

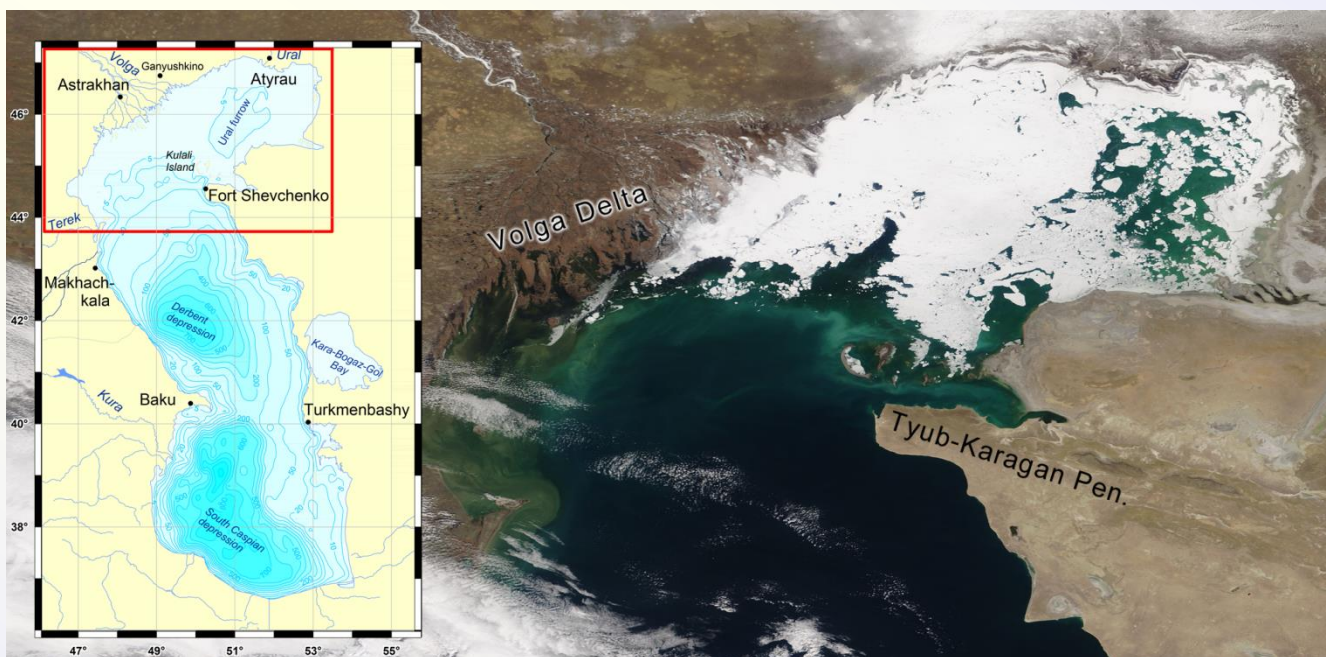
Межгодовая изменчивость ледяного покрова в Каспийском море

Лаврова О.Ю.¹, Гинзбург А.И.², Костяной А.Г.^{2,3}

¹Институт космических исследований РАН

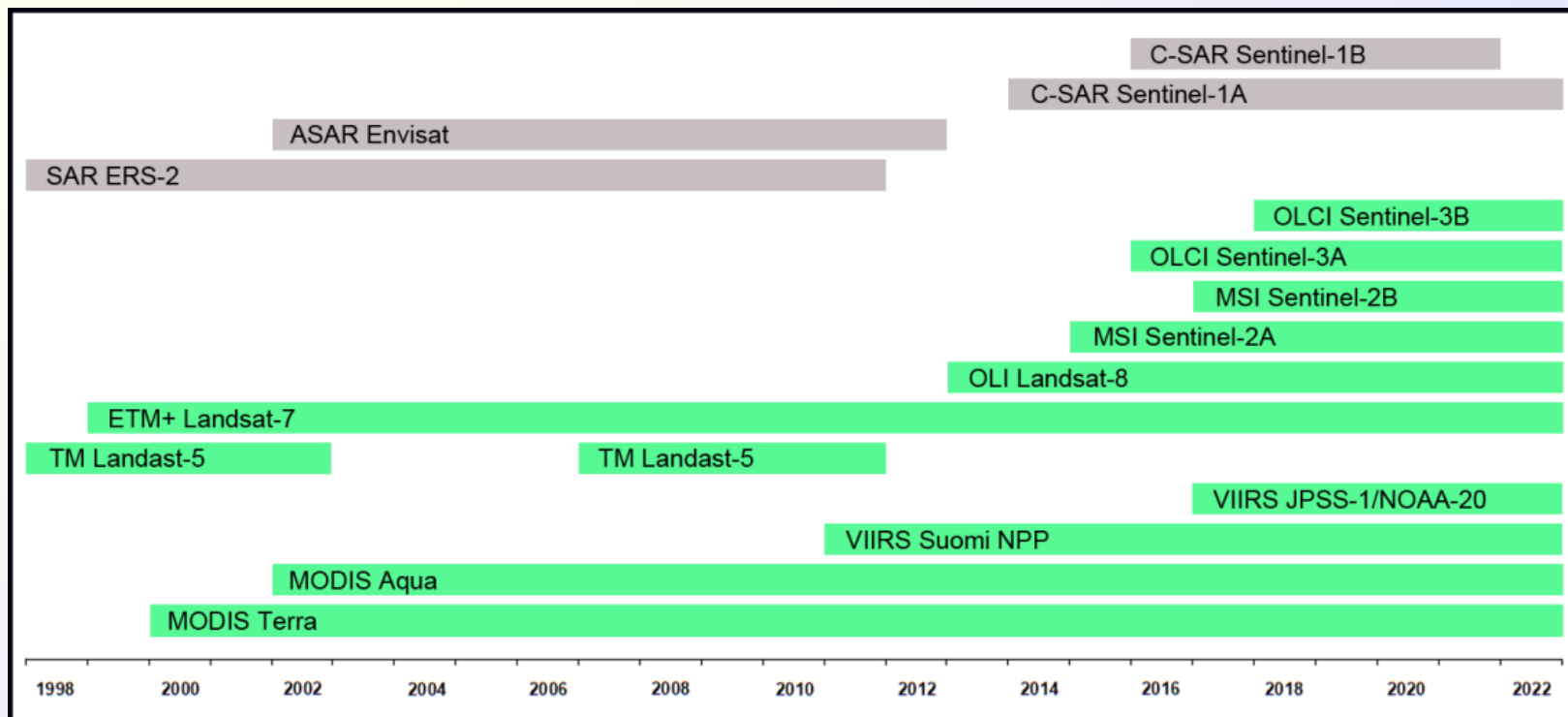
² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

