

Изменение береговой линии Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол с учетом климатических изменений

Александр Алейников, Антон Богданович, Оксана Липка

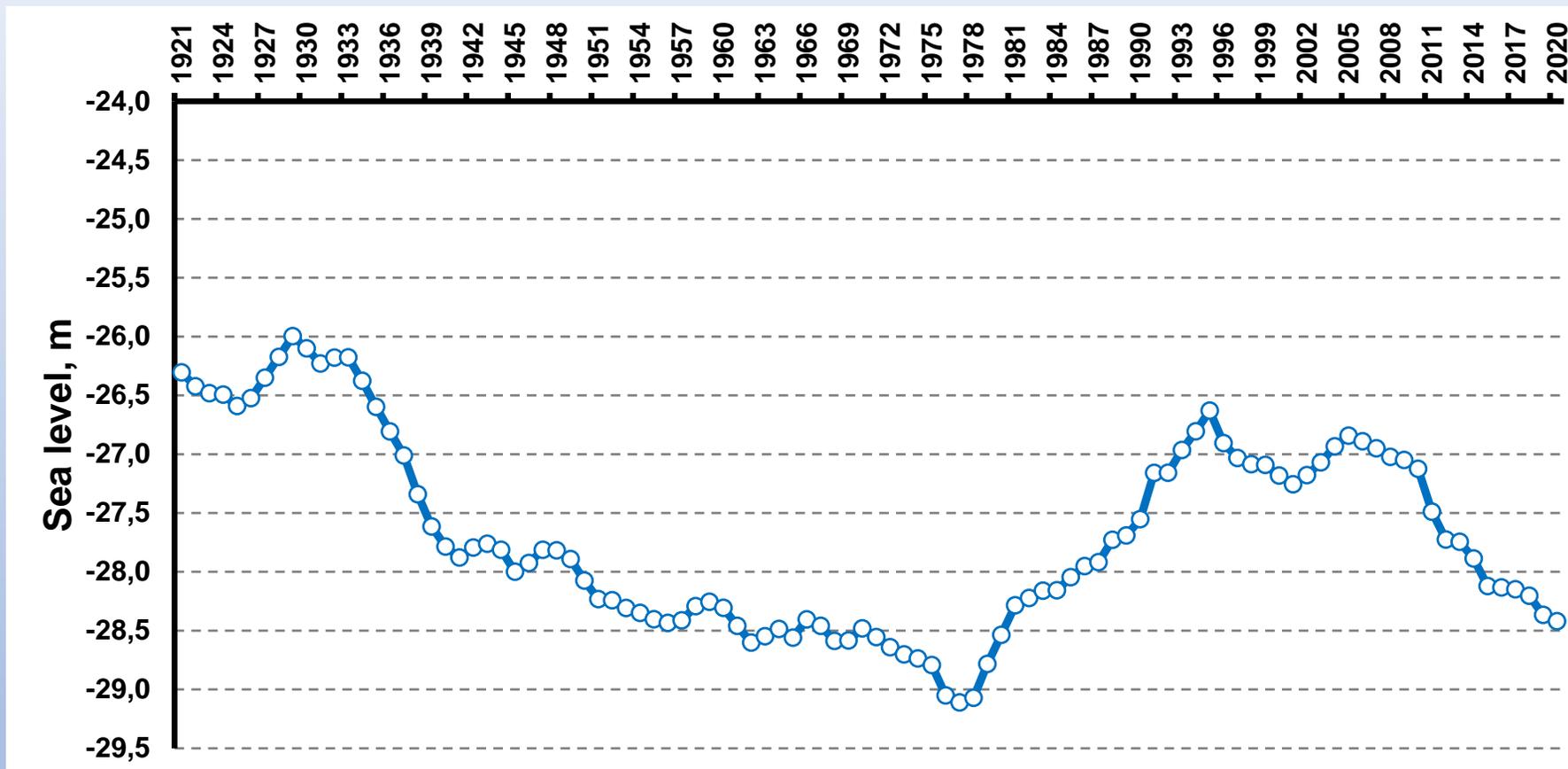
Институт глобального климата и экологии им. Академика Ю.А.Израэля

XXX Всероссийская конференция «БЕРЕГОВАЯ ЗОНА МОРЕЙ РОССИИ В XXI ВЕКЕ»

Москва, МГУ, 3-7 июня 2024 г.



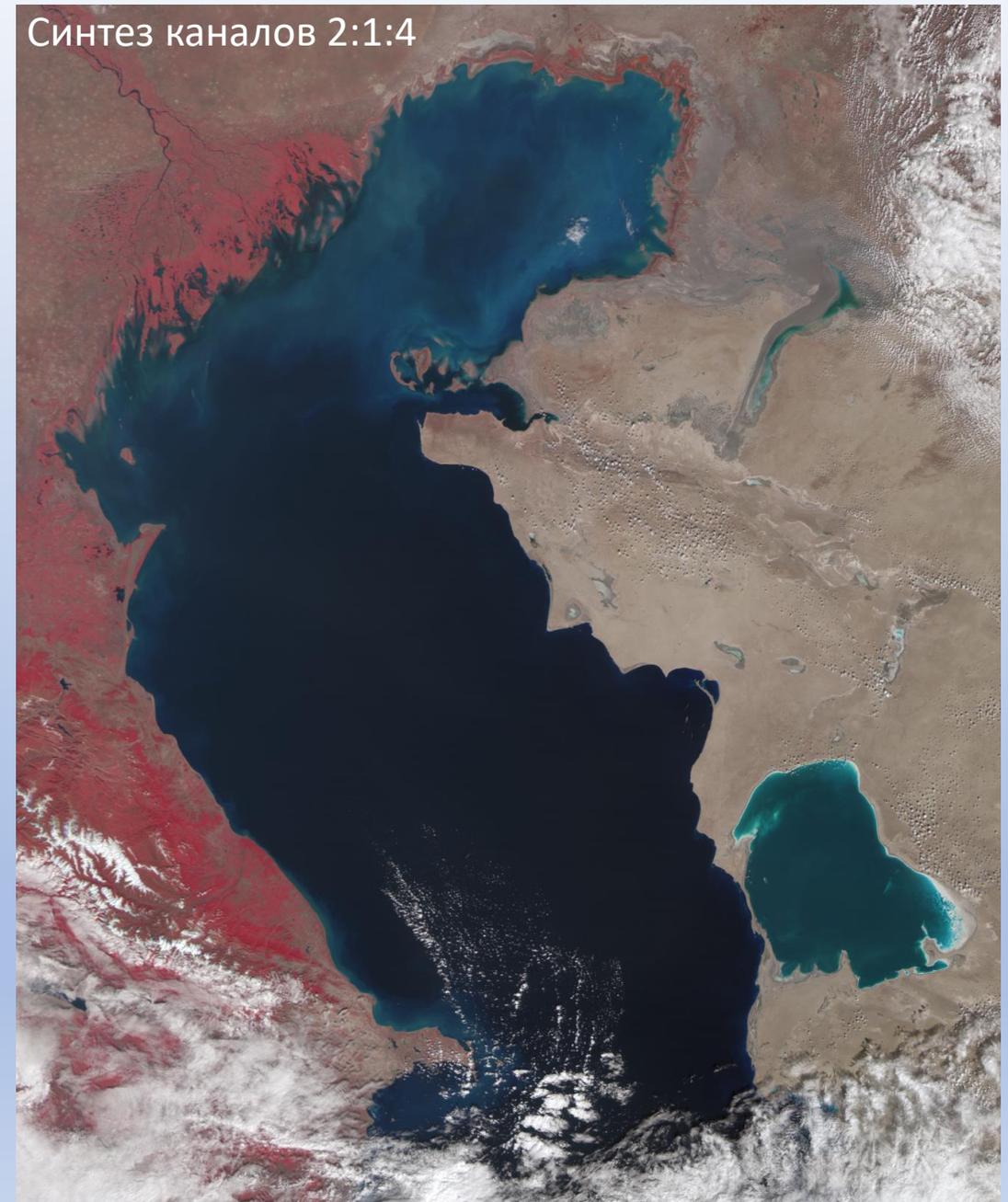
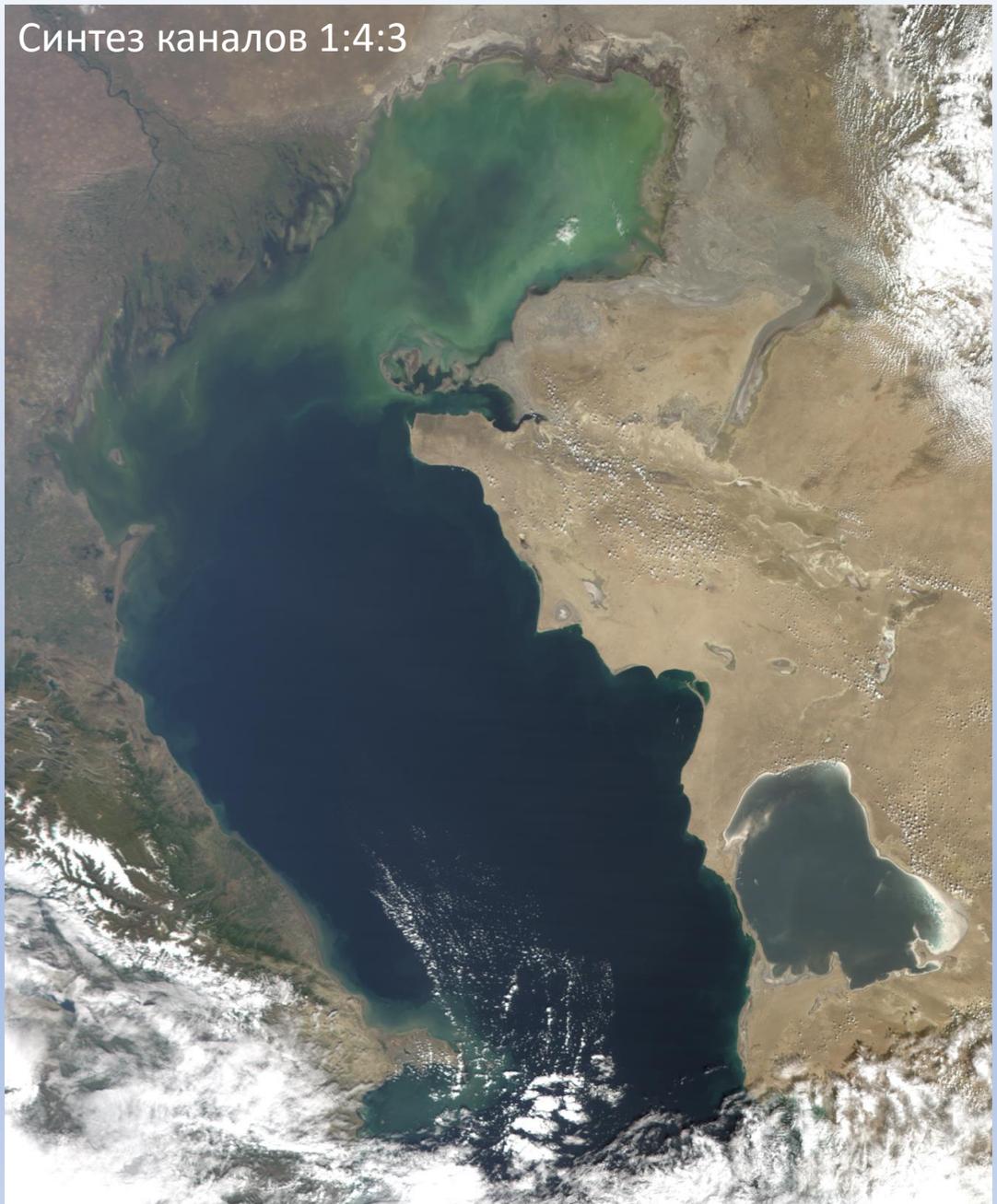
Изменения уровня Каспийского моря



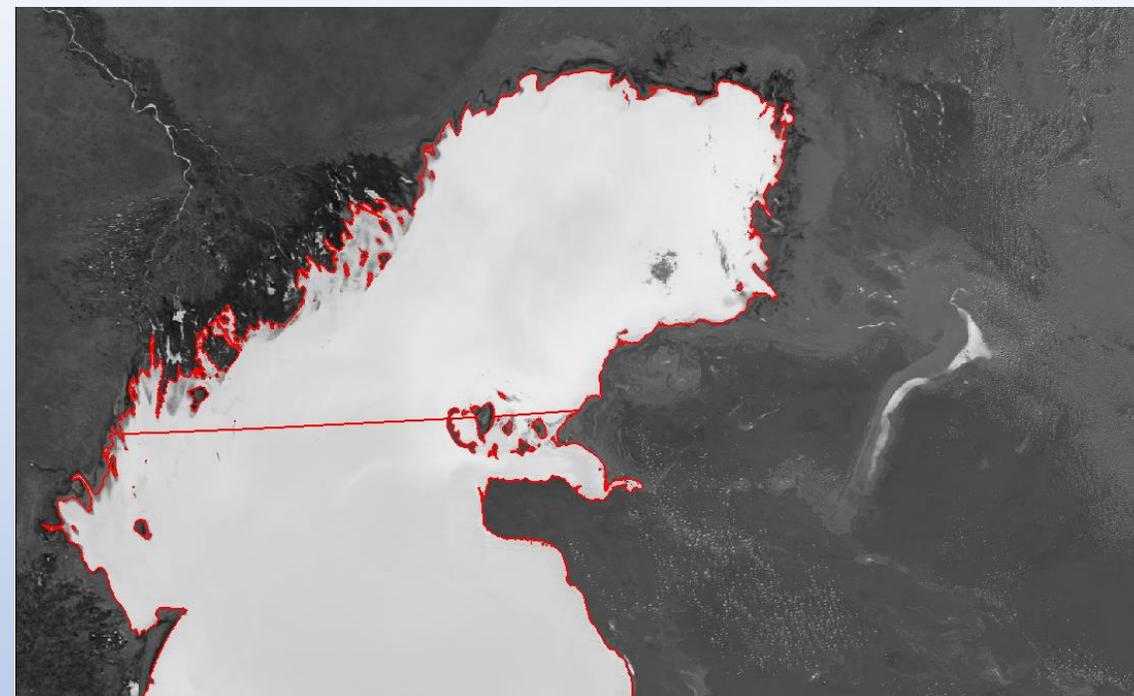
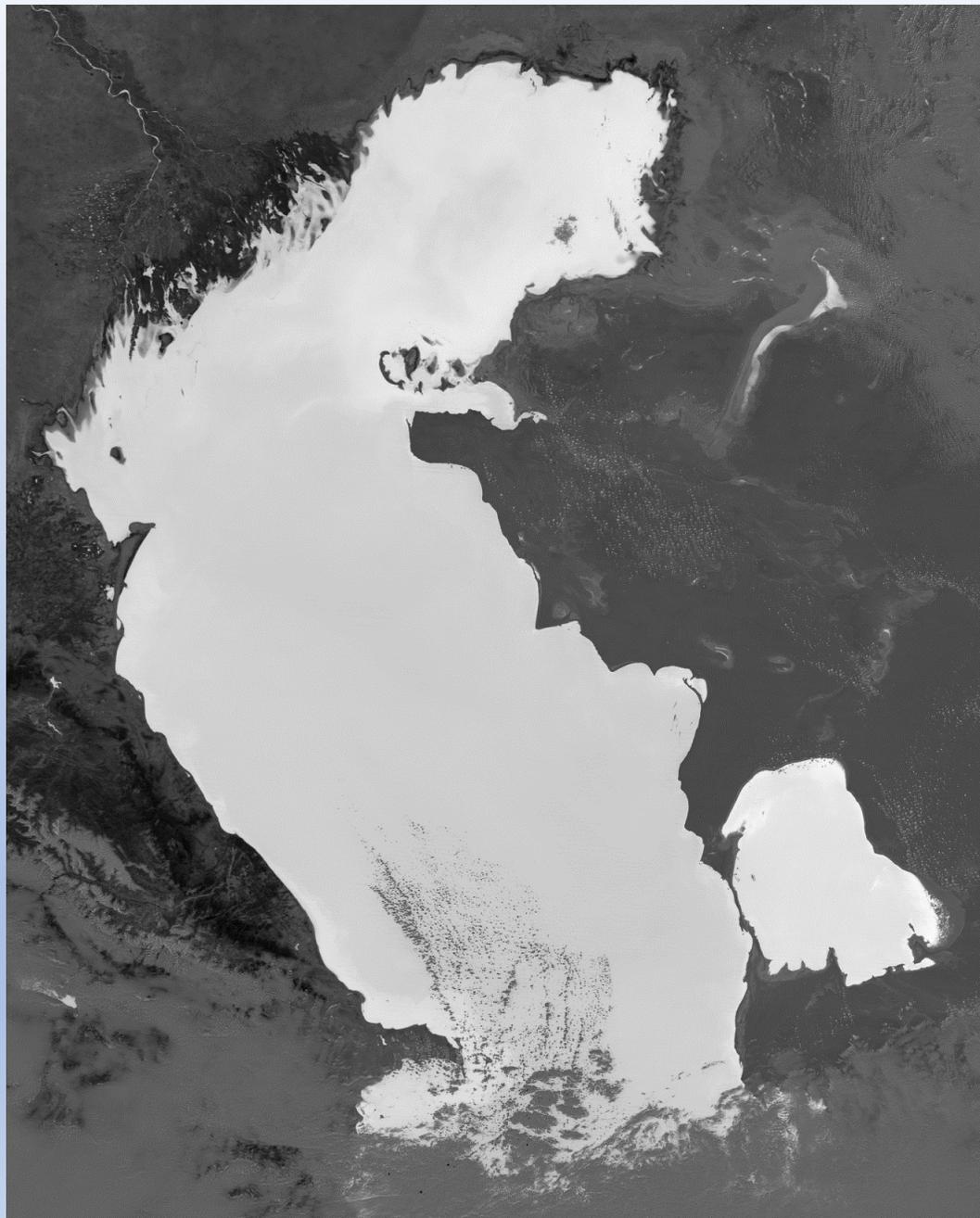
После почти двадцатилетнего подъёма, уровень воды в Каспийском море упал до нового минимума -28,5 метров в 2023 году

