

Синоптические события апвеллинга на фоне сезонной (май – сентябрь) температурной аномалии в районе Актау (Казахстан)

Гинзбург А.И. (1), Костяной А.Г. (1,2), Шеремет Н.А. (1)

(1) Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
E-mails: ginzburg@ocean.ru, kostianoy@gmail.com, sheremet@ocean.ru

(2) Московский университет им. С.Ю. Витте, Москва, 115432, Россия

Апвеллинг (подъем холодных вод из подповерхностных слоев к поверхности) – хорошо известная особенность динамики вод у восточного побережья Каспия в теплое время года (рис. 1). Частые синоптические апвеллинги продолжительностью в несколько дней приводят к образованию здесь устойчивой сезонной аномалии температуры поверхности Каспийского моря (ТПМ) [1–4].

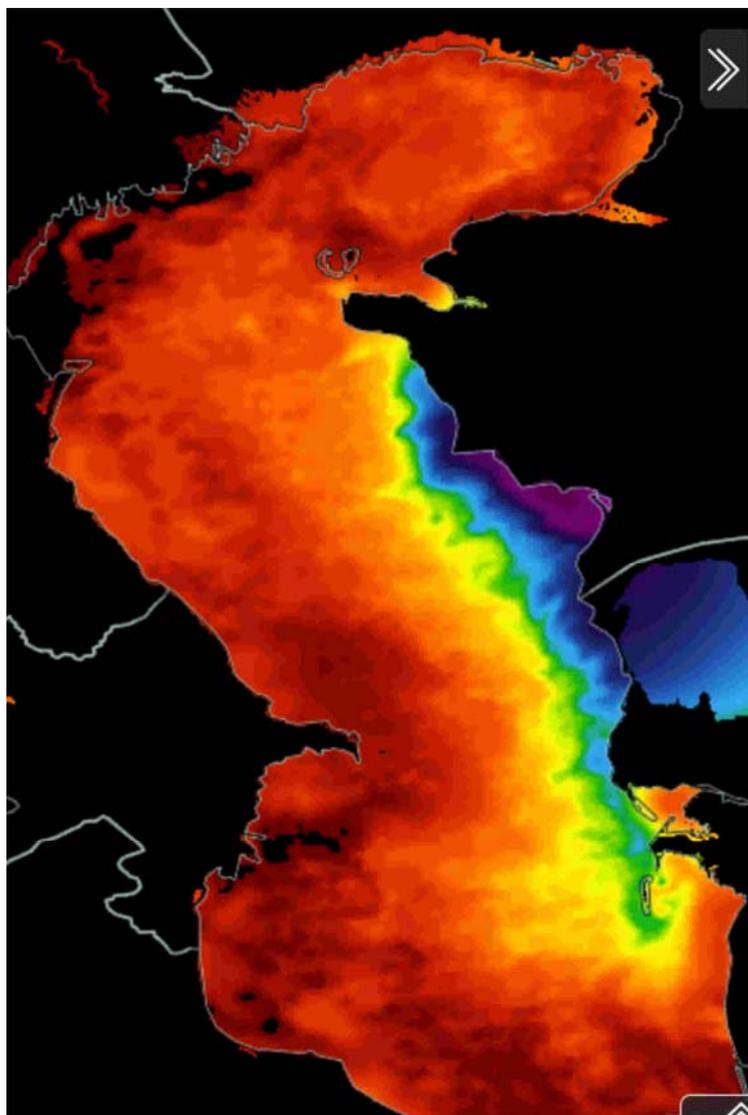


Рис. 1. Прибрежный апвеллинг в поле температуры поверхности моря вдоль восточного побережья Каспия (цвета от фиолетового до желтого, от южного побережья мыса Тюб-Караган на севере до о. Огурчинский на юге) 18 июля 2024 г. (ИК-изображение – продукт анализа глобальной ТПМ GHRSSST Level4 MUR [5]. <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

Цель исследования – определение частоты возникновения и интенсивности синоптических событий апвеллинга на фоне сезонной температурной аномалии в разные месяцы теплого периода (май – сентябрь) и их межгодовой изменчивости (2021–2024 гг.) для района Актау (Казахстан), северная часть Среднего Каспия (43.64° с.ш., 51.17° в.д.).