³ Московский университет им. С.Ю. Витте



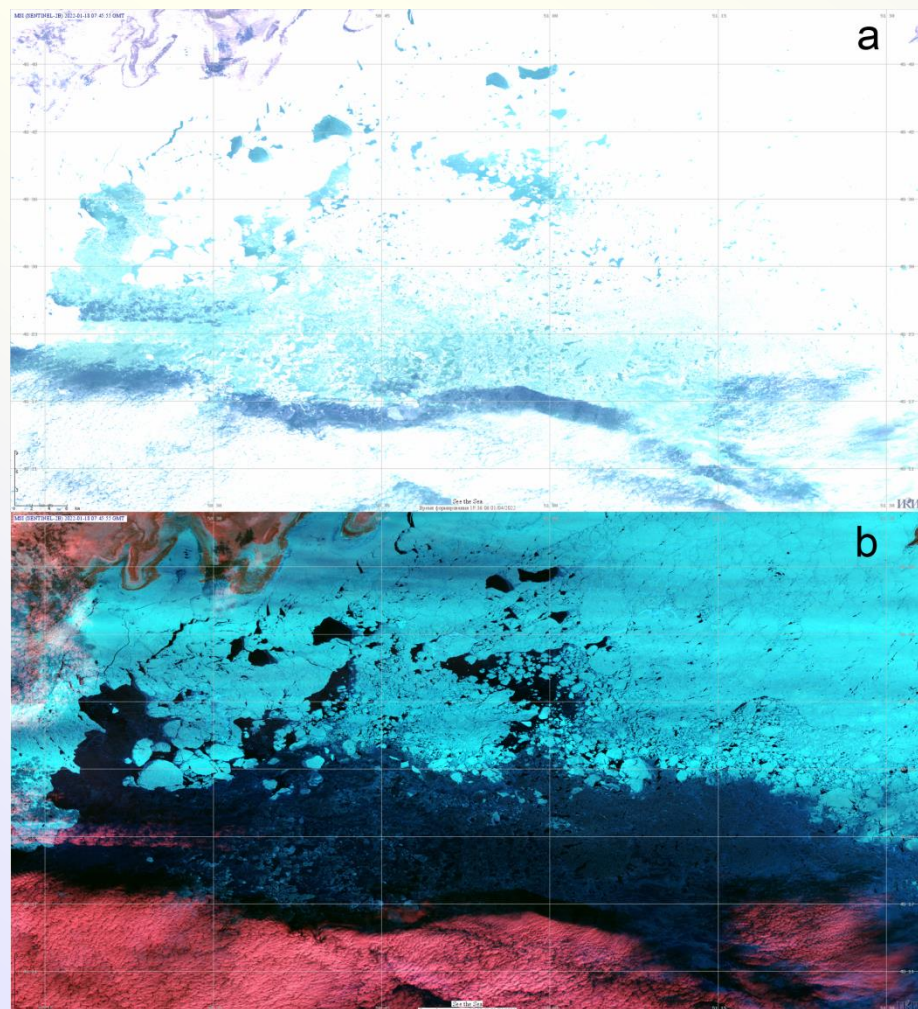
Регион исследования - Северный Каспий. Пример ледяного покрова, на изображении Terra MODIS от 26 февраля 2013 года. На вставке красная рамка на карте Каспийского моря очерчивает расположение спутникового изображения; синие линии - изобаты в метрах

