

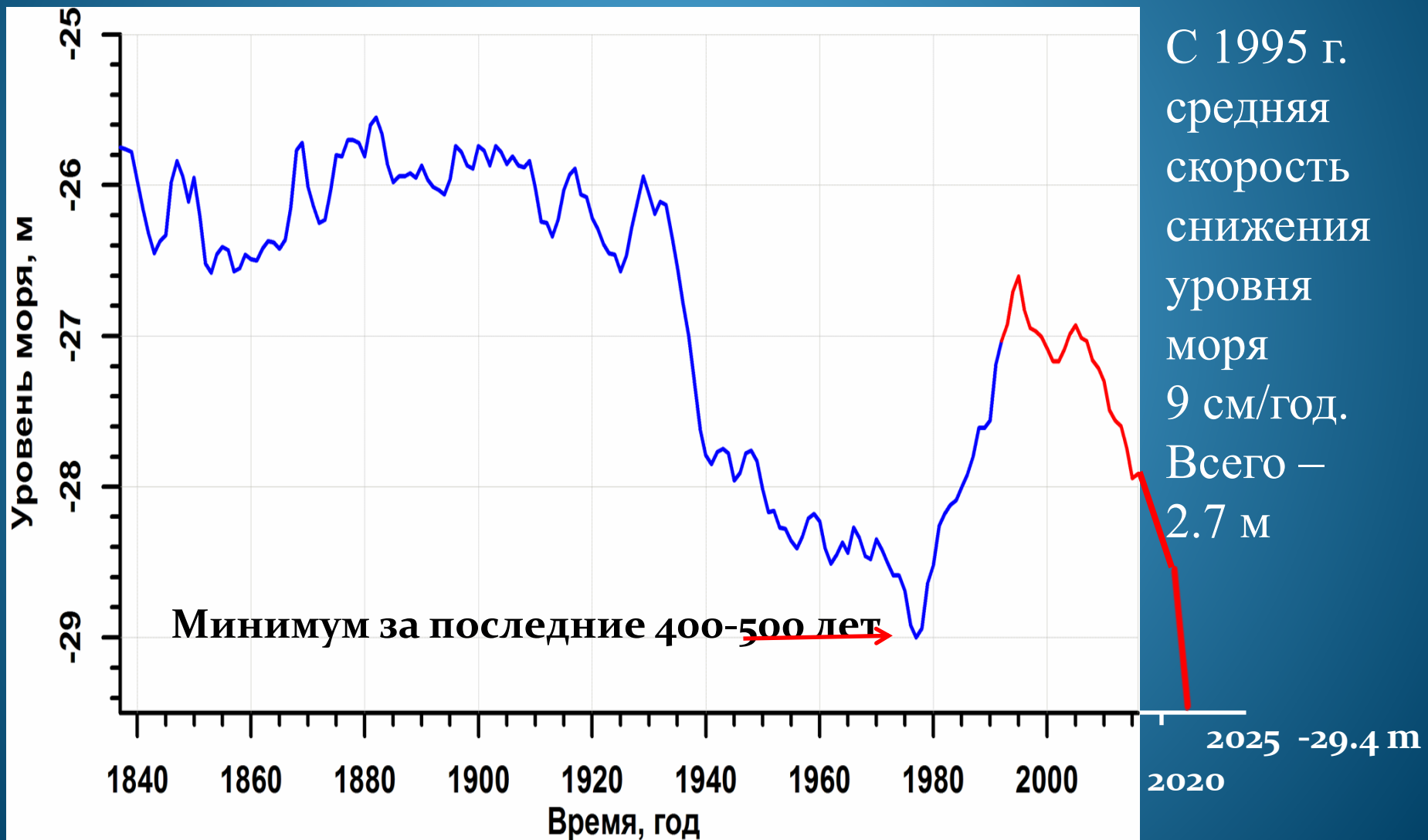
Региональное изменение климата Каспийского моря

*Костяной А.Г., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. (ИО РАН),
Бочаров А.В. (ТвГУ), Лебедев С.А. (ГЦ РАН)*

РНФ N 23-77-00027 «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования» (2023-2026)

Госбюджет FMWE-2026-0004 «Моделирование компонентов водного баланса Каспийского моря на перспективу до конца XXI в. для оценки сценариев будущих изменений водного баланса. Разработка рекомендаций по адаптации населения и хозяйствующих субъектов к изменениям уровня Каспия» (2026-2028)

Уровень Каспийского моря (1836-2025)

