

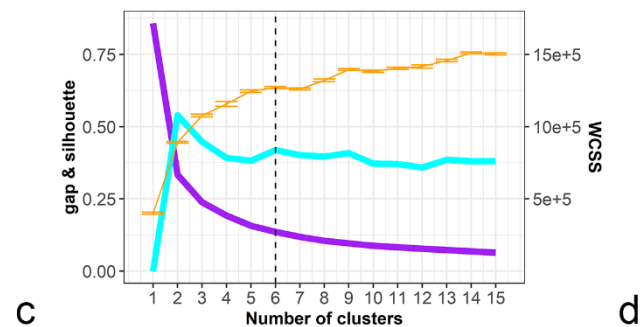
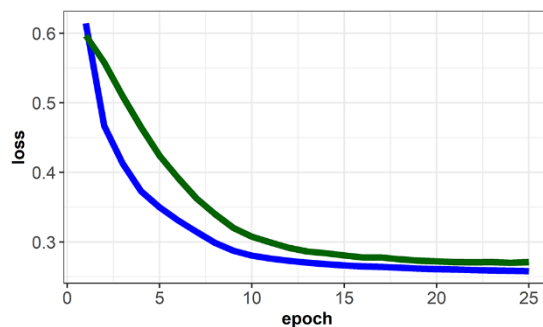
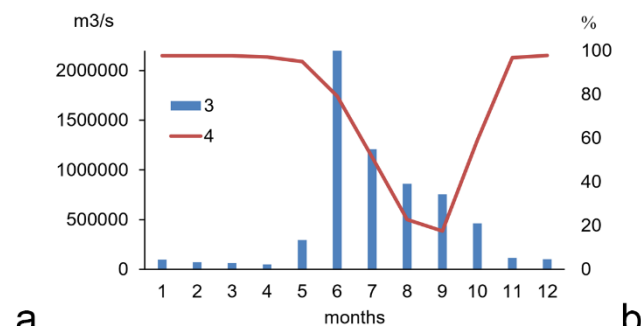
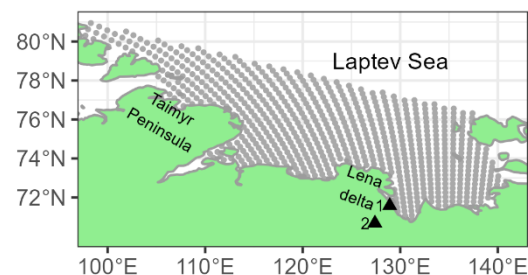
Пути сезонного отступления морского льда в море Лаптевых

Е.А. Черенкова, В.А. Семенов

Институт географии РАН
Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН

Данные и методы

- Нейросетевое понижение размерности и кластеризация



5 535 суточных карт

Суточные поля сплоченности льда (SIC) на сетке из 768 узлов за 1981–2024 гг.

Автоэнкодер (8D)

Сжатие пространства до 8 латентных факторов с сохранением нелинейных связей.

K-Means (k = 6)

Выделение 6 устойчивых физических режимов таяния (оценка Gap Statistic).