Спутниковые данные



Спутниковые данные, используемые для мониторинга ледяного покрова в Северном Каспии в период с 1999 по 2022 гг.: серым цветом обозначены радиолокационные данные; зеленым - датчики оптического диапазона

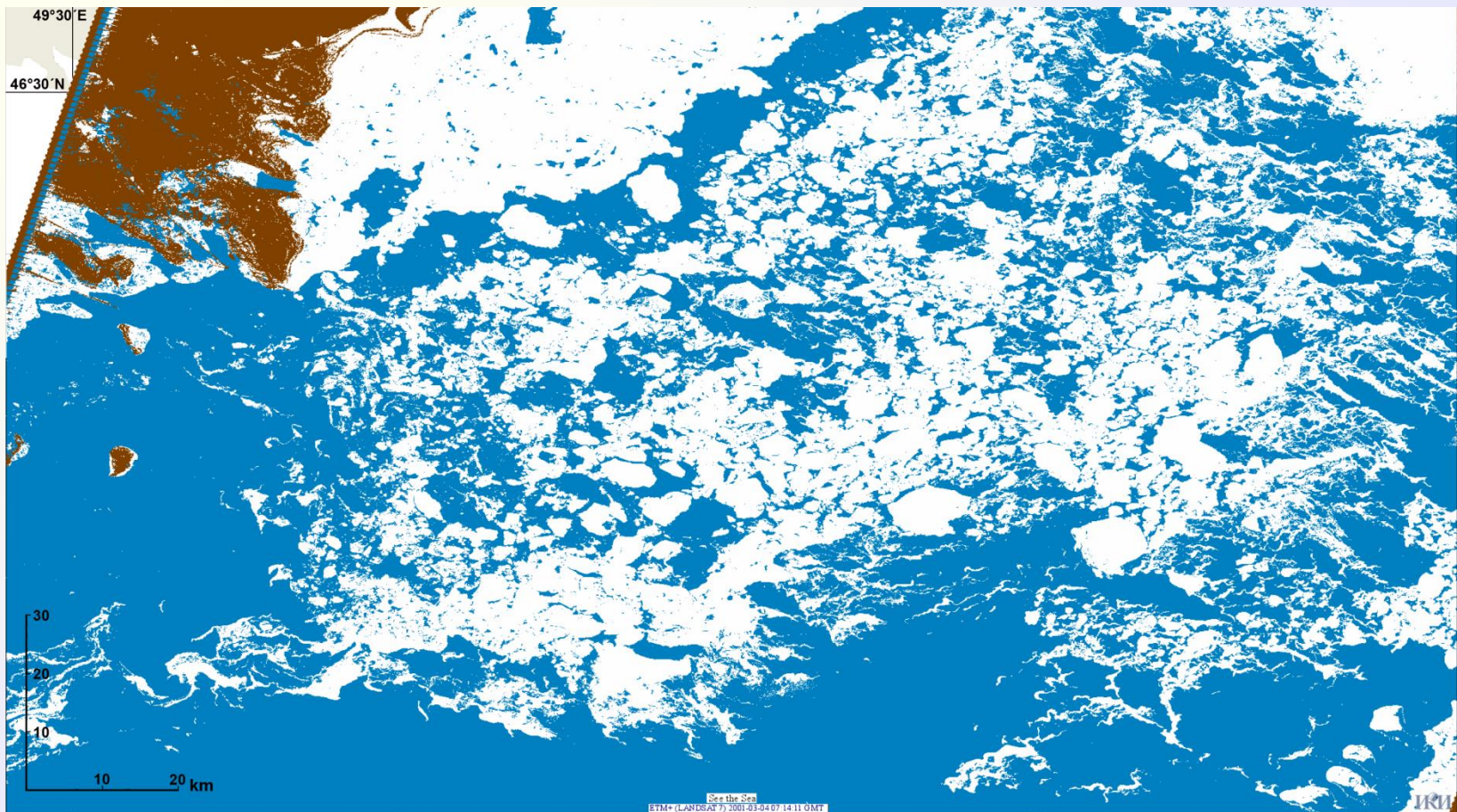
Использование различных каналов для выделения ледяного покрова



Пример применения композитов различных каналов различения льда, облаков и суши в Северном Каспии. Sentinel-2B MSI от 18.01.2022:

