



**НАБЛЮДЕНИЕ АПВЕЛЛИНГОВ У ЗАПАДНОГО И
ВОСТОЧНОГО БЕРЕГОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ЛЕТОМ
2024 Г. ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ:
МУЛЬТИСЕНСОРНЫЙ ПОДХОД**

*Д.В. Хлебников, А.Ю. Иванов, М.А. Жукова, С.К. Клименко
Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН*

**Двадцать вторая международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», 11-15-
ноября 2024, Москва, ИКИ РАН**

Введение

- ❖ С помощью данных ДЗЗ наблюдались апвеллинги, возникшие в июле-августе 2024 г. у дагестанского побережья России и у восточного берега Каспийского моря (Казахстан и Туркмения). При этом в качестве основных использовались карты температуры поверхности моря (ТПМ) и направления и силы ветра, опубликованные ЕСИМО. Также использовались данные различных дистанционных сенсоров ДЗЗ – ИК-радиометров (TIRS/TIRS-2), спектрорадиометров (MODIS, VIIRS, MSI, OLCI) и радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) на ИСЗ Sentinel-1. Для подспутниковой верификации привлекались измерения ТПМ у берега в дагестанских и казахстанских портах.
- ❖ В результате комплексный анализ всей совокупности данных показал, что причиной этих апвеллингов, их возникновения и развития в западной и восточной прибрежных зонах Каспия являлся классический экмановский ветровой механизм. Использование для исследования апвеллингов оптической, инфракрасной и радиолокационной информации показало основные сходства и различия между этими двумя явлениями по их термогидрофизическим свойствам и биооптическим характеристикам.

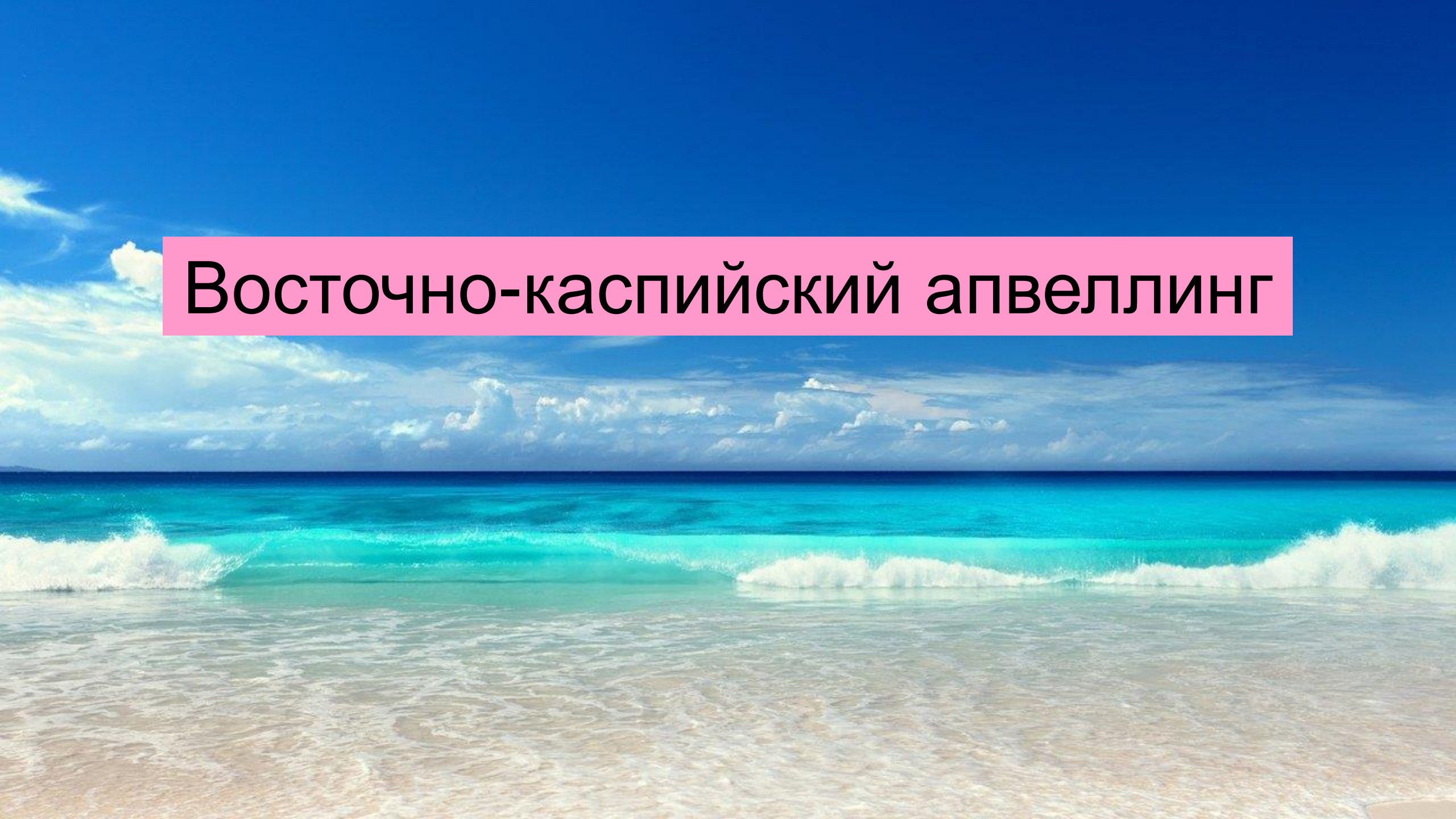
Возникновение апвеллингов у восточного и западного берегов Каспия

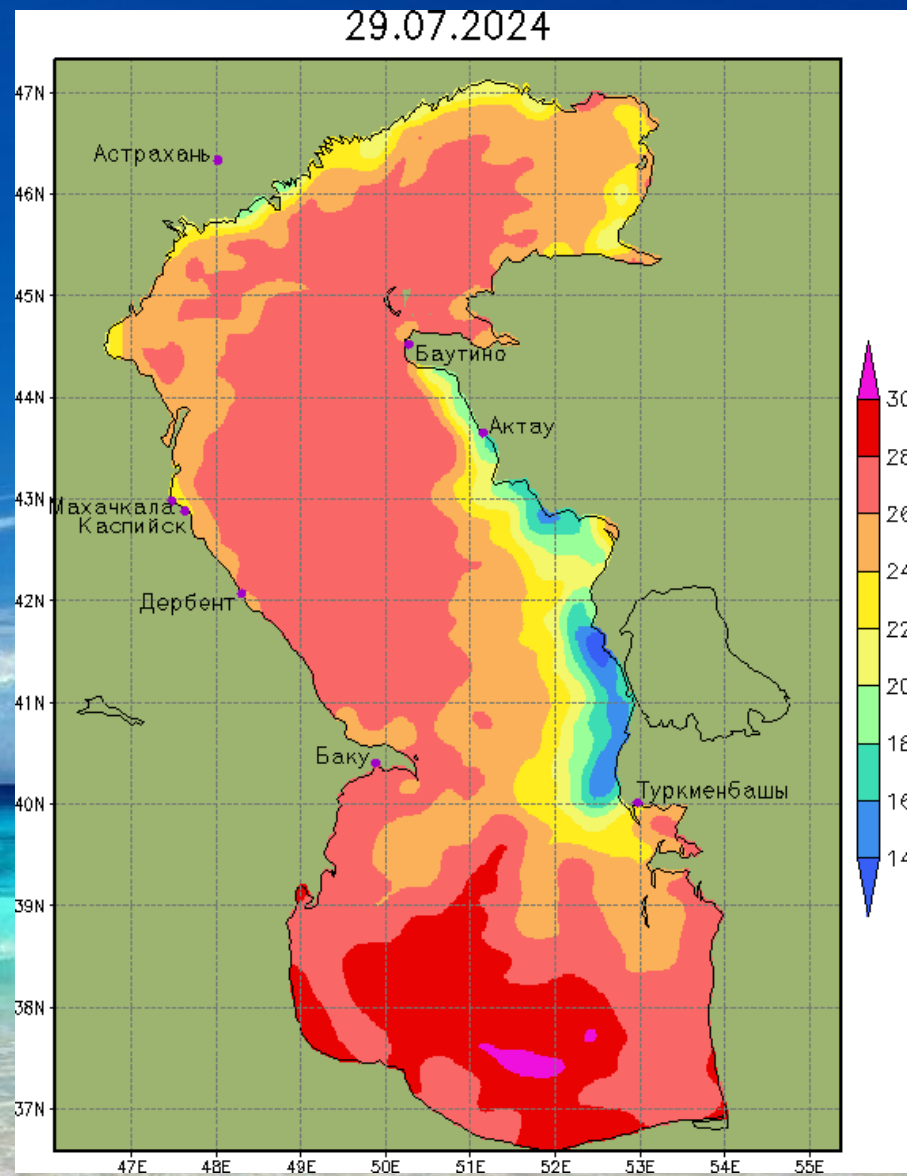
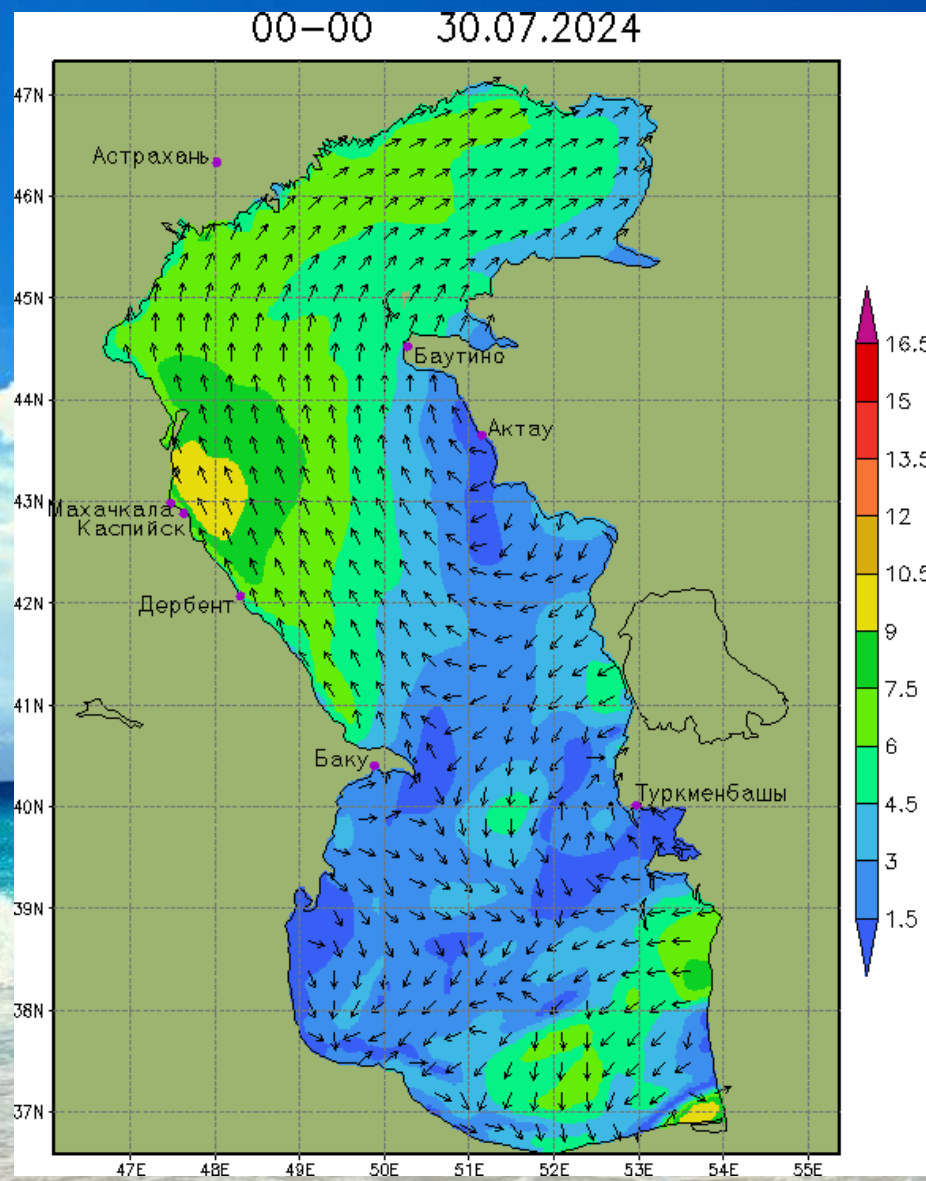
- ❖ Из-за географического положения Каспийского моря в теплый период года (апрель – сентябрь) усиливается влияние азорского (атлантического) максимума. То есть, летом часто атлантические воздушные массы через Европу и Черное море достигают средней части Каспия (области высокого давления, отделяемые азорским максимумом, прорываются на Каспий и далее на юго-восток). Таким образом, в средней восточной части Каспийского моря с мая по сентябрь в основном преобладают ветры северо-западных румбов. Согласно классической теории Экмана при этом возникает уход поверхностных вод в открытое море и подъем на их место более холодных водных масс).
- ❖ У западного берега Каспия летом апвеллинги возникают значительно реже и менее продолжительны, чем у восточного берега, благодаря редким ветрам ЮВ румбов. В рассматриваемом случае продолжительностью около недели с 30.07 по 3.08.2024 ветра данного направления с юга на север вдоль западного берега возникли благодаря мощному антициклону, сформировавшемуся над центром моря. Вследствие этого и проявился экмановский апвеллинг у западного берега.