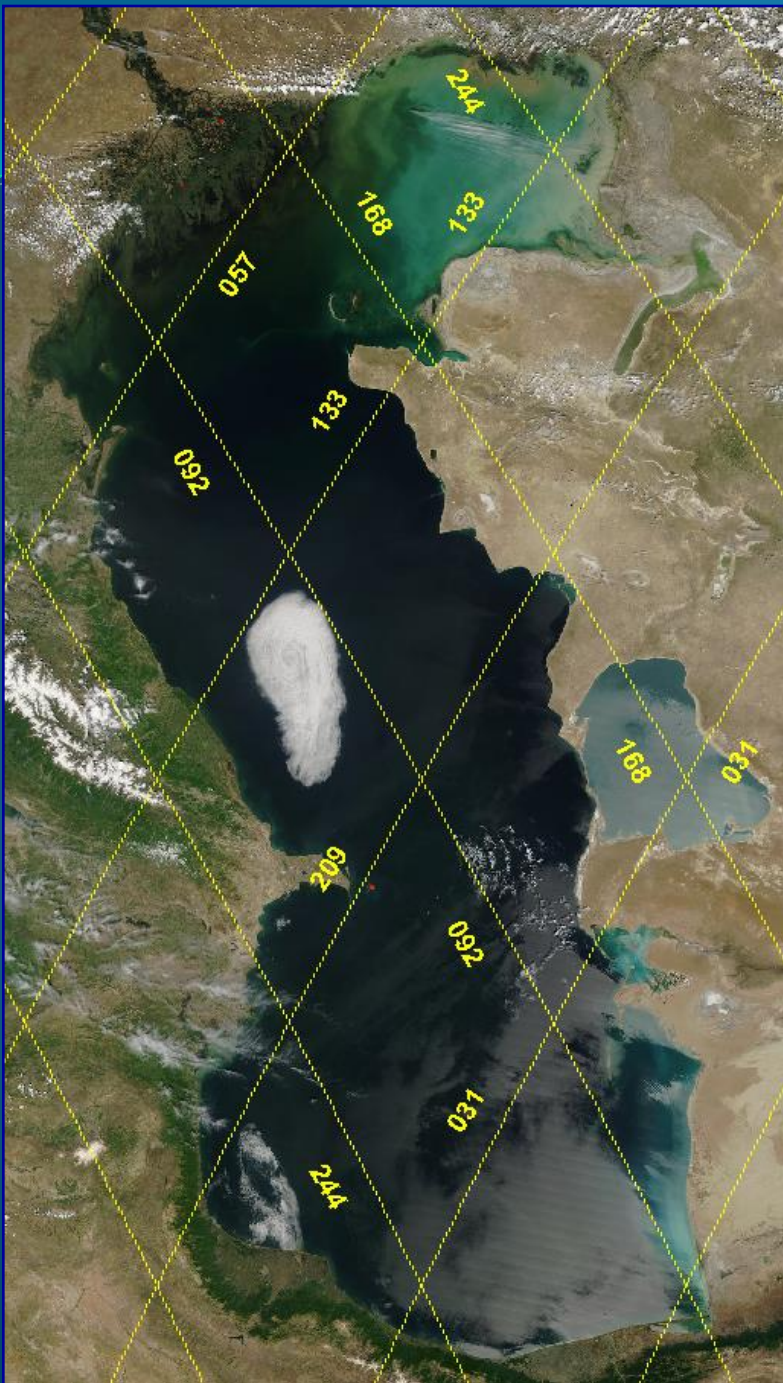


Спутниковая альтиметрия

Каспийского моря

Положение наземных треков альтиметров на спутниках Торех/Poseidon, Jason-1, Jason-2, Jason-3. Данные - с сентября 1992 по настоящее время.

Чётные числа представляют собой восходящие треки, нечётные — нисходящие треки.



Уровень Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии с 27 сентября 1992 по 14 ноября 2025 (HYDROWEB, LEGOS, France)

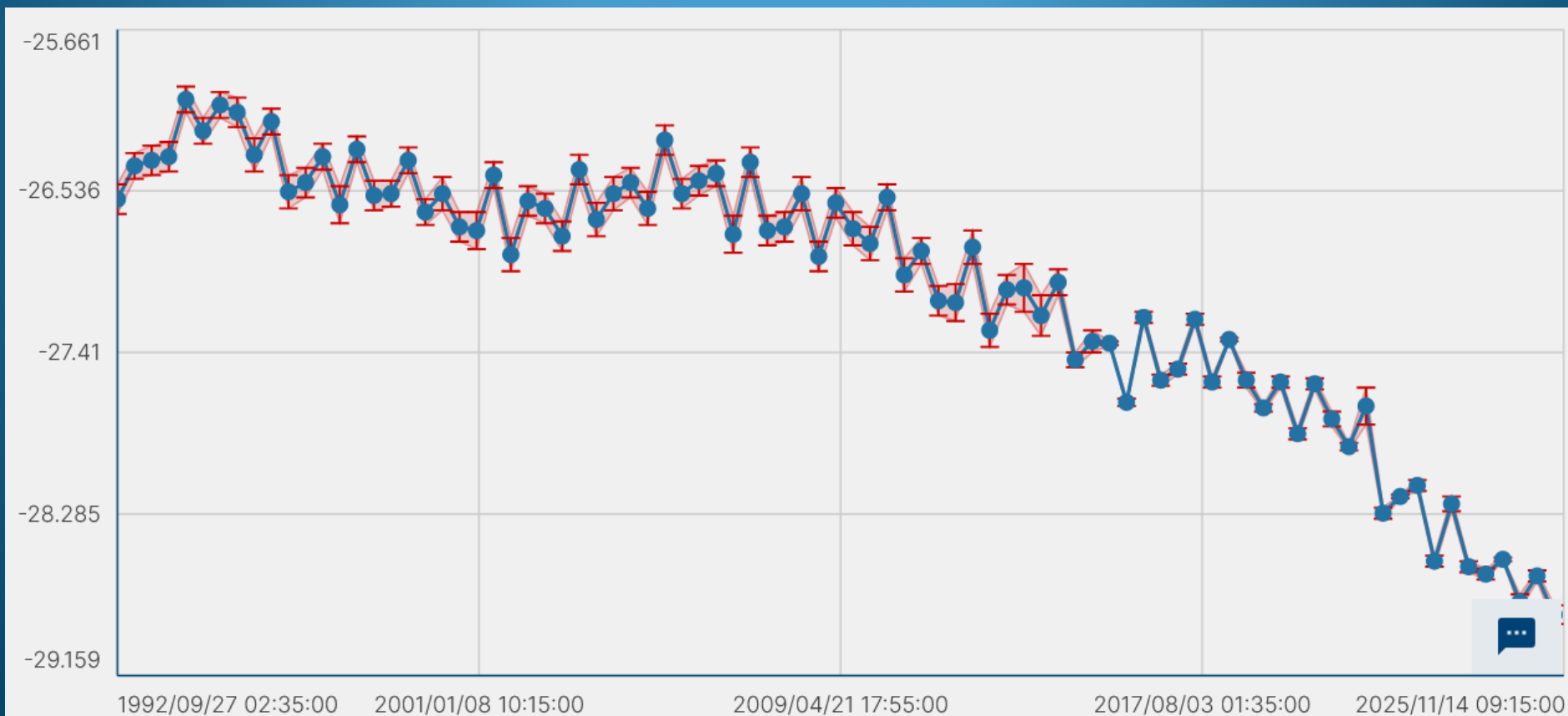
Уровень Каспийского моря снижается уже 30 лет!

