Распространение струй южнокаспийских вод вдоль восточного побережья Среднего Каспия в тёплый период года (спутниковая информация)

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

Воды восточной части Среднего Каспия в тёплый период года (июль – сентябрь) – более холодные/солёные по сравнению с водами Северного Каспия и более холодные/менее солёные относительно южнокаспийских вод. Кроме того, Средний Каспий в целом и особенно его восточная часть в тёплый период года менее продуктивен (имеет меньшую концентрацию хлорофилла-а (Хл-а)) по сравнению с Северным и Южным Каспием [1, 2]. Изменчивость термохалинных и биооптических характеристик, а также циркуляции вод в этой части моря, лишенной речного стока, в значительной степени определяется локальными динамическими процессами. Одним из таких процессов является адвекция струйных потоков более тёплых и солёных южнокаспийских вод в Средний Каспий, распространяющихся вдоль его восточного побережья (в пределах примерно 50-метровой изобаты) [3, 4].

***Цели исследования*:** (*i*) выявление пространственно-временных характеристик южнокаспийских струйных потоков на основе анализа ежедневных спутниковых карт температуры поверхности моря (ТПМ) в течение почти 2,5 месяцев (с 1 августа по 10 октября) 2014 г. – года, в котором, как показал анализ среднемесячных карт ТПМ июля – сентября в периоды 2003–2019 и 2003–2021 гг. [5, 6], в августе отмечено наибольшее продвижение южнокаспийских вод на север; (*ii*) сравнение полученных в результате выполненного анализа карт ТПМ [7] оценок скорости продвижения такой струи в августе 2014 г. с результатом моделирования среднемесячной компоненты скорости северной прибрежной струи южнокаспийских вод в тёплый период года в [8]; (*iii*) определение связи продвижения струй на север с интенсивностью сезонного прибрежного апвеллинга у восточного побережья Каспия; (*iv*) выявление проявления тёплых южнокаспийских струй в поле Хл-а в августе – месяце с максимумом концентрации этого пигмента в Южном Каспии (максимум концентрации Хл-а в Среднем Каспии – преимущественно в октябре) [1, 2].

Исследование основано на анализе ежедневных безоблачных карт температуры поверхности моря, созданных на основе проекта GHRSST (The Group for High Resolution Sea Surface Temperature) уровня L4 MUR с пространственным разрешением 1 км [7]. Для демонстрации проявления струй южнокаспийских вод в Среднем Каспии в поле Хл-а и оценки скорости их распространения использованы две пары квазисинхронных/синхронных карт Хл-а – ТПМ для 12 и 17 августа 2006 г. (данные спектрорадиометра MODIS-Aqua с разрешением 200 м и 1 км для Хл-а и ТПМ соответственно и радиометра AVHRR спутника NOAA-18 с разрешением 1 км). Информация о скорости и направлении ветра в Туркменбашы в августе – сентябре 2014 г. получена с сайта https://rp5.ru.

РЕЗУЛЬТАТЫ:

• Анализ последовательности ежедневных спутниковых карт ТПМ Каспия (некоторые из них представлены на рис. 1) показывает, что струя тёплых южнокаспийских вод, распространяющаяся с 1 августа 2014 г. (рис. 1а) примерно вдоль 50-метровой изобаты на север, к 23 августа 2014 г. (рис. 1г) достигла 43°15′ с.ш. (немного севернее м. Песчаный), а отходящая от нее тонкая струя с меньшим температурным контрастом относительно оставшегося пятна апвеллинговых вод достигла южного побережья п-ова Тюб-Караган (примерно 44°15′ с.ш.). Заметим, что продвижение вод южнокаспийского происхождения до столь высокой широты наблюдалось нами впервые: на проанализированных спутниковых изображениях разных лет положение головной части прибрежных струй Южного Каспия ограничивалось 42°45′ с.ш. По мере распространения на север ширина струи изменялась от 8–14 км на широте Апшеронского порога (рис. 1а-г) до примерно 7 км в районе Казахского залива и менее 1,5 км у п-ова Тюб-Караган. Уменьшалась и температура воды в струе, особенно на участке от м. Песчаный до п-ова Тюб-Караган.