Отличия апвеллингов у восточного и западного берегов Каспийского моря

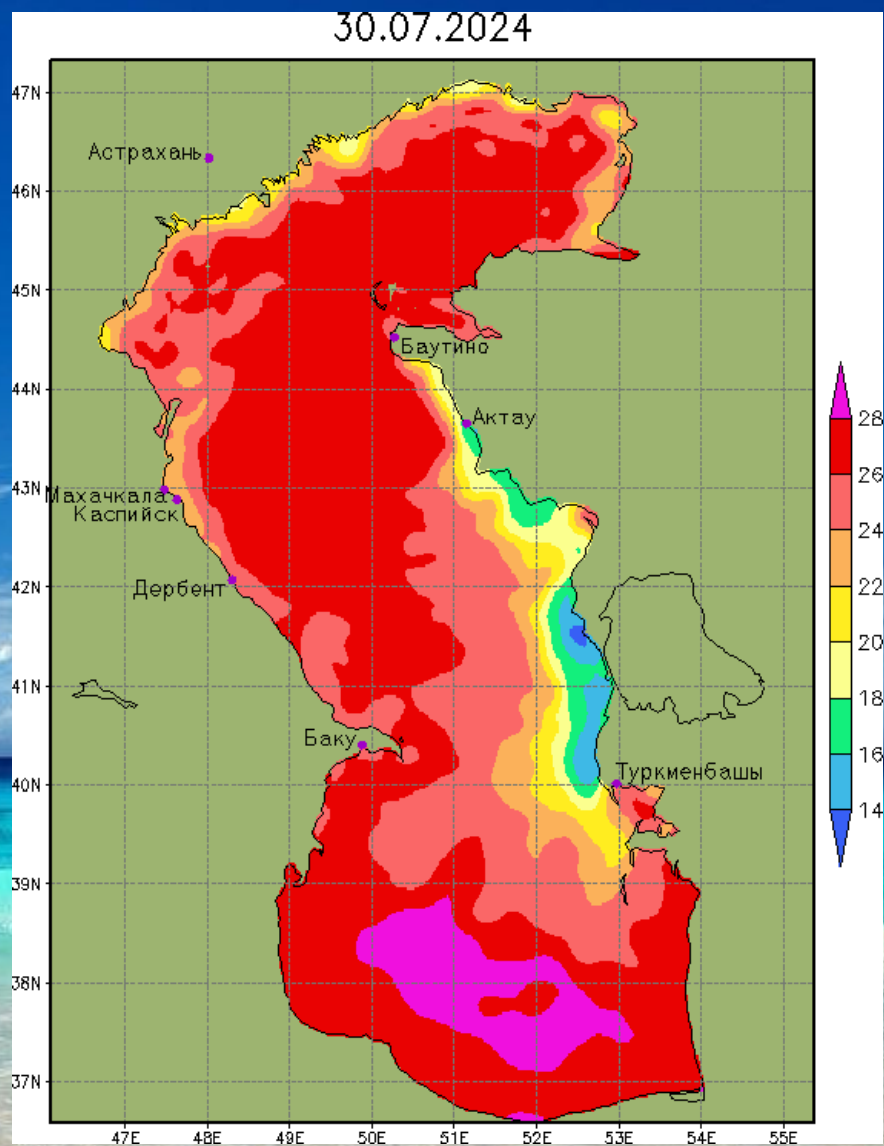
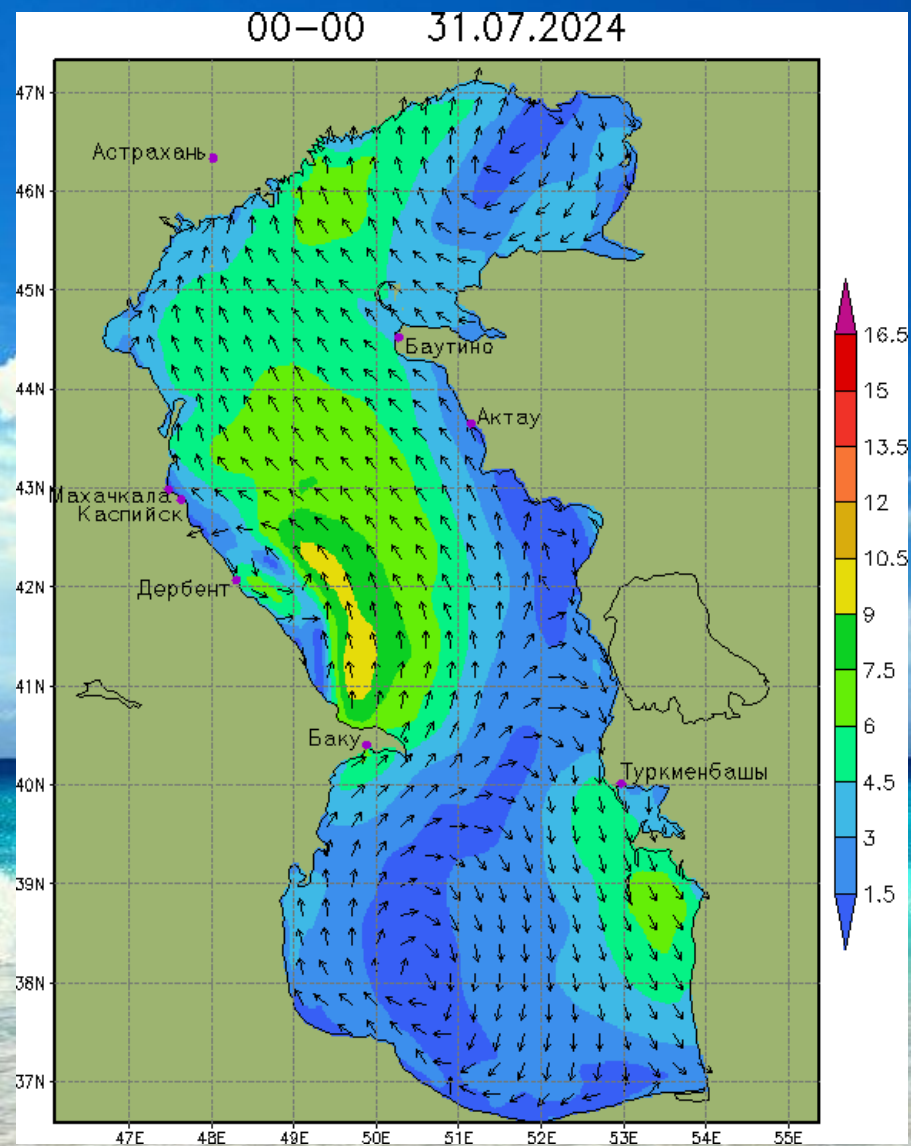
- ❖ Пространственные размеры восточного апвеллинга (ВА). Он значительно превосходит размеры западного апвеллинга (ЗА). Часто он простирается с севера на юг вдоль восточного берега Каспия от п-ова Тюб-Караган до г. Туркменбаши (при сильных северных и СЗ ветрах – до о. Огурчинский) почти на 600 км. В то время как длина ЗА – не более 200 км.
- ❖ Продолжительность процесса: сезонный ВА здесь часто наблюдается с июня по август. Продолжительность ЗА – около недели и проявляется он гораздо реже чем ВА.
- ❖ В отличие от других известных апвеллингов во внутренних морях, ВА обычно присуще не повышение концентрации хлорофилла фитопланктона по сравнению с окружающими районами моря, а понижение, или вообще отсутствие корреляции этого параметра с температурой поднявшихся на поверхность холодных вод. У ЗА обычно наблюдается повышение концентрации хлорофилла.

