

## О вихревой динамике в западном бассейне Большого Аральского моря (спутниковая информация)

А.И. Гинзбург<sup>1</sup>, А.Г. Костяной<sup>1,2</sup>, Н.А. Шеремет<sup>1</sup>, Д.М. Соловьев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, 117997, Россия*  
*E-mails: [ginzburg@ocean.ru](mailto:ginzburg@ocean.ru), [kostianoy@gmail.com](mailto:kostianoy@gmail.com), [sheremet@ocean.ru](mailto:sheremet@ocean.ru)*

<sup>2</sup> *Московский университет им. С.Ю. Витте, Москва, 115432, Россия*

<sup>3</sup> *Морской гидрофизический институт РАН, 299011, Россия*  
*E-mail: [solmit@gmail.com](mailto:solmit@gmail.com)*

В результате обмеления, начавшегося в так называемый антропогенный период (с 1961 г.), к 1987 г. замкнутое Аральское море разделилось на Малое и Большое моря, а с 2001 г. Большое море представляет собой два бассейна, западный и восточный [3]. Соединявший их на севере пролив, имевший ширину на момент разделения моря на два бассейна 10–15 км, к маю 2020 г. практически исчез (см. рис. 4а). К настоящему времени максимальная глубина в наиболее глубокой части западного бассейна уменьшилась с 66 м в условно-естественный период (1911–1960 гг.) [2] до примерно 30 м, а соленость в поверхностном слое с 10 г/кг [5] возросла до 126–140 г/кг [1]. Таким образом, в настоящее время западный бассейн представляет собой практически изолированный гиперсолёный водоем с крутым западным и довольно крутым восточным склонами в его центральной части.

Вопрос о возможном изменении циркуляции вод в западном бассейне по мере его обмеления и отделения от восточного бассейна недостаточно изучен. В условно-естественный период циркуляция в Аральском море была антициклонической при ветрах северных направлений (преобладающих) и циклонической при ветрах южных румбов [2]. Инструментальные измерения скоростей и направлений течений у западного и восточного склонов западного бассейна в 2000-е годы позволяли полагать, что при ветрах северных направлений циркуляция в поверхностном слое западного бассейна оставалась антициклонической [6], а при южных ветрах – циклонической [4]. Численное моделирование для сентября 2010 г. показало возможность образования в центральной части западного бассейна, при общем антициклоническом характере циркуляции в его поверхностном слое, антициклонических круговоротов суббассейнового масштаба [6].

Исследование вихревой динамики в современном западном бассейне Большого Аральского моря и ее связи с направлением ветра выполнено с использованием оптических спутниковых изображений MSI Sentinel-2A, MSI Sentinel-2B и OLI Landsat-8 с высоким пространственным разрешением (30–60 м) в период 11–18 октября 2020 г., с временным интервалом между изображениями в 2–3 дня, и соответствующей информации о скорости и направлении ветра (NCEP Global Forecast System (GFS) и NASA Giovanni on-

line data system). Скорость ветра над акваторией в период с 11 по 18 октября в среднем не превышала 4 м/с, а его направление с северо-восточного/восточного 11–15 октября сменилось юго-восточным/южным 16–18 октября (таблица).

Метеорологическая информация по данным NCEP (12 ч местного времени, 45°12,6′ с.ш., 58°32,4′ в.д.)

Дата	Направление ветра (°)	Скорость ветра (м/с)	Температура воздуха (°С)
07.10.2020	85	1,4	11,6
08.10.2020	35	6,4	13,1
09.10.2020	75	7,8	10,3
10.10.2020	80	5,6	11,3
11.10.2020	90	3,1	13,4
12.10.2020	50	2,2	15
13.10.2020	110	3,3	15
14.10.2020	80	3,1	16
15.10.2020	90	3,9	15,7
16.10.2020	135	3,3	16
17.10.2020	185	4,2	17,4
18.10.2020	130	2,8	17,5

Анализ спутниковых изображений (рис. 1–4), сопоставление ситуаций с разными направлениями ветра в этот период и результатом численного моделирования циркуляции в западном бассейне при северо-восточном ветре 3 м/с в сентябре 2010 г. позволяет заключить, что