• Примерная оценка средней скорости струи южнокаспийских вод по ежедневным картам ТПМ в период с 1 по 23 августа оказалась равной 12 см/с при достижении ею м. Песчаный и 18 см/с с учётом достижения тонкой струёй южного побережья п-ова Тюб-Караган. Максимальная скорость, примерно 22 см/с, наблюдалась на начальном этапе продвижения струи на север с 1 по 5 августа. По данным метеостанции в Туркменбашы, с 1 по 7 августа 2014 г. в районе исследования преобладали ветры с восточной компонентой, достигающие временами 9–10 м/с, далее наблюдались ветры переменных направлений, с 21 по 25 августа – преимущественно западных и северо-западных румбов,

с частыми штилями, до конца месяца – разнонаправленные ветры с частой южной компонентой.

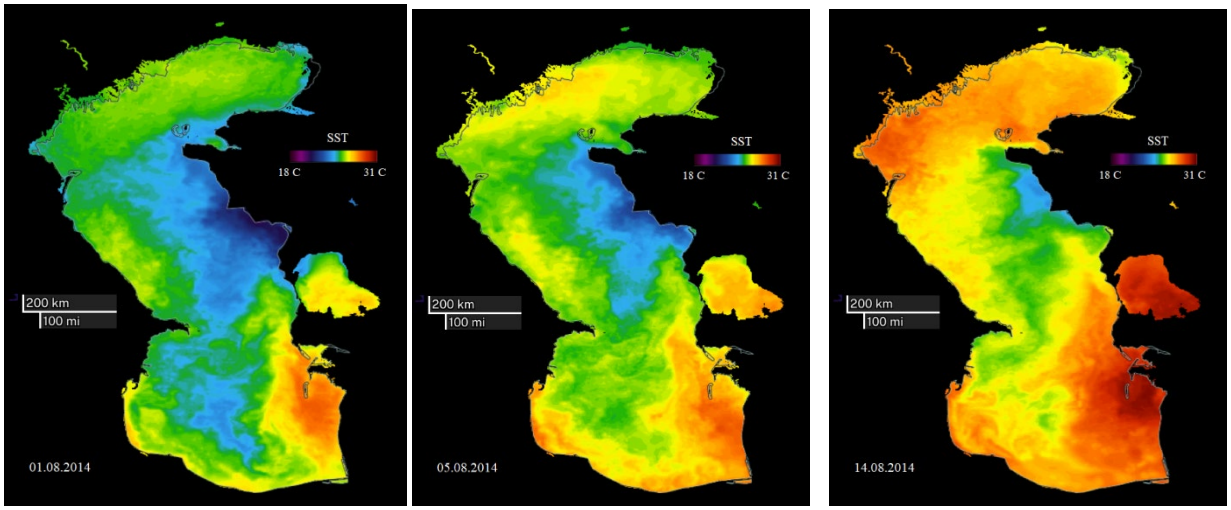
• После 24 августа северная часть струи южнокаспийских вод постепенно теряет когерентность, и к концу месяца её головная часть находится примерно на широте м. Санырлы (42°10′ с.ш.) (рис. 1д). Однако с 7 сентября (рис. 3е), после усиления ветров с восточной компонентой со 2-го по 6 сентября, заметно продвижение северной части струи с пониженной ТПМ на север: к 11 сентября она достигает широты м. Песчаный. Далее северная граница струи постепенно смещается на юг: к 25 сентября она оказывается на широте северной половины Казахского залива (рис. 1з), а 10 октября – примерно на 41° с.ш. (рис. 1и).

Таким образом, распространение струи южнокаспийских вод имеет импульсный характер, усиливаясь под влиянием благоприятного ветра (восточных румбов) или циркуляции вод, сложившейся под действием ветрового поля над всем бассейном Каспия. Продолжительность продвижения такой струи вдоль восточного побережья Среднего Каспия на север в августе 2014 г. составила 22 дня.