Восточно-каспийский апвеллинг

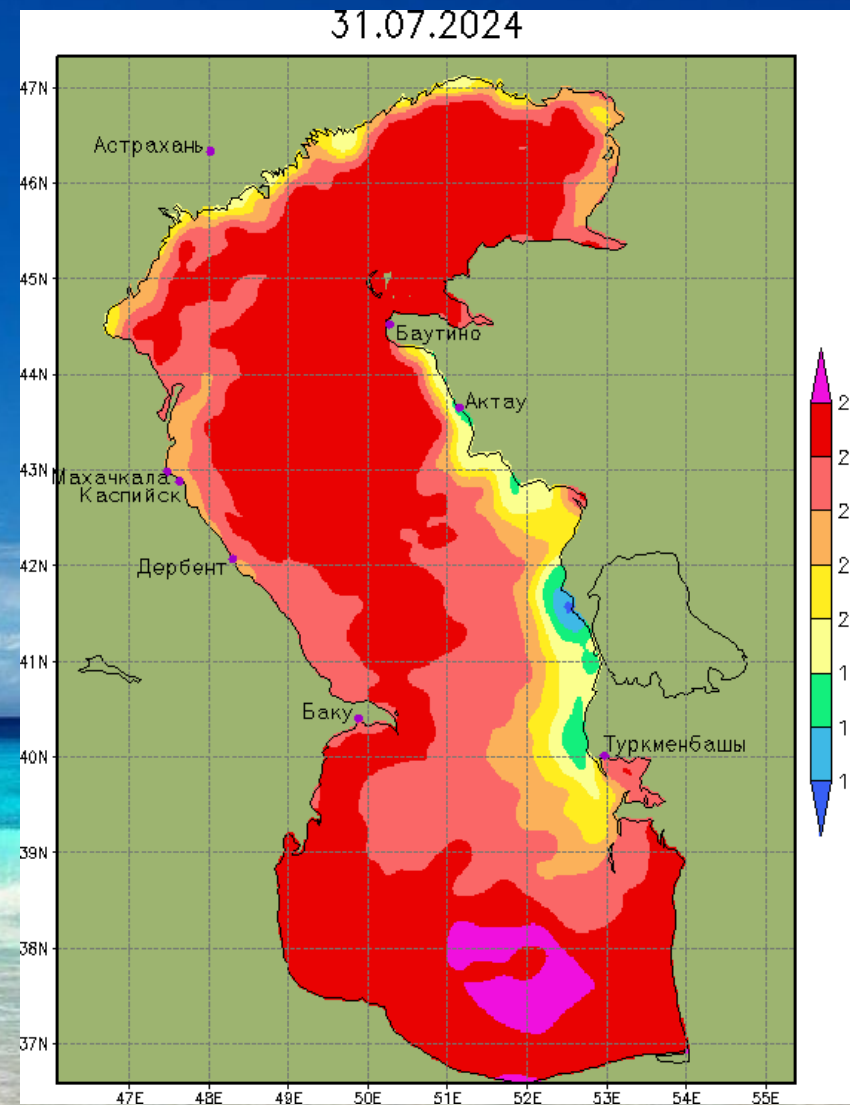
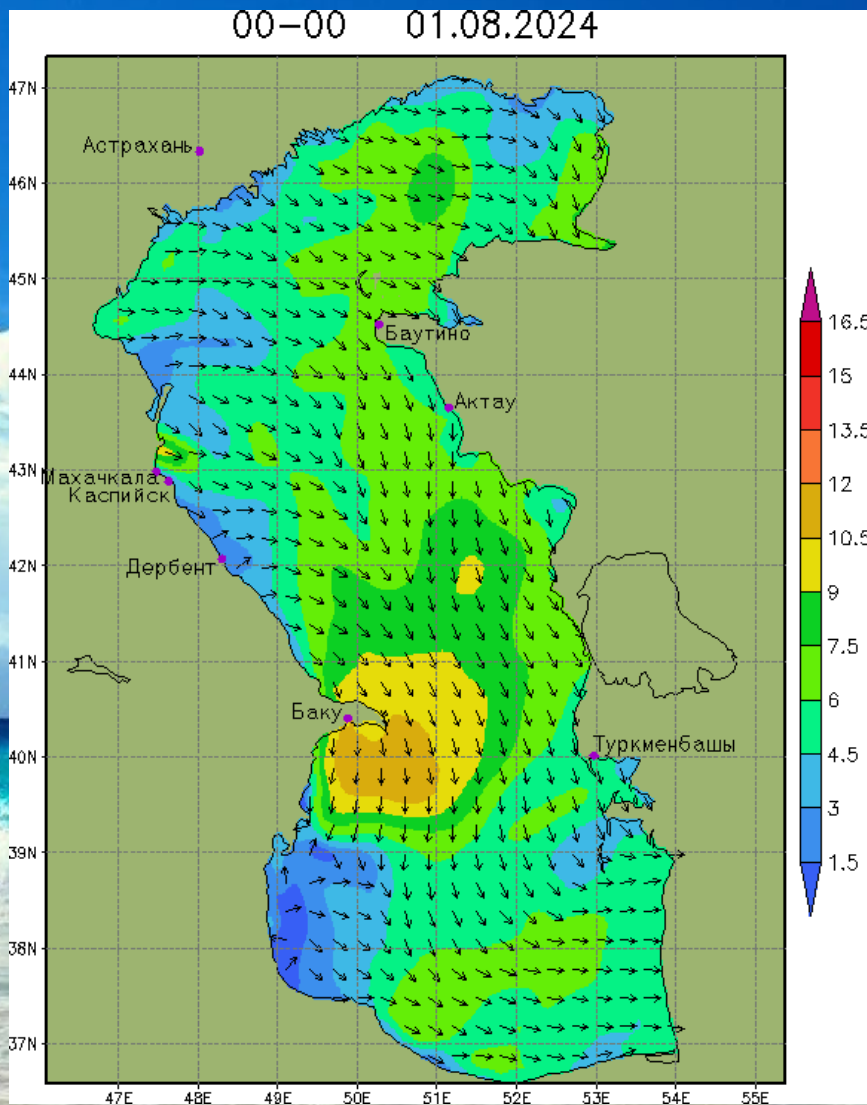




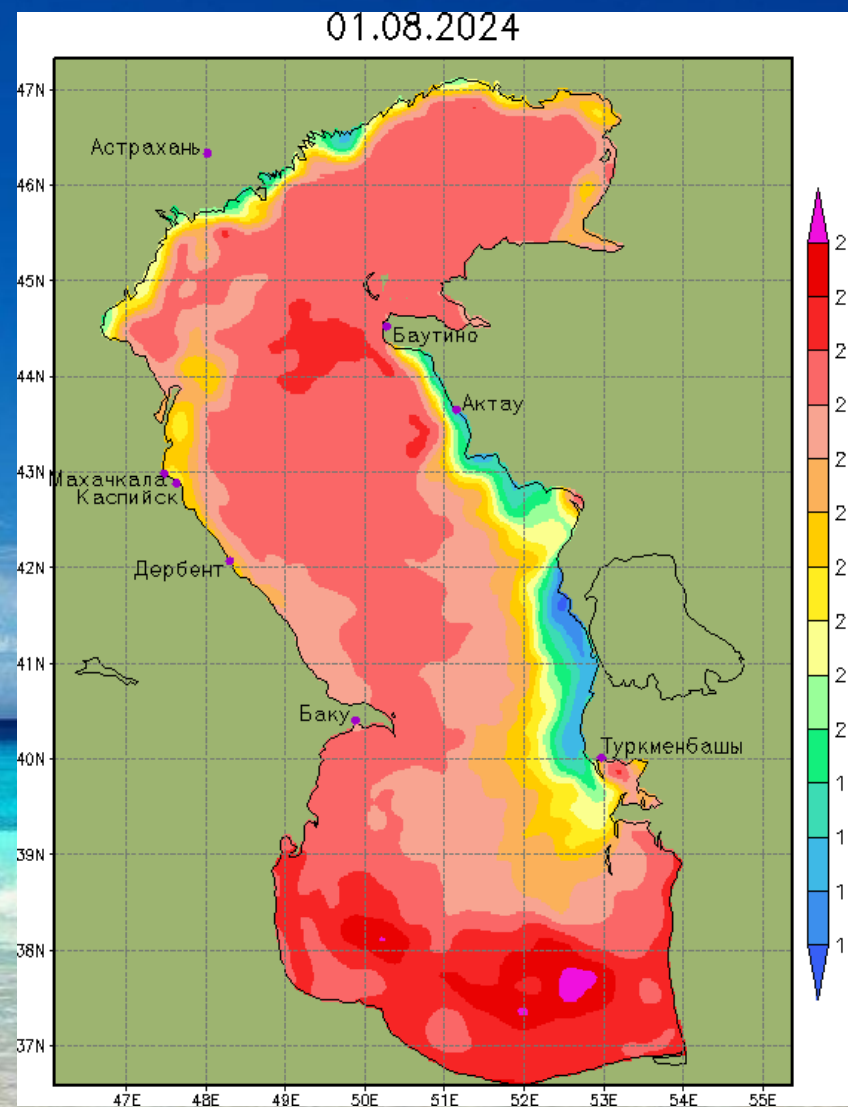
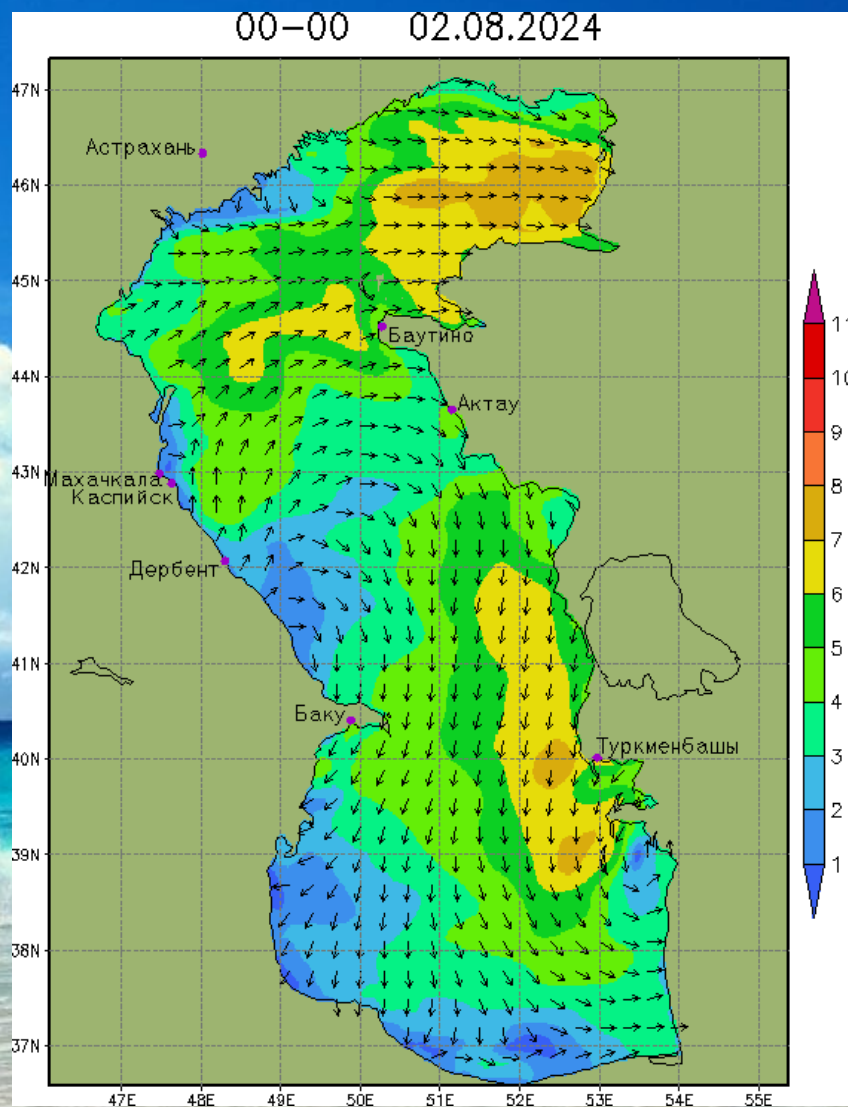
Скорость ветра в м/с (слева) и ТПМ Каспия в $^{\circ}\text{C}$ (справа) на 29.07.24. ЕСИМО



