

А.Ю. Иванов<sup>1</sup>, Д.В. Хлебников<sup>1</sup>, М.А. Жукова<sup>1</sup>, Б.В. Коновалов<sup>1</sup>, Д.М. Соловьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, <sup>2</sup> Морской гидрофизический институт РАН  
dx@ocean.ru



Рис. 1. Клин взмученных вод на мелководном шельфе ЮВ Каспия на оптических снимках Terra и Aqua: а) в максимальной стадии 4.01.24; б) и в) в минимальной стадии 4.04 и 28.04.24. © NASA

С помощью исключительно данных дистанционного зондирования Земли изучен клин взмученных вод в юго-восточной части Каспийского моря и причины его возможного образования. Для его наблюдения и предварительного исследования использовались данные различных датчиков ДЗЗ, главным образом спектрорадиометров и ИК-радиометров.

Река Атрек, впадающая в самом ЮВ углу моря – река на границе Ирана и Туркменистана, имеет питание в горах Копетдага со средним расходом воды у около 10 м<sup>3</sup>/с [1]. С конца XX в. вода практически доходит до Каспийского моря только в половодье, в остальное время разбирается на орошение местных с/х земель. Весной река может сильно разливаясь, а её илистые отложения способствовать плодородию почв [2]. Вода в реке очень мутная и содержит в среднем до 25 кг/м<sup>3</sup> взвешенных наносов. Во время половодья река может выносить в море достаточно большое количество взвешенных осадков и илистых частиц, вынос взвешенного вещества оценивается в 300-500 кг/с [1]. Вполне разумно предположить, что р.Атрек выносила осадочный материал многие тысячи лет, он накапливался на шельфе, а сейчас донные осадки на шельфе ЮВ Каспия активно размываются подводными течениями и взмучиваются волнением [3].

Обширная область взмученных вод, непрерывно изменяющая форму и размеры, наблюдается у побережья Туркменистана в ЮВ Каспии независимо от направления ветра, видна практически на каждом снимке при благоприятных гидрометеорологических условиях (ГМУ), независимо от того дует ли ветер с берега на море или наоборот (рис. 1). Площадь взмученного клина в той или иной степени маркирует область обширного мелководья (~20-25 тыс. кв. км) в этой моря [4]. Это обширное мелководье с глубинами от 1 до 30 м протянулось более чем на 150 км с севера на юг и 100 км на запад, в открытое море от побережья Туркменистана (рис. 2) и граничит со свалом глубин южной котловины Каспия. В зависимости от интенсивности и направления ветров взмученные воды то распространяется на большое расстояние, то прижимается к побережью (рис. 1). Совмещение оптического снимка Terra MODIS с картой подводной топографии (рис. 2) показало, что взмученный клин занимает только мелководную область шельфа с глубинами от нуля до 30-50 м, его граница расположена над свалом глубин.

По данным [5,6] среднестатистическое волнение в южной части моря при преобладающих восточных/северо-восточных и западных/северо-западных ветрах – 2-3 балла с высотой волн до 2-3 м, причем такие волны могут взмучивать осадки на глубинах до 30 м. Из данных ДЗЗ хорошо также видно, что под действием преобладающих течений взмученные осадки переносятся в основном в открытое море и вдоль побережья на север в Туркменский залив и к о.Огурчинский.

Анализ данных ДЗЗ видимого диапазона (спектрорадиометров MODIS и OLCI), показал, что благодаря оптическим свойствам воды в поверхностном слое определяется концентрацией взвешенного вещества в этой части моря. Оптические свойства взмученных вод (на длинах волн 440, 510, 675 и 750 нм) однозначно указывали на их природу, т.е. на то, что их оптические характеристики определяются, главным образом взвешенным веществом южно-каспийского мелководья (рис. 4, 5). По нашим предварительным оценкам концентрация взвешенного вещества достигала 100±50 мг/л, уменьшаясь от берега по направлению в открытое море.

Температура поверхности моря (ТПМ) в осенне-зимний период во взмученной воде мелководья обычно холоднее на 2-5°С окружающего моря (особенно вод южно-каспийской котловины) – за счет быстрого выхолаживания; в весенний период мелководье начинает быстро прогреваться, а в летний – температурные контрасты выравниваются, они незначительны или вообще отсутствуют (рис. 3, сверху), что не характерно для стационарного апвеллинга.