Для анализа использовались следующие данные:

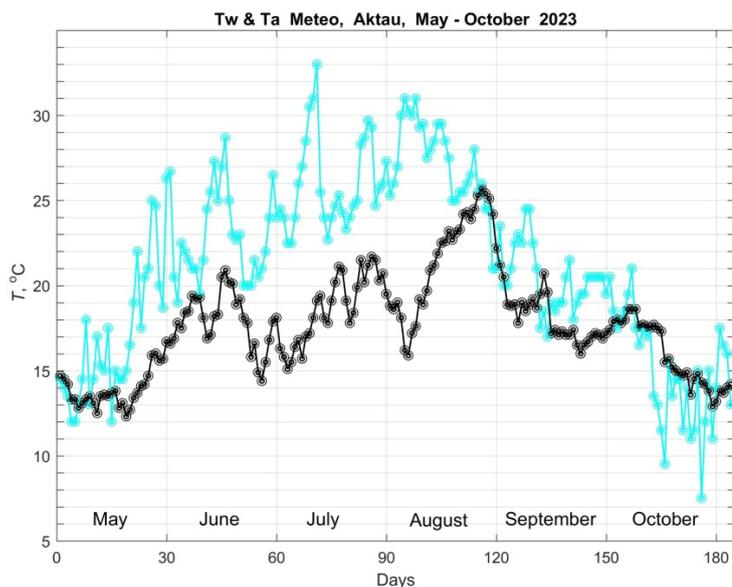
- ежедневные данные о ТПМ *in situ* и температуре воздуха (ночной) береговой гидрометеостанции в Актау в период с мая по сентябрь в 2021–2023 гг. и с мая по август в 2024 г. (<https://pogoda.turtella.ru/kazakhstan/aktau/>);
- значения температуры воды в точках прибрежной зоны Актау на 51.17° в.д. и во внеапвеллинговой зоне на 50° в.д. той же широты, а также их разность, рассчитанные по данным NASA массива Giovanni on-line data system (ночные измерения радиометра MODIS (11 мкм) спутника Aqua, с 4-км пространственным разрешением и 8-дневным осреднением по времени, <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>);
- данные о скорости и направлении ветра с трехчасовым интервалом метеостанции Актау, Казахстан, WMO_ID=38111 (сайт rp5.ru).

Пример сезонного изменения (май – сентябрь) ежедневных значений ТПМ *in situ*, а также соответствующих значений температуры воздуха (ночных) по данным береговой метеостанции в Актау для 2023 года показан на рис. 2а. На рис. 2б представлены сезонные изменения рассчитанных значений температуры воды в прибрежной зоне, в открытом море (на 50° в.д.) и их разности спутникового происхождения.

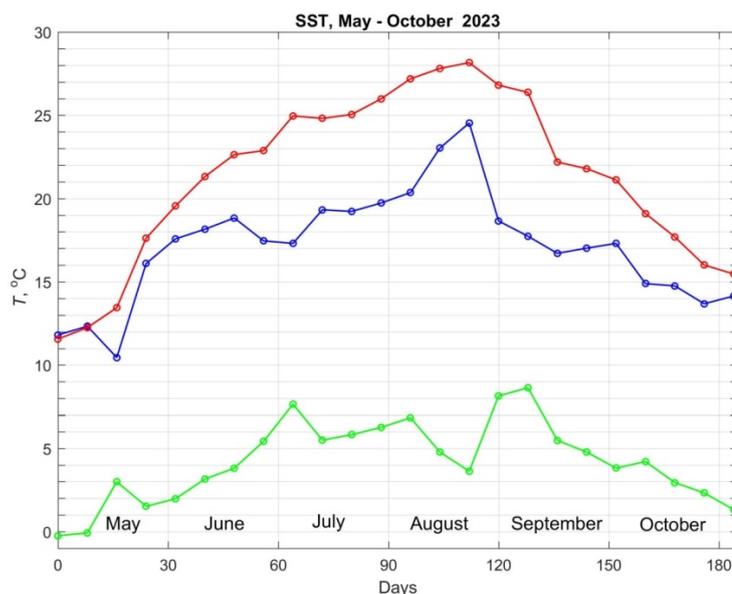
Для каждого года/месяца определялись:

- количество синоптических апвеллингов и их продолжительность (дни) в соответствии с ежедневными значениями температуры *in situ* в прибрежной зоне (рис. 2а, черная кривая);
- максимальные падения температуры (ΔT_c , °С) в прибрежной зоне при очередном синоптическом апвеллинге (рис. 2а, черная кривая); количественный критерий для идентификации очередного синоптического события апвеллинга – падение температуры в прибрежной зоне апвеллинга не менее чем на 1 °С.
- максимальные разности (интенсивности апвеллинга, ΔT_{dc} , °С) между минимальными значениями температуры *in situ* в прибрежной зоне во время синоптического апвеллинга (черная линия на рис. 2а) и соответствующими значениями температуры спутникового происхождения в открытом море (красная линия на рис. 2б).

Об интенсивности апвеллинга позволяла судить также разность температур в прибрежной зоне и в открытом море спутникового происхождения (зеленая линия на рис. 2б).