- наибольшая вихревая активность в западном бассейне наблюдалась в его наиболее глубокой и широкой части (около 21 км на широте 45°10′ с.ш.) примерно между широтами 44°58′ и 45°22′ с.ш., хотя весь бассейн был заполнен разномасштабными циклоническими и антициклоническими вихрями;

- при смене направления ветра с северо-восточного/восточного на юго-восточный/южный изменялся характер вихревой циркуляции в этой части акватории: в первом случае наиболее ярко выраженной структурой являлся антициклонический вихрь диаметром 5–7 км с присоединенными циклонами меньшего масштаба (рис. 1–3), во втором вихревая картина заметно усложнялась и наиболее крупными вихревыми образованиями (до 8 км в диаметре) становились циклонические вихри (рис. 4);

- сопоставление диполя из антициклона и циклона на его северо-западной периферии на рис. 3а (размер диполя – примерно 11 км) с результатом численного моделирования циркуляции в западном бассейне из [6] примерно в тех же координатах

(рис. 3б) при близких ветровых условиях показало их качественное сходство, несмотря на меньшую в 1.2 раза ширину бассейна в 2020 г. по сравнению с 2010 г. и различную термохалинную стратификацию в эти годы вследствие исчезновения в 2020 г. пролива, связывающего западный и восточный бассейны. Фактором, определяющим преобладание антициклонических вихрей в стратифицированном западном бассейне при северо-восточном/восточном ветре, является, по-видимому, асимметрия в донной топографии (крутой и глубокий западный склон и более мелководная область вдоль восточного берега) [6];

- образование циклонических вихрей у крутого западного склона бассейна, обусловленное, вероятно, горизонтальным сдвигом скорости между склоном и антициклоническим вихрем или вдольбереговым течением северо-восточного направления, может быть причиной резкой и неожиданной смены направления течения с северо-восточного (как можно ожидать при антициклонической циркуляции в масштабе бассейна) на южное, зарегистрированной измерителем скорости течений в [6];

- четкая «прорисовка» вихревых структур на рис. 1–4, чего не наблюдалось на немногочисленных информативных спутниковых изображениях в начале 2000-х гг. [3], может быть связана появлением в современном гиперсоленом водоеме, помимо различных видов фитопланктона, эффективного трассера динамики вод – цист рачка артемии (*Artemia parthenogenetica*) (представителя зоопланктона). С учетом того, что максимальная численность и водорослей фитопланктона, и цист артемии в западном бассейне наблюдаются осенью [3, 7], именно осенний период оптимален для наблюдения вихревых структур в этом водоеме.