РЕЗУЛЬТАТЫ КЛАССИФИКАЦИИ

Шесть повторяющихся режимов ледового покрова

Кластер 1 30.0% дней

Сплошной лед

Средняя сплоченность: 96.2%

Кластер 4 5.4% дней

Юго-восточная вода

Средняя сплоченность: 33.0%

Кластер 2 14.8% дней

Начало таяния у Лены

Средняя сплоченность: 74.7%

Кластер 5 13.5% дней

Лед на севере моря

Средняя сплоченность: 22.3%

Кластер 3 19.9% дней

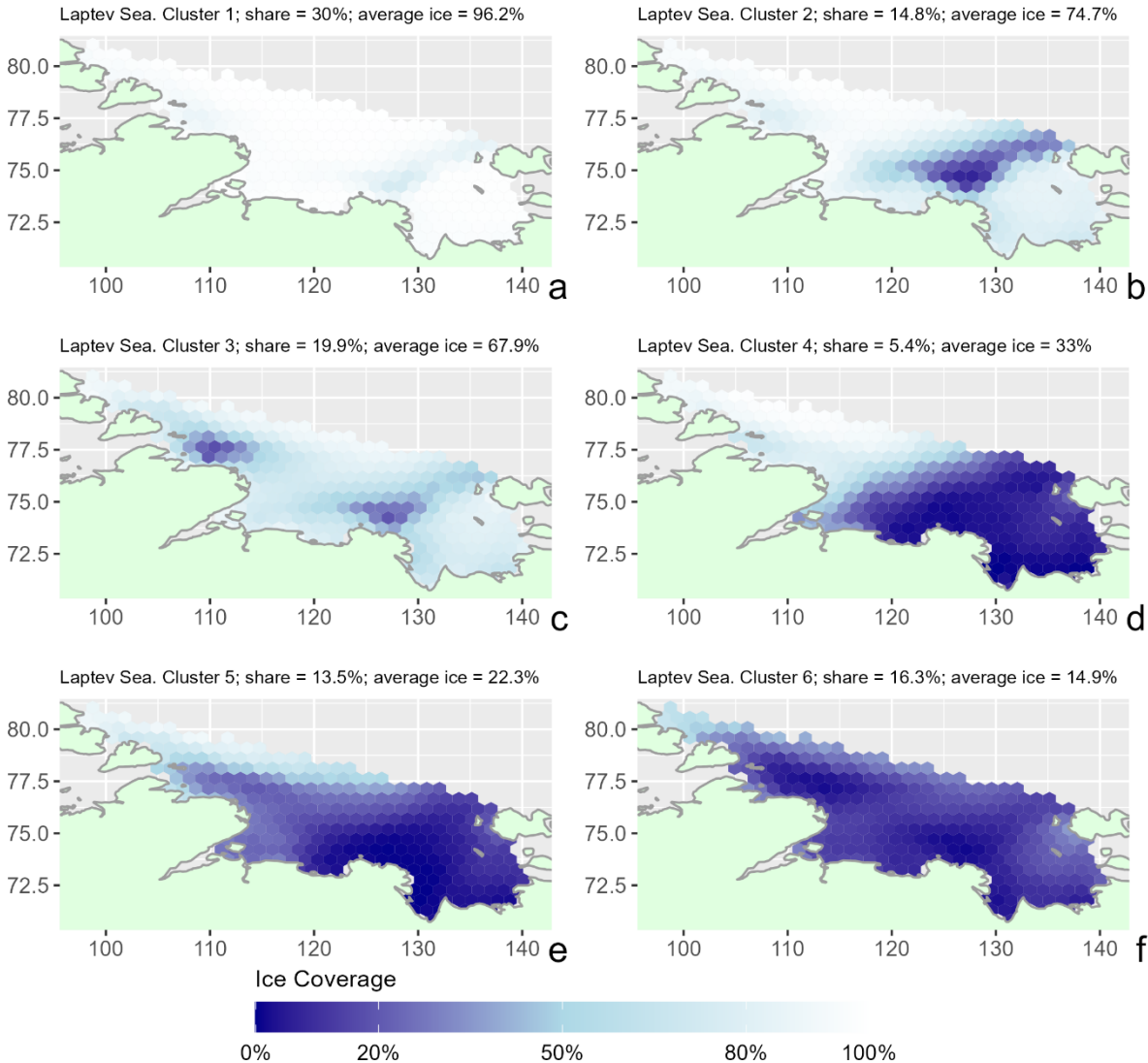
Двухзональное таяние

Очаги у Лены и Таймыра (67.9%)

Кластер 6 16.3% дней

Полное очищение

Средняя сплоченность: 14.9%



Главные тренды: Длительность Кластера 1 снижается на **-5.6 дн/декаду**, а суммарная длительность открытых состояний (5+6) растет на **+6.0 дн/декаду**.

РЕЖИМЫ ТАЯНИЯ МОРСКОГО ЛЬДА

Два сценария начала отступления льда

Сценарий А

Кластер 2

Локальное очищение у дельты Лены

- Зона пониженной сплоченности вытягивается на северо-восток от дельты
- В районе Таймыра сохраняется плотный ледяной покров
- **Тенденция:** Доминировал до 2010-х гг. (сокращение на -3.9 дн/декаду)

Сценарий В

Кластер 3

Кластер 3

Синхронное очищение у Лены и Таймыра

- Одновременное открытие полыней у дельты и к северо-востоку от Таймыра
- Формирование двух независимых очагов начального таяния
- **Тенденция:** Доминирует после 2010 г. (рост на +3.5 дн/декаду)

Межгодовой сдвиг: С начала 2010-х годов наблюдается устойчивый переход от Сценария А к Сценарию В, что ускоряет сезонное освобождение акватории моря Лаптевых ото льда.

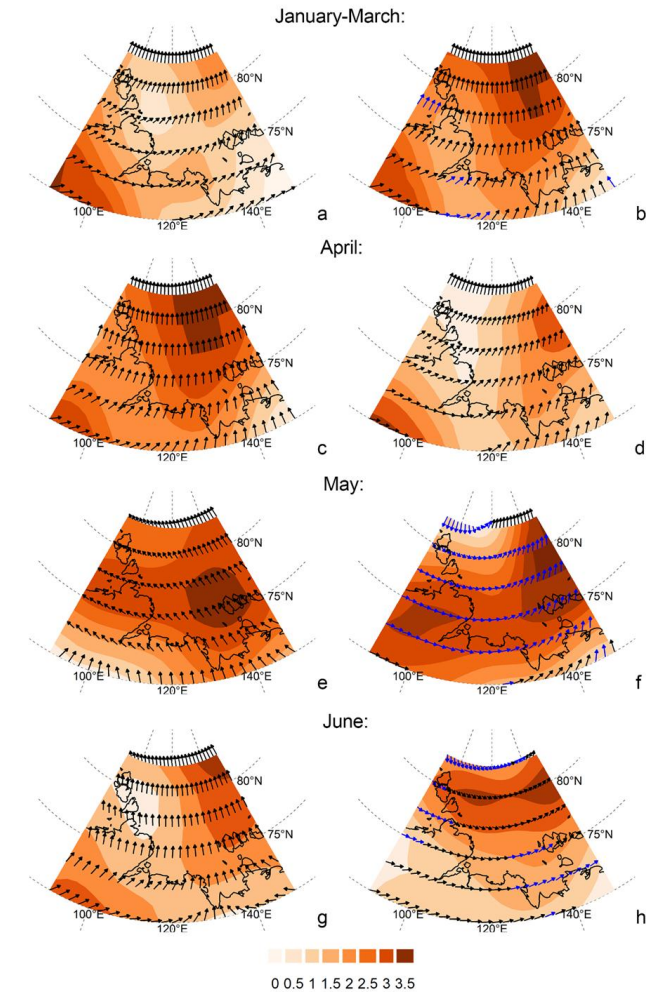
РОЛЬ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Циркуляционные драйверы смены сценариев