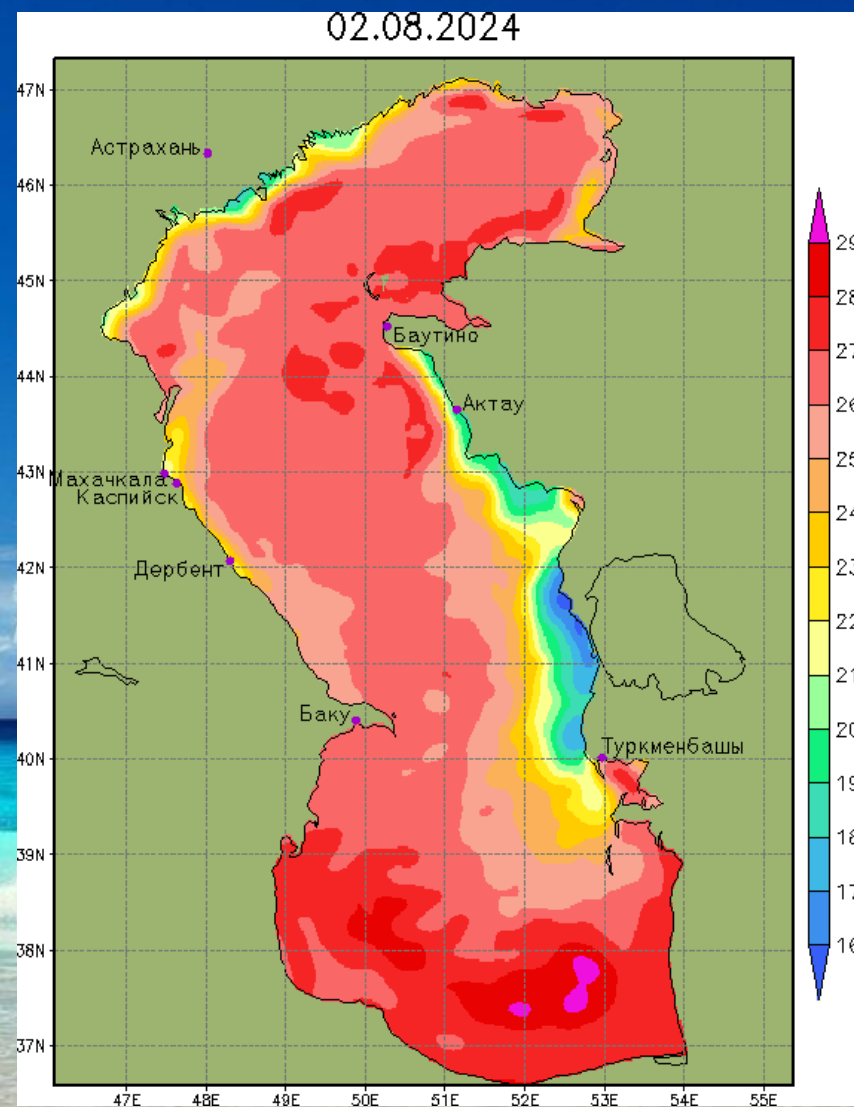
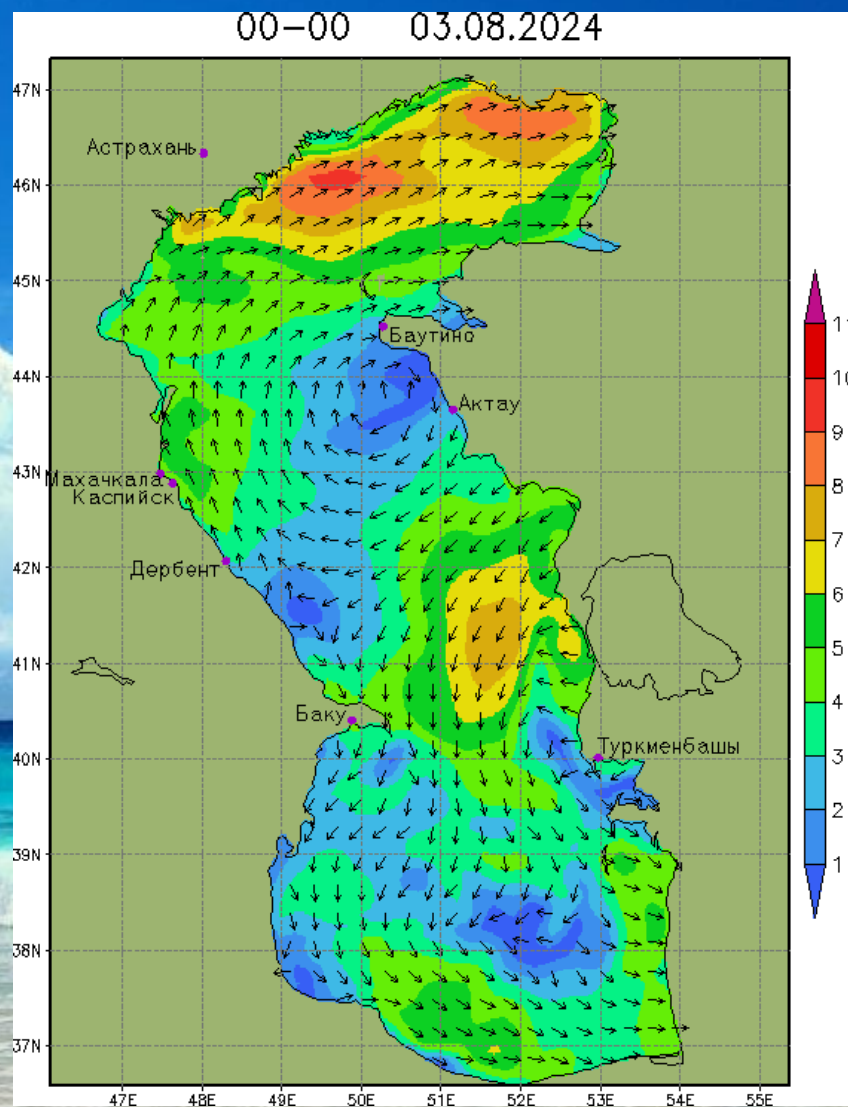
Скорость ветра в м/с (слева) и ТПМ Каспия в °С (справа) на 30.07.24. ЕСИМО



