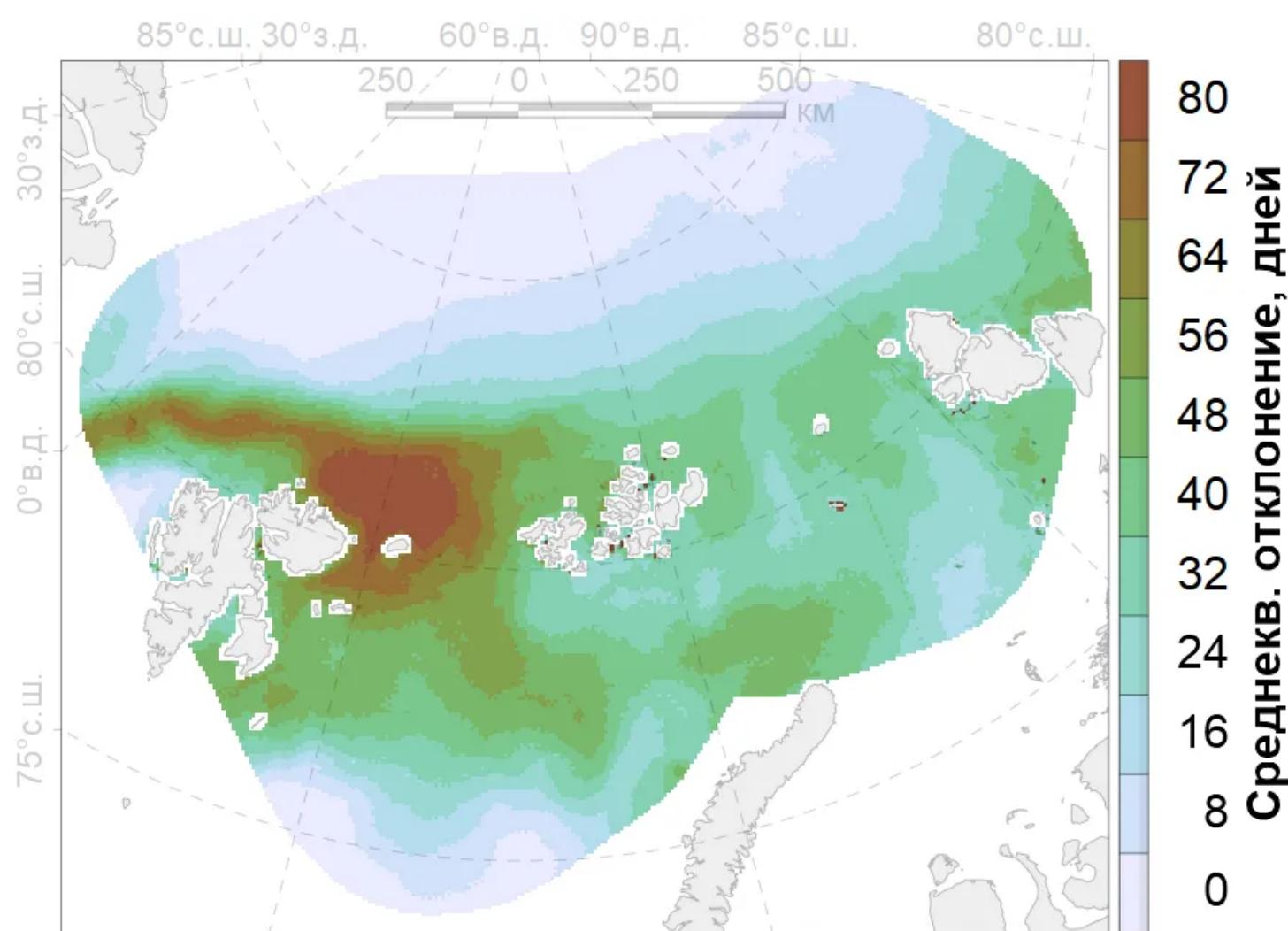
Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

.....

Кромка льда

Выводы



Обоснование Материалы и методы

Результаты

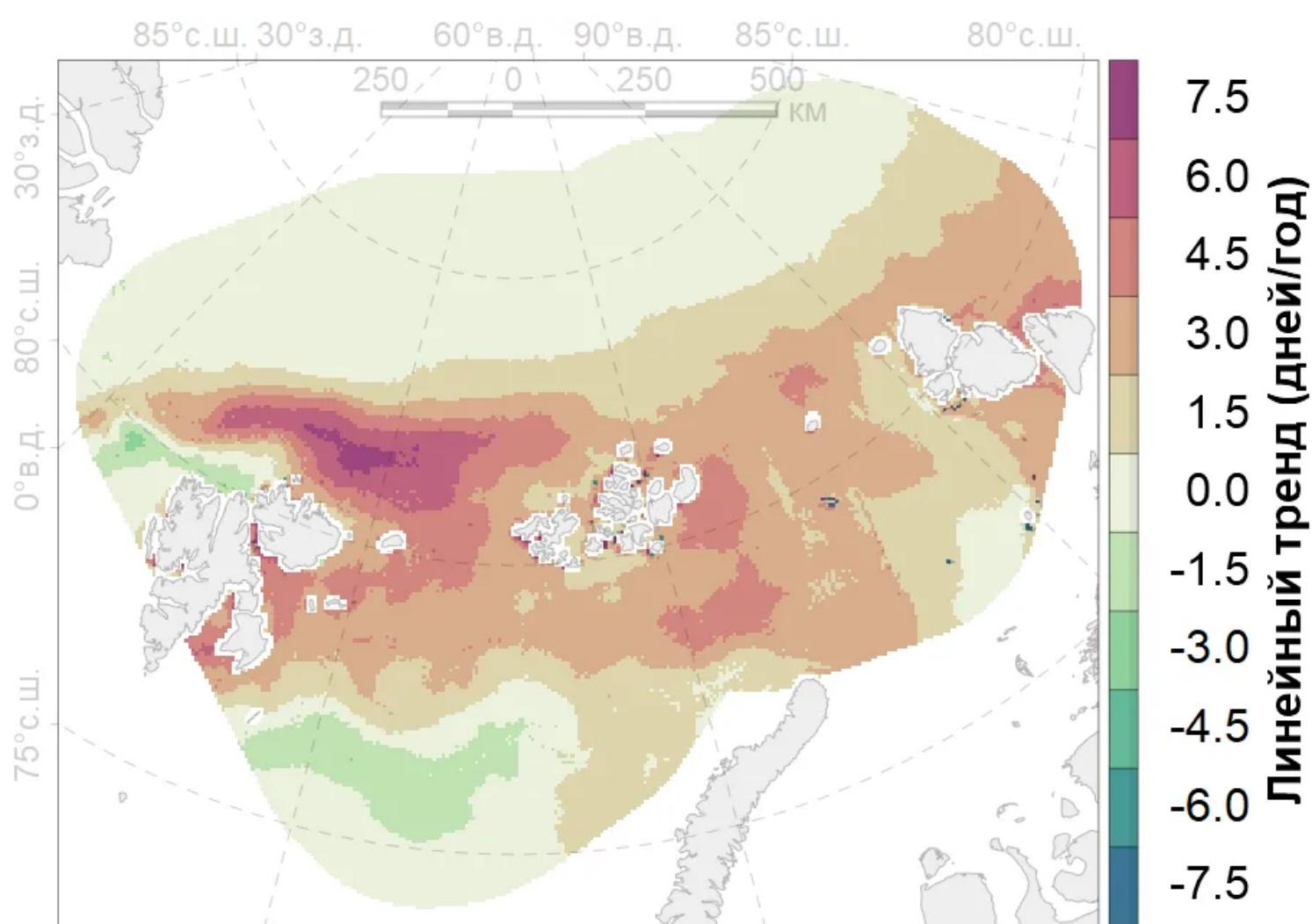
Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