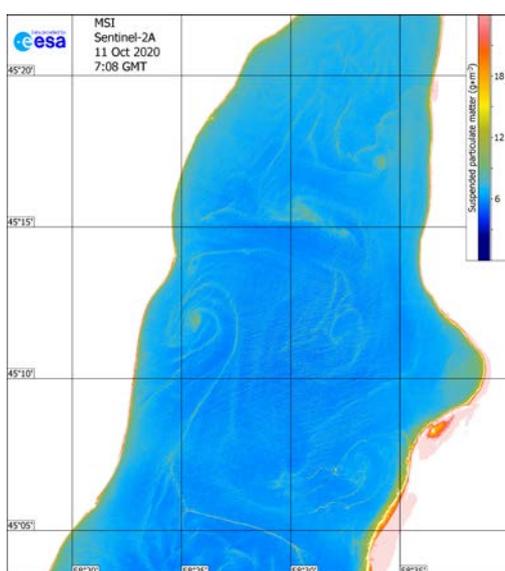


Рис. 1. Изображение MSI Sentinel-2A,  
11.10.2020

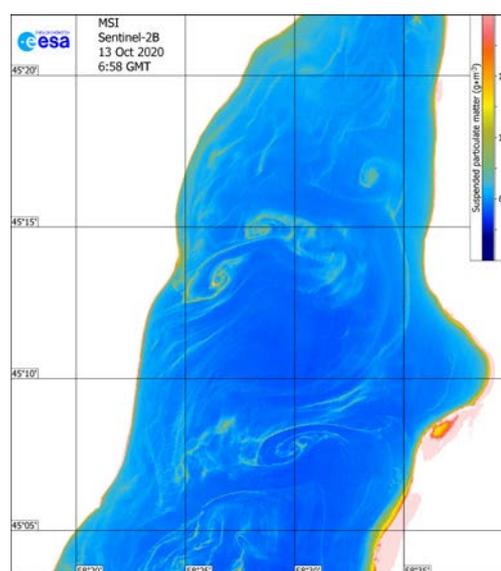


Рис. 2. Изображение MSI Sentinel-2B,  
13.10.2020

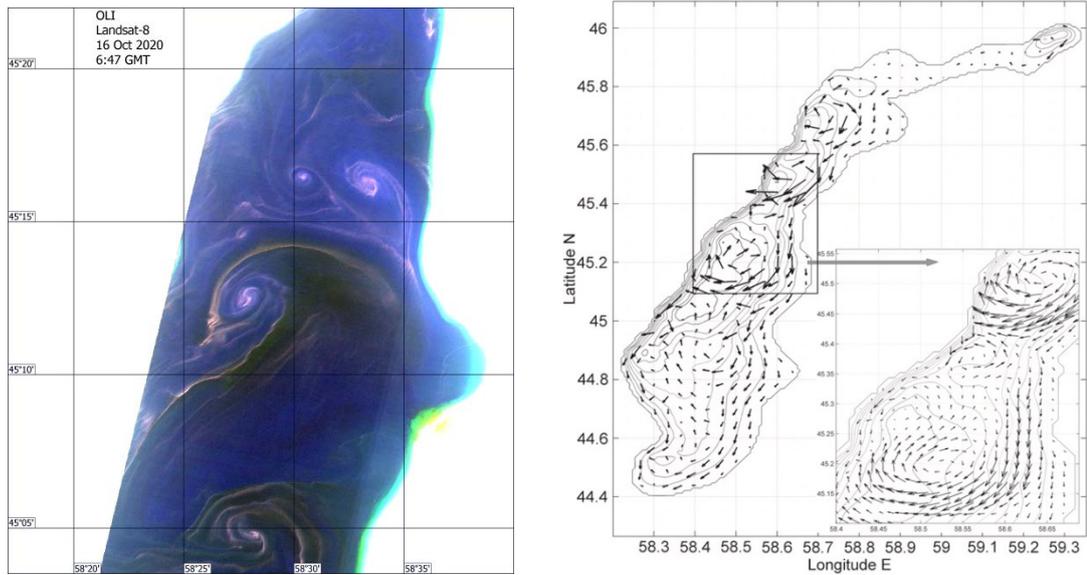


Рис. 3. Изображение OLI Landsat-8, 16.10.2020 (а) и результат численного моделирования для сентября 2010 г. из [6] (врезка) (б).