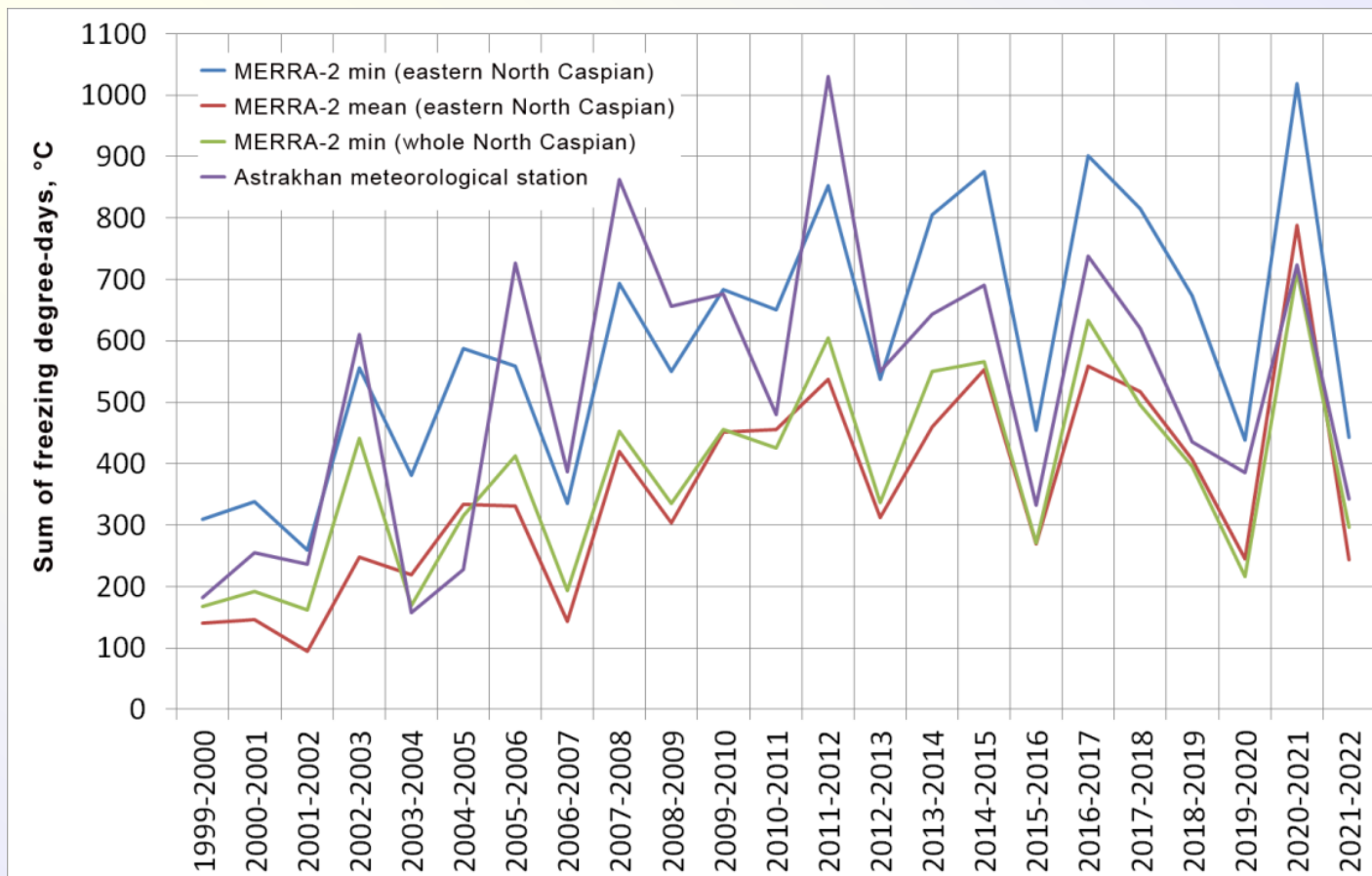
- (a) – цветосинтезированное изображение в псевдоестественных цветах: красный - 4; зеленый – 3; синий -2 каналы;
- (b) – композит: красный – 12; зеленый -8; синий - 4 каналы.