Уровни Каспийского моря с 1921 по 2020 год по данным поста Кара-Богаз-Гол

Terra/Modis, дата съёмки 19 сентября 2023 г



Методика измерений



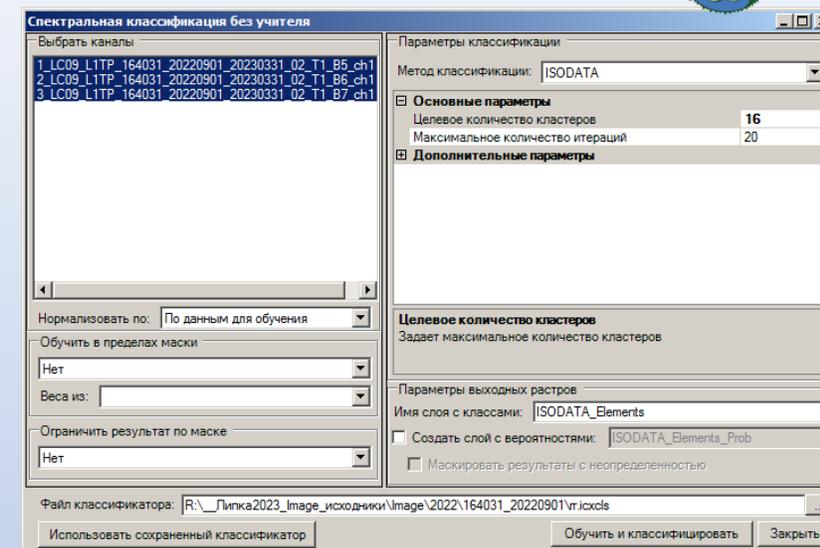
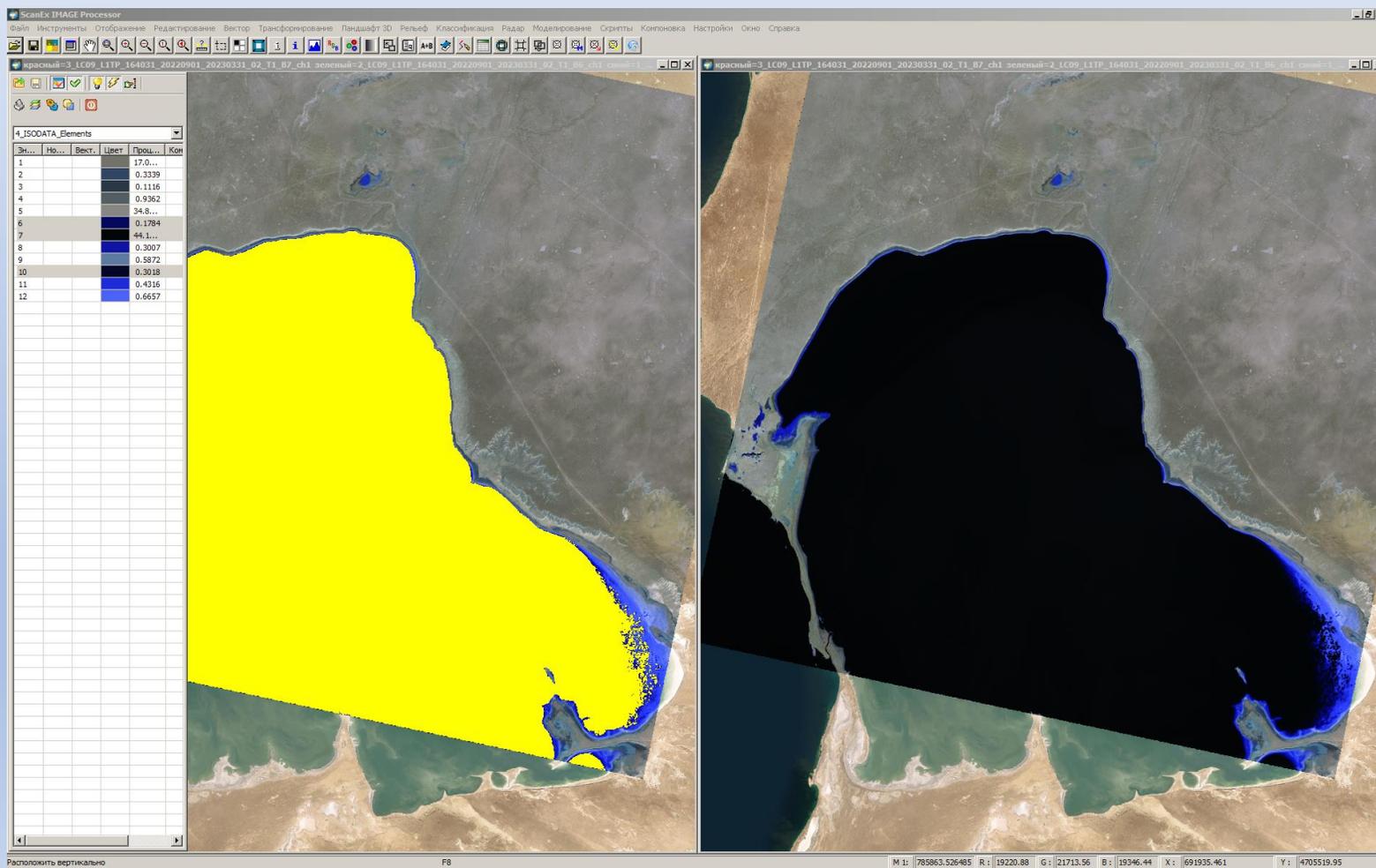
Метод Нормализованный разностный
водный индекс NDWI
(Normalized Difference Water Index)

$$NDWI = (GREEN - NIR)/(GREEN + NIR)$$

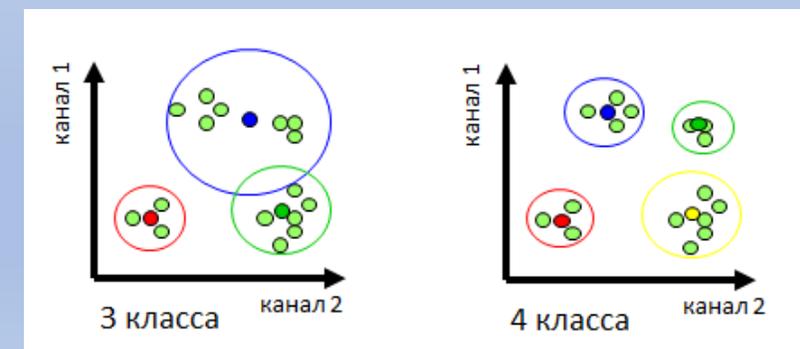


Методика измерений

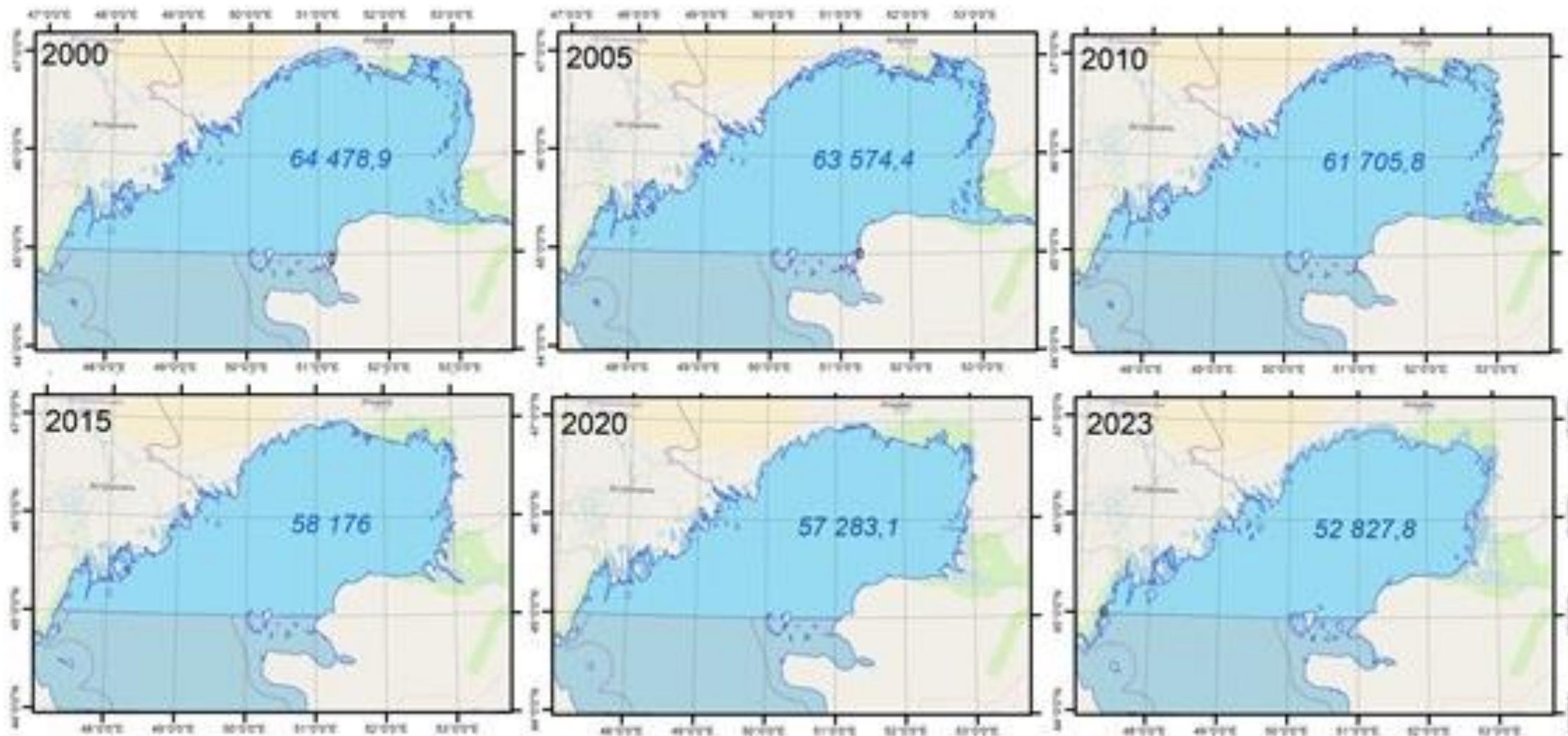
Спектральная классификация. Этот метод выполнения основан на спектральных признаках, в качестве которых служит набор спектральных яркостей, зарегистрированных многозональным снимком. Задача компьютерного дешифрирования снимков сводится к классификации - сортировке всех пикселей цифрового снимка на несколько групп.



При использовании неуправляемой классификации мы заранее задаем количество классов, которые хотим получить.

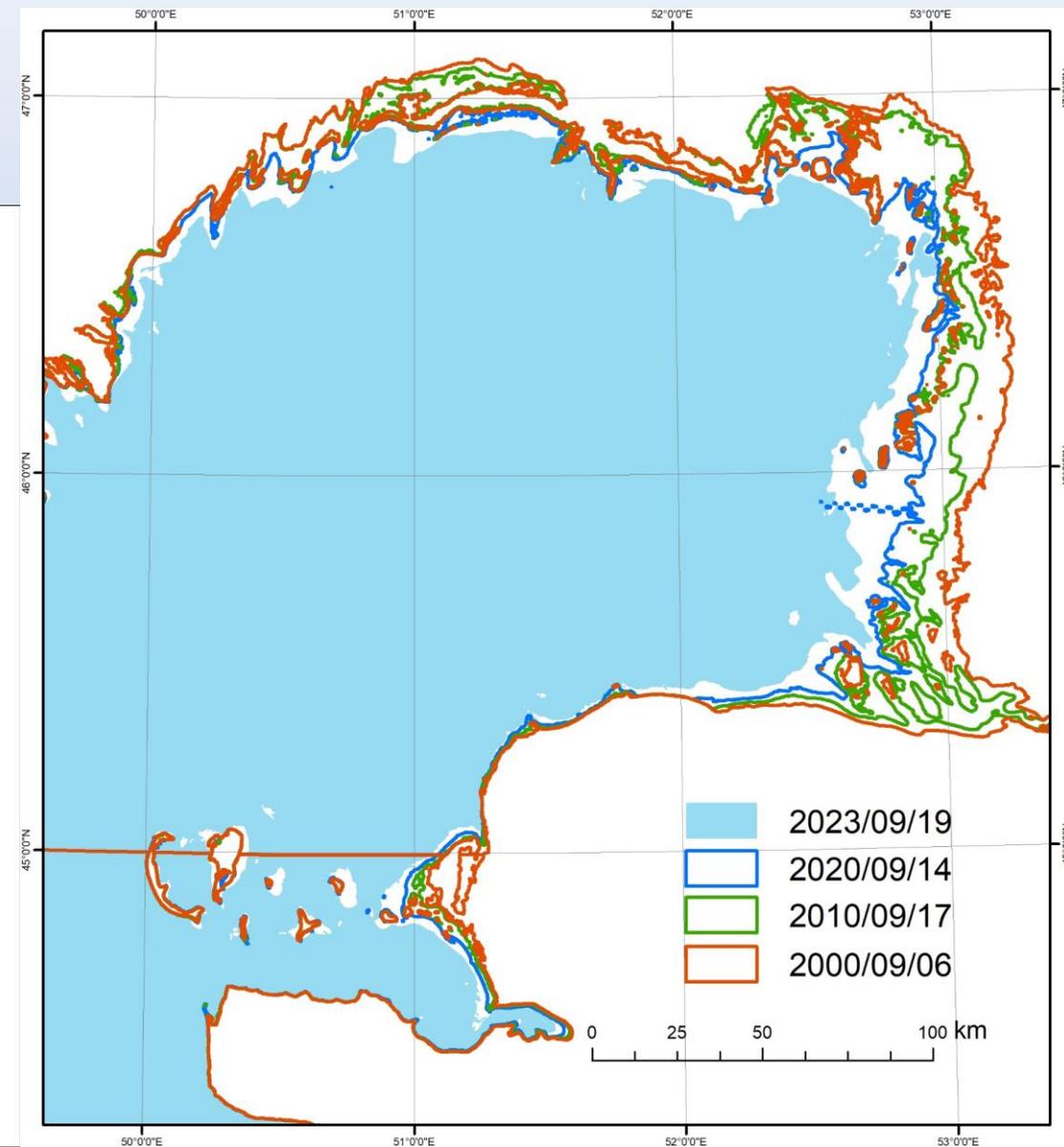
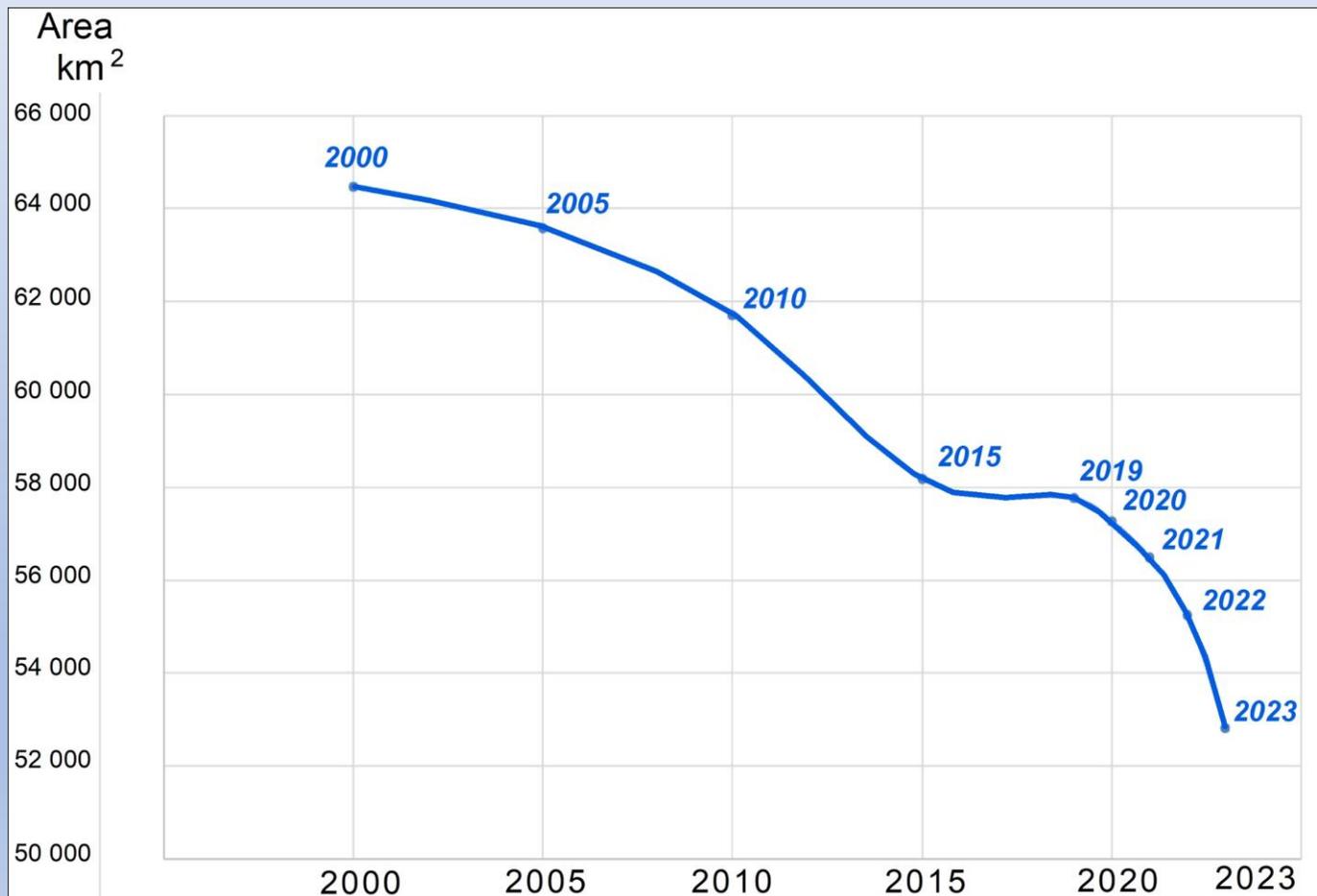