.....

Кромка льда

Выводы



Обоснование

Материалы и методы

Результаты

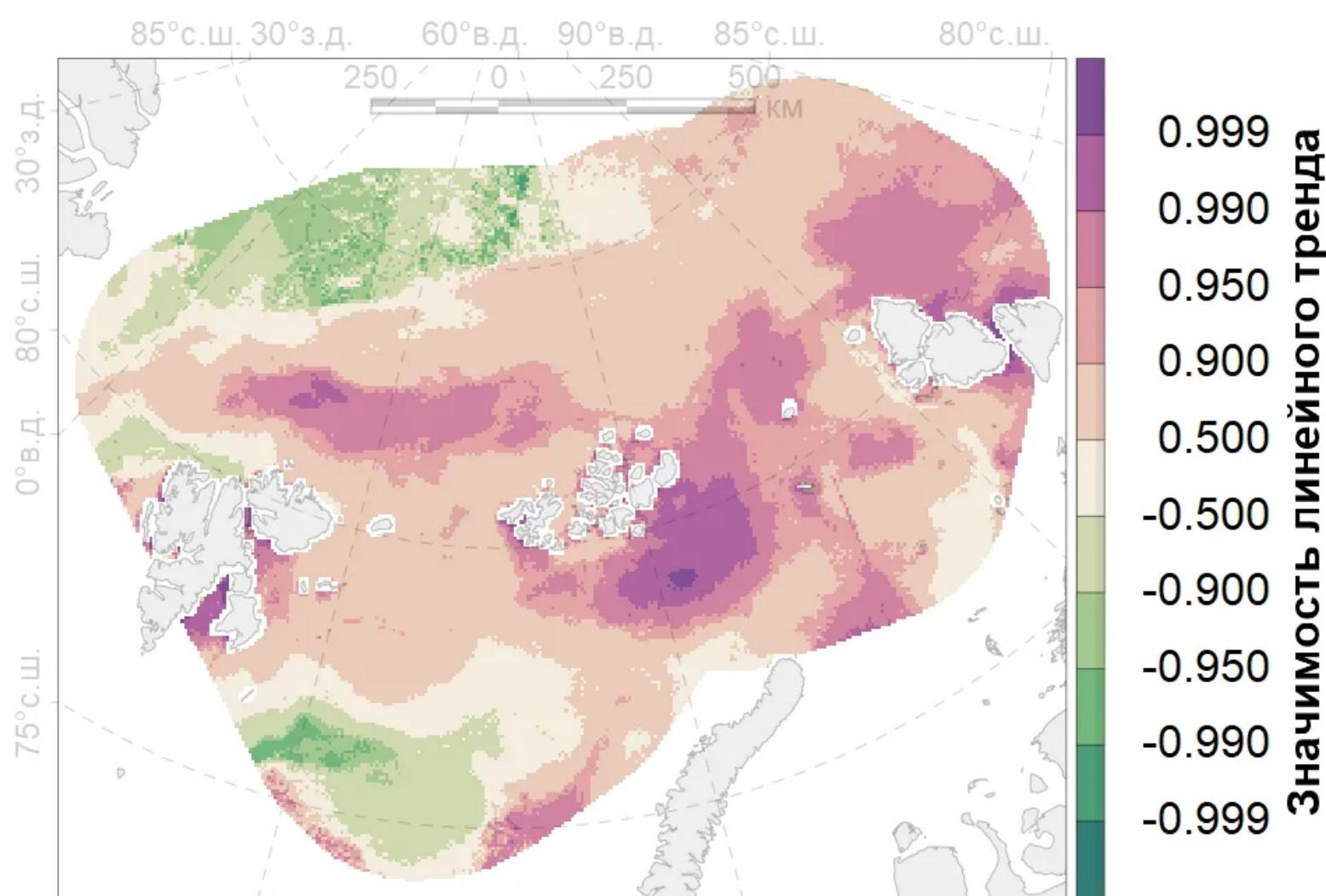
Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

.....