Использование различных инструментов See the Sea для выделения ледяного покрова

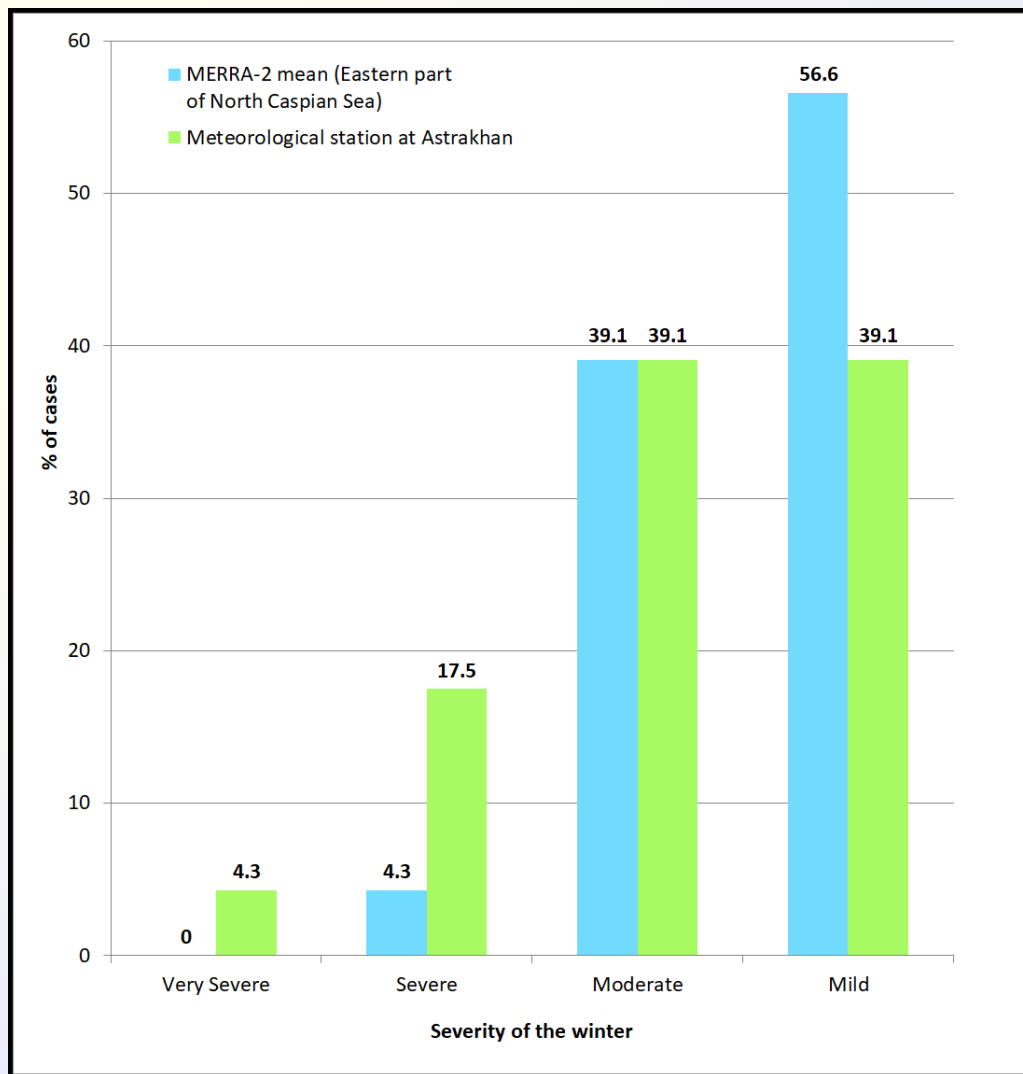


Классификация с обучением для выделения различных типов льда в Северном Каспийском море, выполненная с помощью инструментария информационной системы See the Sea. Landsat-7 ETM+ от 04.03.2001: коричневым отмечена суша, синим - открытая вода, белым - лед.

Межгодовое изменение суммы отрицательных температур по различным данным

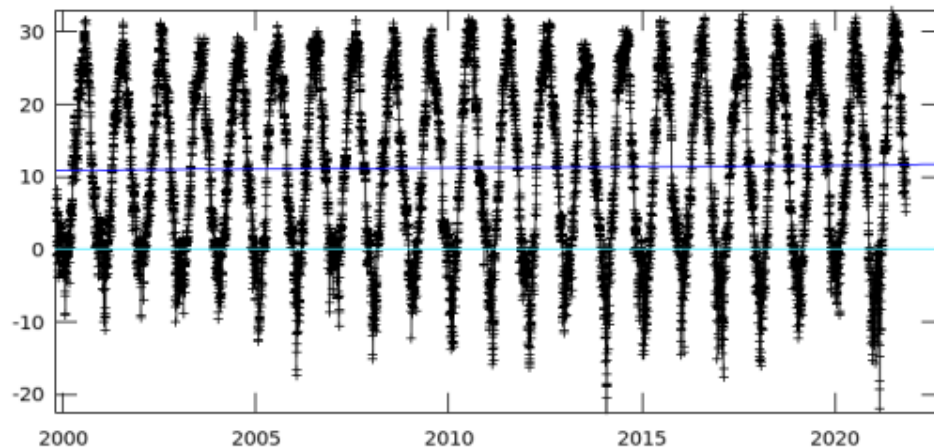


Межгодовая изменчивость индекса суровости зим по различным данным



Межгодовая изменчивость температуры воздуха по модели MERRA-2

Time Series, Area-Averaged of 2-meter air temperature - daily mean daily 0.5 x 0.625 deg.
[MERRA-2 Model M2SDNXSLV v5.12.4] C over 1999-11-01 - 2021-11-02 11:29Z,
Region 49.9878E, 45.4585N, 52.8442E, 47.0076N