Отступление береговой линии северо-восточной части Каспийского моря севернее 45°С.Ш. с 2000 по 2023 гг. по снимкам Terra Modis. Значения площадей указана в км^2 . Мы сравнивали минимальный сезонный уровень моря в сентябре-октябре. К 2023 году площадь воды сократилась до 52,8 тыс. км^2



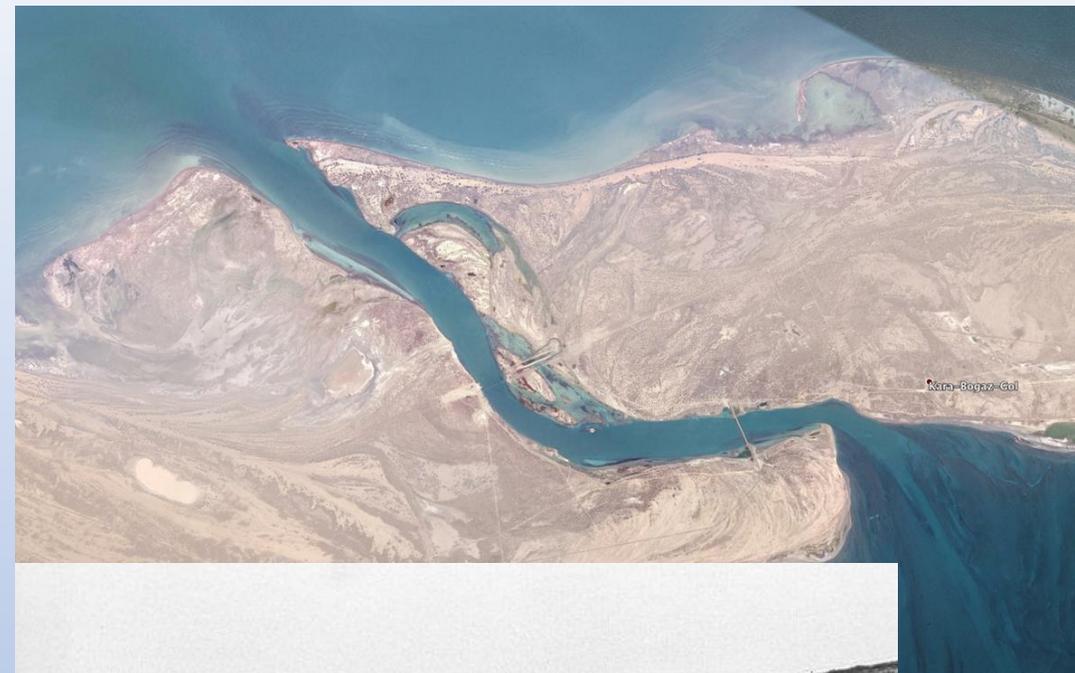


Изменение площади северо-восточной части Каспийского моря севернее 45°С.Ш. с 2000 по 2023 гг. по данным дистанционного зондирования.

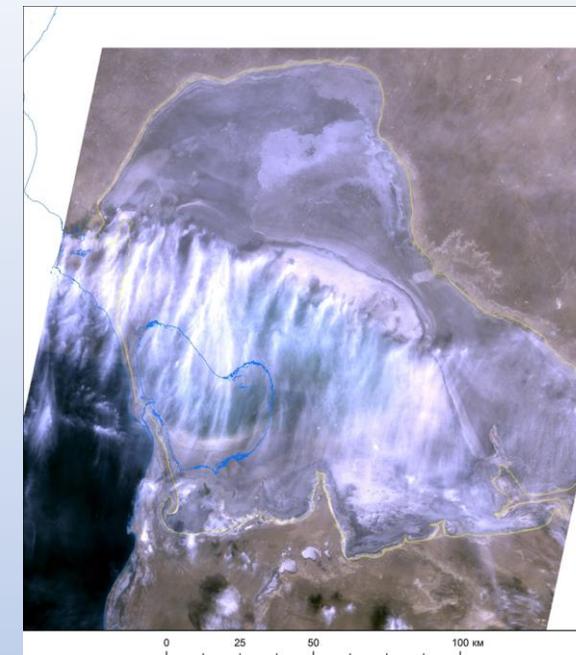




В целях уменьшения испарения в Каспийском море была построена плотина, отделяющая залив о Кара-Богаз-Гол. К 1984 году залив полностью высох. Впоследствии плотину разобрали. Нынешние тенденции отражают те, которые наблюдаются в северной части Каспийского моря

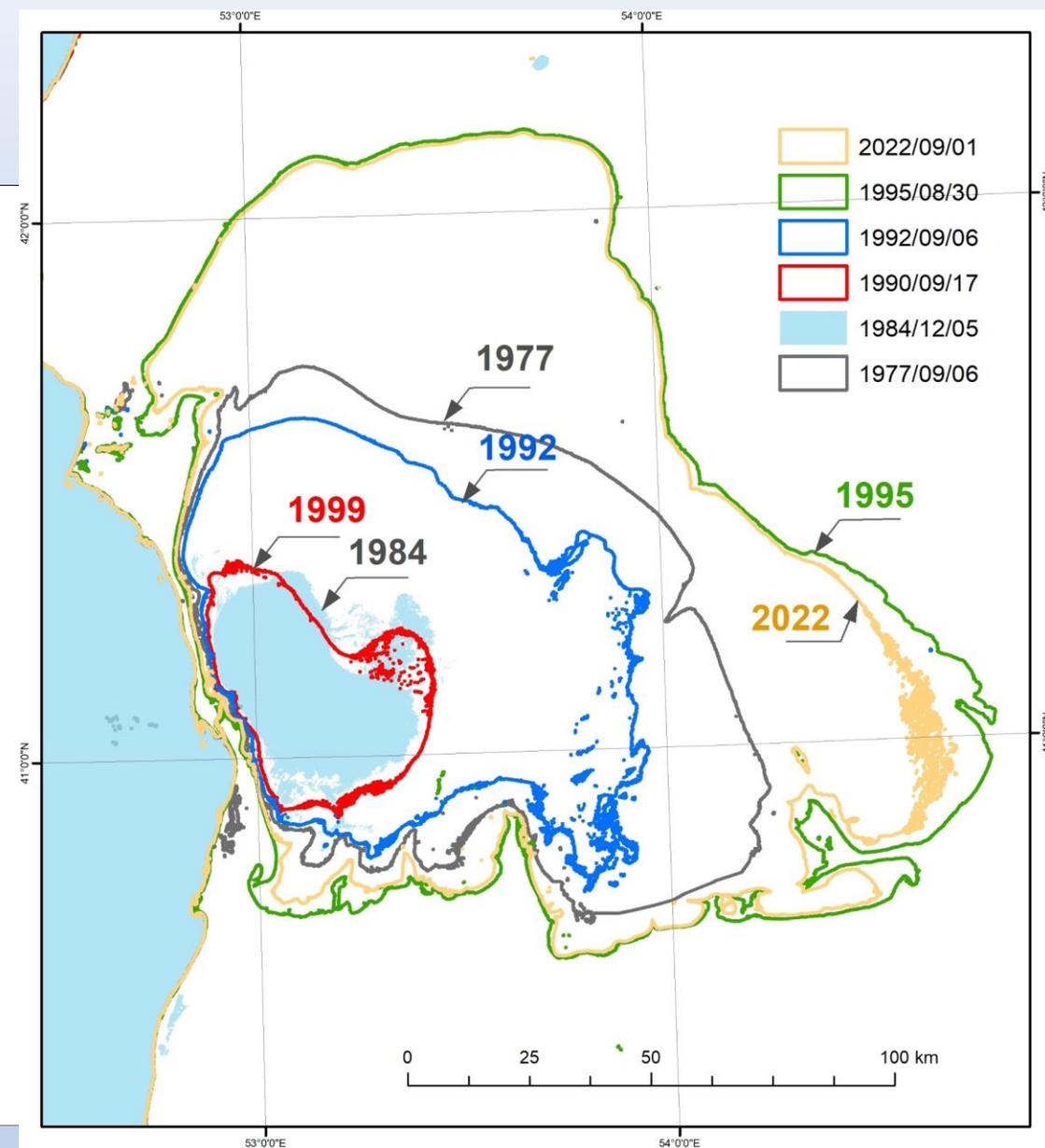
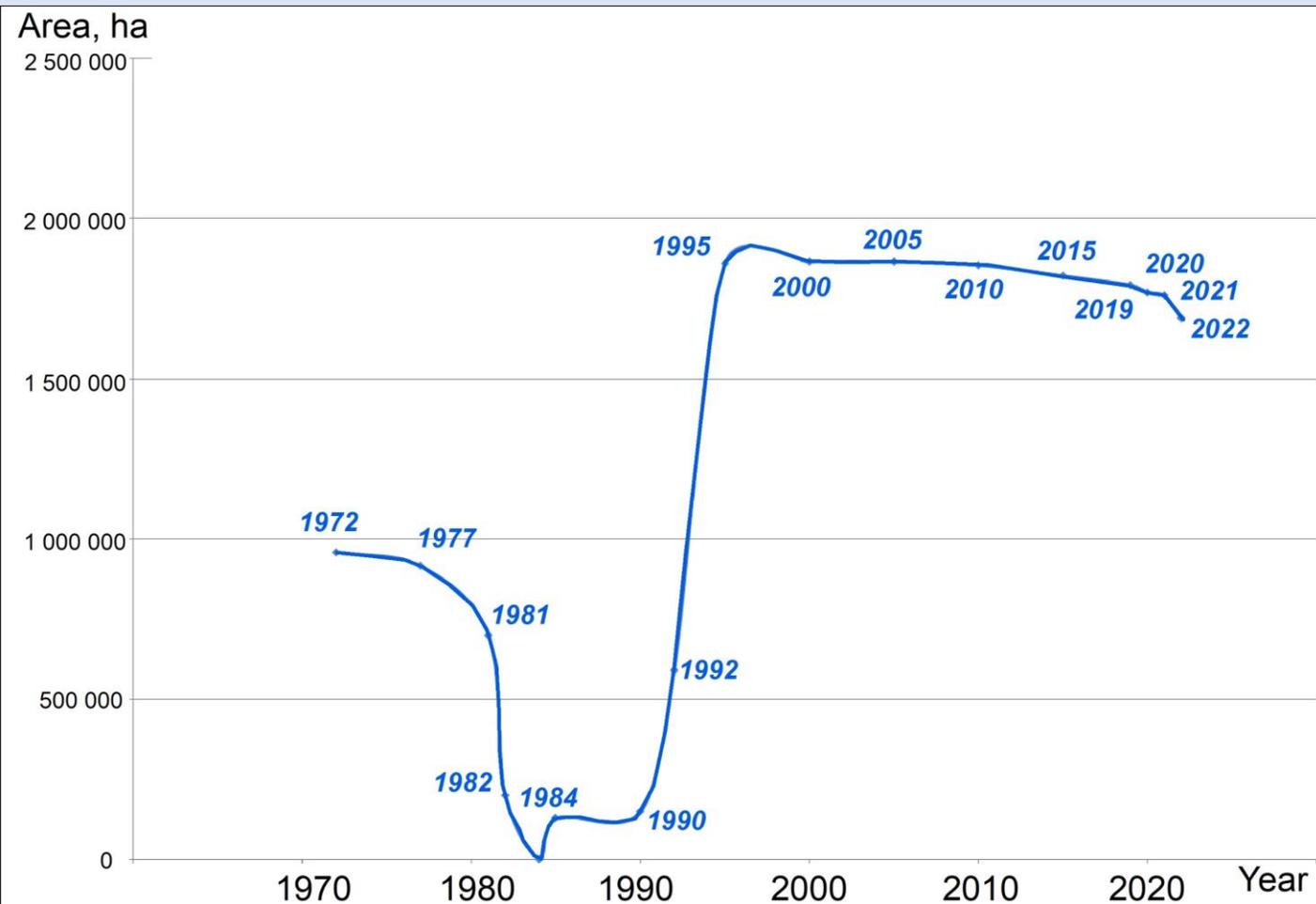


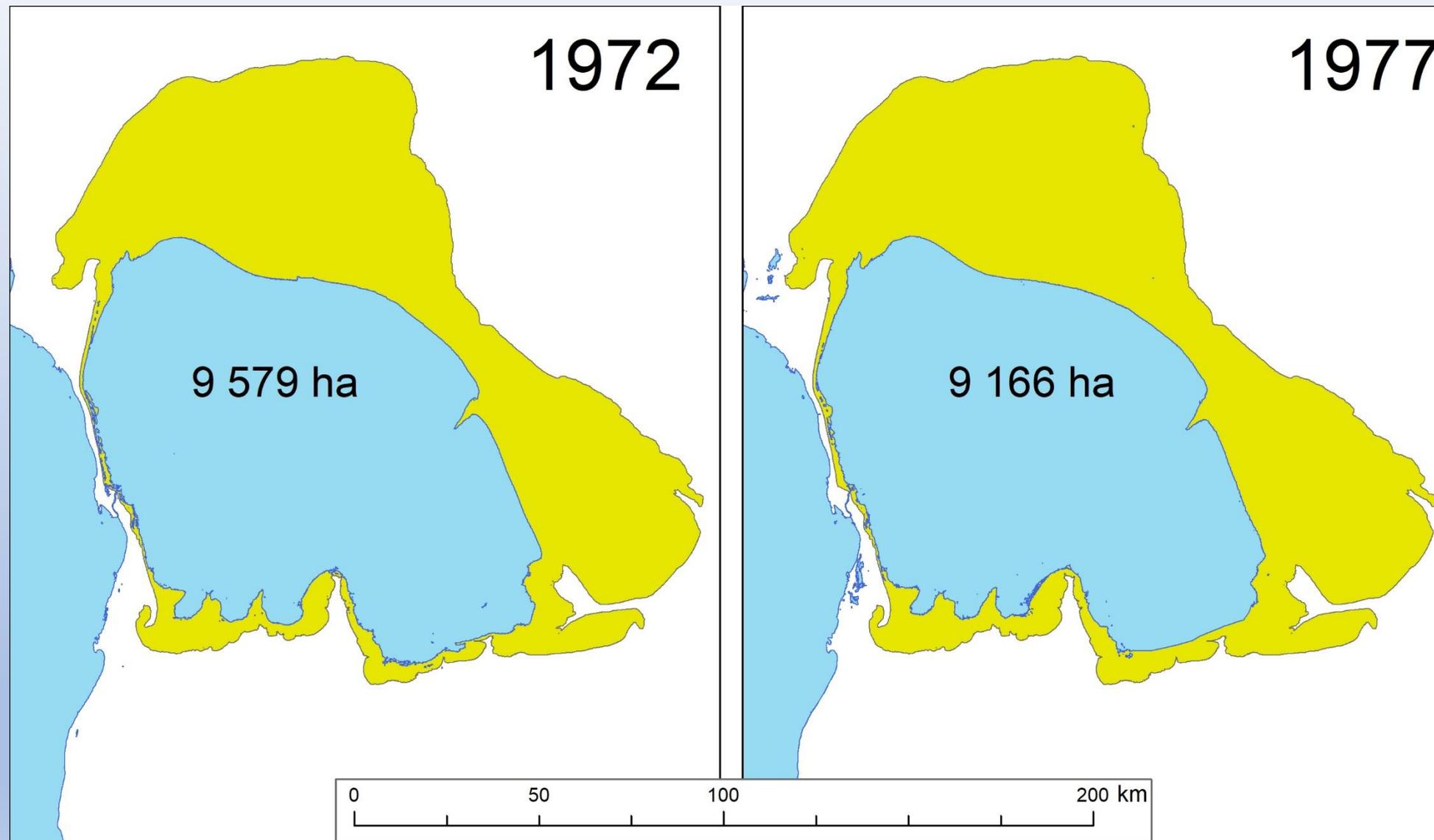
Негативные последствия аналогичны последствиям высыхания Аральского моря: пыльные и соляные бури наносят значительный ущерб.