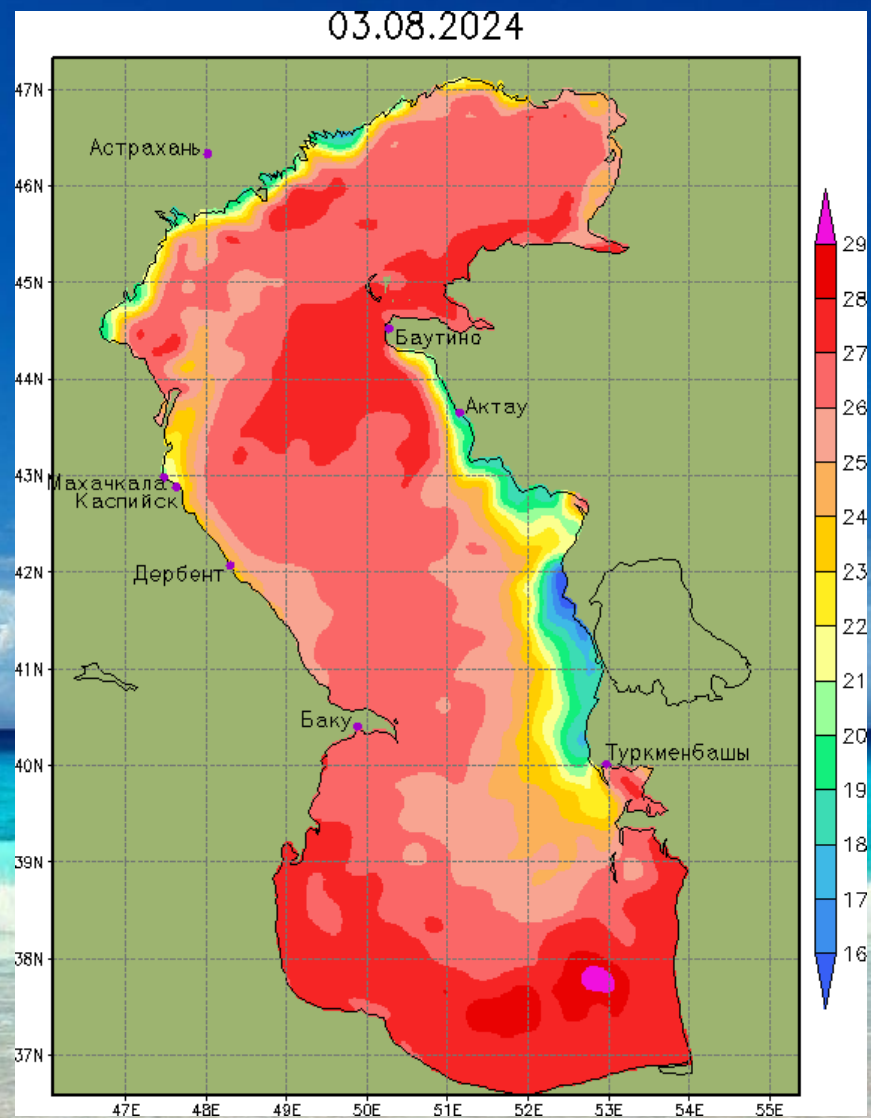
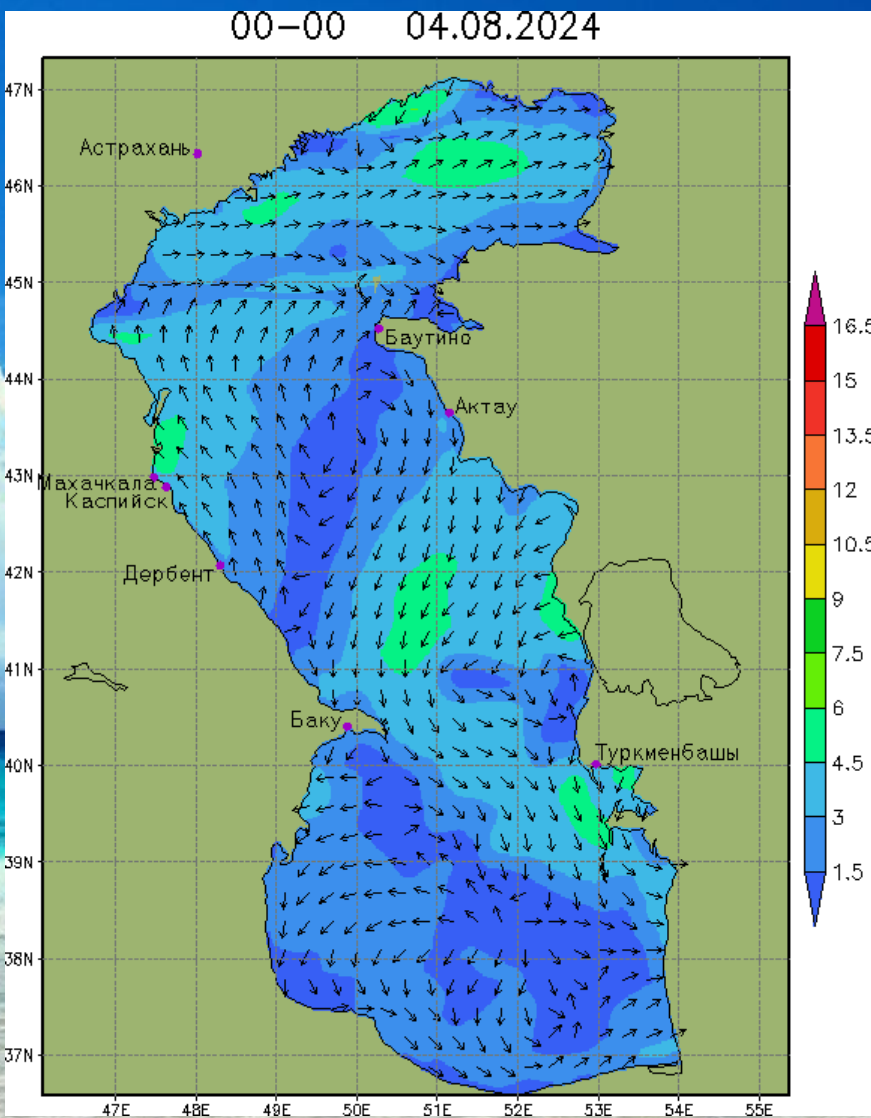
Скорость ветра в м/с (слева) и ТПМ Каспия в °С (справа) на 31.07.24. ЕСИМО



Скорость ветра в м/с (слева) и ТПМ Каспия в °С (справа) на 01.08.24. ЕСИМО.

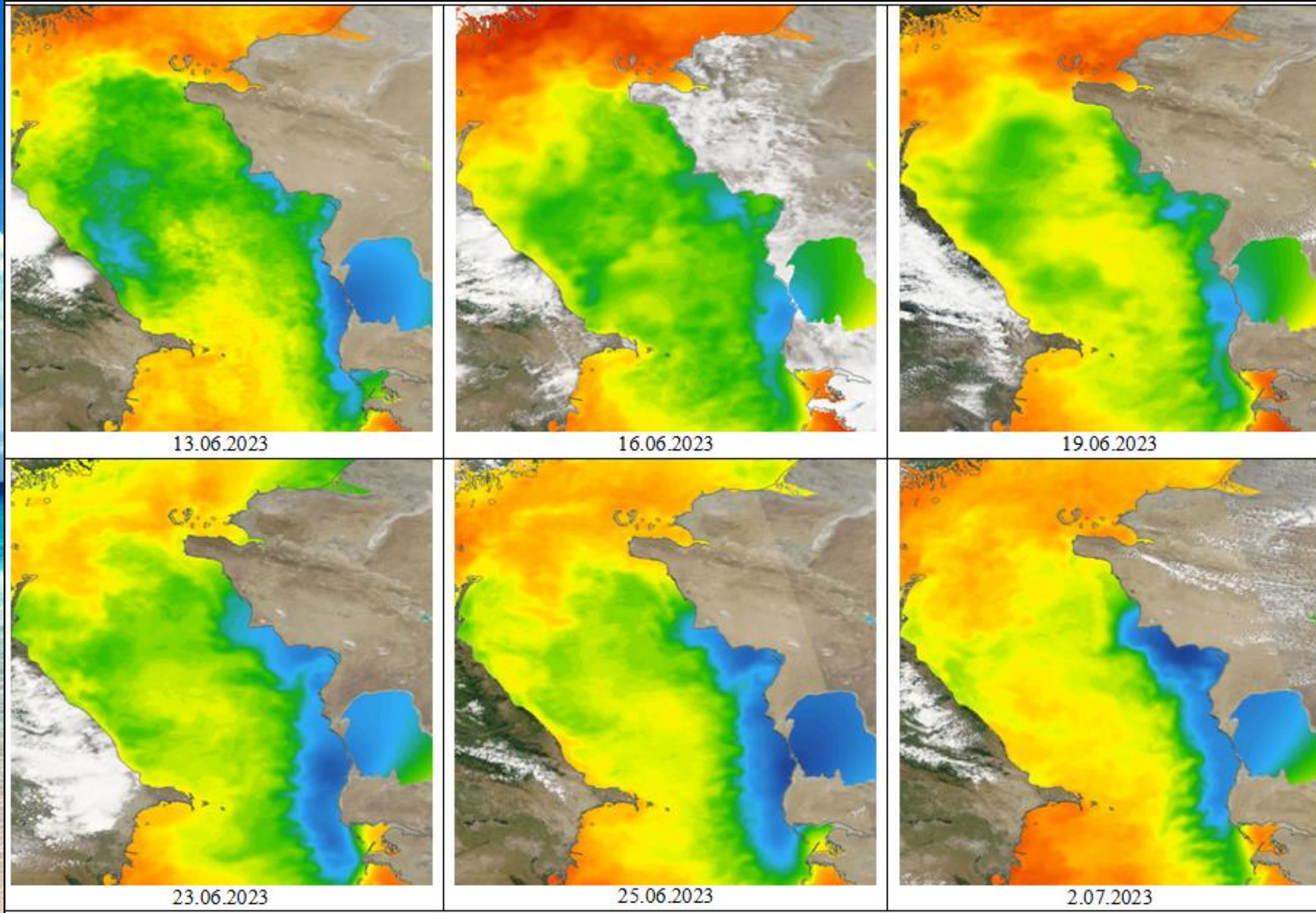


Скорость ветра в м/с (слева) и ТПМ Каспия в $^{\circ}\text{C}$ (справа) на 02.08.24. ЕСИМО



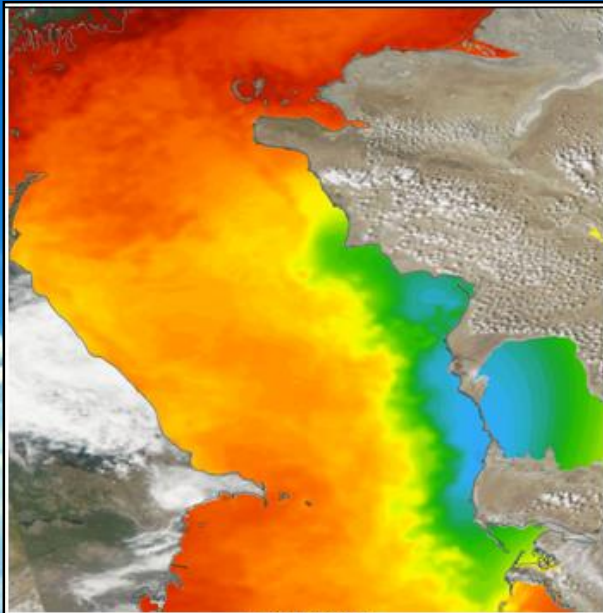
Скорость ветра в м/с (слева) и ТПМ Каспия в °С (справа) на 03.08.24. ЕСИМО.

Эволюция восточно-каспийского апвеллинга в поле ТПМ по данным ДЗЗ

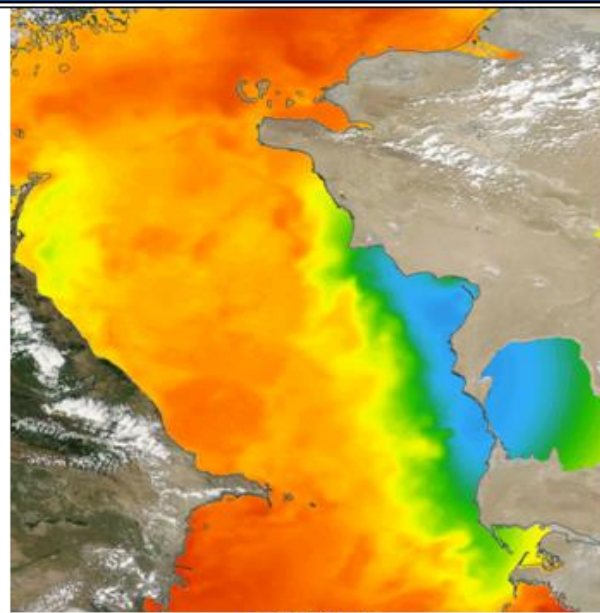


Sea Surface Temperature (L4, MUR)
Multi-mission / GHRST v1 STD
10.05 - 10.20 °C 29.85 - 30.00 °C