Различие ветрового режима в мае

Сценарий А: Преобладание южных и юго-восточных ветров. Меридиональный перенос теплого воздуха с континента.

Сценарий В: Усиление западных ветров в мае. Дивергенция льда у п-ова Таймыр и взлом тонкого ледяного покрова.



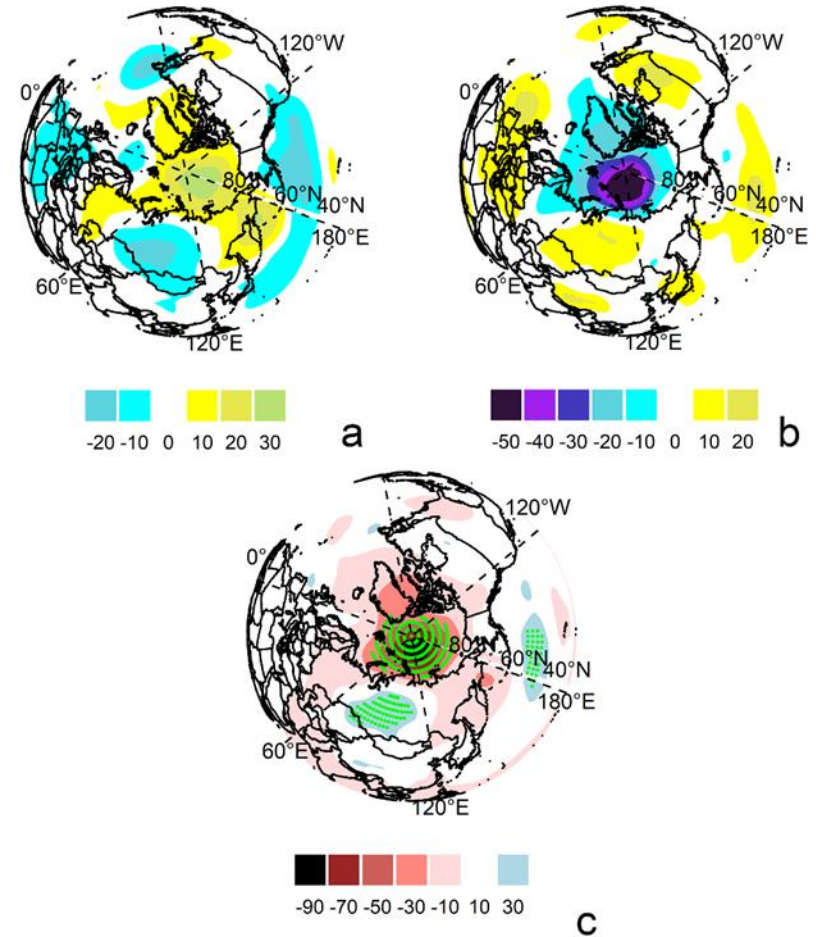
РОЛЬ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Циркуляционные драйверы смены сценариев

Различия структуры поля геопотенциала (Z850)

Сценарий А: Антициклоническая аномалия к северу от моря Лаптевых, блокирующая зональный перенос.

Сценарий В: Циклонические аномалии в высоких широтах и полоса положительных аномалий над Сибирью.



Выводы:

Шесть режимов и два главных сценария отступления льда

С помощью кластеризации (автоэнкодер + k-means) данных SIC за 1981-2024 гг. выделено 6 пространственных режимов очищения моря Лаптевых от льда и 2 основных сценария раннего таяния:

- Сценарий А: Формирование и экспансия зоны пониженной концентрации льда (SIC) от дельты реки Лены к северу .
- Сценарий В: Одновременное развитие зон пониженной концентрации льда в районе дельты Лены и к северо-востоку от полуострова Таймыр.

Изменения атмосферной циркуляции в мае как главный драйвер

Переход к преимущественному развитию Сценария В в последние десятилетия обусловлен специфическим состоянием атмосферной циркуляции в мае:

- Сценарий А связан с южными/юго-восточными ветрами (антициклонический режим над морем Лаптевых).
- Сценарий В определяется западным/юго-западным переносом, вызванным противоположными меридиональными градиентами геопотенциала Z850 между Арктикой и Евразией, что соответствует более положительным фазам АО (Arctic Oscillation) и отрицательным SCAND (Scandinavian pattern).