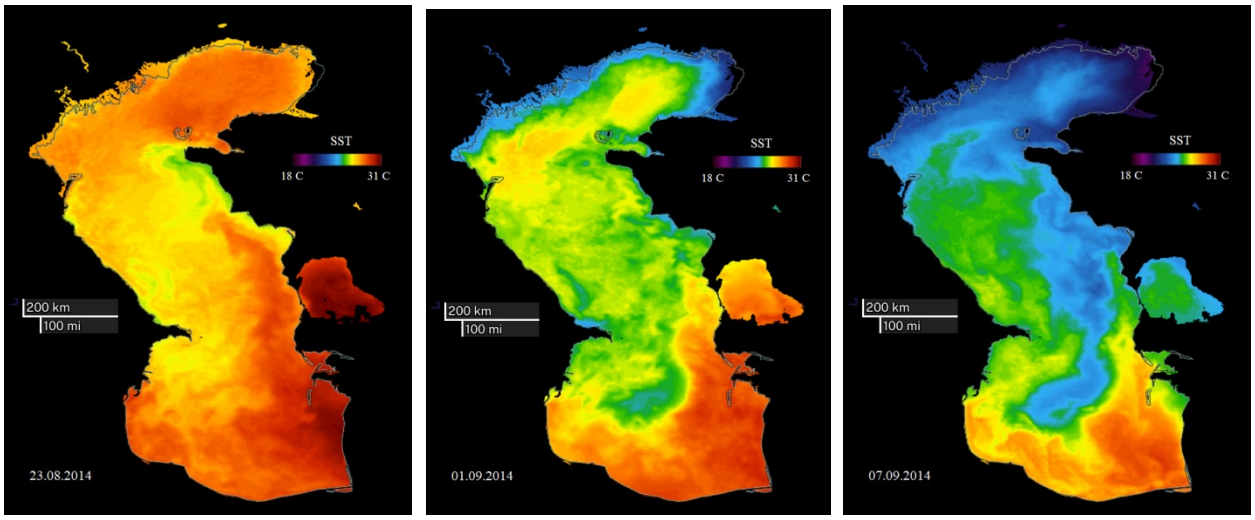
• По мере продвижения струи южнокаспийских вод на север в августе 2014 г. южная граница зоны апвеллинга вдоль восточного побережья моря также смещалась на север, при явном уменьшении интенсивности апвеллинга. При усилении ветров северной четверти и соответственно интенсивном сезонном апвеллинге вдоль восточного побережья Каспия вплоть до п-ова Туркменбашы и о. Огурчинский прибрежные потоки южнокаспийских вод в Средний Каспий не наблюдаются (см., например, ситуацию в августе – сентябре 2003 г. на последовательных ИК-изображениях рис. 6.24 в [4]).

• Близкие по времени (рис. 2а,б) и синхронные (рис. 2в,г) пары изображений Хл-а и ТПМ Каспийского моря 12 и 17 августа 2006 г. демонстрируют чёткое проявление тёплых струй южнокаспийских вод в распределении Хл-а. Оценка скорости продвижения струи по смещению её головной части в течение 5-ти суток между изображениями 12 и 17 августа оказалась равной примерно 21 см/с.