Кромка льда

Выводы



Обоснование

Материалы и методы

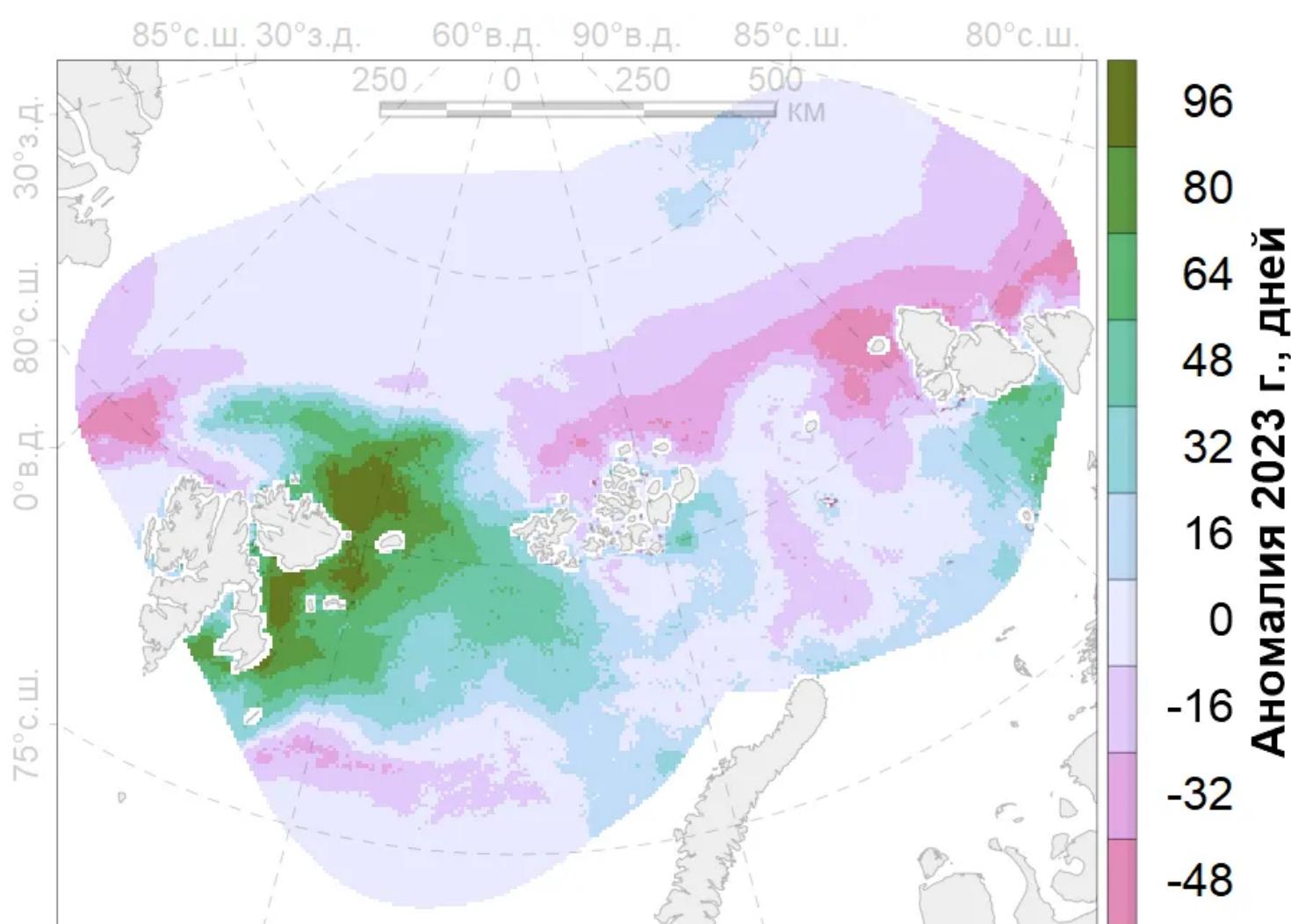
Результаты

Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

.....

Кромка льда
Выводы



Обоснование

Материалы и методы

Результаты

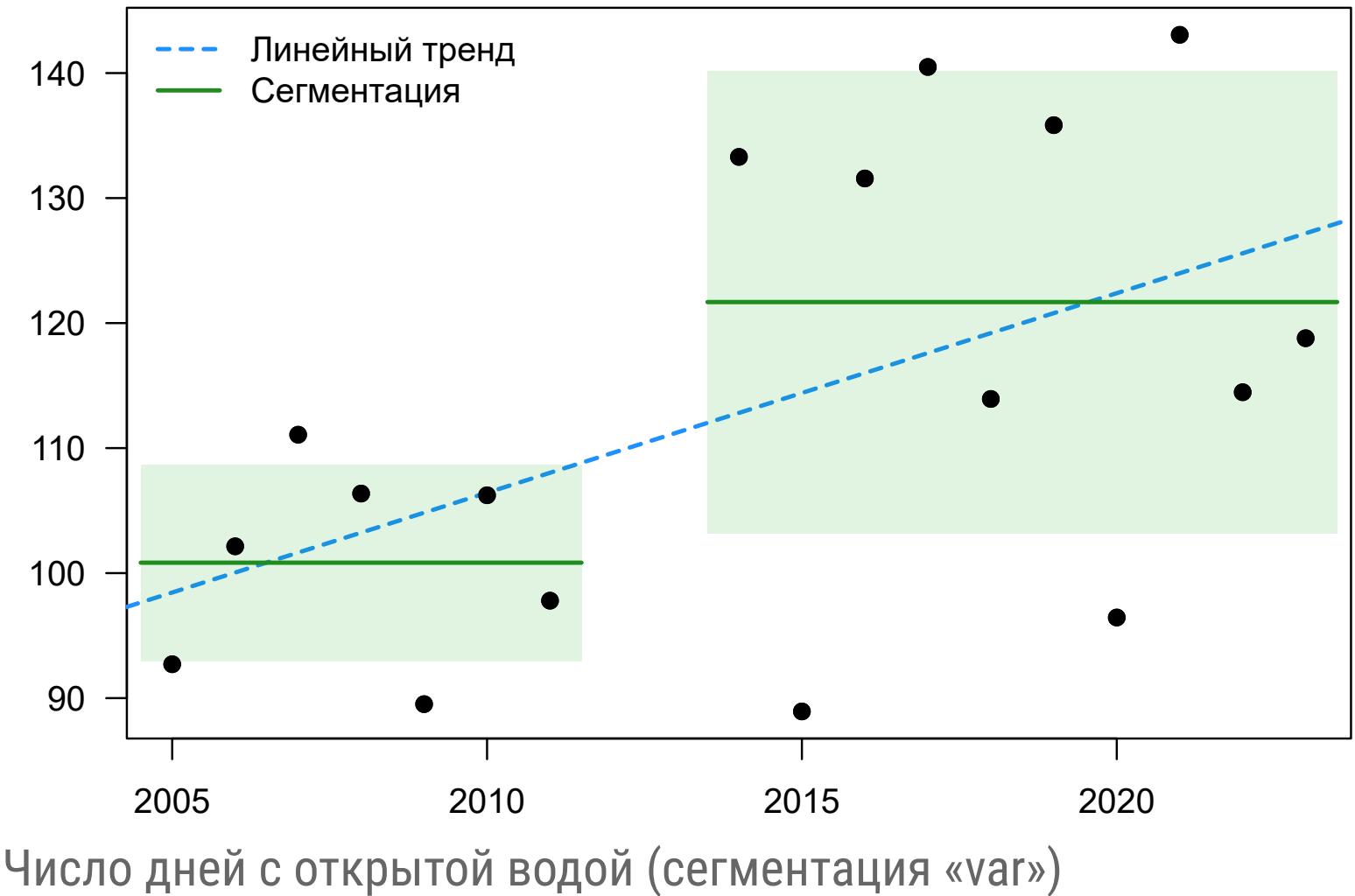
Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