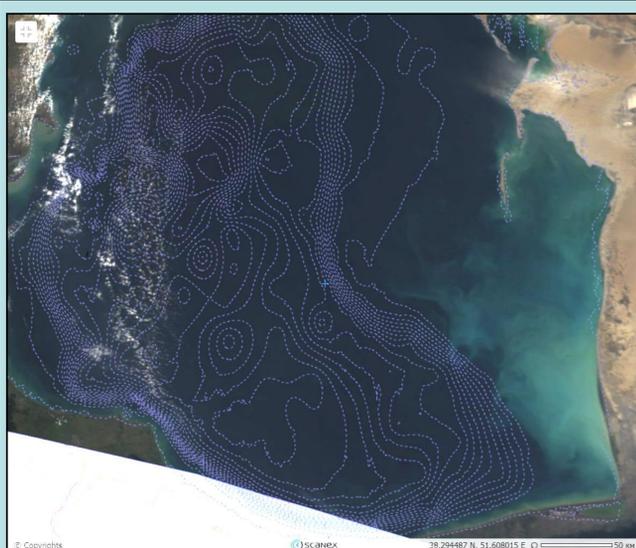


Рис. 2. Совмещение оптического снимка MODIS Terra (7.10.2024) с картой подводной топографии. Хорошо видно, что взмученный клин занимает только мелководную область с глубинами 30-50 м

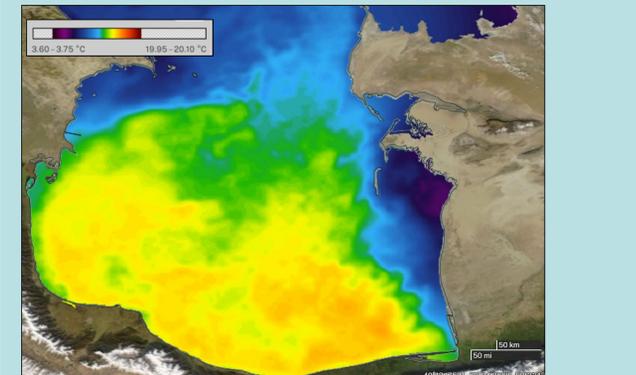
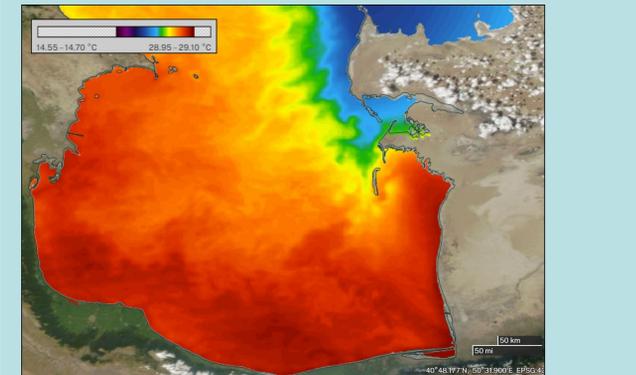


Рис. 3. Температура поверхности моря в Южном Каспии в летнее (7.07.2023; в море 26-28°С, в клине у берега 25-28°С) (вверху) и в зимнее время (7.01.2024; в море 15-16°С, в клине у берега 7-12°С) (внизу). Данные Group for High Resolution Sea Surface Temperature

На периферии выноса, на его границах часто появляются последовательности мелкомасштабных вихревых структур и микровихреней (рис. 1, 2), обусловленных неустойчивостью Кельвина-Гельмгольца, что характерно для сдвиговых явлений, развивающихся в пограничных условиях у свала глубин.

Вынос р. Атрек на оптических снимках, в том числе высокого разрешения, последнего десятилетия вообще обнаружен не был, хотя он должен был характеризоваться другими биооптическими свойствами, в частности, высокими значениями концентрации речной взвеси и практически полным отсутствием хлорофилла; в данных ДЗЗ 1990-2000-х гг. он регистрировался крайне редко.

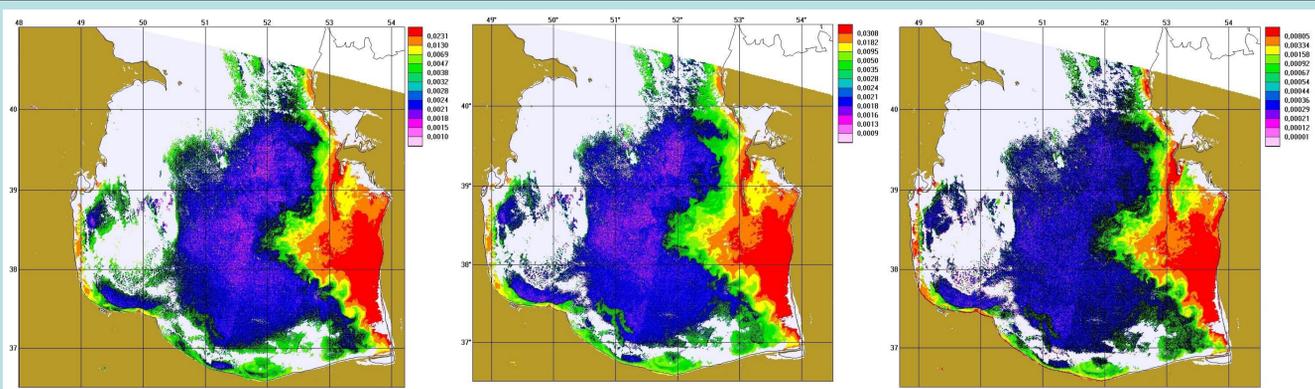


Рис. 4. Спектральная отражательная способность (в str<sup>-1</sup>), рассчитанная по данным спектрорадиометра OLCI на ИСЗ Sentinel-3В на длинах волн 440, 510 и 680 нм (случай 4.01.2024), которая характеризует мутность воды и содержание взвешенного вещества