(а)



(б)

Рис. 2. Сезонная изменчивость в 2023 г.: (а) ежедневных значений температуры воды T_c (°C) в прибрежной зоне Актау *in situ* (черная линия) и температуры воздуха (ночной – светло-голубая линия) по данным береговой гидрометеостанции в Актау; (б) температуры открытого моря на широте Актау по спутниковым данным (красная линия), температуры в прибрежной зоне (синяя линия) и их разности (зеленая линия) по спутниковым данным.

Пример изменчивости частоты и интенсивности синоптических апвеллингов в пределах теплого сезона 2023 г. показан на рис. 2а (черная линия). Совместные изменения температур воды и воздуха в прибрежной зоне (рис. 2а) и в открытом море (рис. 2б) в

сезонном цикле (до октября включительно) – иллюстрация более медленного прогрева воды по сравнению с воздухом до второй трети августа и последующее ее более медленное остывание.

РЕЗУЛЬТАТЫ:

– наибольшая интенсивность сезонного апвеллинга в районе Актау во все рассматриваемые годы наблюдалась в июле – августе. На фоне сезонного апвеллинга в 2021 г. произошло 7 синоптических событий апвеллинга, в 2022 г. – 13, в 2023 г. – 11 и в 2024 – 7 (без сентября). Этим событиям предшествовало в большинстве случаев усиление благоприятного для апвеллинга ветра;

– наибольшее количество (4–5) синоптических апвеллингов приходится на июнь – август. Общая продолжительность дней с синоптическими апвеллингами – 65 дней в 2021 г., 71 в 2022, 105 в 2023 и 77 (без сентября) в 2024 гг. Эти данные, как и количество синоптических апвеллингов в год (от 7 до 13) существенно отличаются от выводов в работах [6, 7] о редких (в среднем 2–3) событиях апвеллинга в теплый сезон в Актау, но согласуются с результатами гидродинамического моделирования в работе [8] (14 апвеллингов в 2017 г. у восточного побережья в северной части Среднего Каспия).

– максимальные интенсивности апвеллинга оказались равными 9.1 °С в июле и августе 2021 г., 9 °С в июле и августе 2022 г., 11.2 °С в августе 2023 г. и 10.4 °С в августе 2024 г. Таким образом, 2023 и 2024 гг. оказались годами с наибольшей суммой дней синоптических апвеллингов и их наибольшей интенсивностью, причем продолжительным апвеллингом (весь месяц) отмечен и сентябрь 2023 г., с максимальными сентябрьскими (по сравнению с другими годами) величинами ΔT_c и ΔT_{dc} . Эти годы совпали по времени с одним из пяти самых сильных за всю историю наблюдений событием Эль-Ниньо 2023–2024 гг., что свидетельствует в пользу предположения В.С. Тужилкина и А.Н. Косарева [9] о возможной связи изменчивости апвеллинга у восточного побережья Каспия с данным явлением.

А.И. Гинзбург, А.Г. Костяной и Н.А. Шеремет выполнили данное исследование в рамках темы Госбюджета № FMWE-2024-0016 «Разномасштабные гидрофизические процессы в Мировом океане и его пограничных слоях: их исследование методами оперативной океанографии, судовых наблюдений, дистанционного зондирования, теоретического, численного и лабораторного моделирования».

Ключевые слова: Каспийское море, Актау, сезонный апвеллинг, синоптический апвеллинг, частота синоптических событий апвеллинга, интенсивность апвеллинга, температура поверхности моря

Литература

1. Косарев А.Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей. М.: Московский университет, 1975. 272 с.
2. Архипкин В.С. Особенности структуры и динамики прибрежного апвеллинга в Каспийском море // Каспийское море. Структура и динамика вод. М.: Наука, 1990. С. 61–74.
3. Терзиев Ф.С. (Отв. ред.). Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 6. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб: Гидрометеоздат, 1992. 360 с.
4. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Динамика зоны апвеллинга у восточного побережья Каспия в сезонном цикле (май – сентябрь) по спутниковым среднемноголетним температурным данным (2003–2019) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 215–226.
5. Chin T.M., Vazquez-Cuervo J., Armstrong E.M. A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature // Remote Sensing of Environment, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.029>
6. Ивкина Н.И. Особенности прибрежного апвеллинга в восточной части Среднего Каспия // Гидрометеорология и экология. 2012. № 2. С. 81–87.
7. Елтай А.Г., Ивкина Н.И., Нарбаева К.Т. Явление апвеллинга у казахстанского побережья Каспия // Гидрометеорология и экология. 2019. № 3. С. 17–25.
8. Fallah F., Mansoury D. Coastal upwelling by wind-driven forcing in the Caspian Sea: A numerical analysis // Oceanologia. 2022. V. 64. Iss. 2. P. 363–375.
9. Tuzhilkin V.S., Kosarev A.N. Thermohaline structure and general circulation of the Caspian Sea waters. In: The Caspian Sea Environment (A. Kostianoy and A. Kosarev eds.). Springer, 2005. P. 33–57.