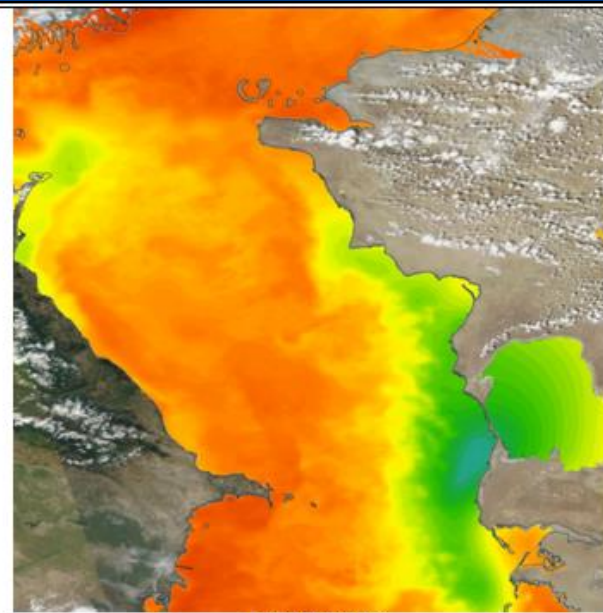
Эволюция восточно-каспийского апвеллинга в поле ТПМ (продолжение)



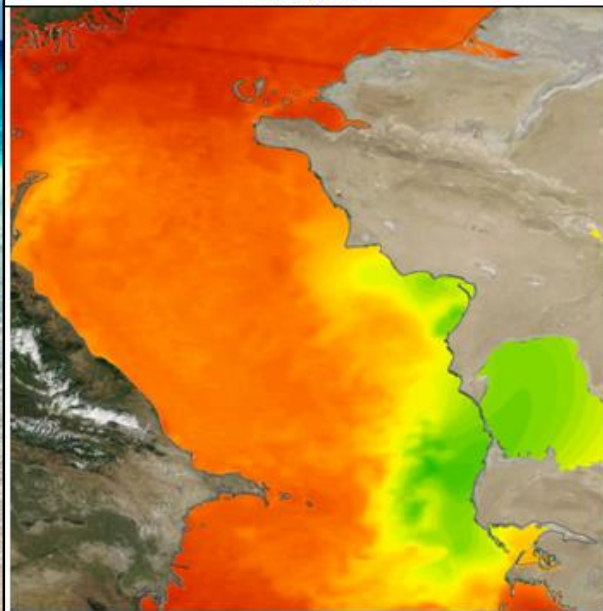
5.07.2023



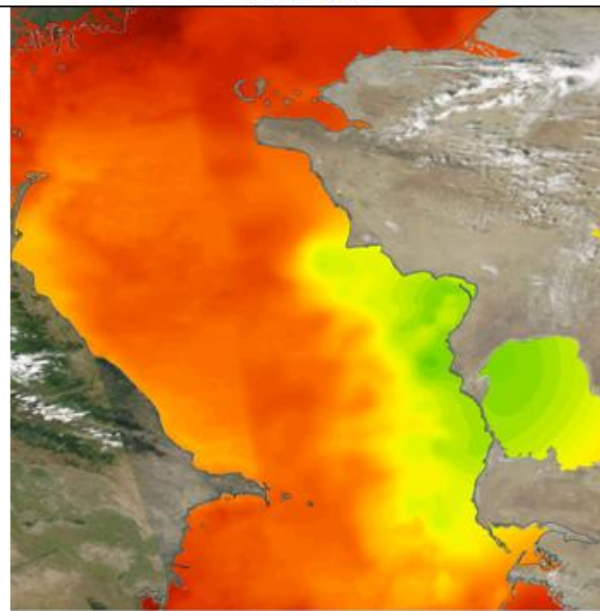
13.07.2023



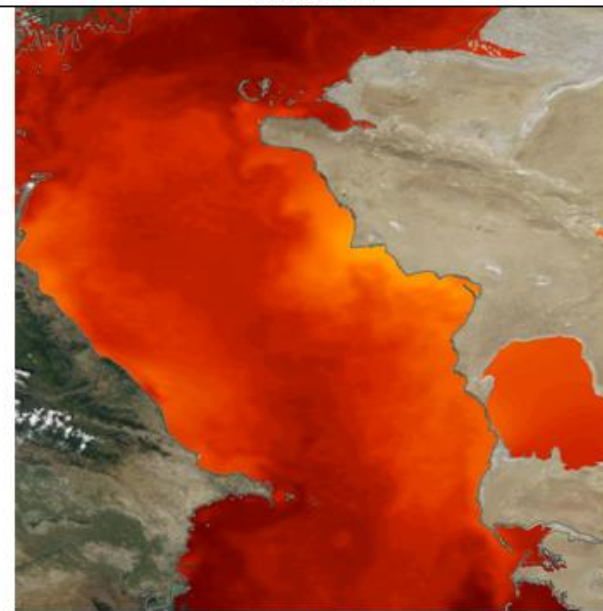
19.07.2023



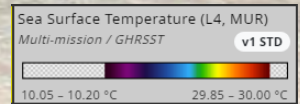
27.07.2023



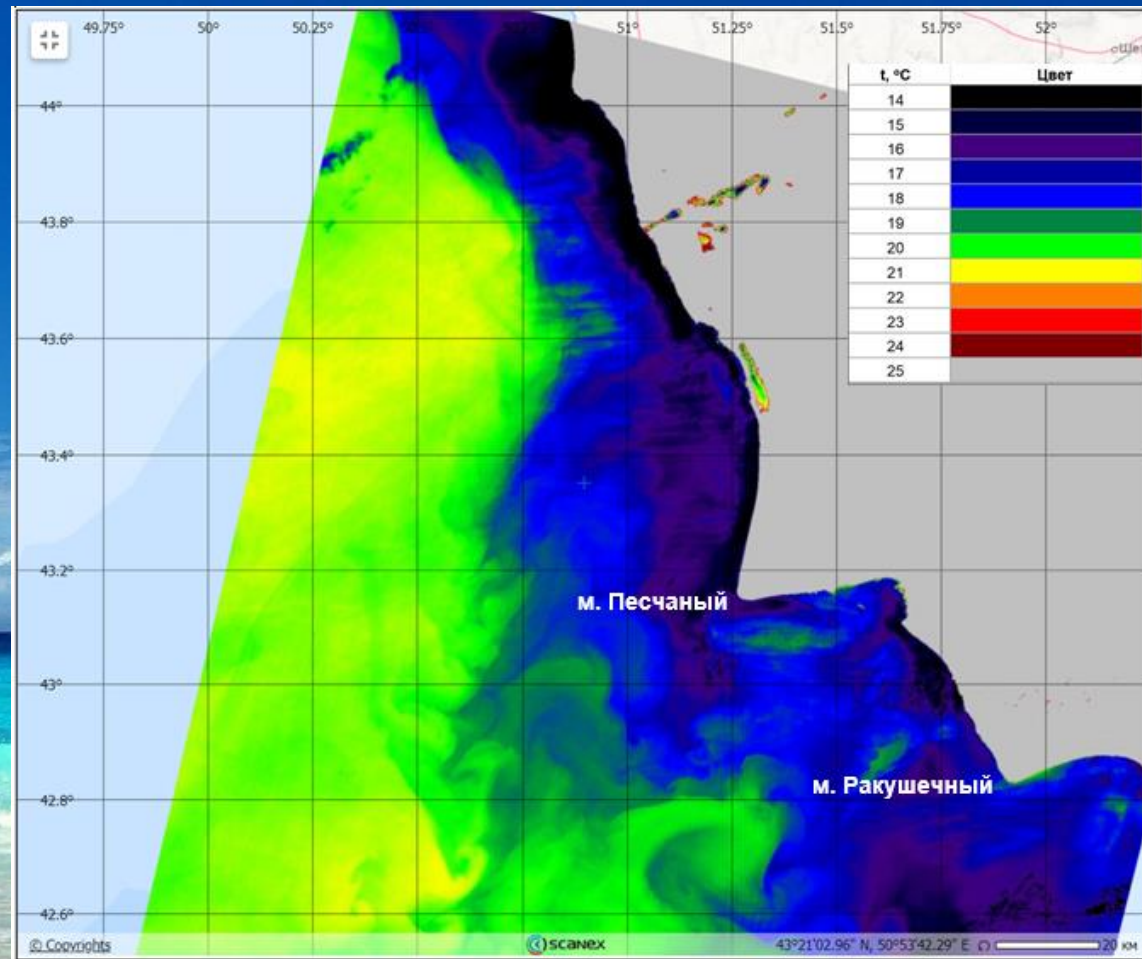
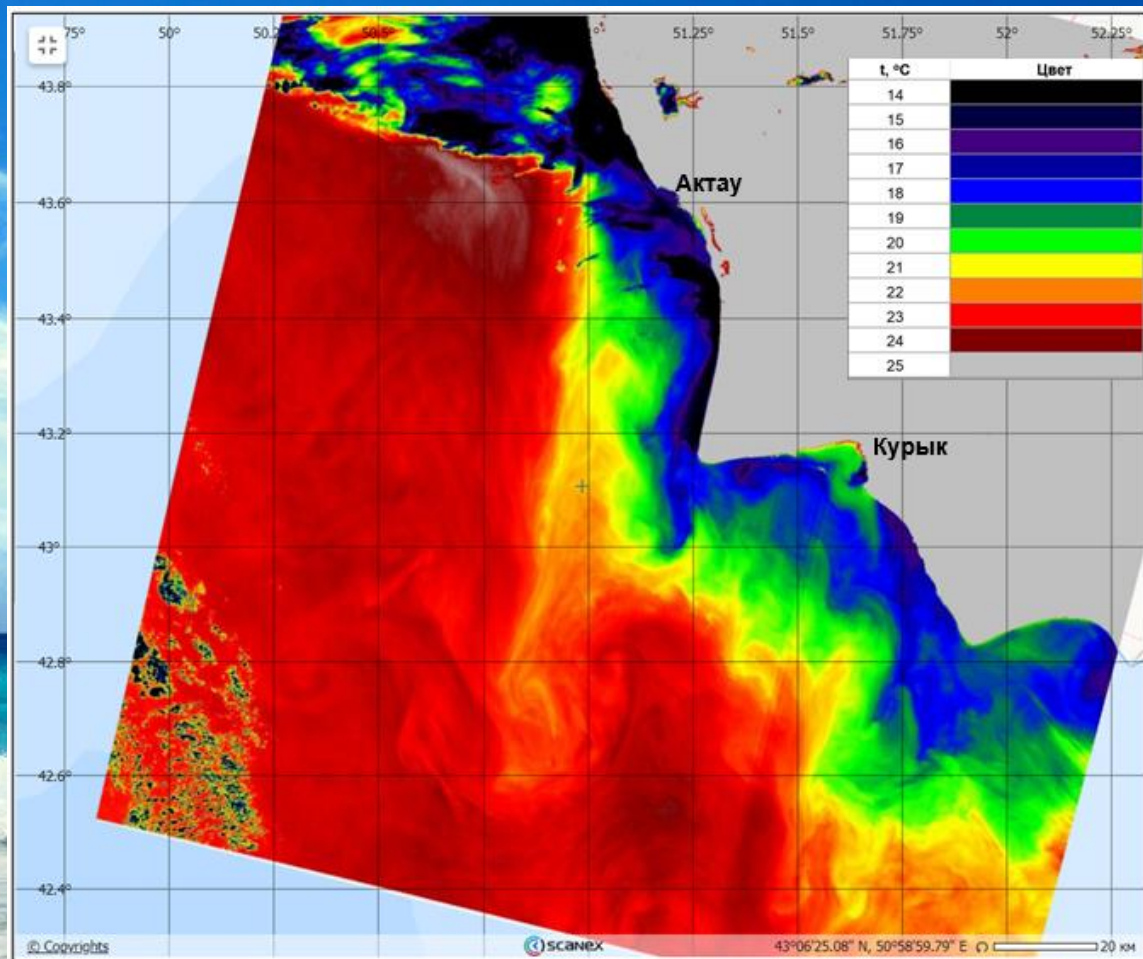
2.08.2023