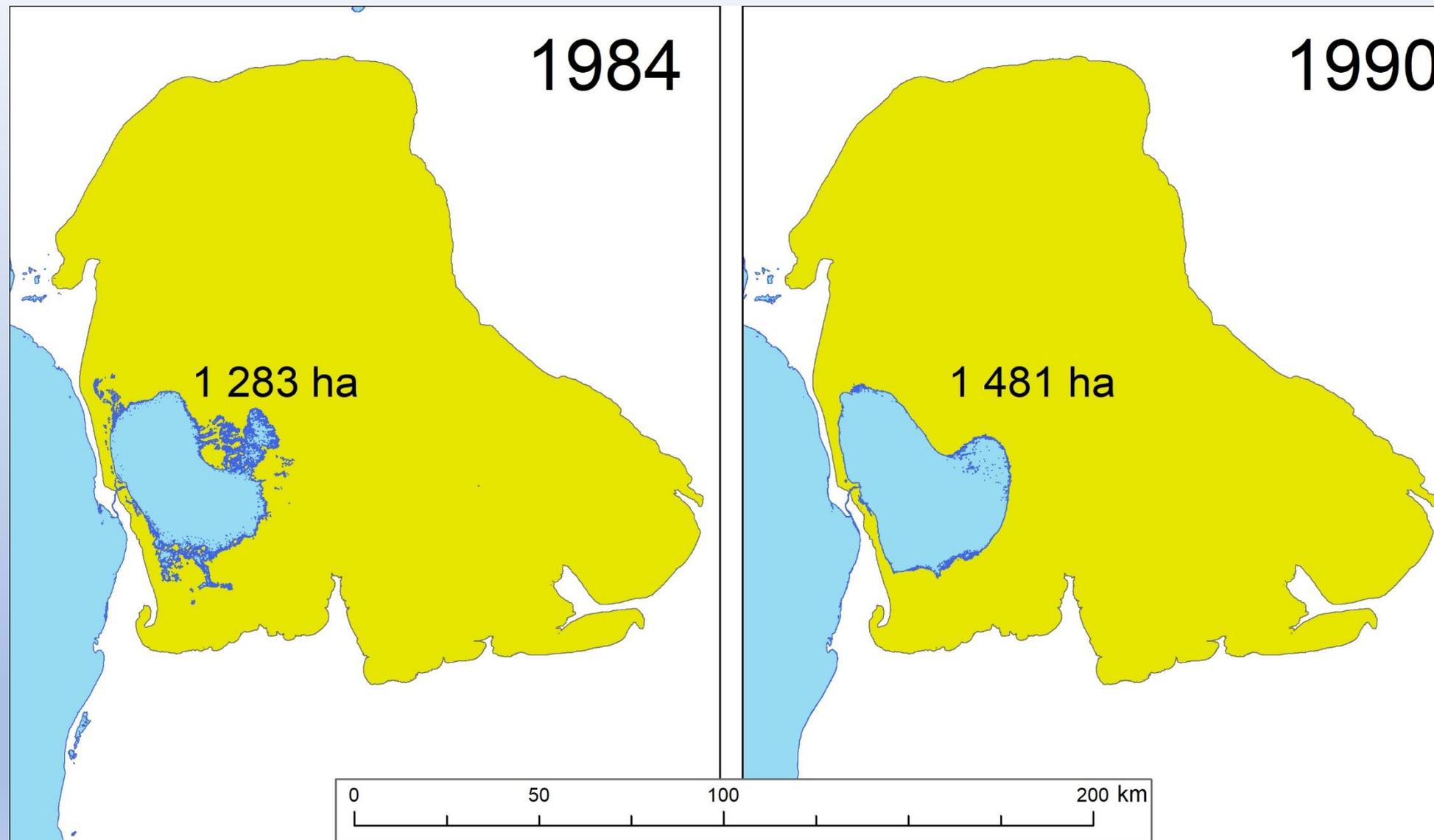


Изменение площади залива Кара-Богаз-Гол с 1972 по 2022 гг. Данные за период с минимальным уровнем внутри сезона - сентябрь-октябрь