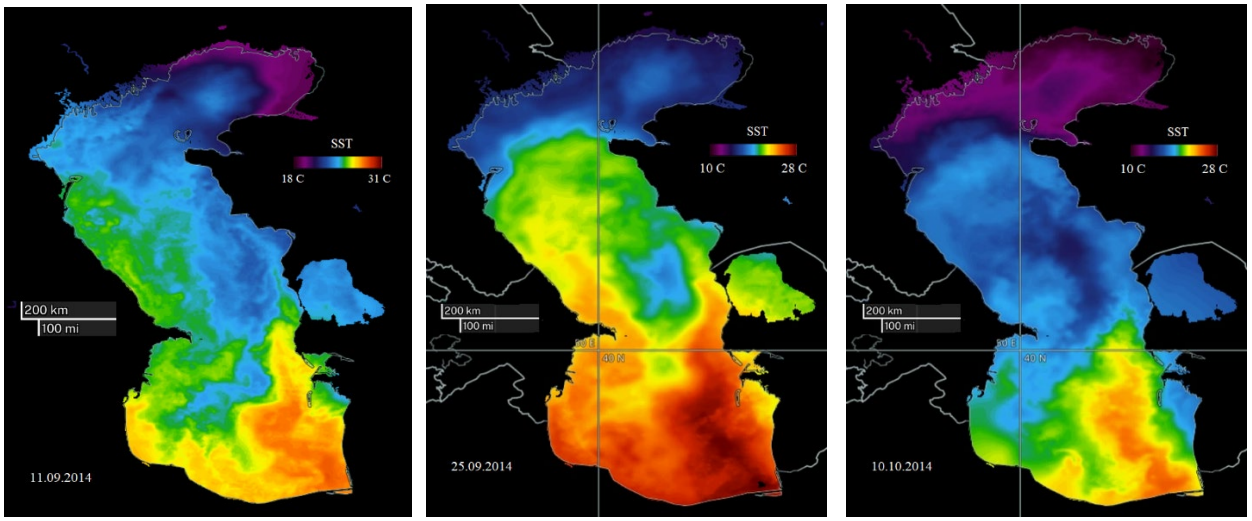
• Полученные нами оценки скорости продвижения головной части струи в августе 2014 г. (12–22 см/с на разных стадиях её развития) и в августе 2006 г. хорошо согласуются с «модельной» среднемесячной компонентой скорости северной струи Южного Каспия в тёплый период года на широте Апшеронского порога в 2003 г. (примерно 8–12 см/с) [8].


SST
18 C
31 C
200 km
100 mi
01.08.2014
SST
18 C
31 C
200 km
100 mi
05.08.2014
SST
18 C
31 C
200 km
100 mi
14.08.2014

(а) (б) (в)