12.08.2023

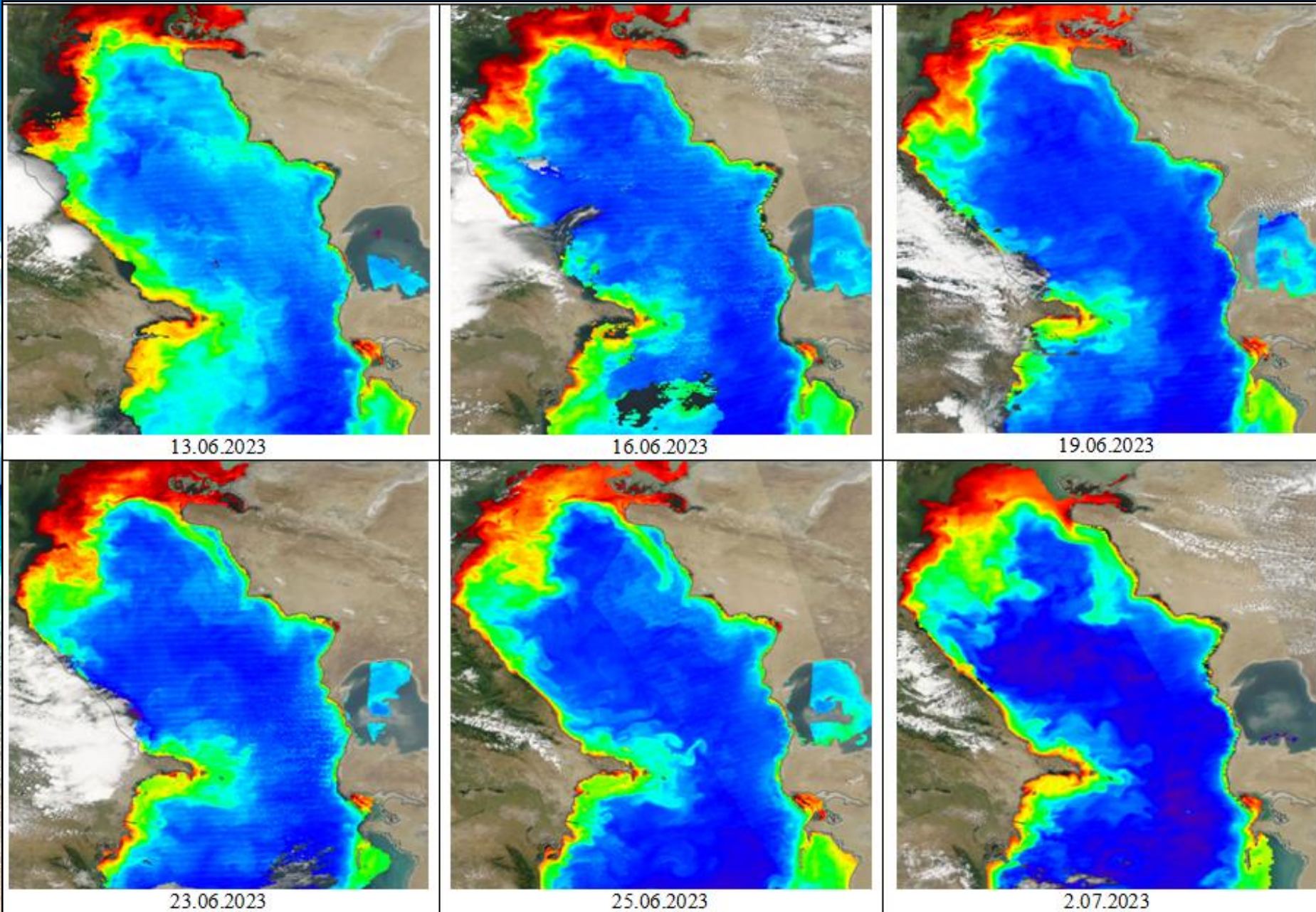


Восточно-каспийский апвеллинг



ТПМ, восстановленная по данным ИК-радиометра TIRS на ИСЗ Landsat-8;
слева - 8.07.2023, справа - 1.08.2023.

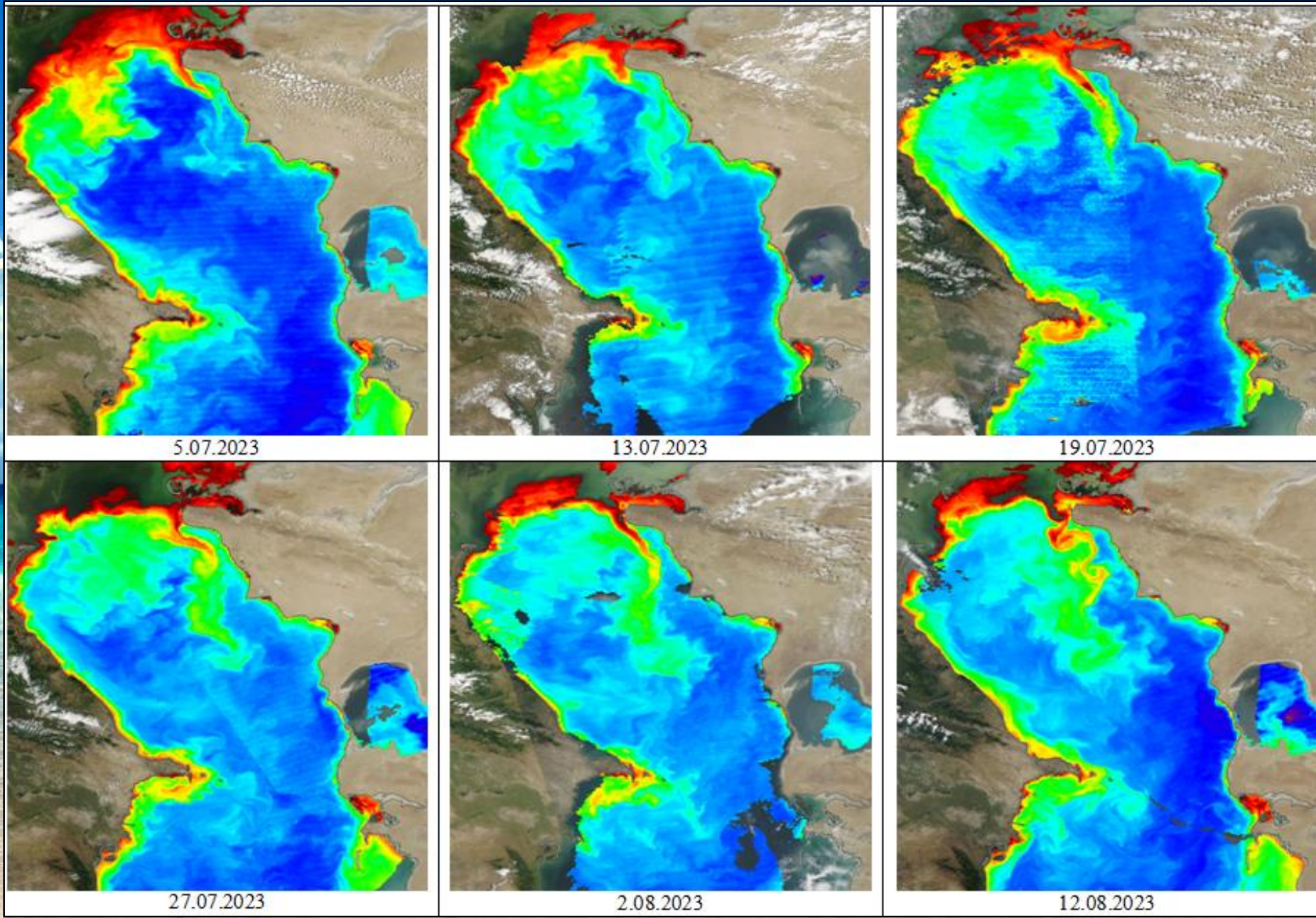
Эволюция восточно-каспийского апвеллинга в поле chl-a по данным ДЗЗ