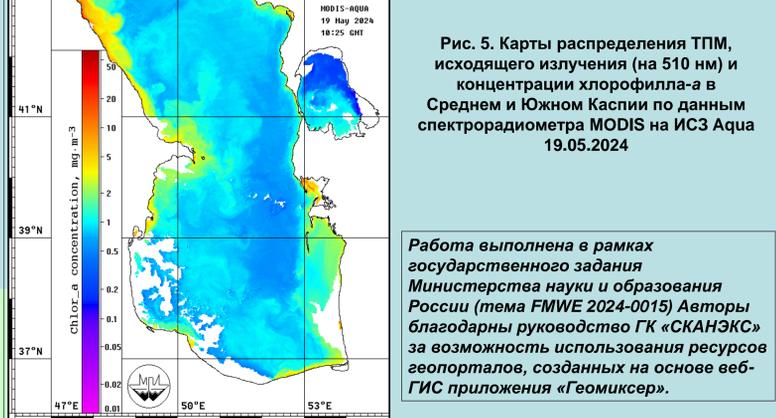
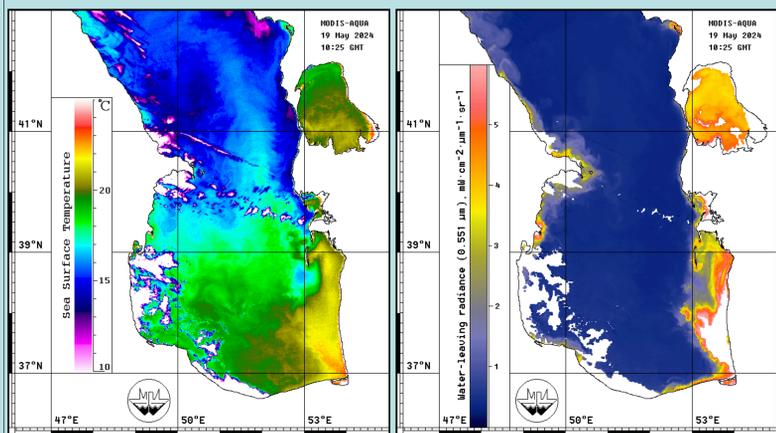


Рис. 5. Карты распределения ТПМ, исходящего излучения (на 510 нм) и концентрации хлорофилла-а в Среднем и Южном Каспии по данным спектрорадиометра MODIS на ИСЗ Aqua 19.05.2024

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и образования России (тема FMWE 2024-0015) Авторами благодарны руководству ГК «СКАНЭКС» за возможность использования ресурсов геопорталов, созданных на основе веб-ГИС приложения «Геомиксер».

**Заключение:** В итоге, анализ мультиспектральных спутниковых данных показал, что ДЗЗ позволяет достаточно уверенно характеризовать явление, наблюдающееся в юго-восточной части Каспийского моря ежедневно и ежегодно, и определить, например, что это не интенсивное цветение фитопланктона (значения близки к стандартным), не апвеллинг (подъем холодной воды на мелководном шельфе отсутствует) и не вынос р. Атрек (он в настоящее время практически отсутствует), а взмучивание мелкодисперсных осадков на обширном юго-восточном каспийском мелководье. Основная причина появления взвеси – разрушение прибрежной части морского дна, состоящего из глинистых и песчаных осадков.

1. Географическая энциклопедия ([https://dic.academic.ru/contents.nsf/enc\\_geo/](https://dic.academic.ru/contents.nsf/enc_geo/)).
2. Паводок на реке Атрек в марте 2019 года (<https://meteojournal.ru/pavodok-na-reke-atrek-v-marte-2019-goda/>).
3. Аранбаев А.М. Карбонатное состояние взвешенных наносов и аллювиальных почв сухих субтропиков дельты Атрека // Бюл. Почв. ин-та. 2005. С.91-95.
4. Tendrils of sediment in the Caspian Sea. 9 January 2018 (<https://www.earthobservatory.nasa.gov/images/91683/tendrils-of-sediment-in-the-caspian-sea>).
5. Болгов М.В., Красножон Г.Ф., Любушин А.А. Каспийское море: экстремальные гидрологические события. М.: Наука, 2007.
6. Lahijani H.A., Abbasian H., Beni A.N. et al. Sediment distribution pattern of the South Caspian Sea: possible hydroclimatic implications // Canadian Journal of Earth Sciences. 2019.