-29.39 м 29.01.2025

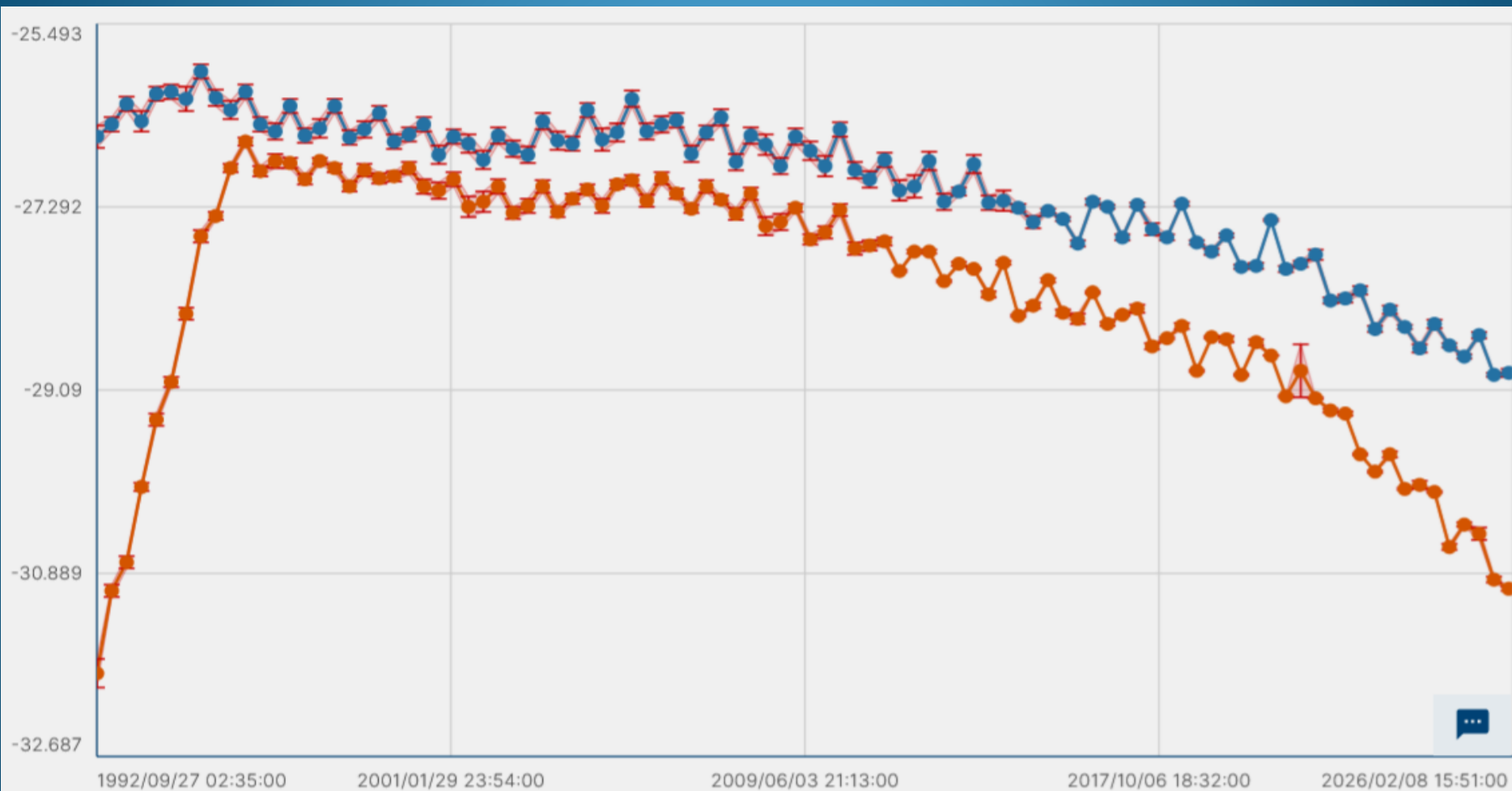
-29.21 м 16.02.2024

Снижение за год на 18 см

Средняя скорость снижения уровня 9 см/год (2.7 м с 1995)



Уровень Каспийского моря (синий) и залива Кара-Богаз-Гол (красный) по данным спутниковой альтиметрии с 27.09.1992 по 08.02.2026 (HYDROWEB, LEGOS, France)





COMMENT

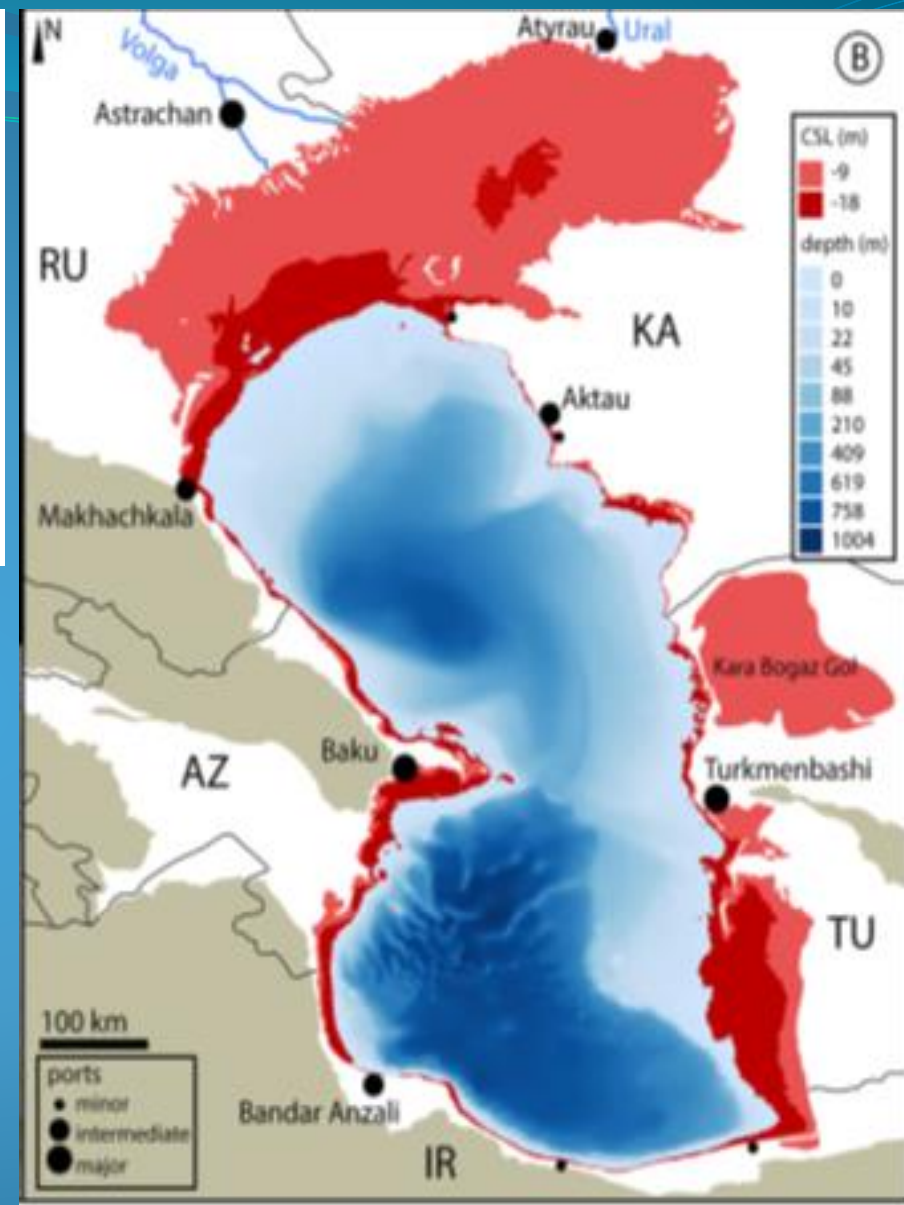
<https://doi.org/10.1038/s43247-020-00075-6>

OPEN

The other side of sea level change

Matthias Prange¹, Thomas Wilke² & Frank P. Wesselingh^{3,4}

Дальнейшее снижение уровня Каспийского моря приведет к региональной социально-экономической катастрофе. К 2100 году прогнозируется падение уровня моря на 9-18 м, что соответствует сокращению площади моря на 23-34%. Обмеление всех портов уже при снижении уровня на 5 м.