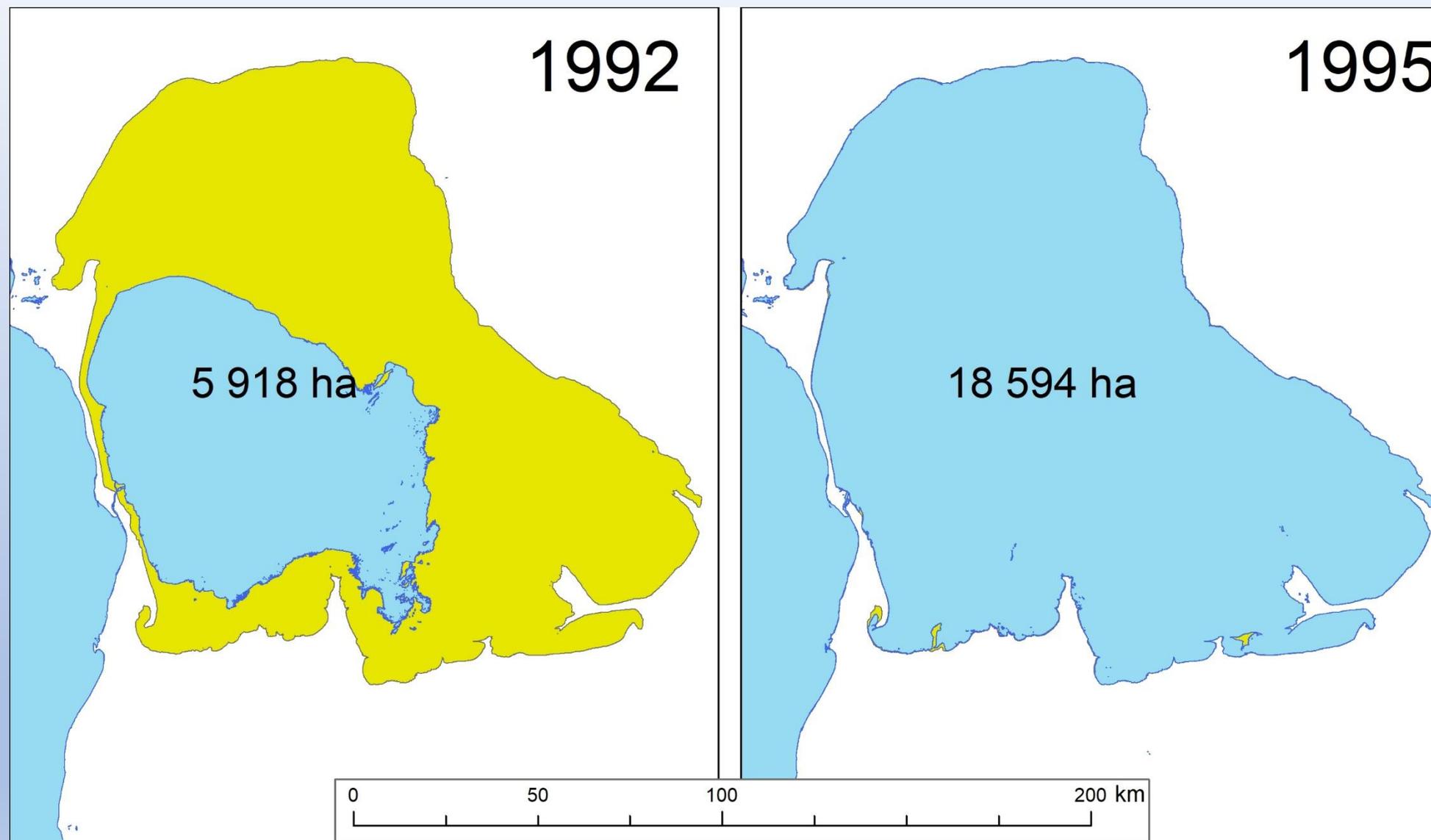




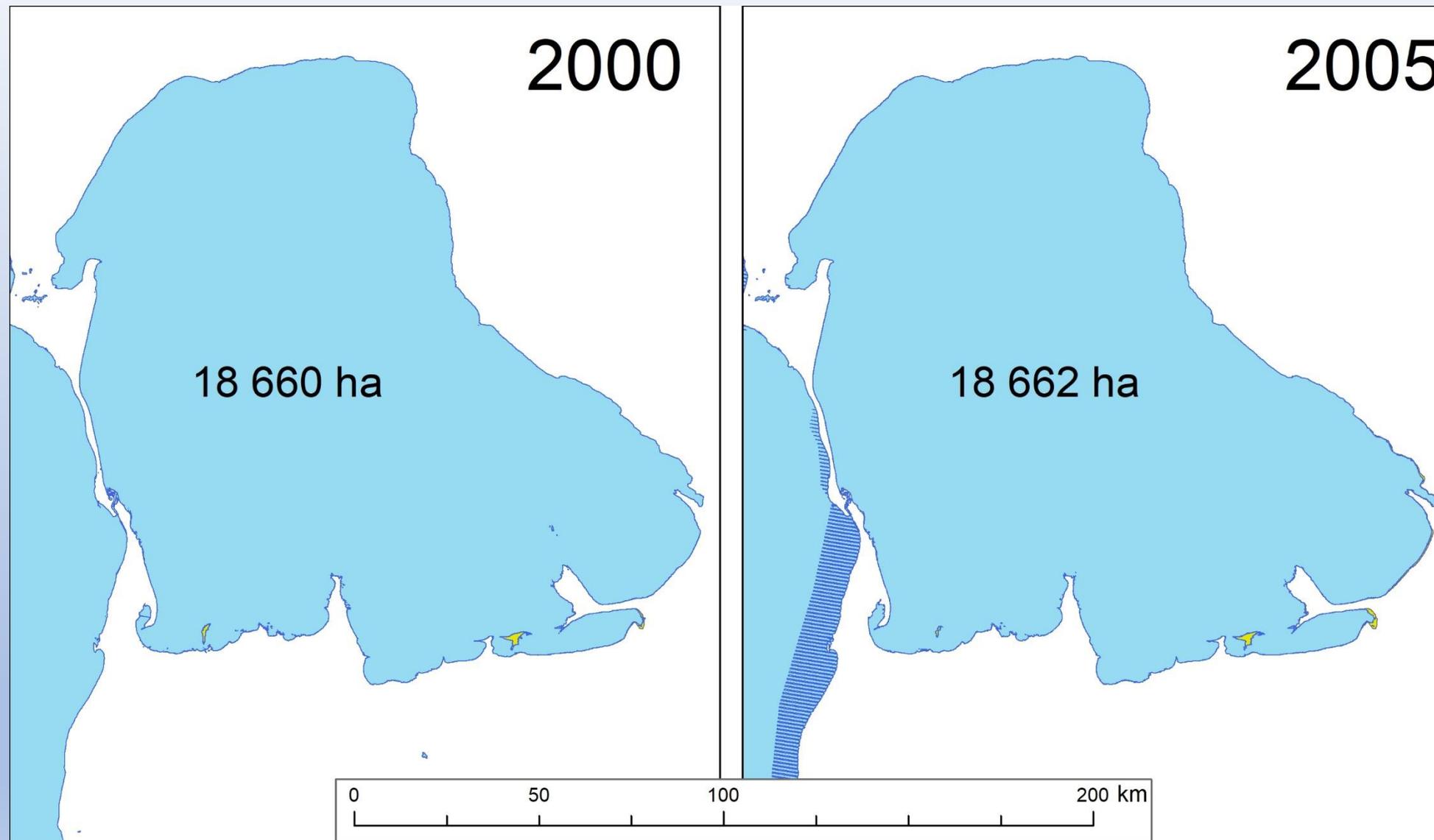
Изменение площади залива Кара-Богаз-Гол



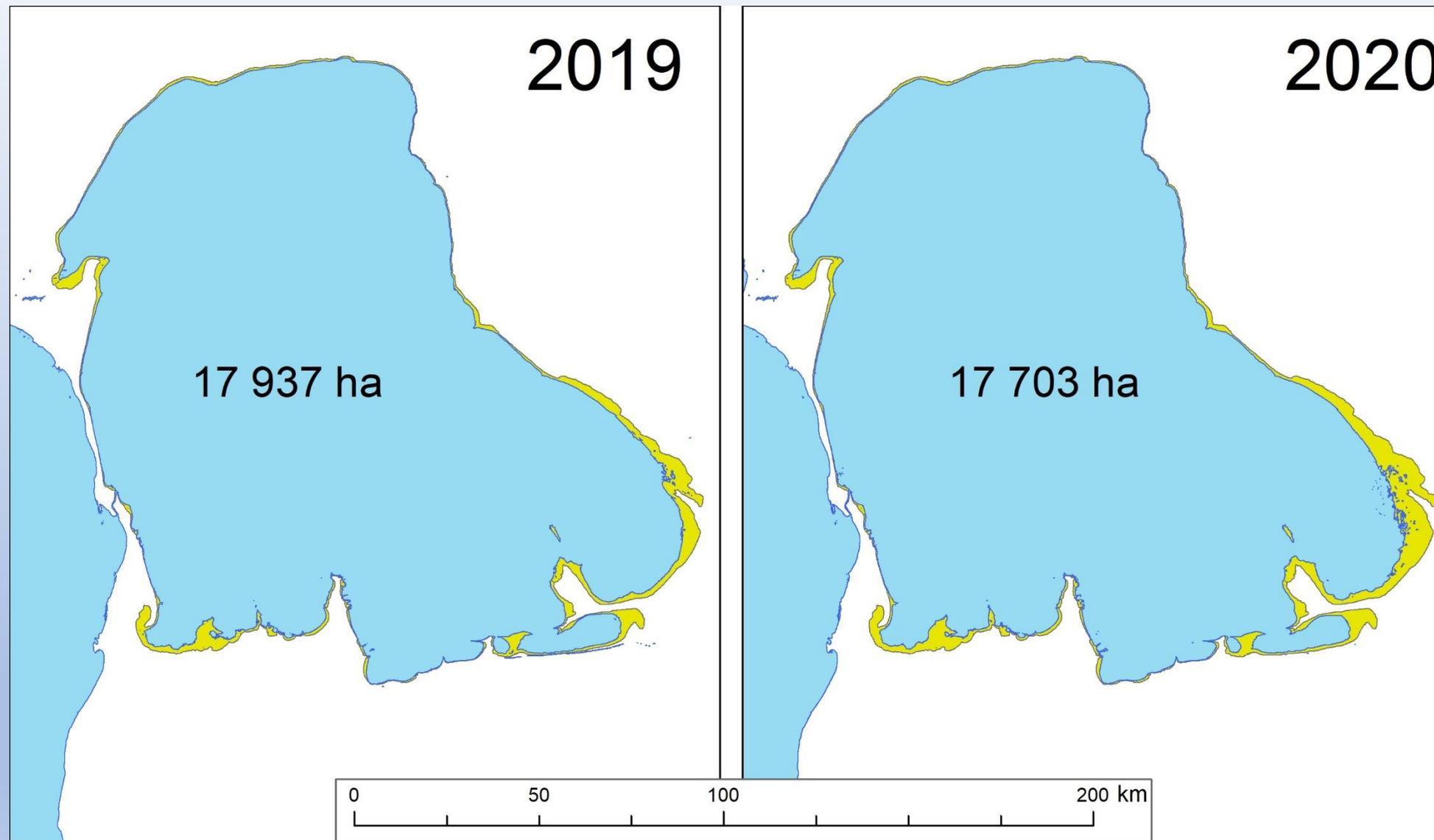
Изменение площади залива Кара-Боغاز-Гол



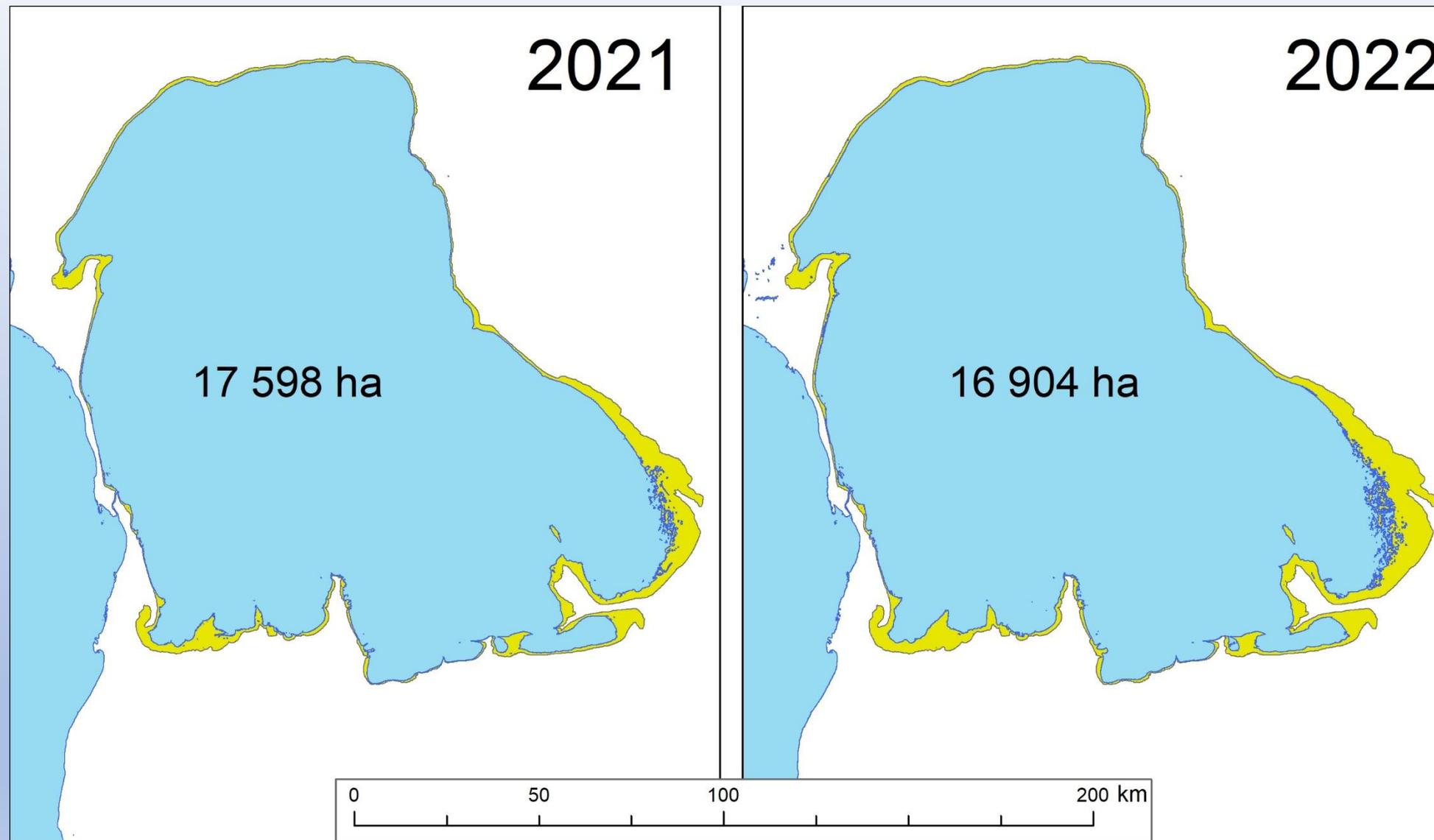
Изменение площади залива Кара-Богаз-Гол



Изменение площади залива Кара-Богаз-Гол



Изменение площади залива Кара-Богаз-Гол



Changes of Kara-Bogaz-Gol water area

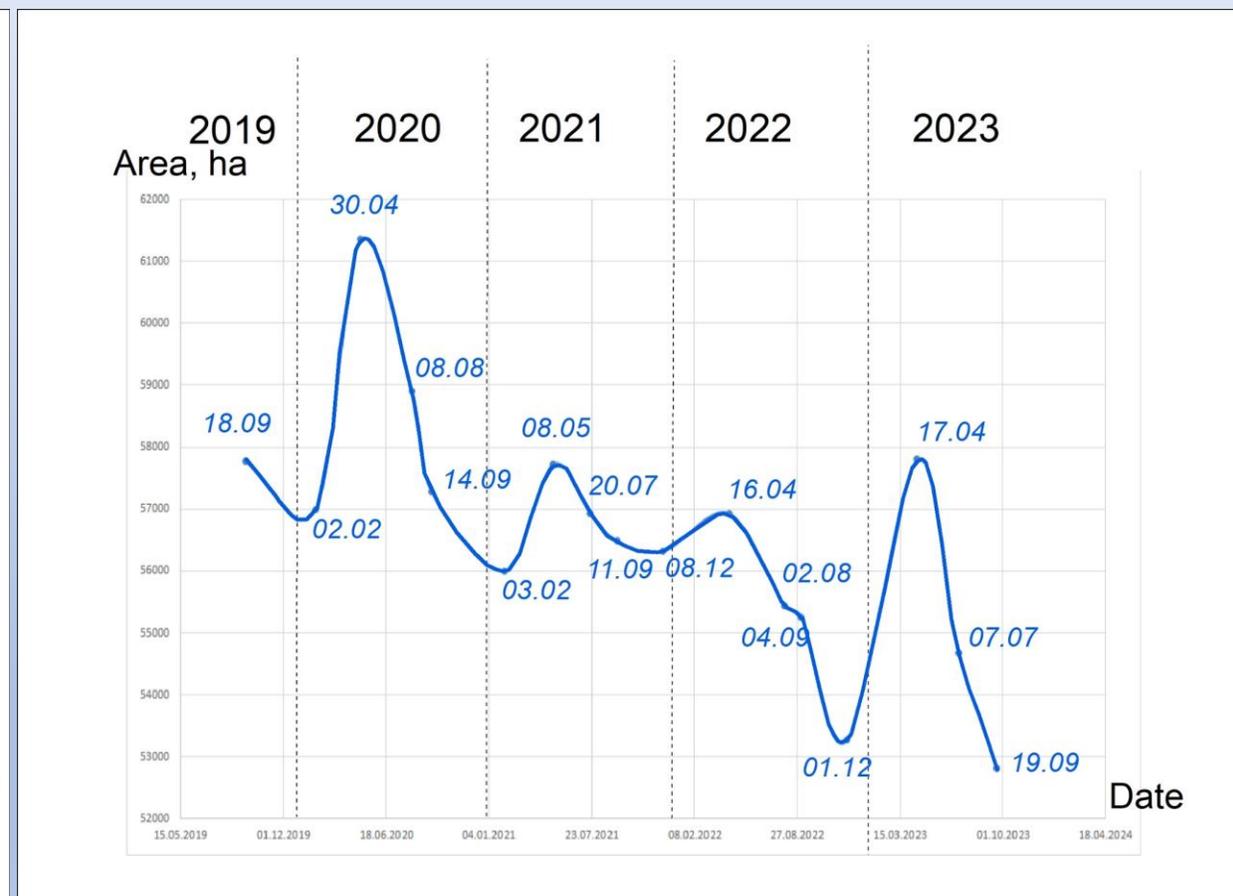


График сезонных колебаний площади залива Кара-Богаз-Гол



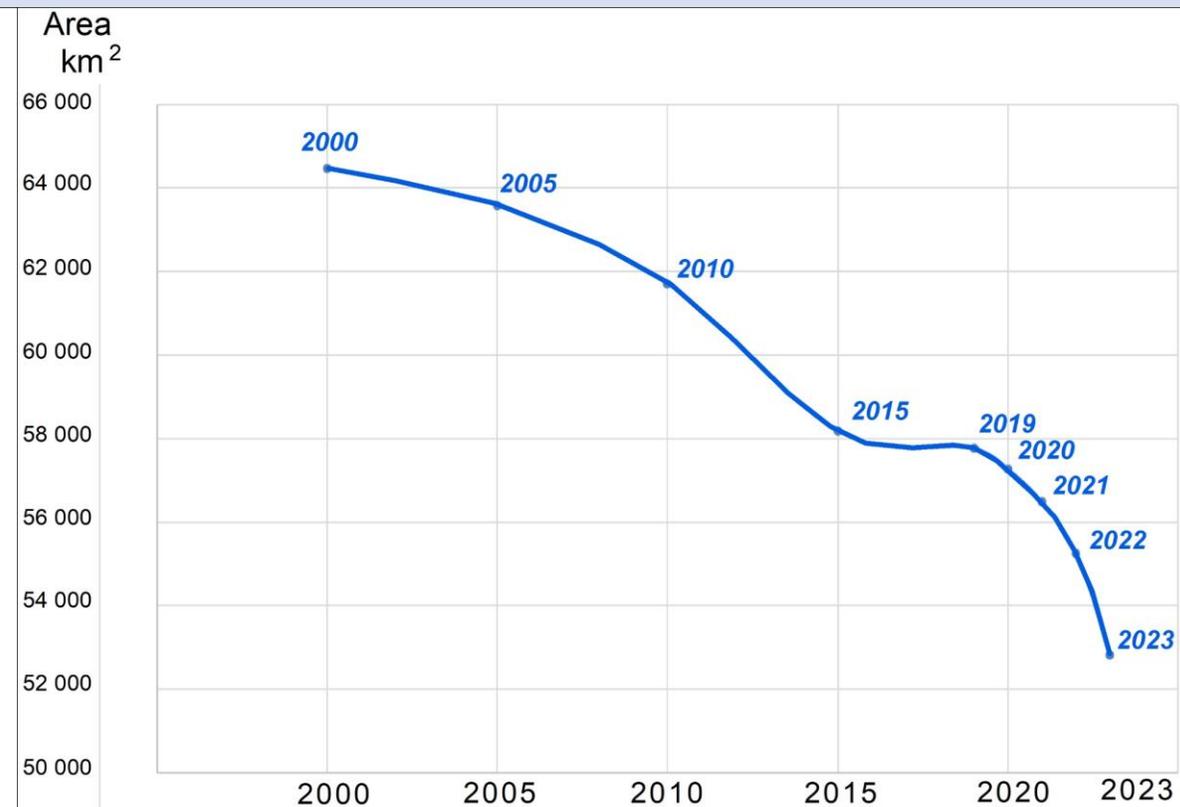
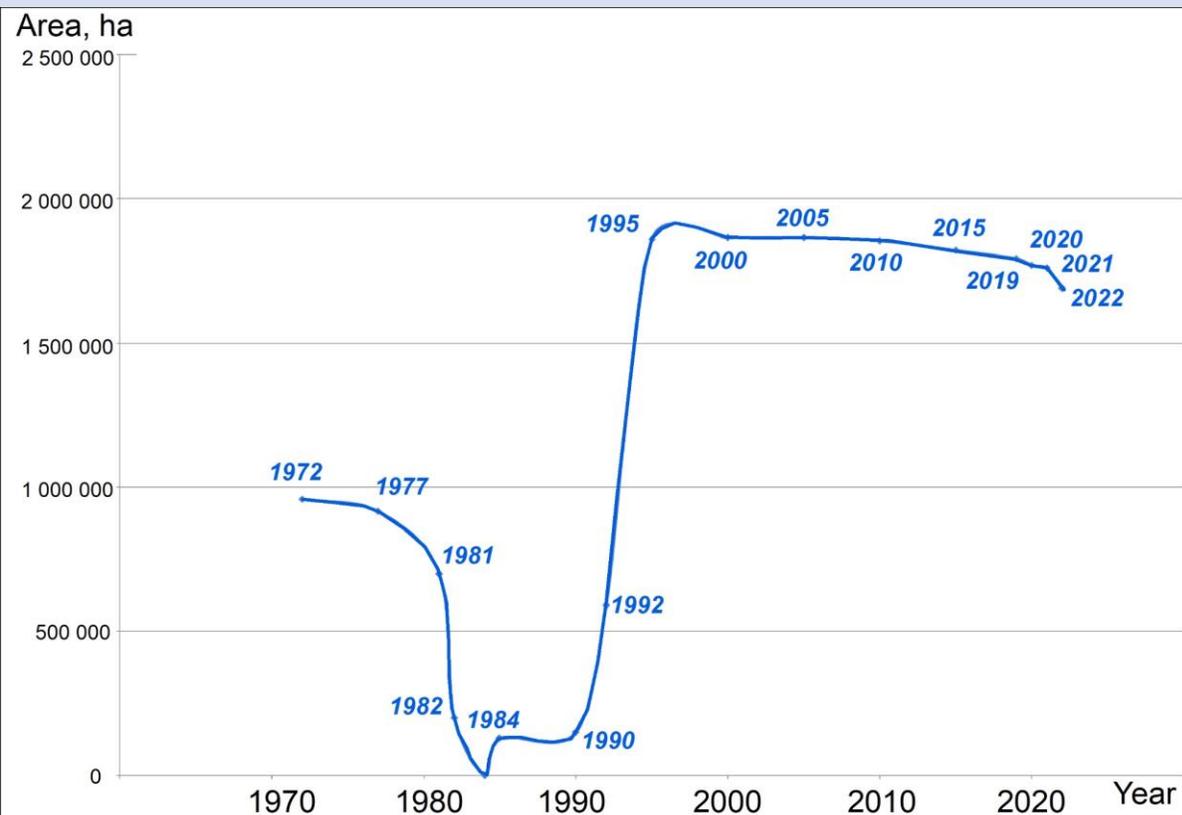


График сезонных колебаний площади залива Кара-Богаз-Гол (левый рисунок) и северо-восточной части Каспийского моря севернее 45°С.Ш.(правый рисунок) с 2019 по 2023 гг.