.....

Кромка льда

Выводы



Число дней с открытой водой (сегментация «var»)

Период	Длина	Среднее, дней	Медиана, дней	СКО, дней
2005 - 2011	7	100.8	102.1	7.8
2014 - 2023	10	121.7	125.2	18.5

Обоснование

Материалы и методы

Результаты

Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

.....

Кромка льда

Выводы

Среднемноголетний процент доступной акватории с продолжительностью безледового периода

	Шельф. зона (43.9%)	Глубоковод. басс. (56.1%)
Менее 30 дней	0	65
Менее 60 дней	6	73
Менее 90 дней	19	78
Менее 120 дней	33	82
Менее 150 дней	45	86
Менее 180 дней	56	90
Менее 210 дней	63	91
Менее 240 дней	69	93
Менее 270 дней	73	94
Менее 300 дней	78	95
Менее 330 дней	84	96
Менее 360 дней	92	98

Обоснование

Материалы и методы

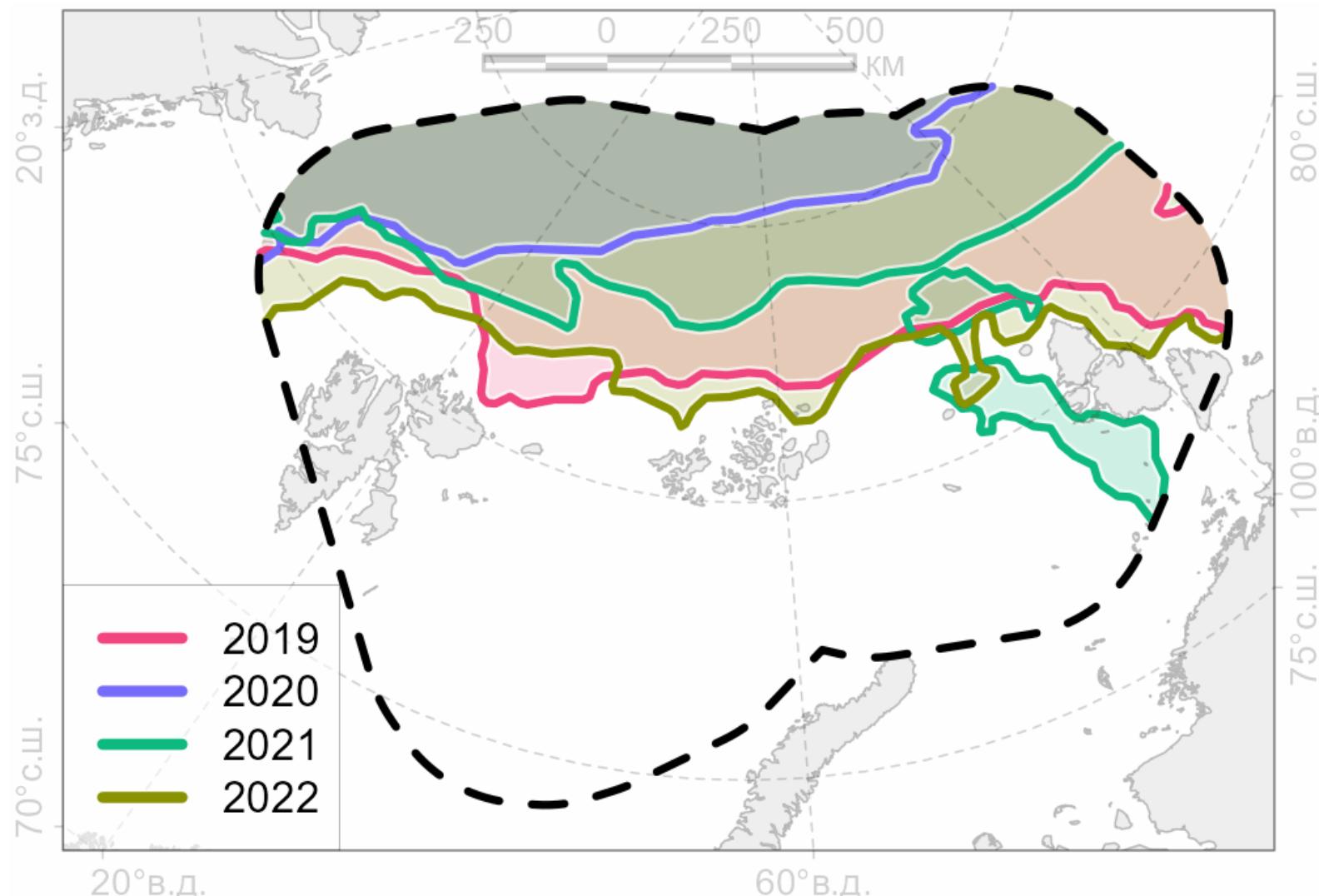
Результаты

Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

Кромка льда •••••

Выводы



Суммарная протяженность кромки льда основных ледяных полей на дату летнего минимума для отдельных лет наблюдений