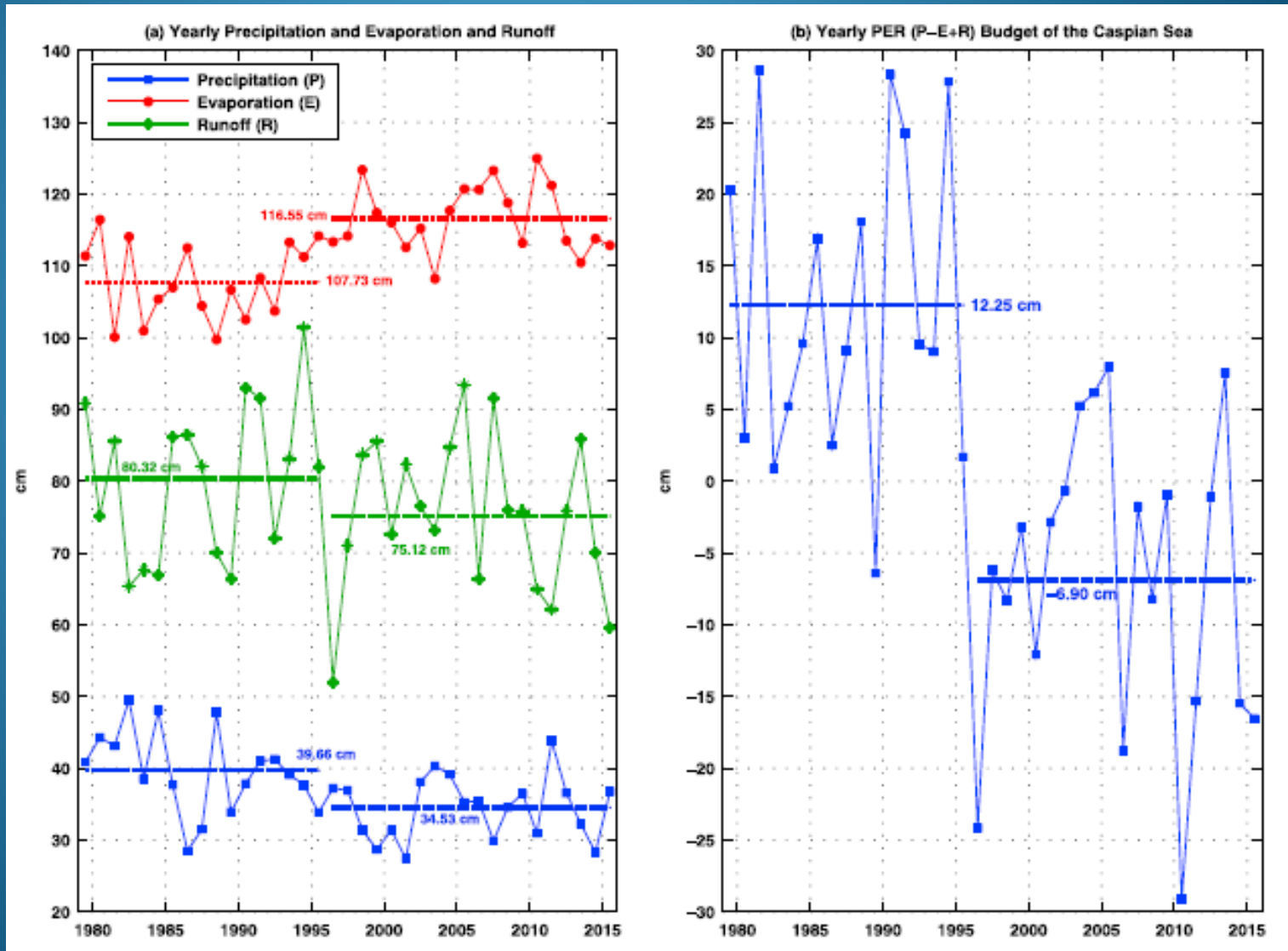
Речной сток и Волга

Уровень Каспийского моря определяется водным балансом, 80% которого составляет речной сток, из которых 80% приходится на сток реки Волги. Очевидно, что межгодовая изменчивость уровня Каспийского моря должна в значительной степени определяться стоком Волги, что подтверждается многолетним опытом. Например, увеличение стока Волги примерно на 100 км^3 с 1992 по 1994 год привело к повышению уровня моря на 28 см в 1993–1995 годах, а падение уровня моря с 1995 по 1997 год примерно на 40 см соответствовало уменьшению стока Волги на 168 км^3 с 1994 по 1996 год, что эквивалентно уменьшению водного слоя на 43 см.

Однако такой четкой корреляции не наблюдается после 1996 г., особенно в 1996–1999 и 2005–2016 гг., когда падение уровня Каспийского моря продолжалось даже при увеличении стока на 80 и даже на 120 км^3 в отдельные годы, что должно было вызвать повышение уровня моря на 20–30 см. Таким образом, возросшее испарение с поверхности моря, очевидно, стало ключевым фактором снижения уровня моря в условиях сокращения среднего речного стока с 1996 г., и это наглядно продемонстрировано в работе [Chen et al., 2017].