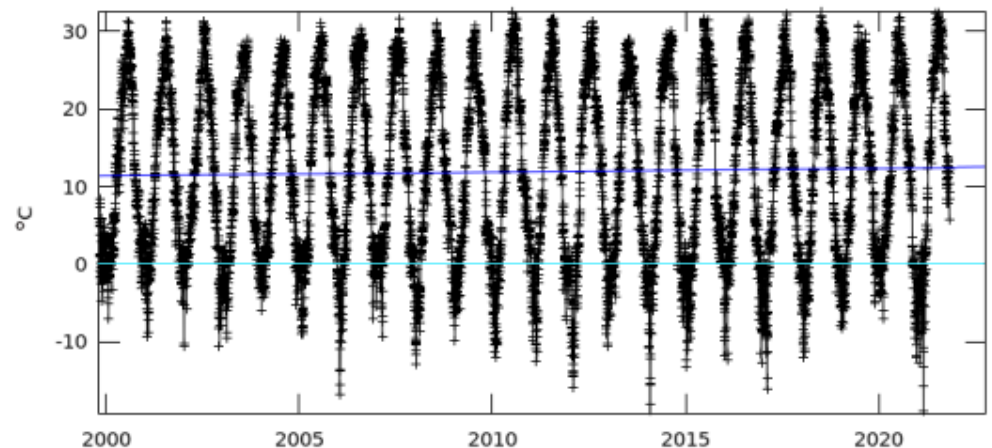


а) Среднесуточная температура воздуха для восточной части Северного Каспия за период с 1 ноября 1999 г. 1 ноября 2021 г. по данным MERRA-2. Синяя линия показывает линейную регрессию

а

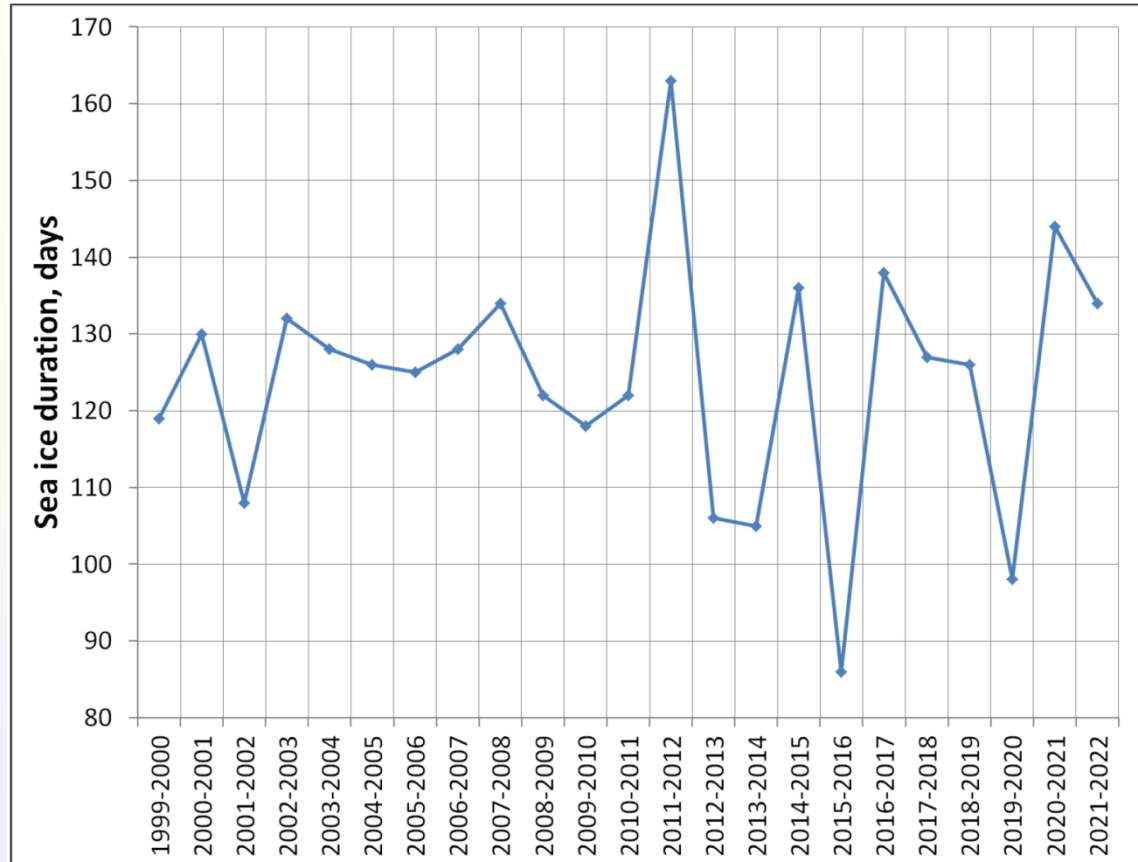
Series, Area-Averaged of 2-meter air temperature - daily mean daily 0.5 x 0.625 deg.
[MERRA-2 Model M2SDNXSLV v5.12.4] C over 1999-11-01 - 2021-11-02 11:29Z,
Region 46.7029E, 44.4587N, 52.8992E, 47.1394N

б) Среднесуточная температура воздуха для всего Северного Каспия за период с 1 ноября 1999 г. 1 ноября 2021 г. по данным MERRA-2. Синяя линия показывает линейную регрессию