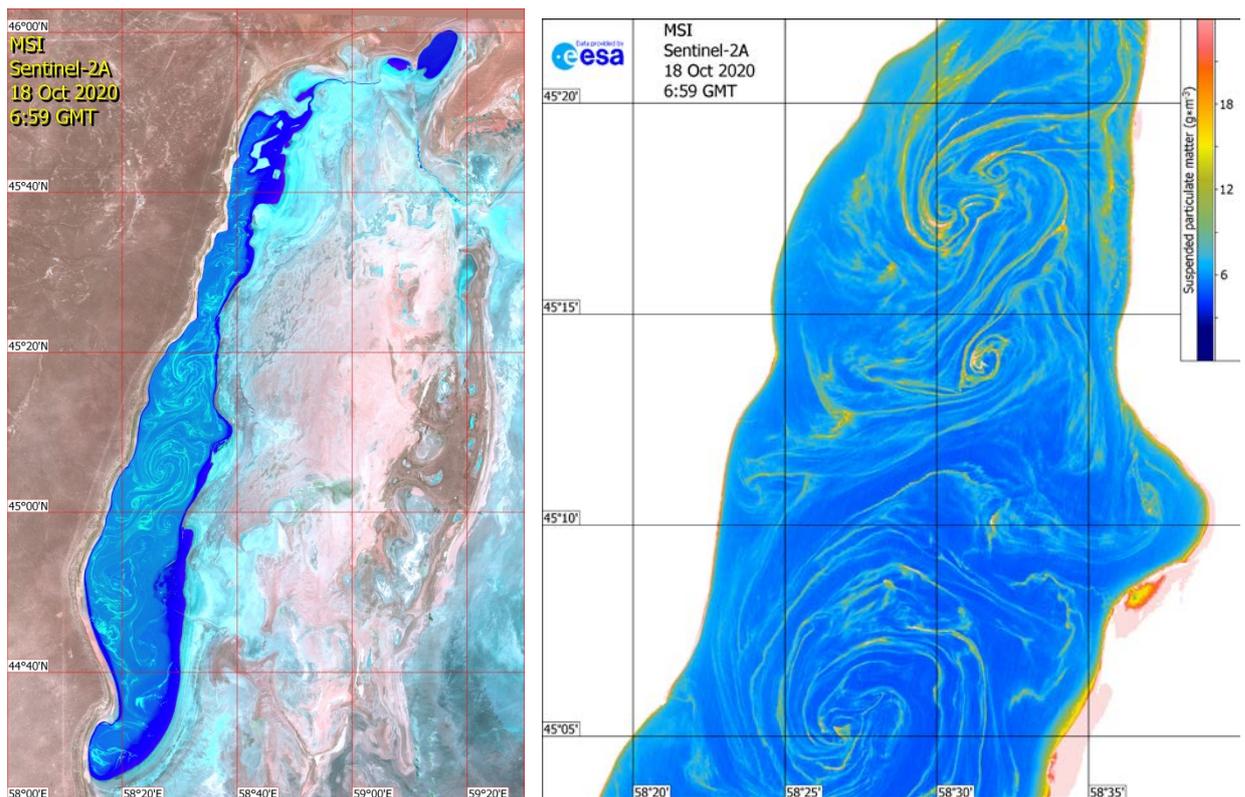


Рис. 4. Изображение MSI Sentinel-2A (а) и его фрагмент (б), 18.10.2020

## Литература

1. Андрулионис Н.Ю., Завьялов П.О., Ижицкий А.С. Современная эволюция солевого состава вод западного бассейна Большого Аральского моря // *Океанология*. 2021. № 6 (в печати).
2. Бортник В.Н., Чистяева С.П. (ред.). Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Проект «Моря СССР». Т. VII. Аральское море. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 196 с.
3. Завьялов П.О., Арашкевич Е.Г., Бастида И., Гинзбург А.И., Дикарев С.Н., Житина Л.С., Ижицкий А.С., Ишниязов Д.П., Костяной А.Г., Кравцова В.И., Кудышкин Т.В., Курбаниязов А.К., Ни А.А., Никишина А.Б., Петров М.А., Сажин А.Ф., Сапожников Ф.В., Соловьев Д.М., Хан В.М., Шеремет Н.А. Большое Аральское море в начале XXI века: физика, биология, химия. – М.: Наука, 2012. 229 с.
4. Ижицкий А.С., Химченко Е.Е., Завьялов П.О., Серебряный А.Н. Гидрофизическое состояние Большого Аральского моря осенью 2013 г.: термическая структура, течения, внутренние волны // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 4. С. 451–463.
5. Косарев А.Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей. - М.: Изд. Московского университета. 1975. 272 с.
6. Izhitskiy A.S., Zavialov P.O., Roget E., Huang H.-P., Kurbaniyazov A.K. On thermohaline structure and circulation of the Western Large Aral Sea from 2009 to 2011: observations and modeling // *Journal of Marine Systems*. 2014. V. 129. P. 234–247.
7. Sapozhnikov P.V., Arashkevich E.G., Ivanishcheva P.S. Biodiversity // In: A.G. Kostianoy, A.N. Kosarev (Eds.). *The Aral Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg. 2010. P. 235–282.