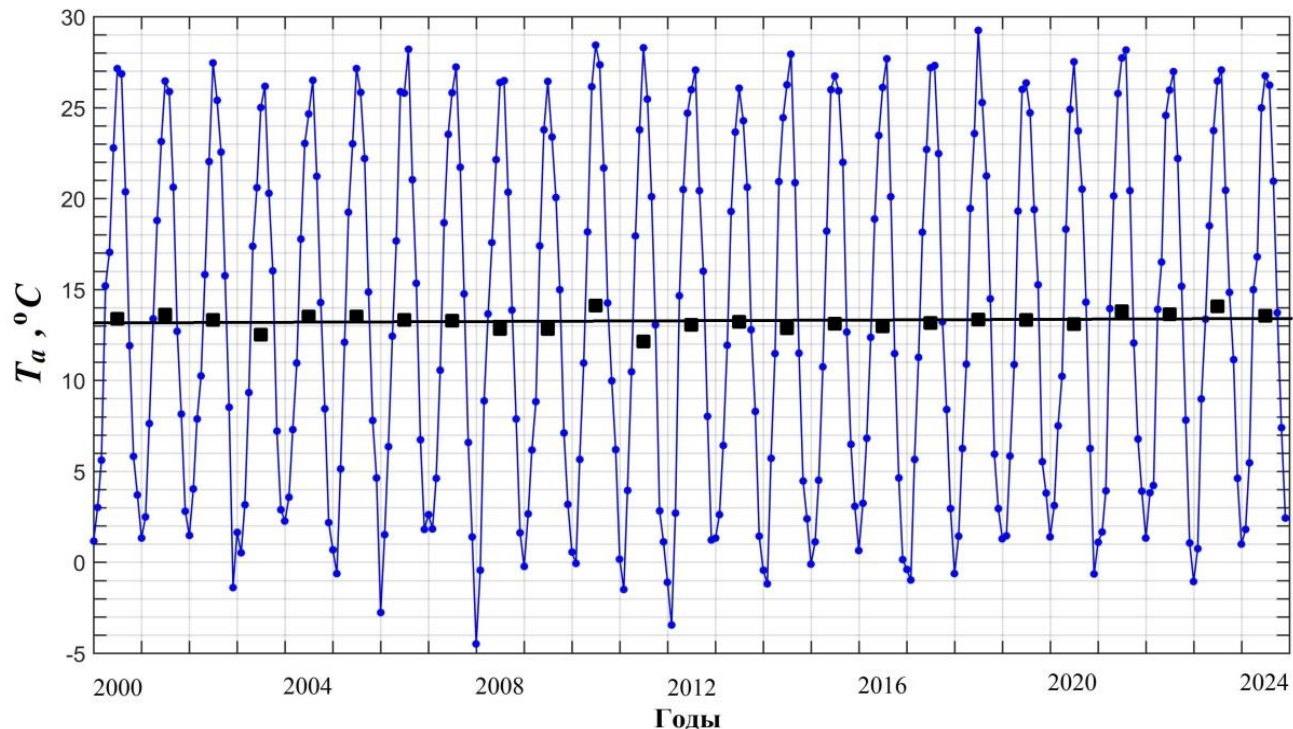
Chen J.L., Pekker T., Wilson C.R., Tapley B.D., Kostianoy A.G., Cretaux J.-F., Safarov E.S. Long-term Caspian Sea level change. – Geophysical Research Letters, 2017 DOI: 10.1002/2017GL073958

Атм. реанализ: National Centers for Environmental Prediction Climate Forecast System (CFS)



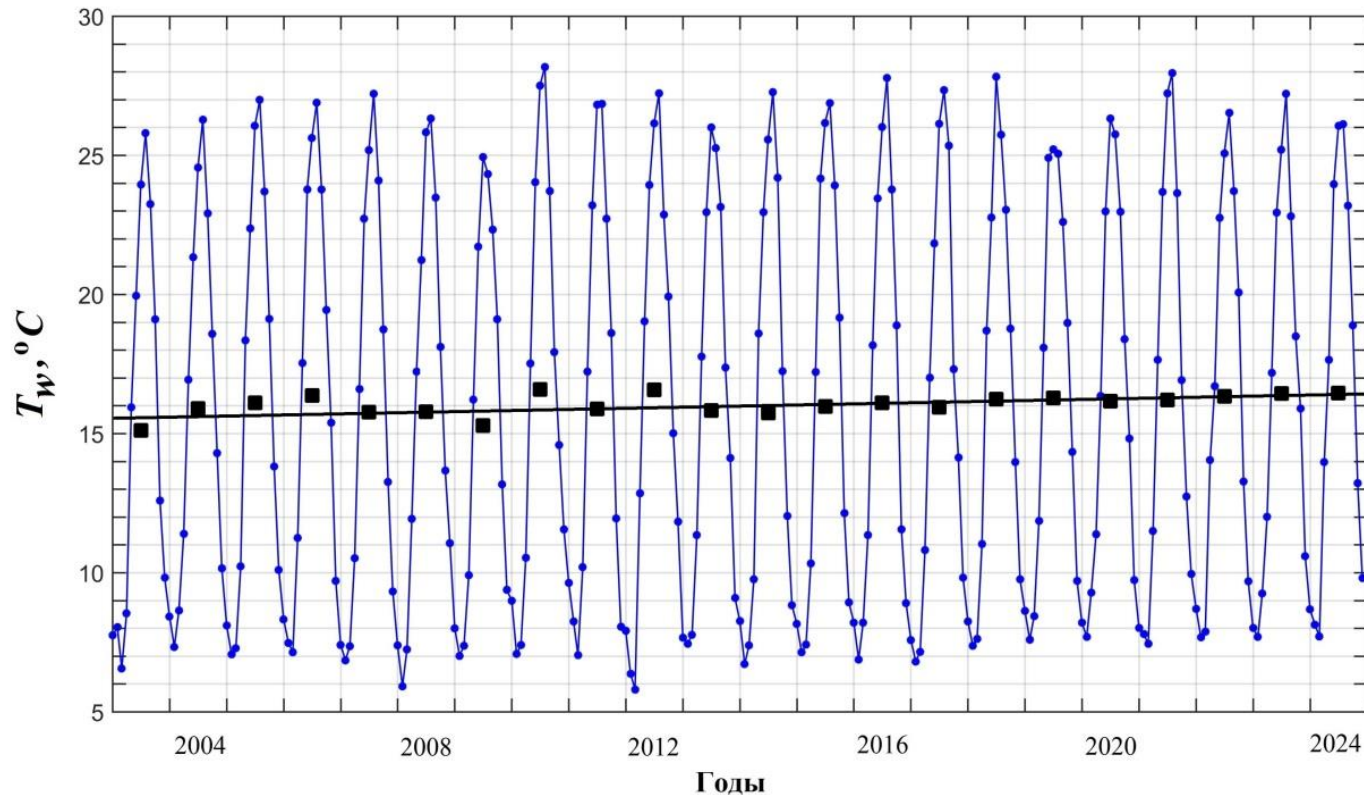
Сезонная и межгодовая изменчивость среднемесячных значений приводной температуры воздуха (T_a , °C) в Каспийском регионе (36–48° с.ш., 46–55° в.д.) в 2000–2024 гг. Чёрные квадраты – среднегодовые значения T_a , прямая линия – их линейный тренд.