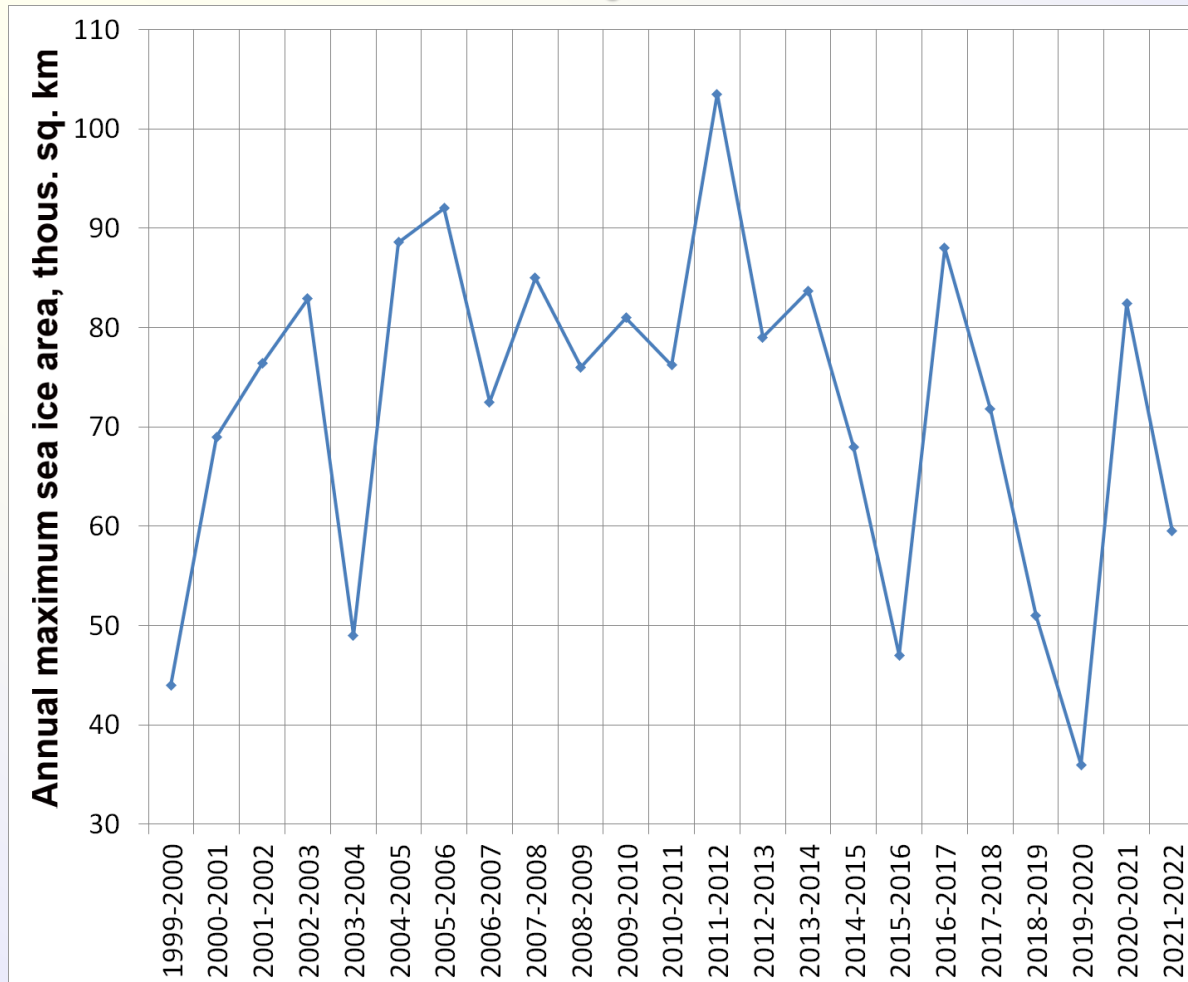


б

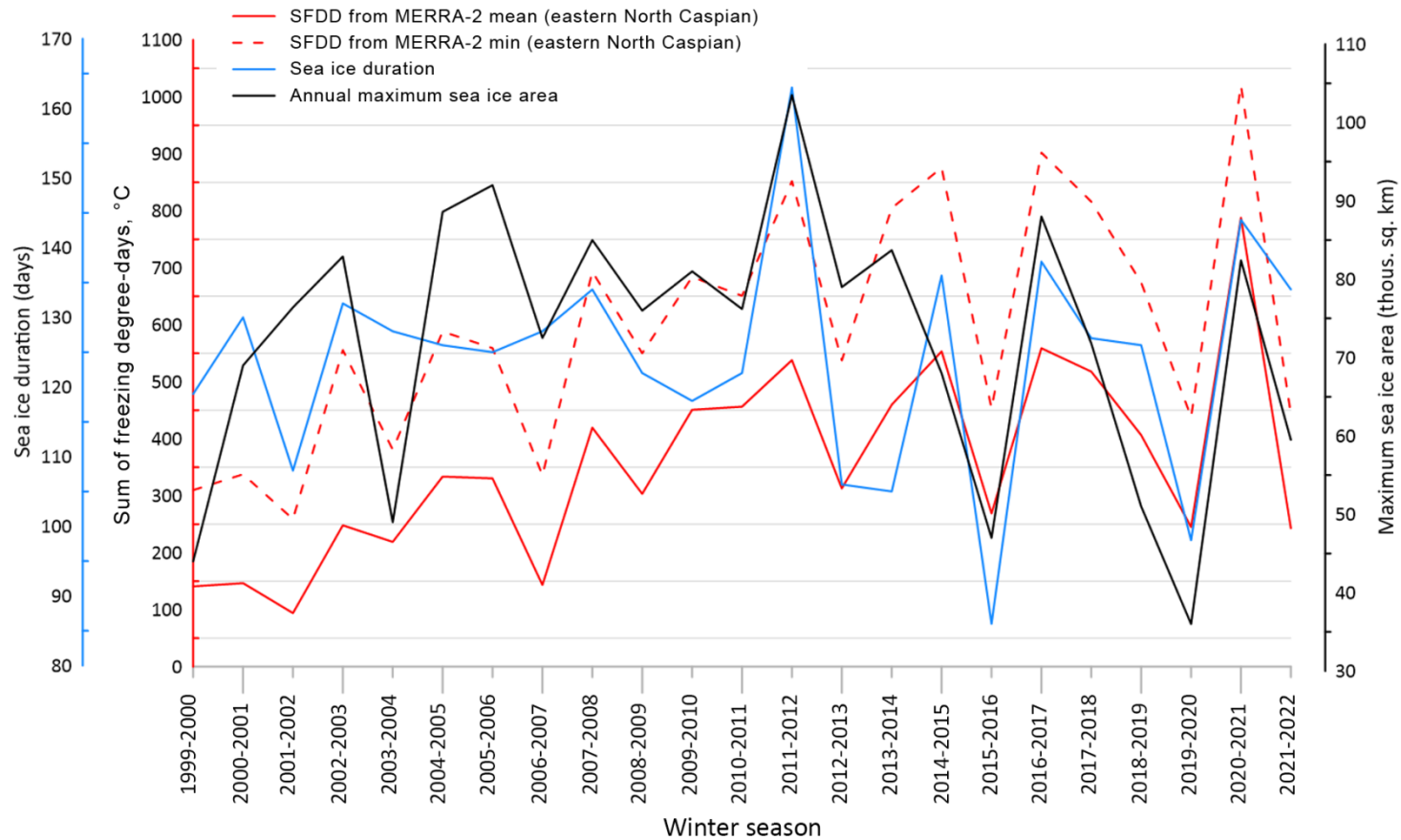
Межгодовая изменчивость продолжительности ледяного покрова, определенной по спутниковым данным



Межгодовая изменчивость годовой максимальной площади ледяного покрова, определенной по спутниковым данным



Межгодовая изменчивость основных характеристик



Выводы

- ✓ Для изучения межгодовой изменчивости ледяного покрова Каспийского моря с 1999 по 2022 год использовались спутниковые радиолокационные (SAR) и оптические данные.
- ✓ Имеющиеся спутниковые данные высокого и среднего пространственного разрешения позволили с большой точностью определить даты образования и таяния льда в Северном Каспии, продолжительность ледового периода и максимальную площадь льда в каждую зиму.
- ✓ Обнаружена сильная межгодовая изменчивость этих параметров, особенно после 2012 года, с растущей амплитудой колебаний.
- ✓ Была протестирована и применена новая комбинация оптических каналов для обнаружения льда на поверхности моря.
- ✓ Использование снимков SAR и другой спутниковой информации позволило точно оценить максимальную годовую площадь ледяного покрова, даты первого и последнего появления льда в регионе.
- ✓ Используя данные SAR высокого разрешения было показано, что за 23-летний период исследования не произошло ни сдвига к более поздним датам замерзания льда, ни сдвига к более ранним датам таяния льда.
- ✓ Самый длинный период ледяного покрова был в 2011/2012 году (163 дня), а самый короткий - в 2015/2016 году (86 дней). Средняя продолжительность ледяного покрова за исследуемый период составила 124 дня.
- ✓ Максимальный ледовый покров за исследуемый период наблюдался зимой 2011/2012 года и составил 103,5 тыс. км²; минимальное годовое ледовое покрытие наблюдалось зимой 2019/2020 года и составило всего 36 тыс. км². Средняя площадь годового ледяного покрова за 23-летний период составила 72 тыс. км². Наши результаты подтверждают выводы других авторов о том, что максимальная годовая площадь ледяного покрова медленно уменьшается, но исключительно за счет льда в западной части Северного Каспия. Восточная часть Северного Каспия замерзает почти каждый год, но в некоторые годы, такие как 2019/2020, с большими площадями открытой воды.

- Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 19-77-20060.
- Обработка и анализ спутниковых данных проводились с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг» с помощью инструментария информационной системы See the Sea, развитие которой осуществляется в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8).