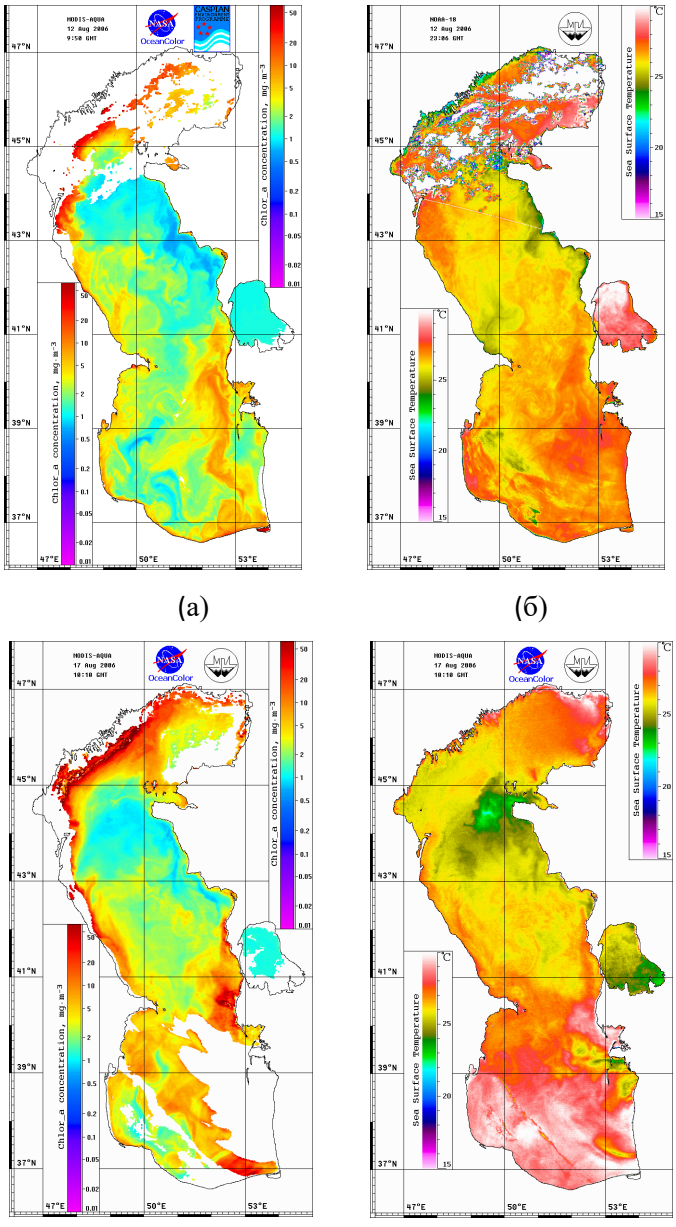

SST
18 C
31 C
200 km
100 mi
23.08.2014
SST
18 C
31 C
200 km
100 mi
01.09.2014
SST
18 C
31 C
200 km
100 mi
07.09.2014

(г) (д) (е)


SST
18 C
31 C
200 km
100 mi
11.09.2014
SST
10 C
28 C
200 km
100 mi
25.09.2014
SST
10 C
28 C
200 km
100 mi
10.10.2014

(ж) (з) (и)

Рис. 1. Карты ТПМ Каспийского моря для 1 (а), 5 (б), 14 (в) и 23 (г) августа, 1 (д), 7 (е), 11 (ж) и 25 (з) сентября, 10 октября (и) 2014 г. [7].



(а) (б)

(в) (г)

Рис. 2. Проявления струйного потока южнокаспийских вод на квазисинхронных/синхронных изображениях полей Хл-а и ТПМ Каспийского моря 12 (а, б) и 17 (в, г) августа 2006 г. Изображения получены спектрорадиометром MODIS-Aqua 12 (а) и 17 (в, г) августа 2006 г. в 9:50 и 10:10 GMT соответственно, радиометром AVHRR NOAA-18 (б) в 23:06 GMT.

Благодарности: А.И. Гинзбург и Н.А. Шеремет выполнили данное исследование (анализ пространственного распределения ТПМ и оптических параметров) 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». А.Г. Костяной исследовал мезомасштабную динамику вод в прибрежной зоне Среднего Каспия при поддержке гранта РНФ N 23-77-00027 «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования» (2023-2026), https://rscf.ru/project/23-77-00027/.

Ключевые слова: Каспийское море, восточное побережье Среднего Каспия, температура поверхности моря, концентрация хлорофилла-а, струйные потоки южнокаспийских вод, сезонный прибрежный апвеллинг

Литература

1. Востоков С.В., Долгова А.О., Сивкович А.Е. Мониторинг пространственно-временной изменчивости фитопланктона на акватории Каспийского моря по данным спутникового зондирования // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2006. С. 60–67.
2. Копелевич О.В., Салинг И.В., Вазюля С.В., Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Буренков В.И., Каралли П.Г., Юшманова А.В. Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998–2017 гг. М.: ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2018. 140 с.
3. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Соловьев Д.М., Шеремет Н.А. Фронтальная зона апвеллинга у восточного побережья Каспийского моря (спутниковые наблюдения) // Исследование Земли из космоса. 2006. № 4. С. 3–12.
4. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 471 с.
5. 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 гг.) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 215–226. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-215-226
6. Safarov S., Kamran K.V., Ismayilov V., Safarov E. Detection of upwelling events in the Caspian Sea using thermal satellite image processing // International Journal of Engineering and Geosciences. 2024. V. 24. N 2. P. 247–255. https://doi.org/10.26833/ijeg.1394363
7. GHRSST Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (v4.1). 2026. DOI: 10.5067/GHGMR-4FJ04 (Accessed on 28 March 2026).
8. Дьяконов Г.С., Ибраев Р.А. Динамика вод Каспийского моря над Апшеронским порогом в 2003 году // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35. № 6. С. 633–645.