Линейный тренд T_a за этот 25-летний период оказался равным $+0,012^\circ\text{C}/\text{год}$, что значительно ниже трендов за периоды 1979–2011 гг. ($+0,067^\circ\text{C}/\text{год}$) (Костяной и др., 2014), 2003–2017 гг. ($+0,04^\circ\text{C}/\text{год}$) (Гинзбург и Костяной, 2018) и 1980–2021 гг. ($+0,03^\circ\text{C}/\text{год}$) (Гинзбург и др., 2021).

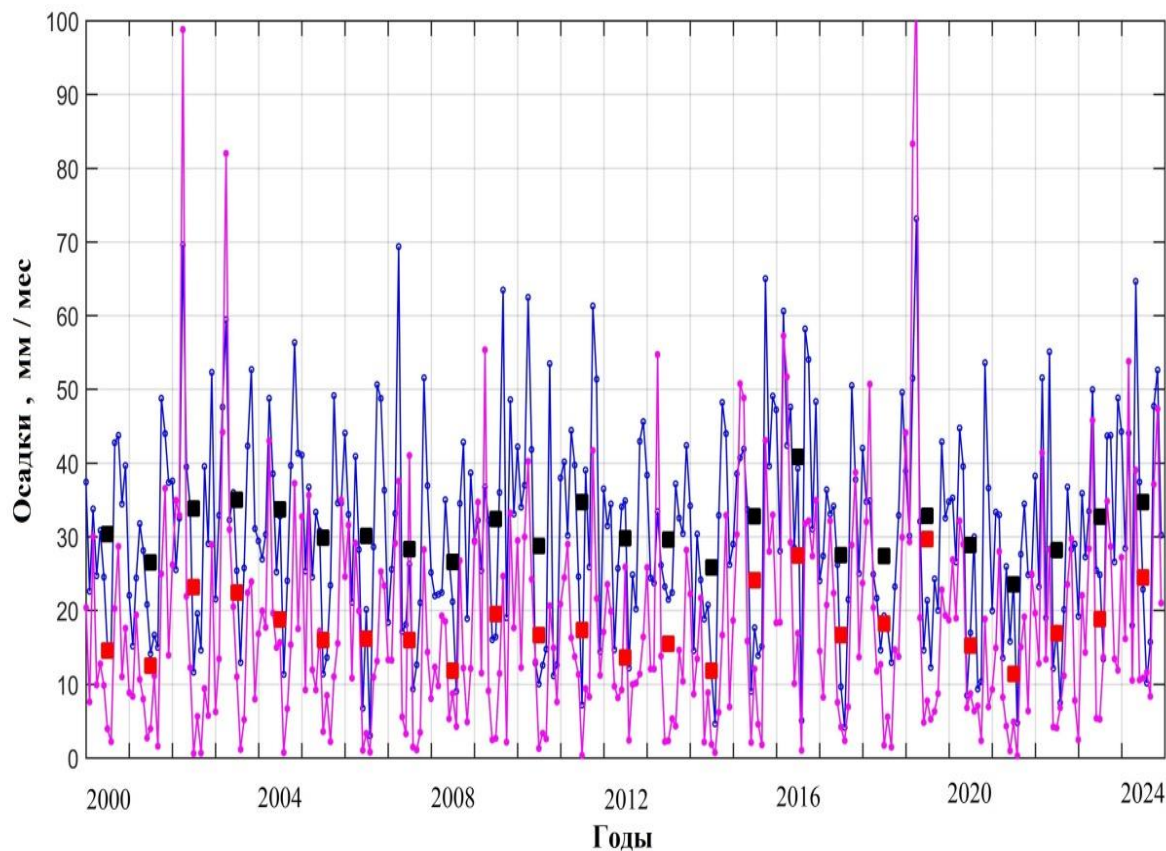


Сезонная и межгодовая изменчивость среднемесячных значений температуры поверхности Каспийского моря (вместе с заливом КБГ) (T_w , °C) в 2003–2024 гг. Чёрные квадраты – среднегодовые значения T_w , прямая линия – их линейный тренд.

Линейный тренд среднегодовых значений T_w в 22-летний период 2003–2024 гг. оказался равным $+0,030^{\circ}\text{C}/\text{год}$, т. е. примерно таким же, как и в 1980–2021 гг. ($+0,035^{\circ}\text{C}/\text{год}$) (Гинзбург и др., 2021), но меньшим, чем в 1982–2009 гг. ($+0,06^{\circ}\text{C}/\text{год}$ и $+0,05^{\circ}\text{C}/\text{год}$ в Среднем и Южном Каспии соответственно (Костяной и др., 2014))