Обоснование Материалы и методы

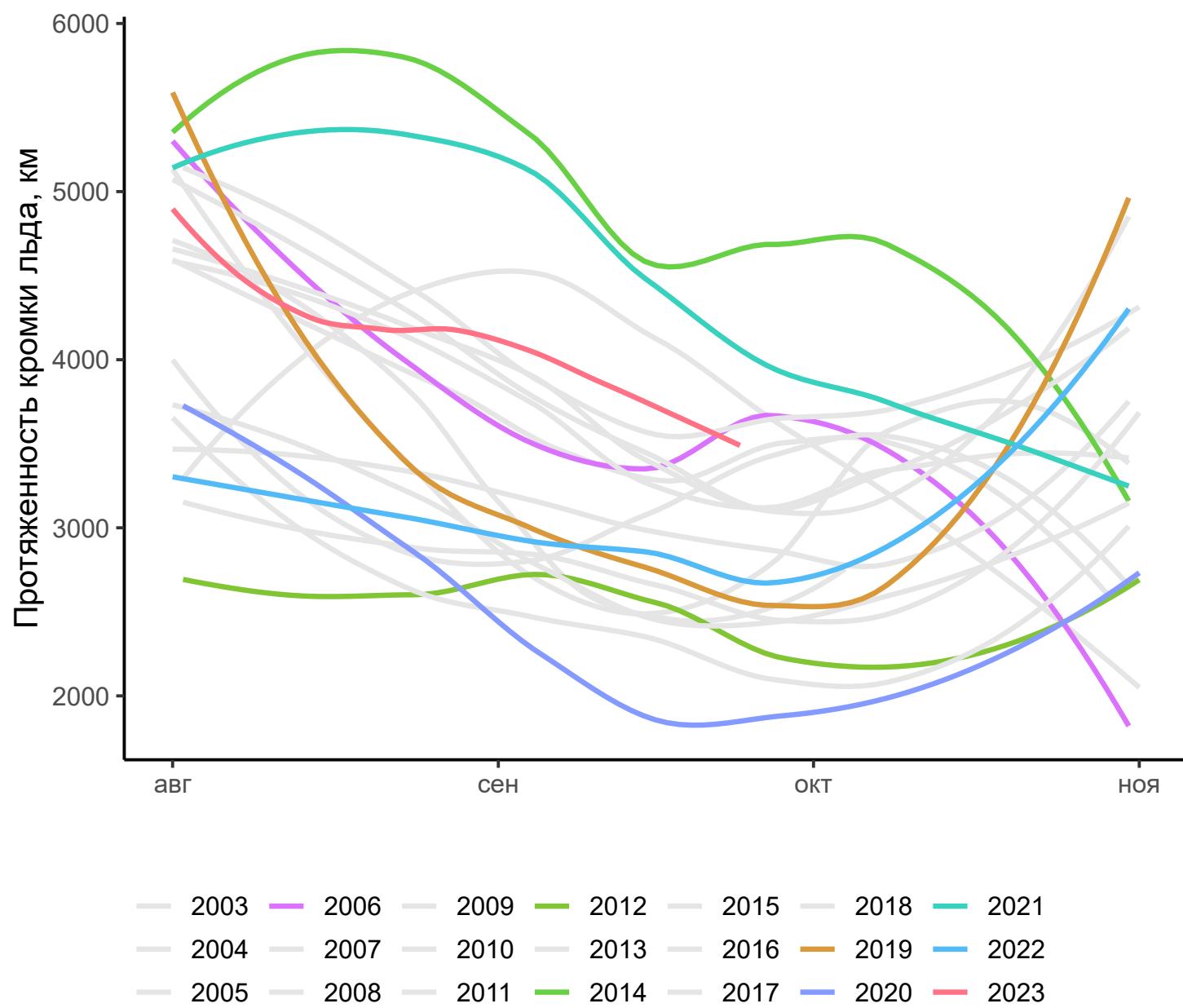
Результаты

Среднемесячная
концентрация
льда

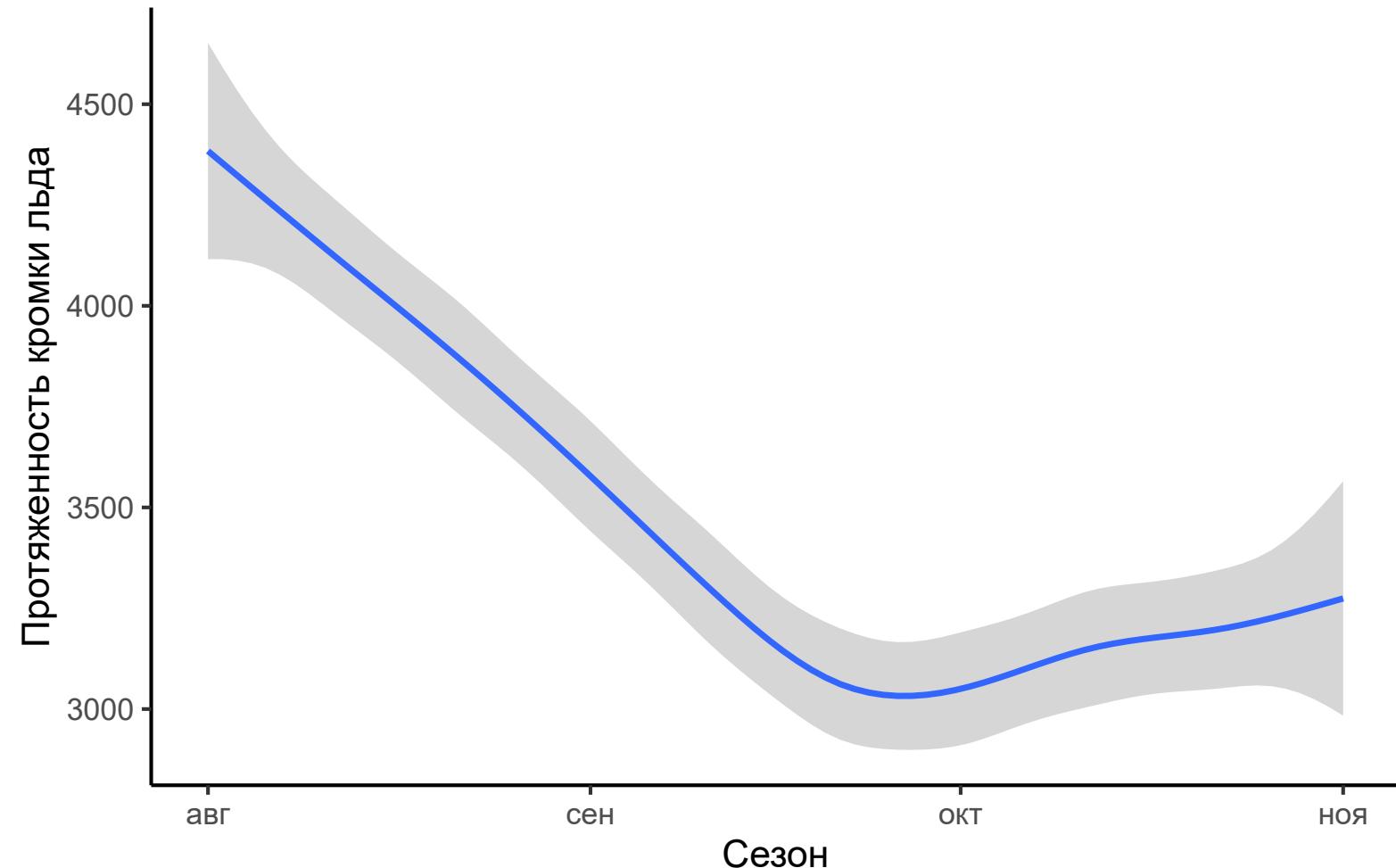
Число дней с
открытой водой

Кромка льда •••••

Выводы



Обоснование Материалы и методы **Результаты** Среднемесячная концентрация льда Число дней с открытой водой Кромка льда ... Выводы