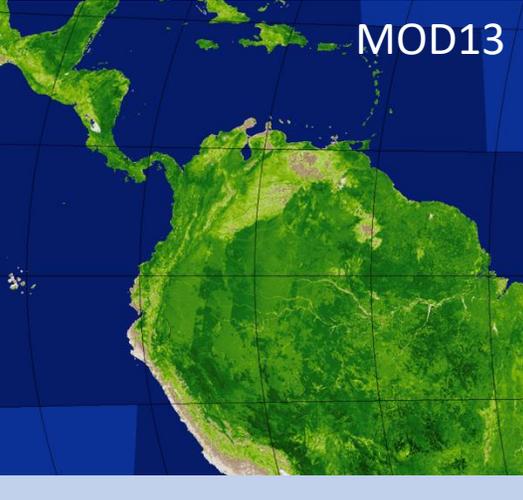
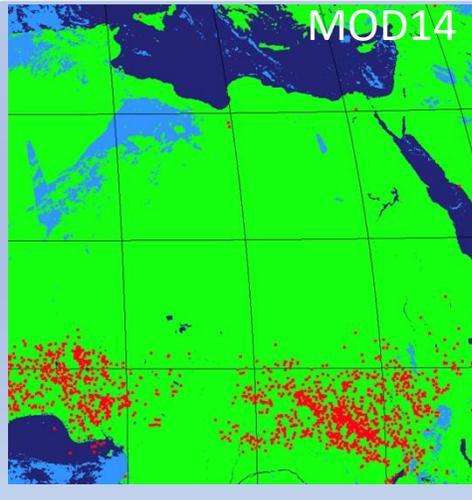
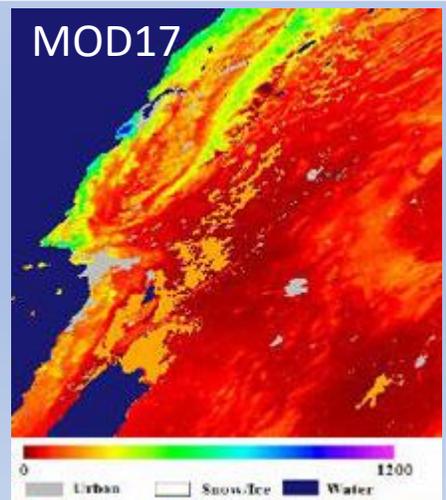
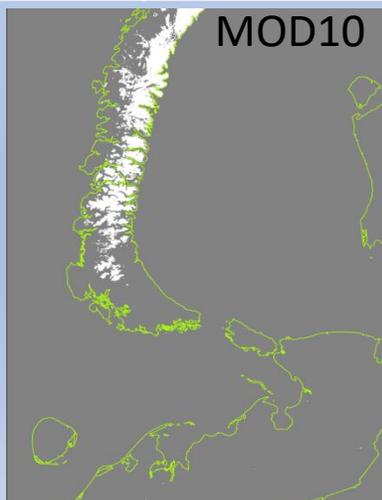
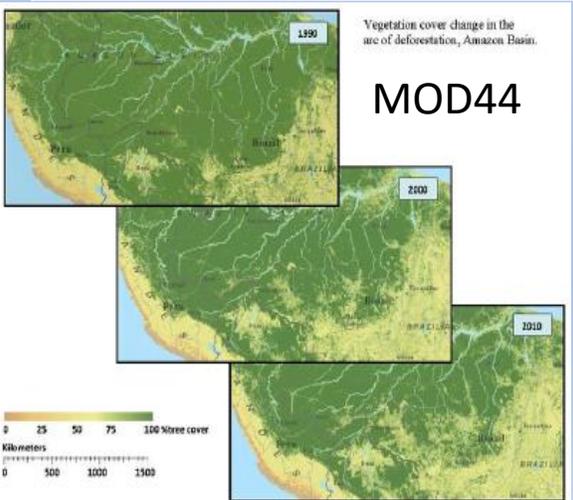
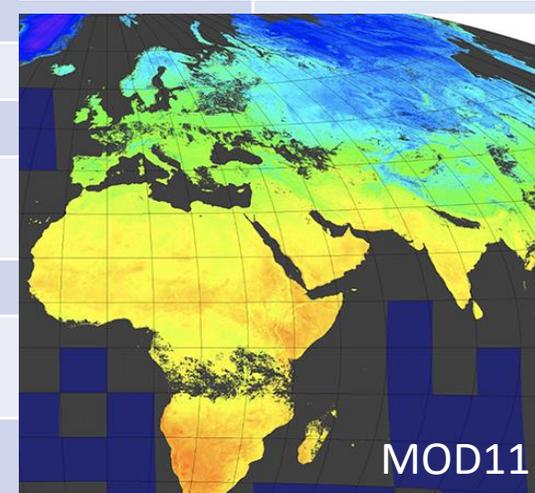


Изменение площади залива Кара-Богаз-Гол с 1972 по 2022 гг. (левый рисунок) и северо-восточной части Каспийского моря севернее 45°С.Ш. с 2000 по 2023 гг. (правый рисунок) по данным дистанционного зондирования.



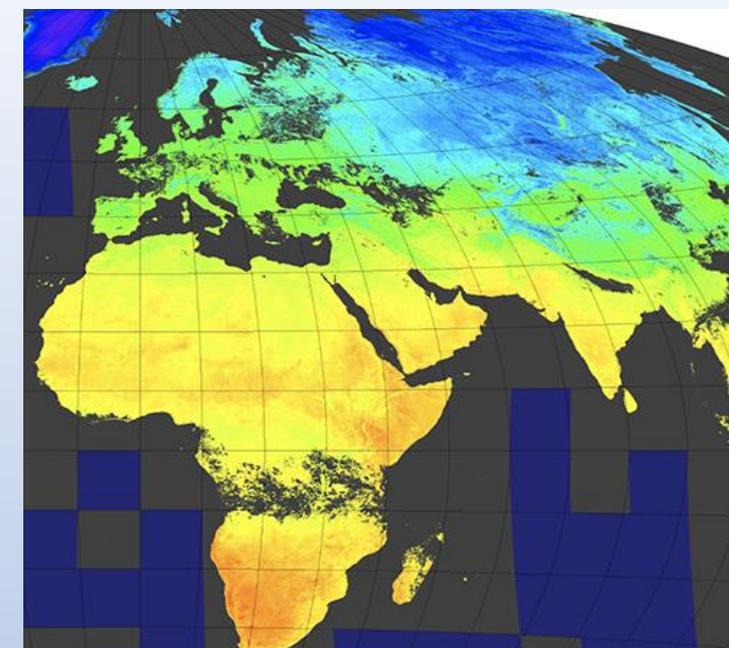
Продукты MODIS - Land

Название	Описание	Префикс
Surface Reflectance	Отражающая способность земной поверхности	MOD09
Land Surface Temperature and Emissivity	Температура и излучательная (эмиссионная) способность земной поверхности	MOD11
Land Cover/Change	Классификация типов земной поверхности и их изменений	MOD12
Vegetation Indices	Индексы растительности	MOD13
Thermal Anomalies/Fire	Тепловые аномалии/Пожары	MOD14
Normalized Difference Snow Index (NDSI)	Детектирование снежного и ледового покрова	MOD10
Net Primary Vegetation Production	Первичная продуктивность растительности	MOD17
Bidirectional Reflectance Distribution Function / Albedo	Функция двунаправленного распределения отражающей способности	MOD43
Vegetation Conversion/Continuous Fields	Изменения растительности/Проективное покрытие растительности	MOD44

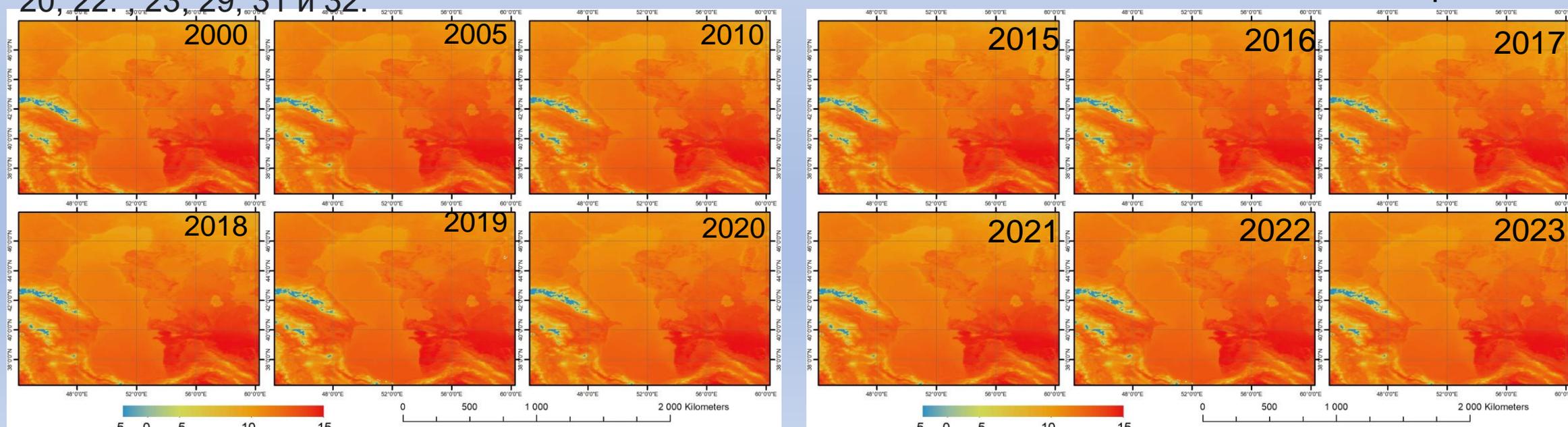


Мы получили температуру поверхности, используя данные дистанционного зондирования Modis Terra (MOD) и Aqua (MYD) с 2000 по 2023 год.

Продукт MOD/MYD11C3 предоставляет ежемесячные значения температуры и излучательной способности поверхности земли (LST&E) на сетке моделирования климата (CMG) с шагом 0,05 градуса (5600 метров на экваторе) по широте и долготе. Эти значения LST&E получены путем объединения и усреднения данных из ежедневных файлов MOD/MYD11C1 за соответствующий месяц. Каждый продукт MOD/MYD11C3 включает следующие слои для дневных и ночных наблюдений: LST, оценки контроля качества, время наблюдения, зенитные углы обзора, количество наблюдений ясного неба, процент суши в сетке и коэффициенты излучения в диапазонах 20, 22, 23, 29, 31 и 32.

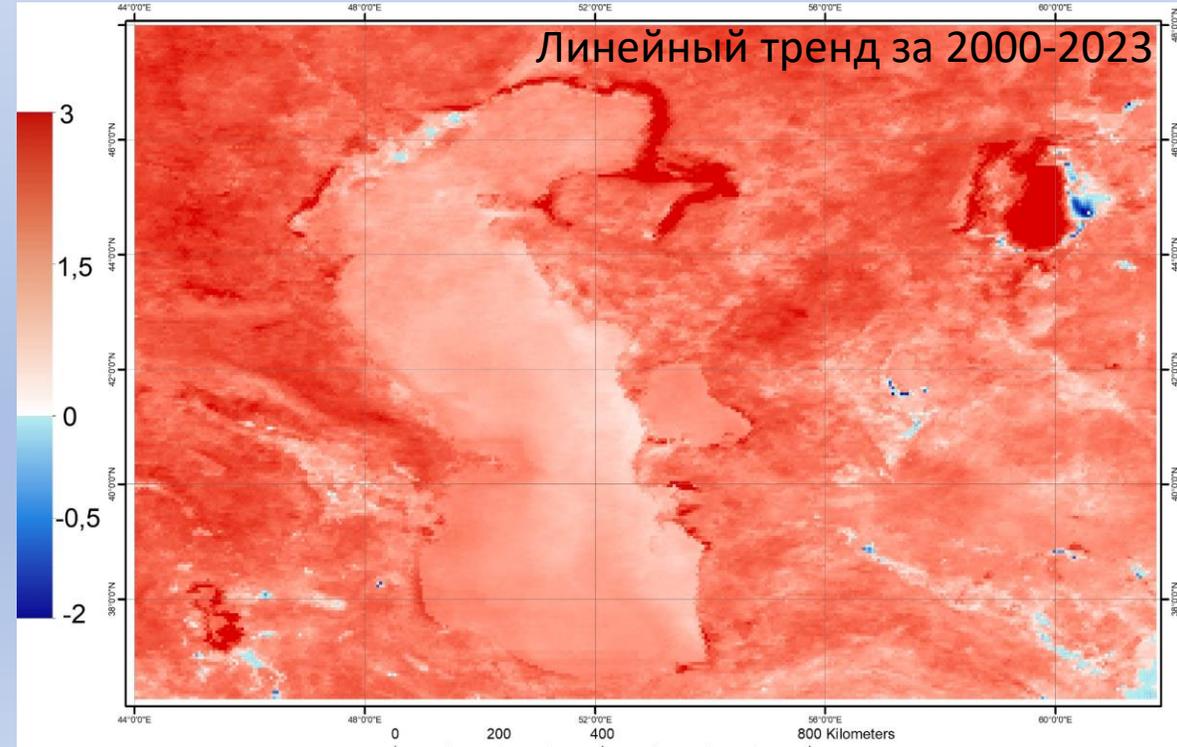
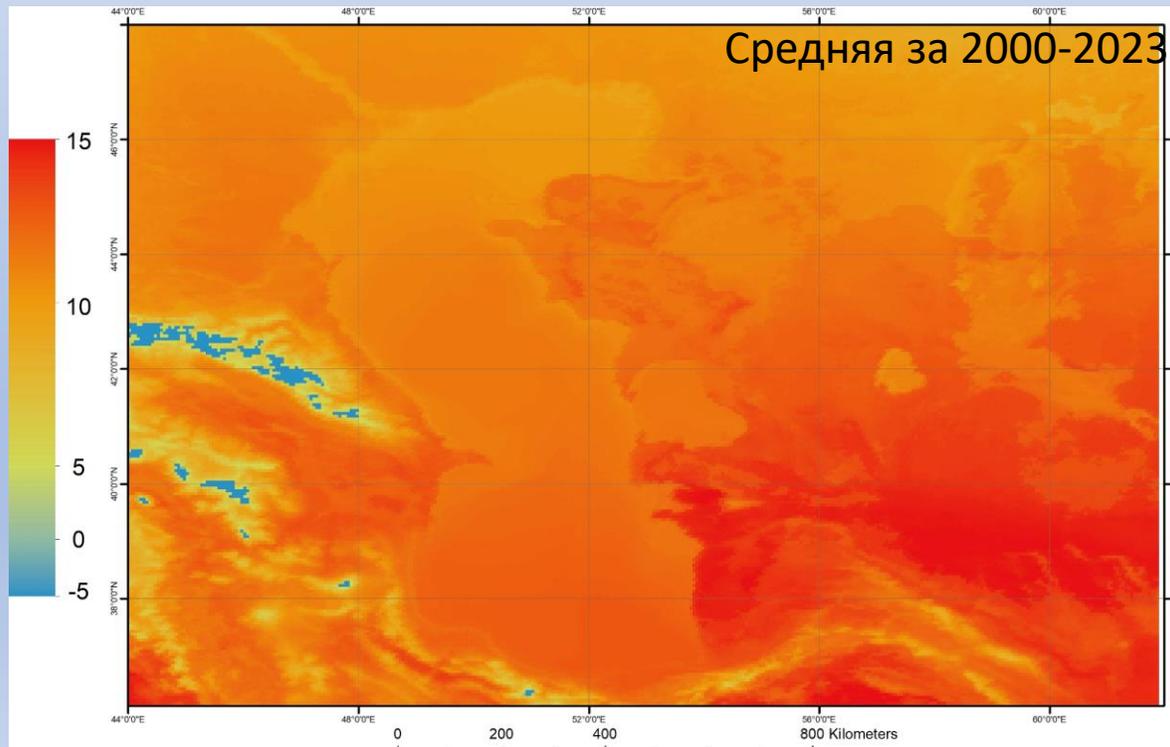
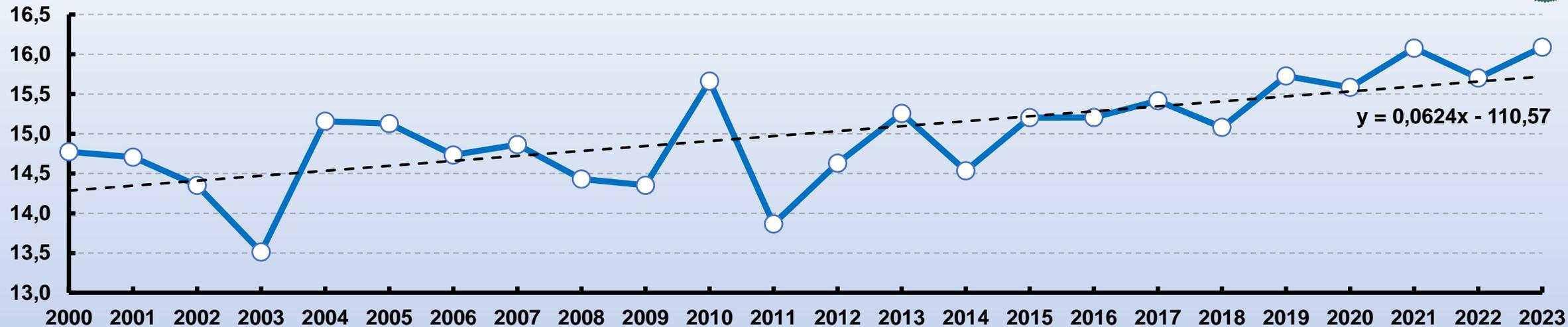


Land Surface Temperature and Emissivity





Средняя температура поверхности Земли 2000-2023 и линейный тренд изменения (1.44°C)





Climate Research Unit Data (CRU data)

Мы изучили среднюю сезонную температуру и количество осадков в регионе с помощью Метода реанализа (Climate Research Unit Reanalysis method (using CRU TS v. 4.04)).

База данных создана в университете Восточной Англии (University of East Anglia, UK.)

Data available – <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg>



В исследовании использовались глобальные данные, представленные в узлах стандартной пространственной сетке **0.5° x 0.5°**.