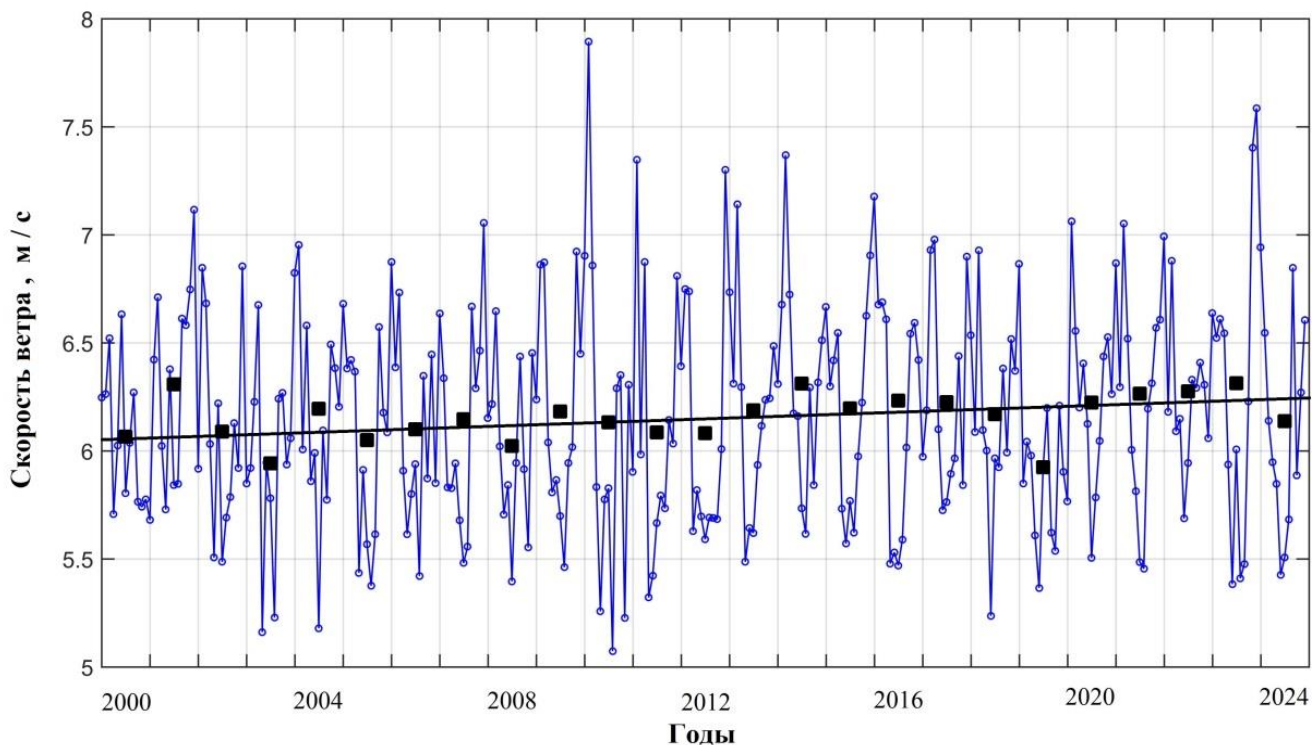


Тренд среднегодовых значений среднемесячного количества атмосферных осадков (чёрные квадраты) с января 2000 г. по декабрь 2024 г. оказался равным минус $-0,02$ мм/мес/год. Этот тренд в 2.5 раза больше (по абсолютной величине) известной оценки для периода 1979–2010 гг. ($-0,01$ мм/мес/год) (Костяной и др., 2014), но на порядок меньше определённого для периода 2003–2017 гг. ($-0,21$ мм/мес/год) (Гинзбург и Костяной, 2018). Среднегодовые значения среднемесячного количества осадков имеют квазипериодический характер с чередующимися периодами увеличения и спада в несколько лет.

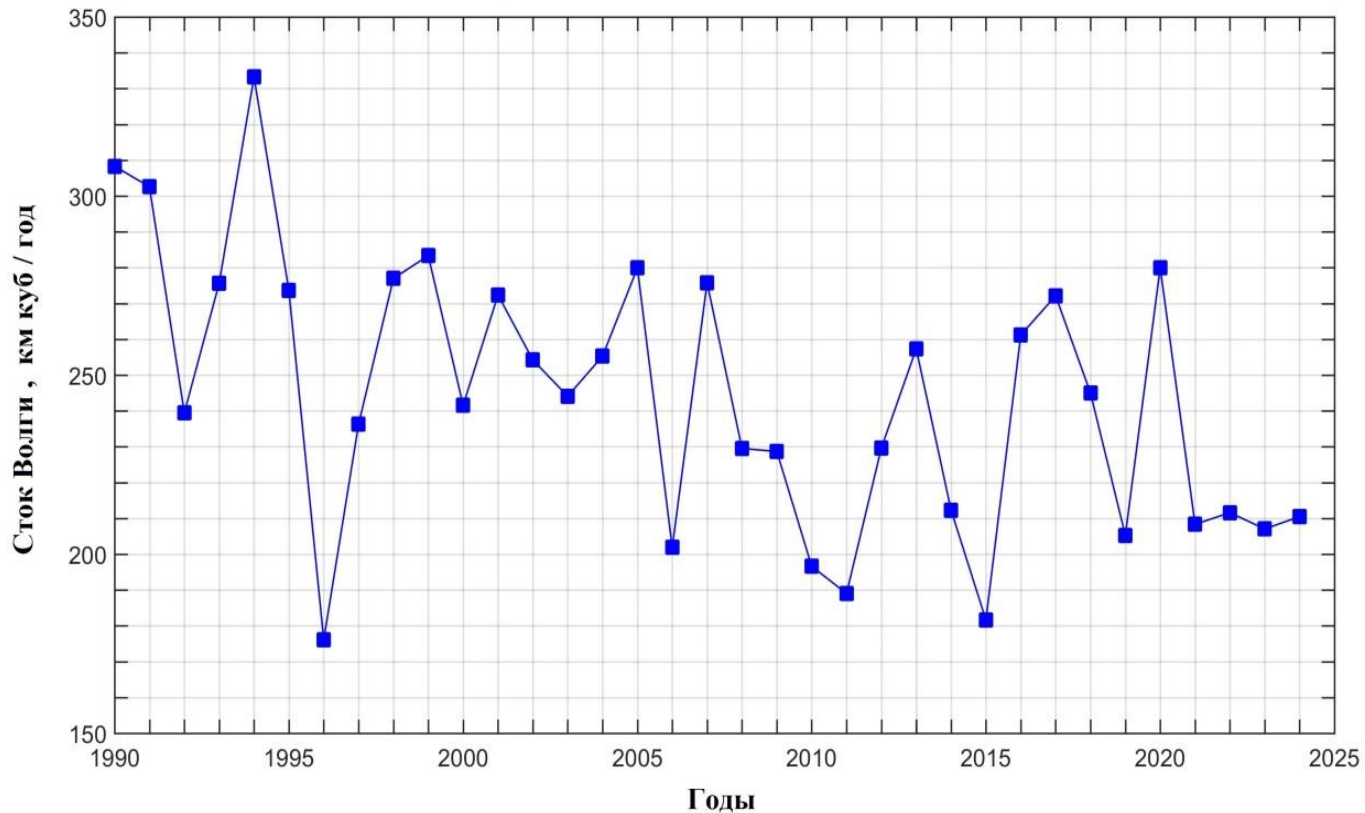


Сезонная и межгодовая изменчивость среднегодовых значений атмосферных осадков (мм/мес) с января 2000 по декабрь 2024 г.: над Каспийским регионом в целом (голубая линия, чёрные квадраты – среднегодовые значения) и заливом КБГ (линия пурпурного цвета, красные квадраты – среднегодовые значения)

Тренд среднегодовых значений скорости ветра в 25-летний период 2000–2024 г. – $+0,006$ м/с/год, с диапазонами изменчивости среднемесячных значений от 5,2 до 7,9 м/с и среднегодовых от 5,9 до 6,3 м/с. В частности, среднегодовые значения скорости ветра в последние 4 года изменялись от максимального 6,32 м/с в 2023 г. до минимального 6,14 м/с в 2024 г. Ход среднемесячных значений скорости ветра в годовом цикле подтверждает вывод работы (Выручалкина и др., 2020) об ослаблении ветра в теплый период и его усилении в холодный, причём, по данным этой работы, именно в осенние, зимние и весенние месяцы преобладают ветры восточного направления.