Обоснование

Материалы и методы

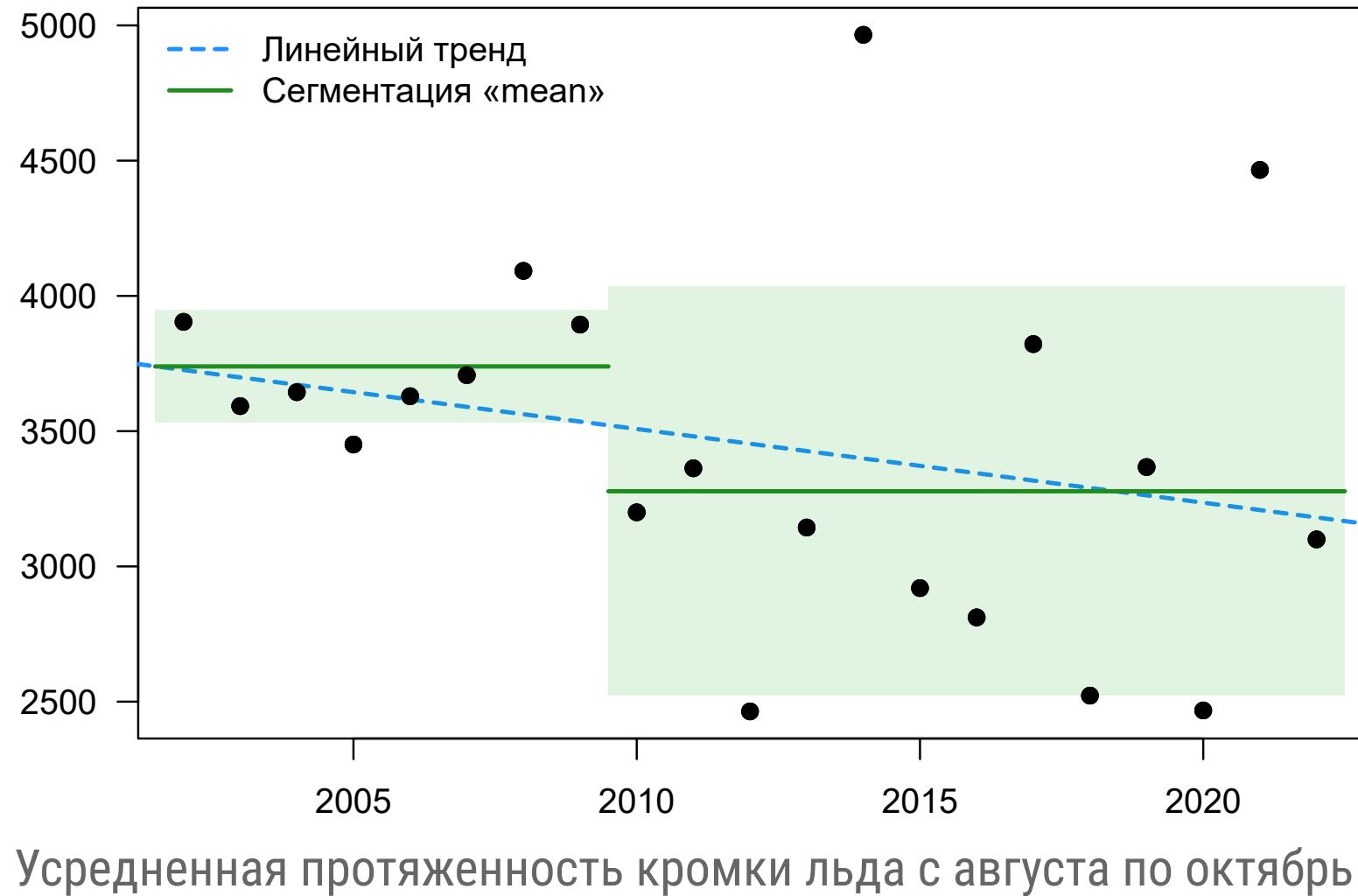
Результаты

Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

Кромка льда

Выводы



Обоснование

Материалы и методы

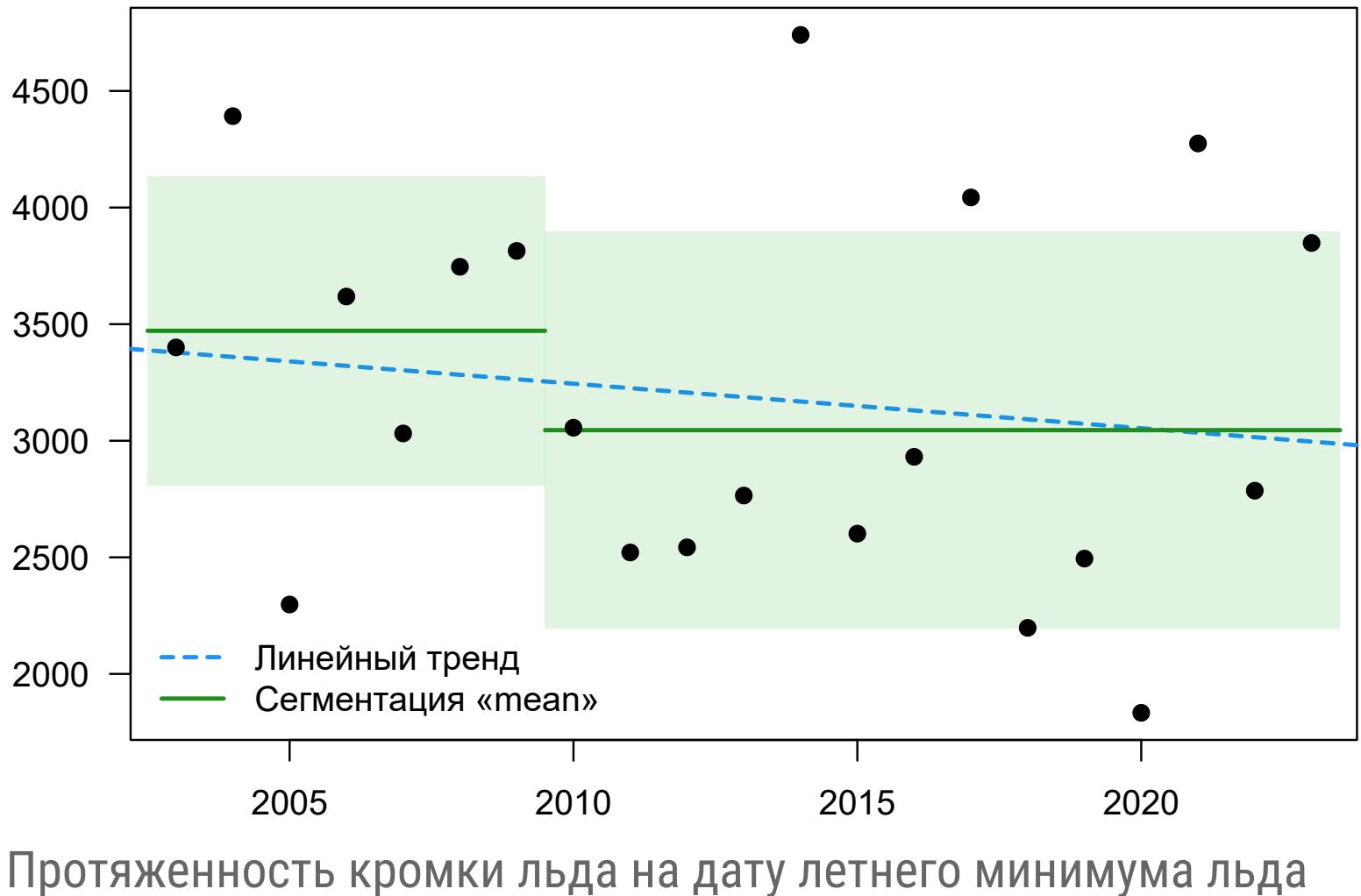
Результаты

Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

Кромка льда

Выводы



Обоснование

Материалы и методы

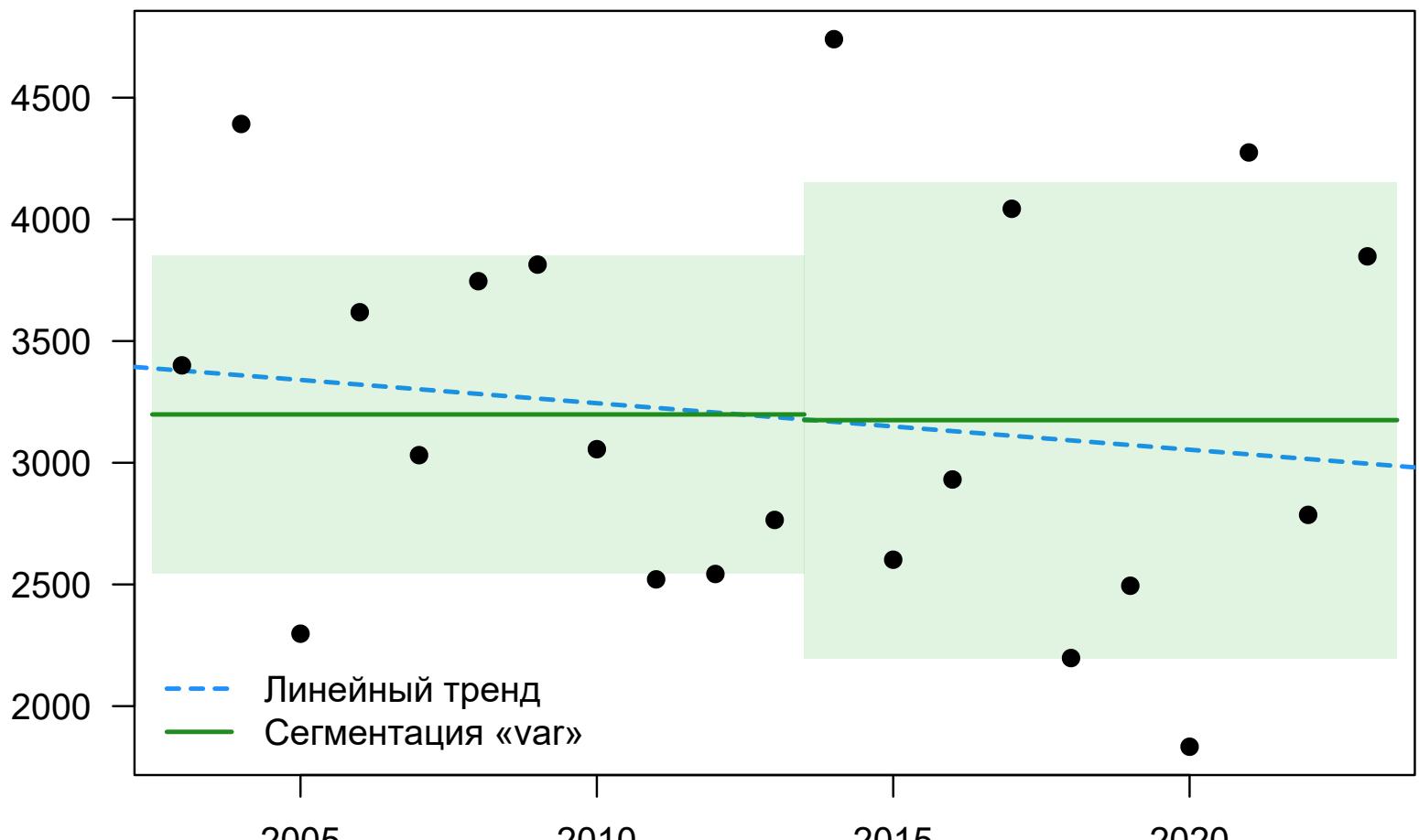
Результаты

Среднемесячная концентрация льда

Число дней с открытой водой

Кромка льда

Выводы



Протяженность кромки льда на дату летнего минимума льда

Обоснование

Материалы и методы

Результаты

Выводы

- С июля 2004 г. среднемесячная концентрация льда в исследуемом регионе упала с 80% до 65%.
- Среднемесячная сентябрьская концентрации льда уменьшилась с 53% до 34% после 2010 г.
- Продолжительность сезона безо льда в исследуемом регионе составляет 113 ± 18 дней с линейным трендом $+1.6 \pm 0.7$ дней год $^{-1}$ (статистическая значимость 96.9%). Начиная с 2014 г. сезон с открытой водой увеличился на три недели, а межгодовая изменчивость возросла более чем в два раза.