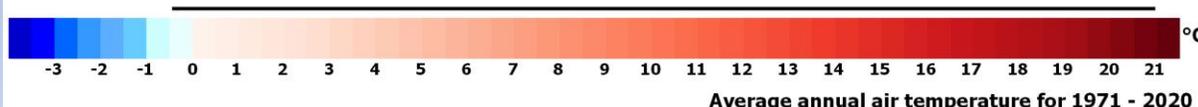
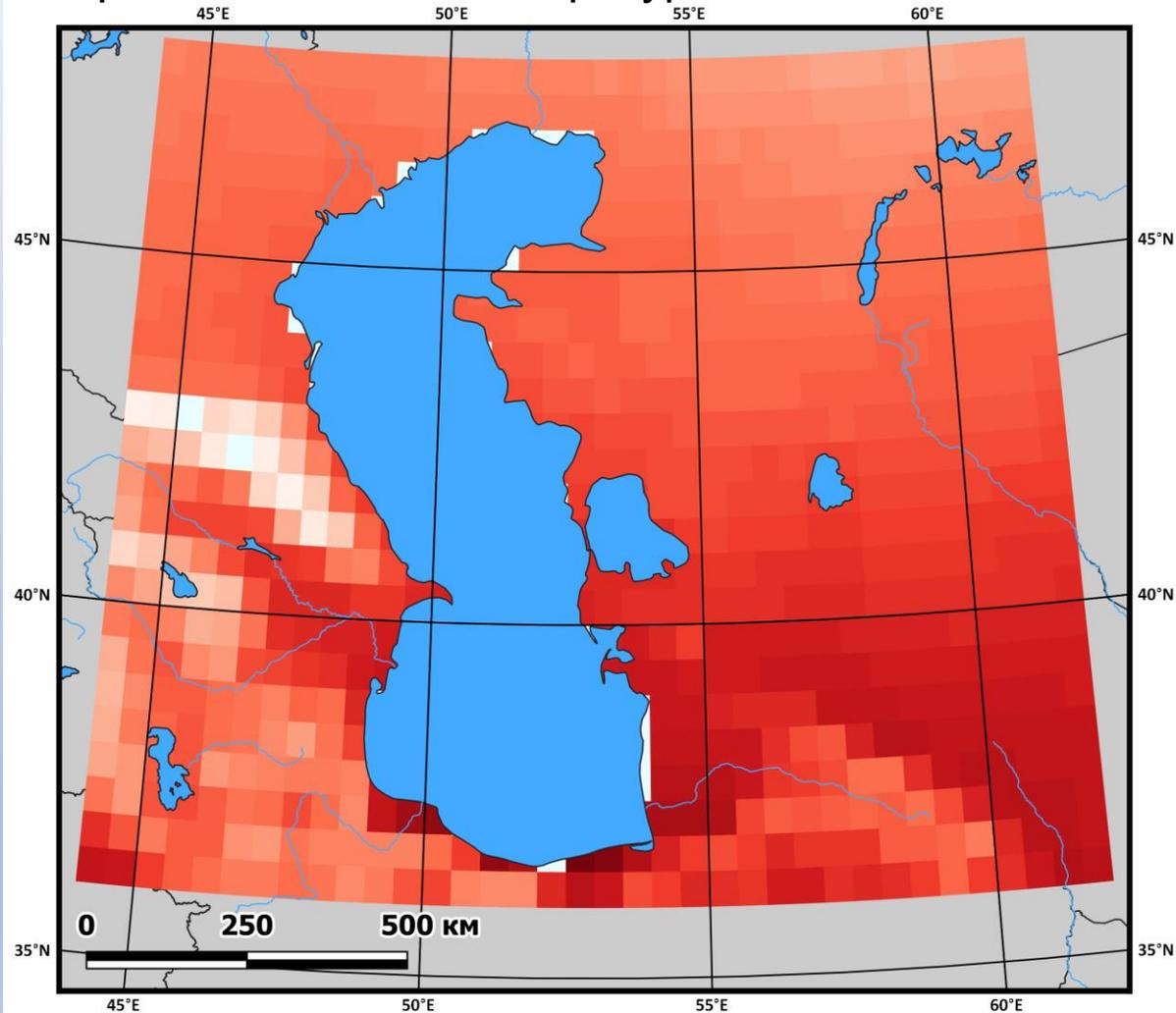
[Harris I., Osborn T.J., Jones P.D., Lister D. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*. 2020 7:109]

Значения получены путем статистической обработки данных наблюдений сети метеорологических станций.

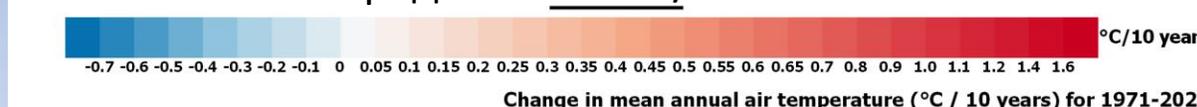
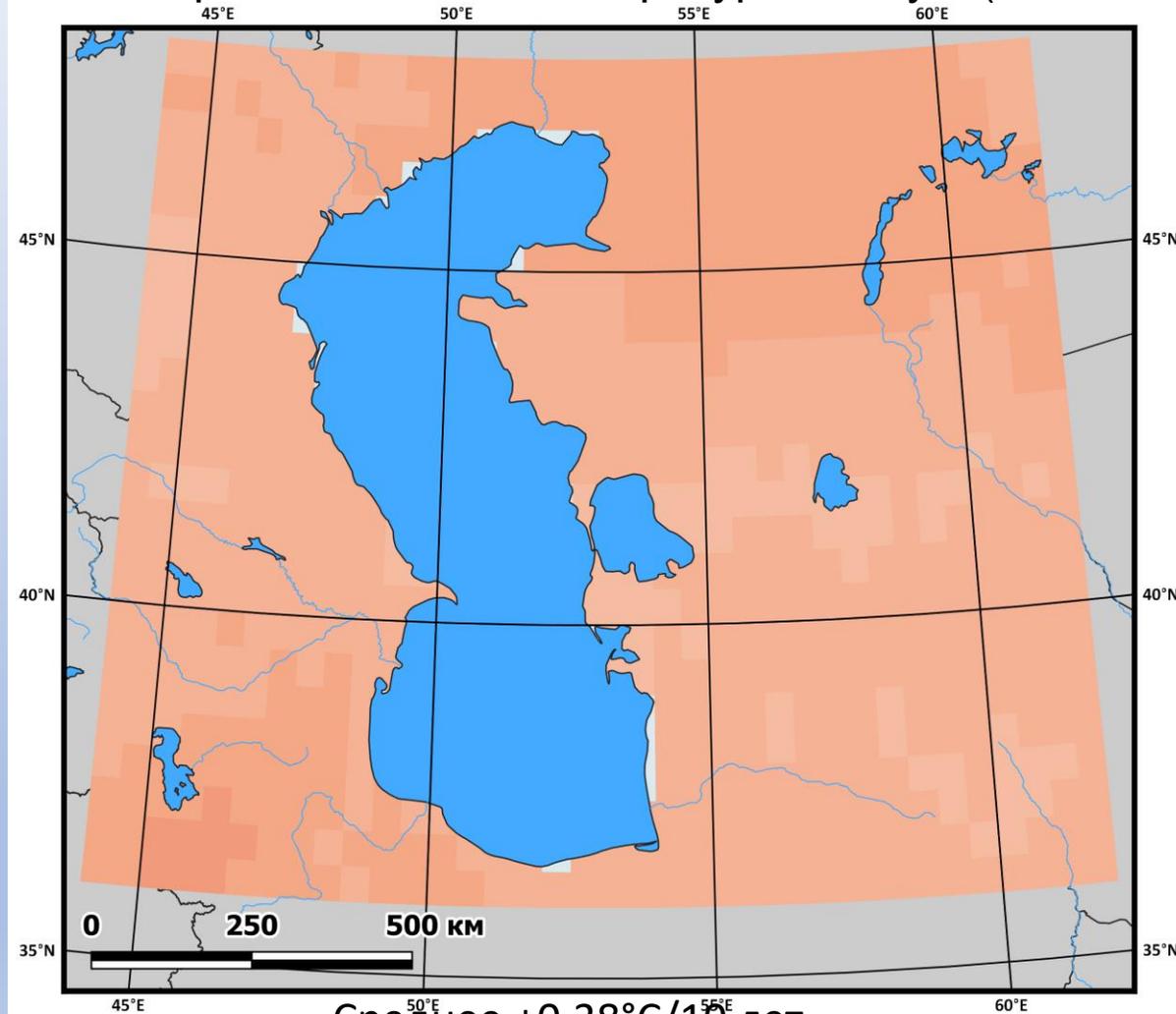
Общая наблюдаемая тенденция – повышение температуры за 1971-2020 линейный тренд изменения 1971- 2020 - $+1.88\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2000-2020 - $+0.77\text{ }^{\circ}\text{C}$



Среднегодовая температура за 1971-2020



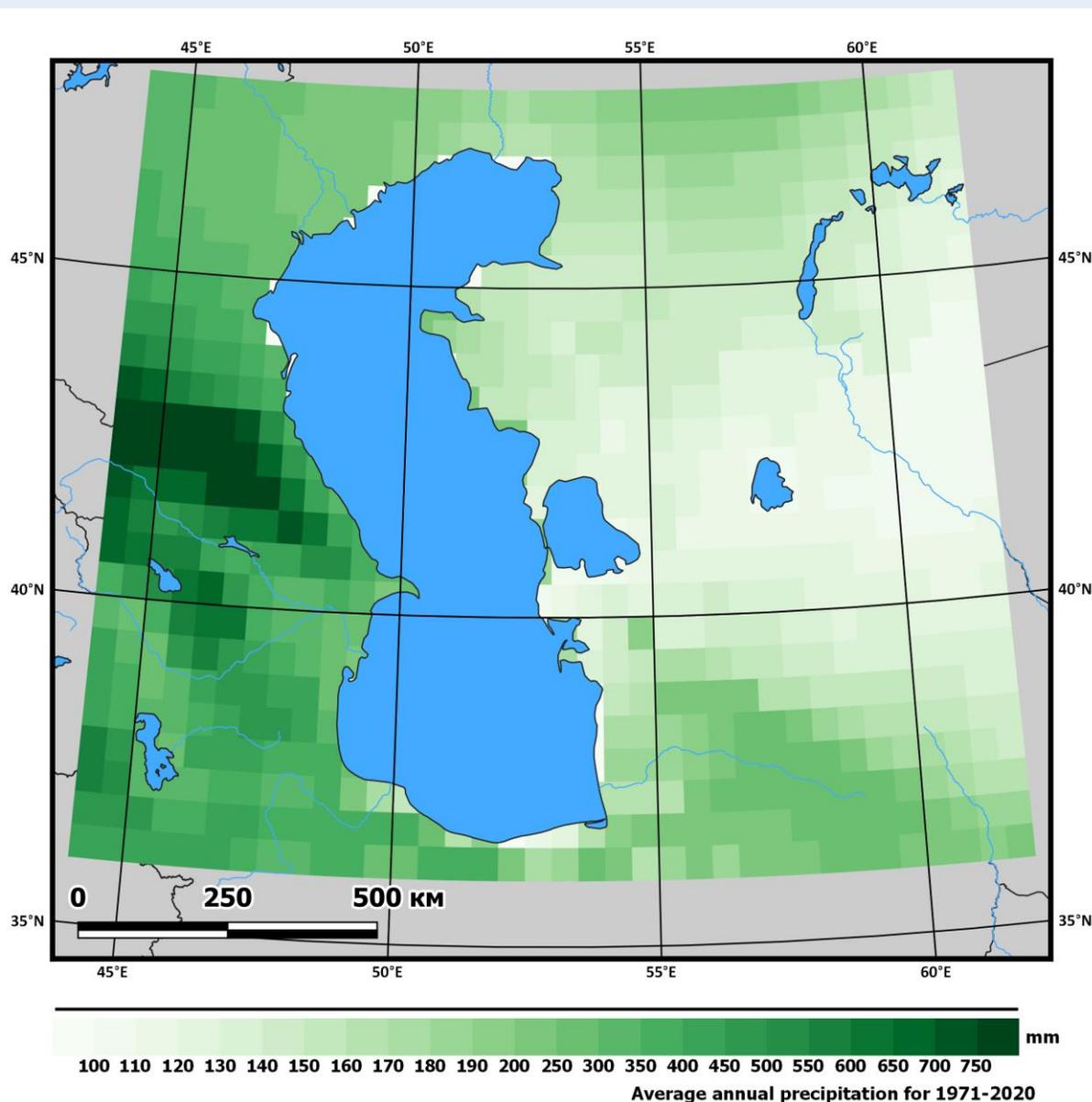
Изменение среднегодовой температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет)



Среднее $+0.38\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет



Среднегодовое количество осадков 1971-2020



В среднем в открытом море впадает около 200 mm осадков в год, на западном побережье 300-400 mm, в юго-западной части моря - до 1700 mm, а на восточном побережье - всего 100 mm

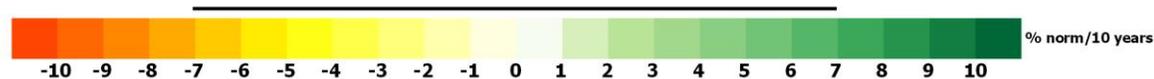
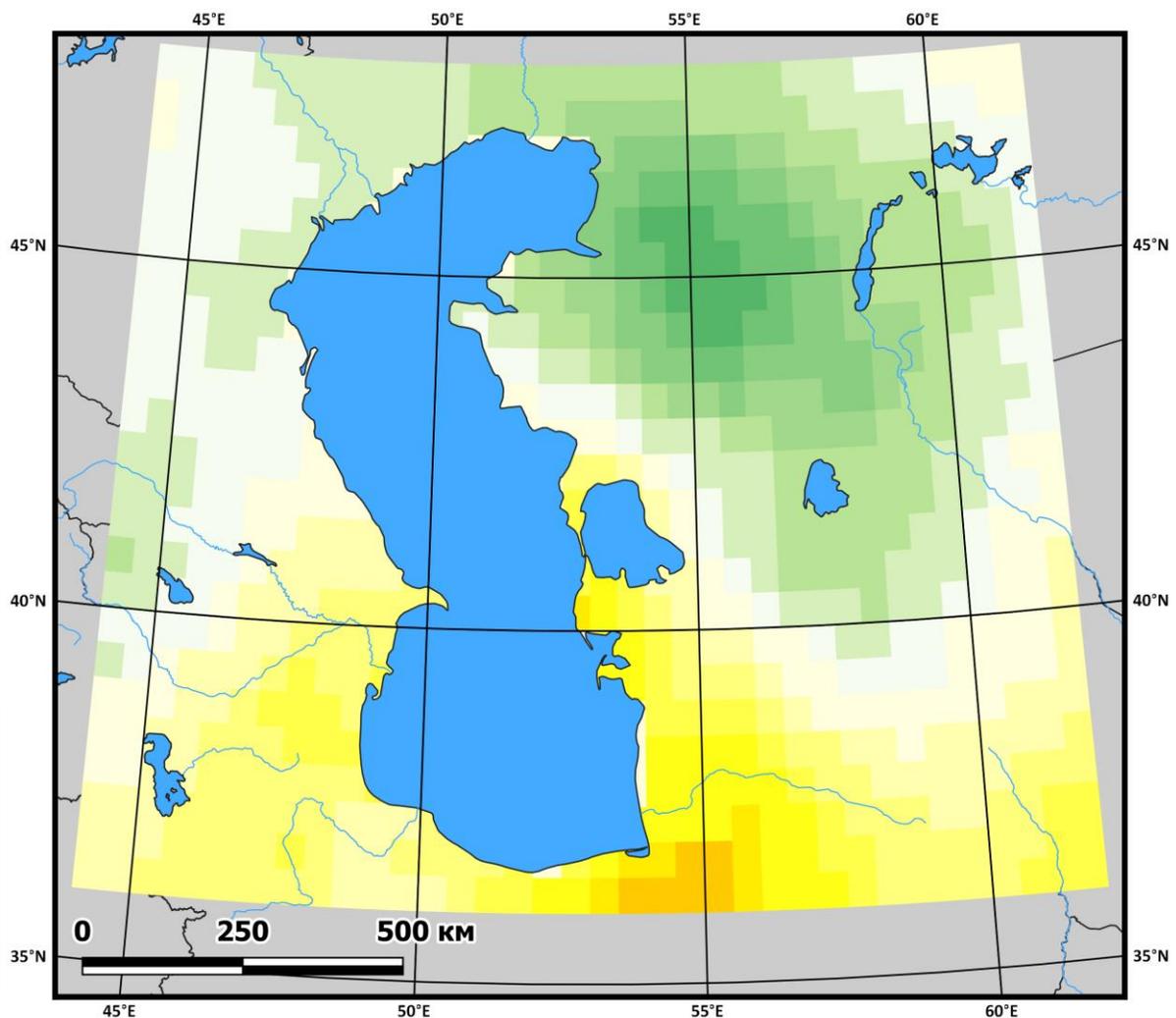
Ежегодно Каспийское море получает около 180 mm атмосферных осадков и теряет около 910 mm за счет испарения. В среднем море выбрасывает в атмосферу в пять раз больше влаги, чем получает. В восточной части Среднего Каспия это соотношение может достигать 13-20 раз. Исключением является лишь крайняя юго-западная часть моря, где среднегодовое количество осадков сопоставимо с величиной испарения.