Межгодовые изменения стока Волги с 1990 по 2024 гг. После максимума стока в 1994 г. ($333,22 \text{ км}^3$) и минимума в 1996 г. ($176,07 \text{ км}^3$) волжский сток изменялся в пределах $101,71 \text{ км}^3$, с относительно небольшими вариациями в 1997–2005 гг. и резкими перепадами с 2006 по 2020 гг. Довольно низкие и близкие по величине значения стока Волги после максимума 2020-го года ($279,97 \text{ км}^3$) наблюдались 4 года подряд – $208,35 \text{ км}^3$, $211,61 \text{ км}^3$, $207,06 \text{ км}^3$ и $210,5 \text{ км}^3$ в 2021, 2022, 2023 и 2024 гг. соответственно.



Увеличению испарения с 1995 г. способствовало усиление модуля скорости ветра и увеличение температуры воды, а также небольшое уменьшение облачности и ледяного покрова. Но если принять во внимание кардинальные различия климата береговых зон Каспийского моря, то для испарения с его акватории кроме модуля скорости ветра также приобретает крайнюю важность и его направление. Для региона Каспийского моря в среднем характерна восточная зональная компонента ветра, то есть зональный ветер в основном дует из пустынь Средней Азии. Ослабление сухого восточного ветра, который способен впитать гораздо больше влаги, приводит к уменьшению испарения и росту уровня Каспийского моря, и наоборот, усиление восточного ветра приводит к усилению испарения и падению уровня Каспия, что и происходит в настоящее время. К этому или аналогичному выводу пришли одновременно ученые из нескольких институтов в России и за рубежом – Института океанологии РАН (Серых, Костяной, 2020), Института вычислительной математики РАН, ИВП РАН, ГОИН, МГУ (Выручалкина и др., 2020) и климатологи из Германии, Франции, Великобритании и Ирана (Arpe et al., 2020).

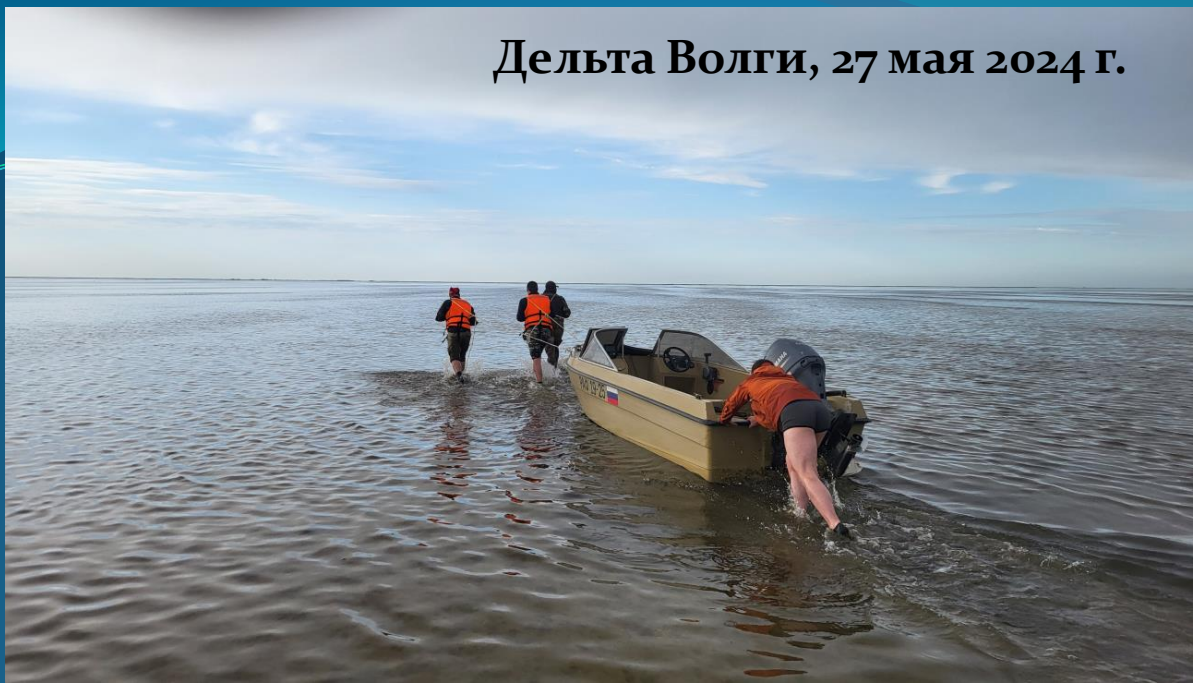
Другим важным фактором, который также мог сработать на увеличение испарения является уменьшение глубины моря. Еще в 1987 Г.Н. Панин (Институт водных проблем РАН) установил значительную зависимость испарения от уровня Каспия. А именно, в теплый период года (апрель–август) испарение с мелководного Северного Каспия намного больше испарения со Среднего и Южного Каспия. Например, в мае слой испарения с Северного Каспия в 2–3 раза больше, чем соответствующая величина для Среднего и Южного Каспия: 100, 35 и 42 мм/месяц, соответственно.

Выводы

Выполненный совместный анализ межгодовых изменений уровней Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол, связанных проливом, показал, что в последние 5 лет (2020–2024 гг.) уровни этих водоёмов снижались со значительно большей скоростью (22,7 и 37,3 см/год соответственно), чем в предшествующий период 2005–2019 гг. (8,16 и 12,2 см/год).

Очевидным фактором, способствовавшим более интенсивному снижению уровня моря в период 2021–2024 гг., явилось резкое снижение стока Волги, с мало меняющимися величинами стока 4 года подряд (207-212 км³). Но главным фактором, определившим большую скорость снижения уровня моря в 2020–2024 гг., явилось увеличение испарения. Полученная для 2023 г. оценка испарения, равная примерно 124,6 см, выше средней для периода 1996–2015 гг. (116,55 см) и практически равна максимальной (125 см) для засушливого 2010 г. в работе (Chen et al., 2017).

Дельта Волги, 27 мая 2024 г.



Костяной А.Г., Малинин В.Н.,
Фролов А.В. Основные причины
изменения уровня Каспийского
моря. – *Фундаментальная и
прикладная климатология*, 2025, Т.
11, N 3, С. 338-373, doi:10.21513/2410-
8758-2025-3-338-373.

Спасибо за
внимание!

Kostianoy@gmail.com