- Две пятых акватории исследуемого региона относится к шельфовой зоне, треть которой освобождается ото льда менее чем на 120 дней
- Протяженность летней кромки льда отличается высокой изменчивостью, особенно после 2013 г., без значительной тенденции к уменьшению.



Обоснование
Материалы и
методы
Результаты
Выводы

Благодарности

- ПАО «НК «Роснефть»
- Русское географическое общество
- Национальный парк «Русская Арктика»



Обоснование

Материалы и

методы

Результаты

Выводы

- Comiso, J. C. (2017). *Bootstrap Sea Ice Concentrations from Nimbus-7 SMMR and DMSP SSM/I-SSMIS, Version 3*. Boulder, Colorado USA. DOI: 10.5067/7Q8HCCWS4I0R. URL: <https://nsidc.org/data/nsidc-0079/versions/3>.
- GEBCO Bathymetric Compilation Group (2022). *The GEBCO_2022 Grid - a continuous terrain model of the global oceans and land*. En. DOI: 10.5285/E0F0BB80-AB44-2739-E053-6C86ABC0289C. URL: https://www.bodc.ac.uk/data/published_data_library/catalogue/10.5285/e0f0bb80-ab44-2739-e053-6c86abc0289c/ (visited on ноя. 16, 2022).
- Lavielle, M. (1999). "Detection of multiple changes in a sequence of dependent variables".
10.1016/S0304-4149(99)00023-X. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030441499900023X>.
- Lavielle, M. (2005). "Using penalized contrasts for the change-point problem". In: *Signal Processing* 85.8, pp. 1501-1510. DOI: 10.1016/j.sigpro.2005.01.012.
- Melsheimer, C. (2019). *ASI Version 5 Sea Ice Concentration User Guide*. Version V0.9.2. URL: https://seoice.unibremen.de/fileadmin/user_upload/ASluserguide.pdf (visited on май. 11, 2022).
- Spreen, G., L. Kaleschke, and G. Heygster (2008). "Sea ice remote sensing using AMSR-E 89-GHz channels". In: *Journal of Geophysical Research: Oceans* 113.C2. C02S03. ISSN: 2156-2202. DOI: 10.1029/2005JC003384.
- Weatherall, P., K. M. Marks, M. Jakobsson, T. Schmitt, S. Tani, J. E. Arndt, M. Rovere, D. Chayes, V. Ferrini, and R. Wigley (2015). "A new digital bathymetric model of the world's oceans". In: *Earth and Space Science* 2.8. 2015EA000107, pp. 331-345. ISSN: 2333-5084. DOI: 10.1002/2015EA000107.