[Kislov A.V. On the multi-scale fluctuations of the level of the Caspian Sea // Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography. – 2011. – No. 2. – pp. 49-54]



Изменение количества осадков 1971-2020

Изменение среднегодового количества осадков (% norm / 10 лет)



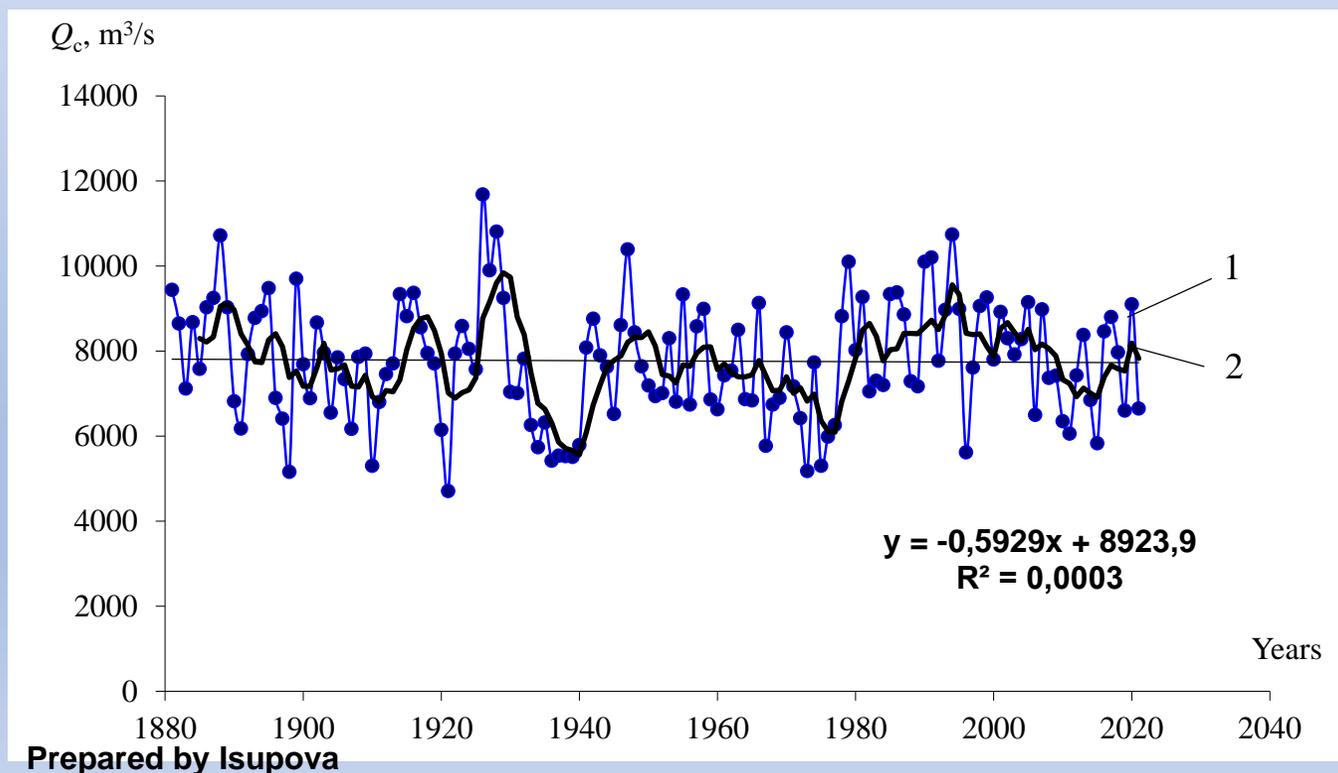
Change in mean annual precipitation (% norm/10 years) for 1971-2020

Тенденции выпадения осадков различаются как во времени, так и в пространстве: на севере и западе годовое количество увеличивается, а на востоке и юге либо уменьшается, либо не меняется. Еще более сложными являются изменения в сезонном распределении осадков.

Сток Волги



На изменение уровня Каспийского моря влияют не только местные климатические условия, но и сток реки Волги, который регулируется системой водохранилищ. Несмотря на увеличение количества осадков в основной части бассейна реки, статистика Росгидромета свидетельствует о том, что сток реки в последние десятилетия снижается.

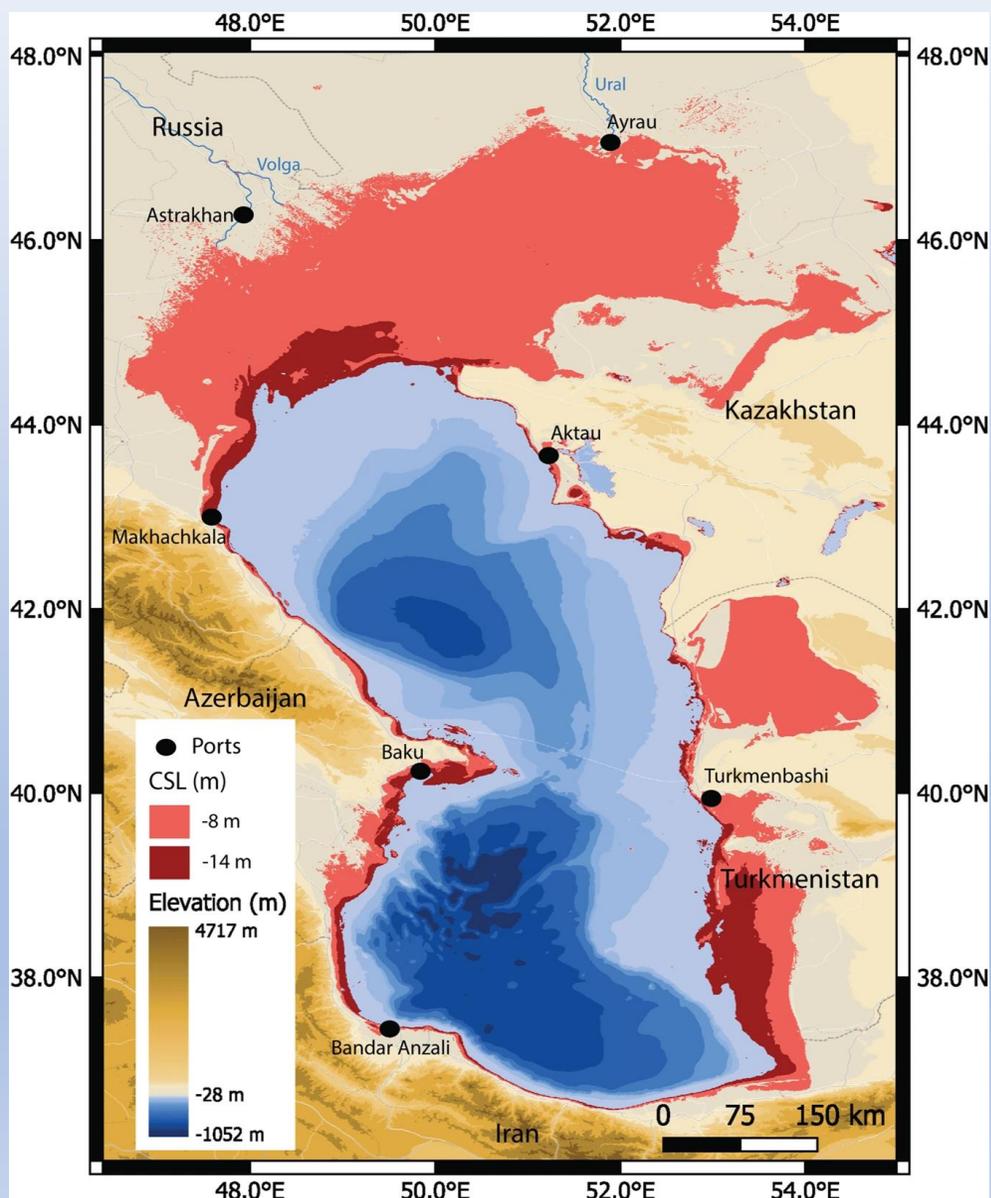


Река Волга обеспечивает 81% общего стока в Каспийское море.

Уменьшение стока реки Волги за последние несколько десятилетий можно объяснить, в том числе, уменьшением количества осадков в бассейне реки.

Многолетние изменения общего среднегодового расхода воды Волги Q_c на гидропосте Верхнее Лебяжье (1) и в осредненное за пять лет (2)

Прогноз



Принимая во внимание прогнозы МГЭИК по изменению климата, существует вероятность дальнейшего снижения уровня Каспийского моря, что может привести к значительным негативным воздействиям на местные сообщества, подобным пыльным бурям, возникающим на высохшем дне Аральского моря.



Расчеты показывают, что это снижение может ускориться в ближайшие десятилетия.

К 2100 году прогнозируется, что уровень моря может снизиться на 8-14 метров, что приведет к сокращению площади морского бассейна на 23-34 процента и дальнейшему снижению уровня залива Кара-Богаз-Гол.

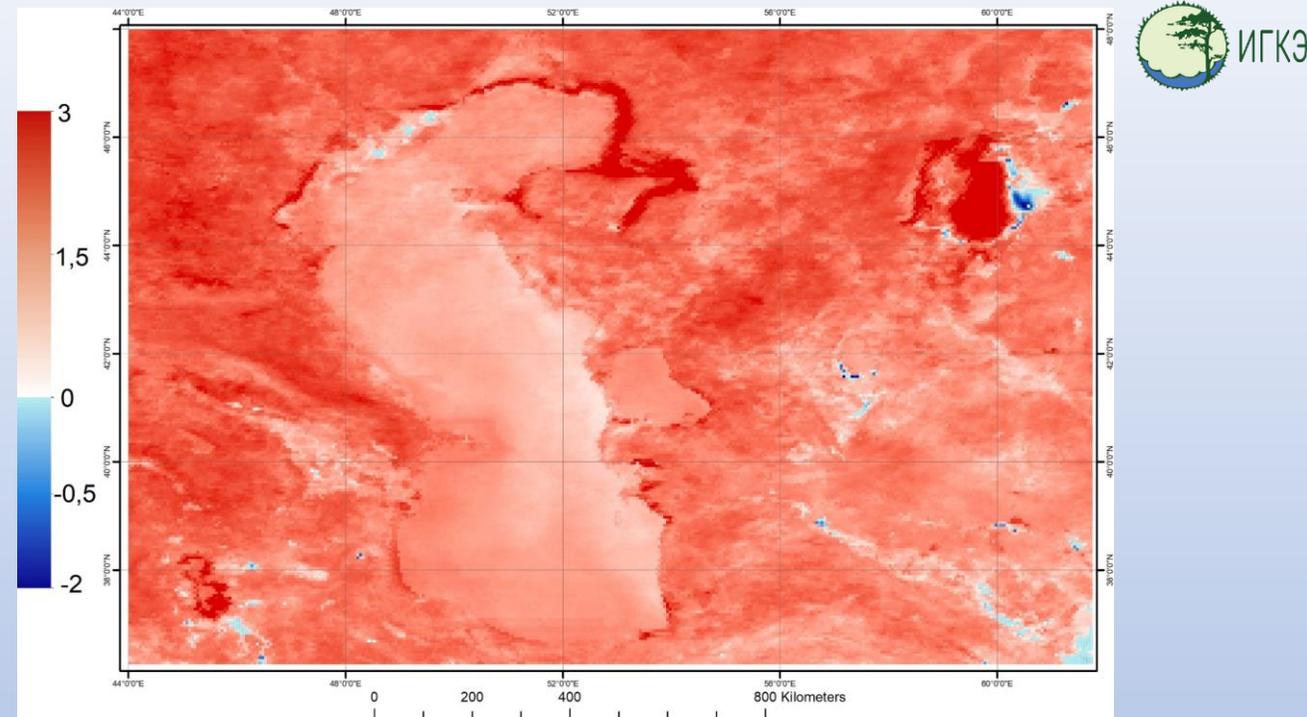
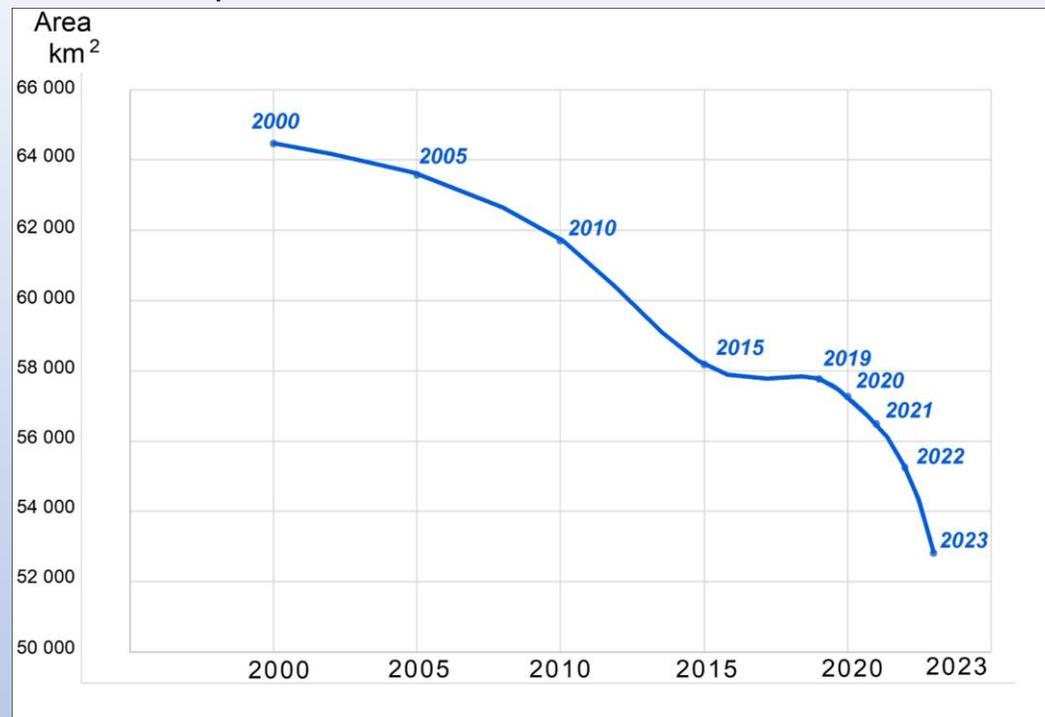
Оценивается воздействие на Каспийское море из-за прогнозируемого опускания на 8–14 метров к концу XXI века для сценариев SSP245 и SSP585.

[Samant R., Prange M. Climate-driven 21st century Caspian Sea level decline estimated from CMIP6 projections // Communications Earth & Environment. – 2023. – Т. 4. – №. 1. – С. 357]

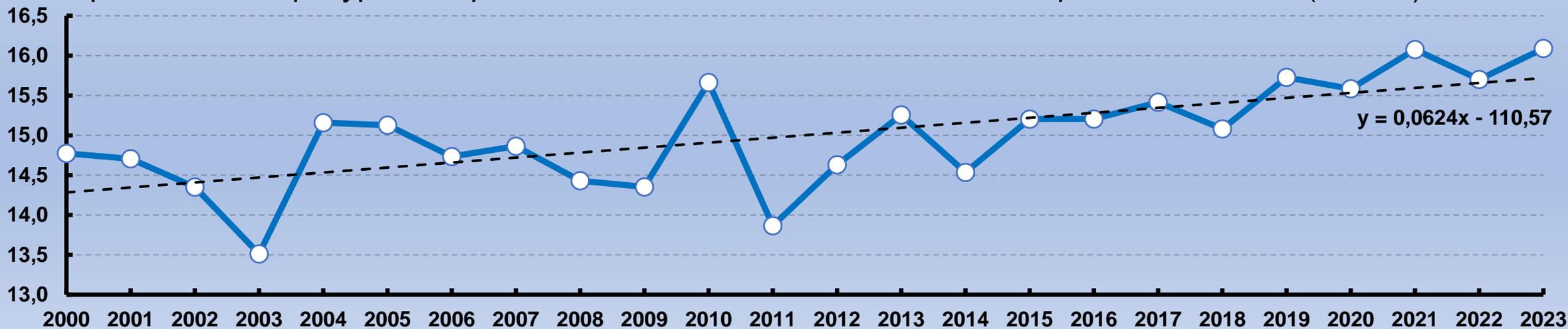
Изменение площади северо-восточной части Каспийского моря с 2000 по 2023 гг.

Главные результаты

ЛИНЕЙНЫЙ ТРЕНД ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ



Средняя температура поверхности Земли 2000-2023 и линейный тренд изменения (1.44°C)





Спасибо за внимание

Исследование проводилось при поддержке



Contacts:

alexaaleynikov@gmail.com