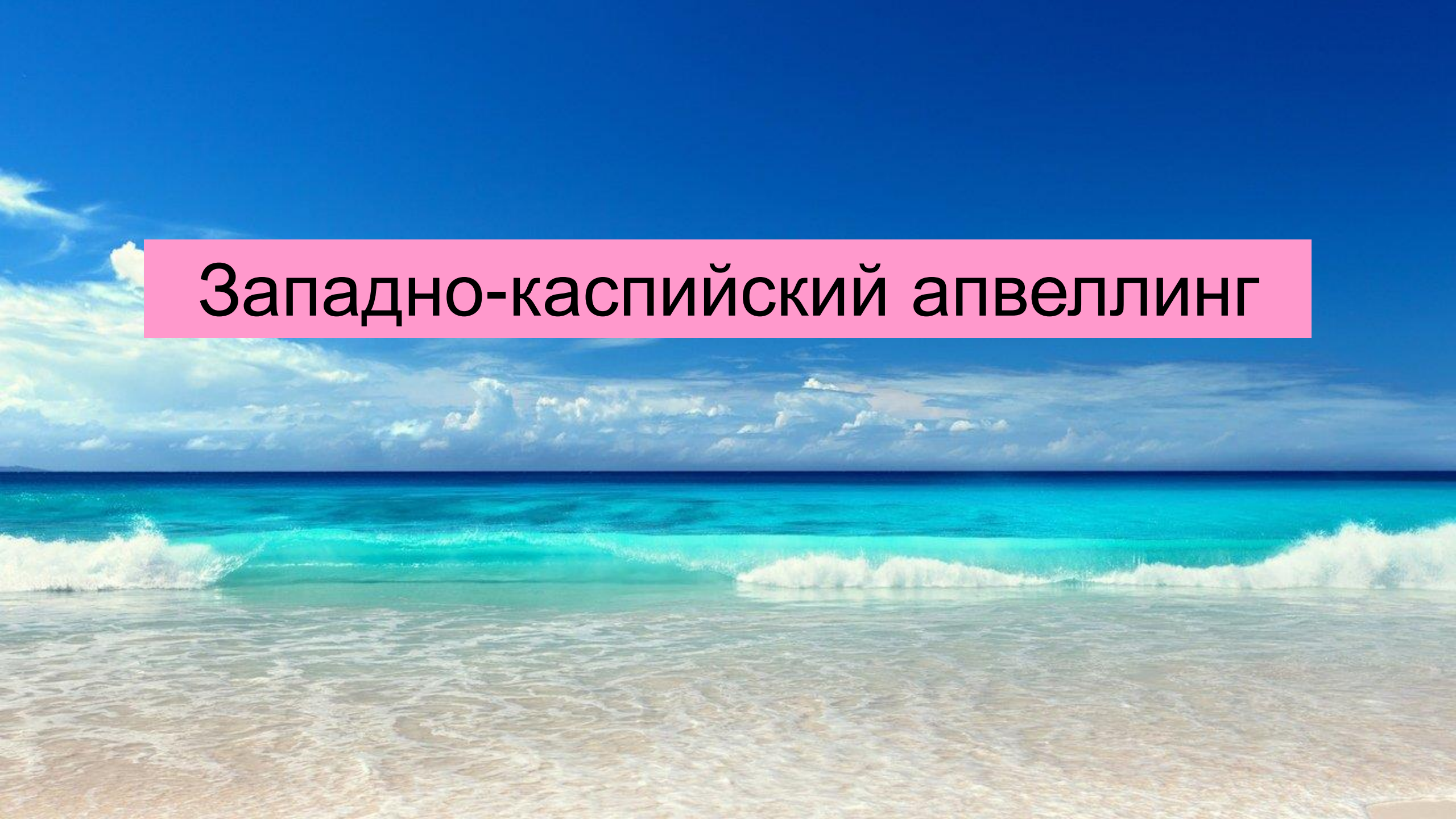
Chlorophyll a (L2)
Suomi NPP / VIIRS
v2018.0 NRT
0.249 - 0.257 mg/m³ 9.725 - 10.022 mg/m³

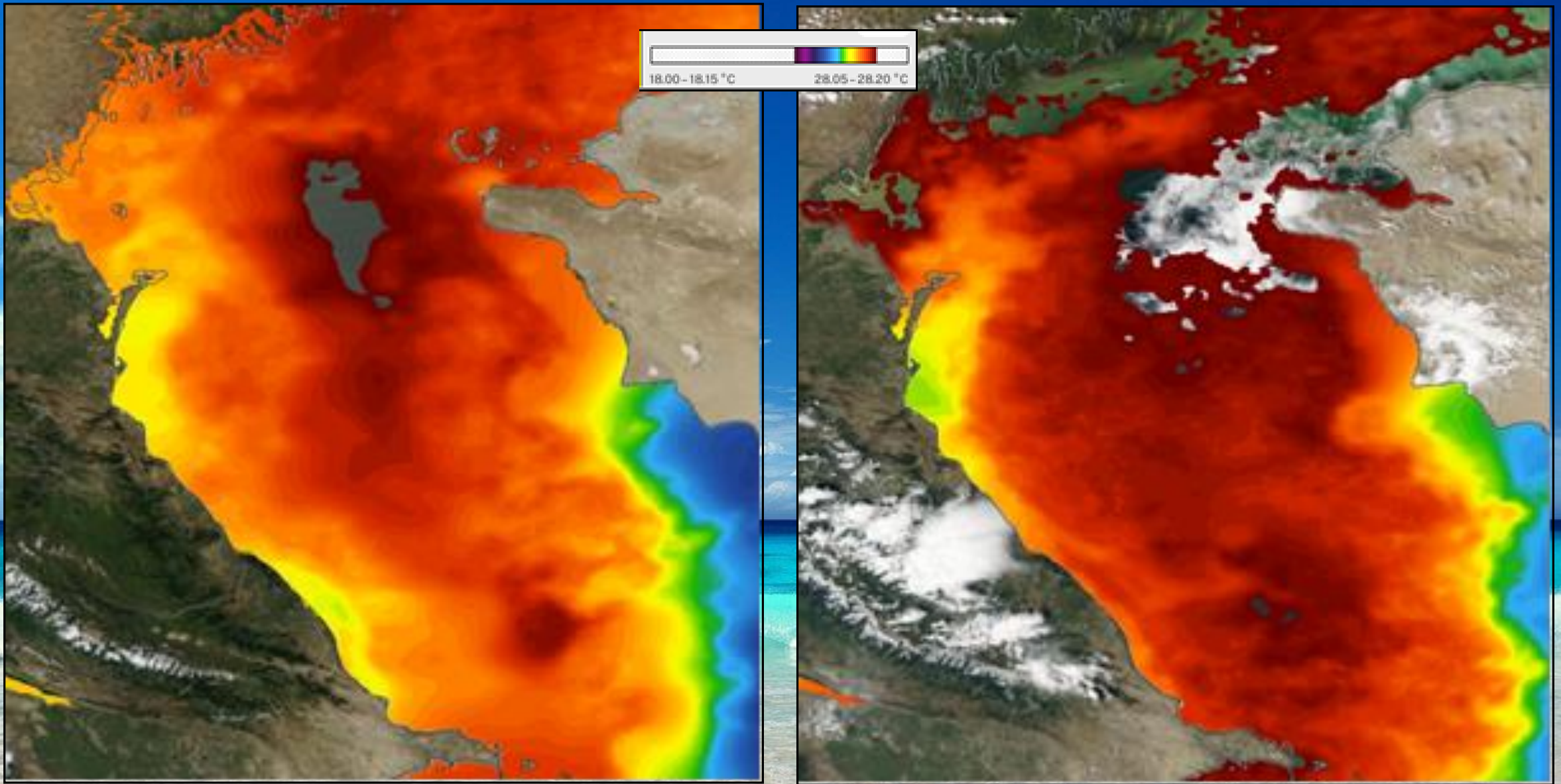
Chlorophyll a (L2)
Aqua / MODIS
v2018.0 NRT
0.234 - 0.242 mg/m³ 9.725 - 10.022 mg/m³

Эволюция восточно-каспийского апвеллинга в поле chl-a (продолжение)

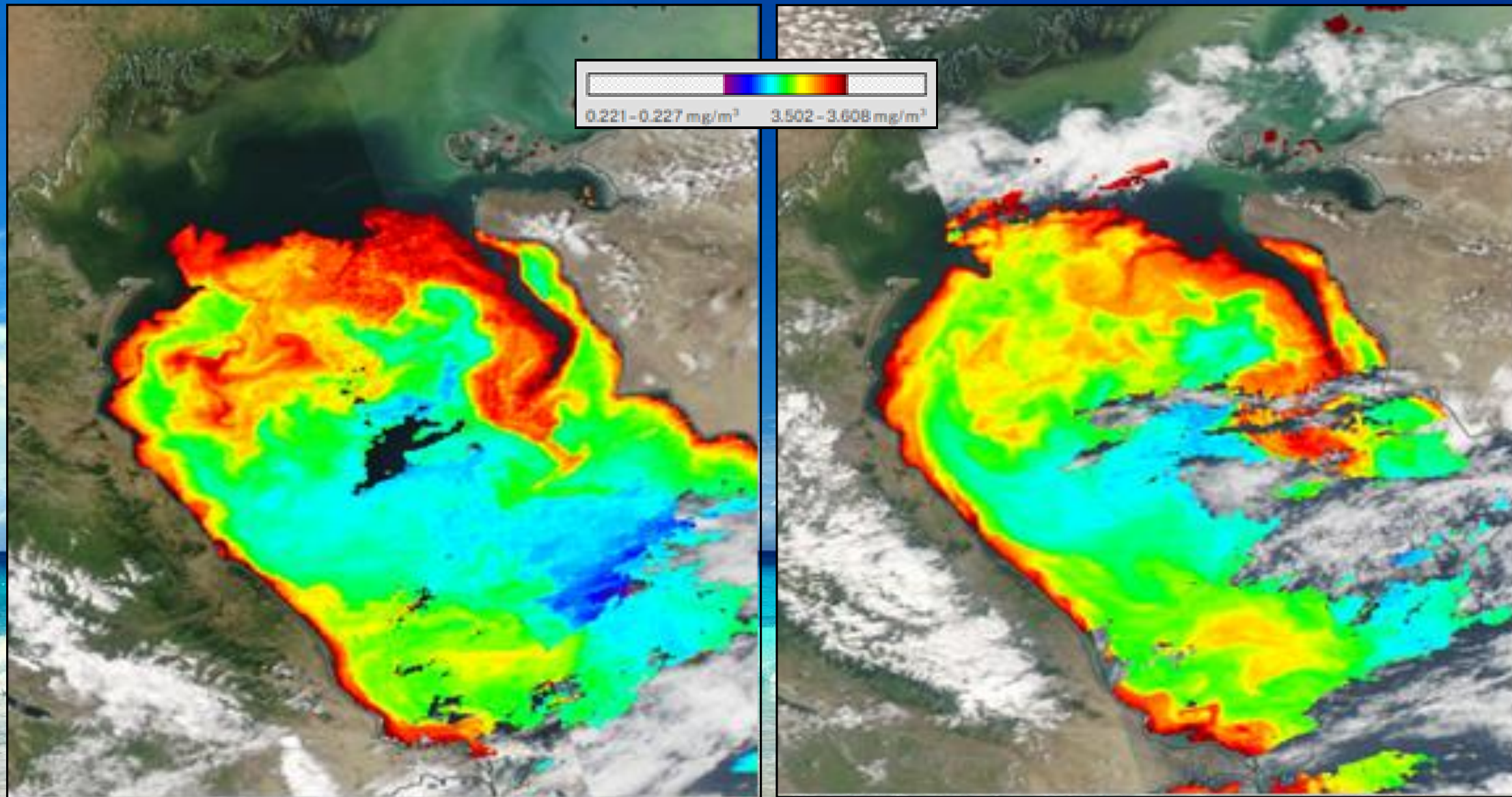


Западно-каспийский апвеллинг



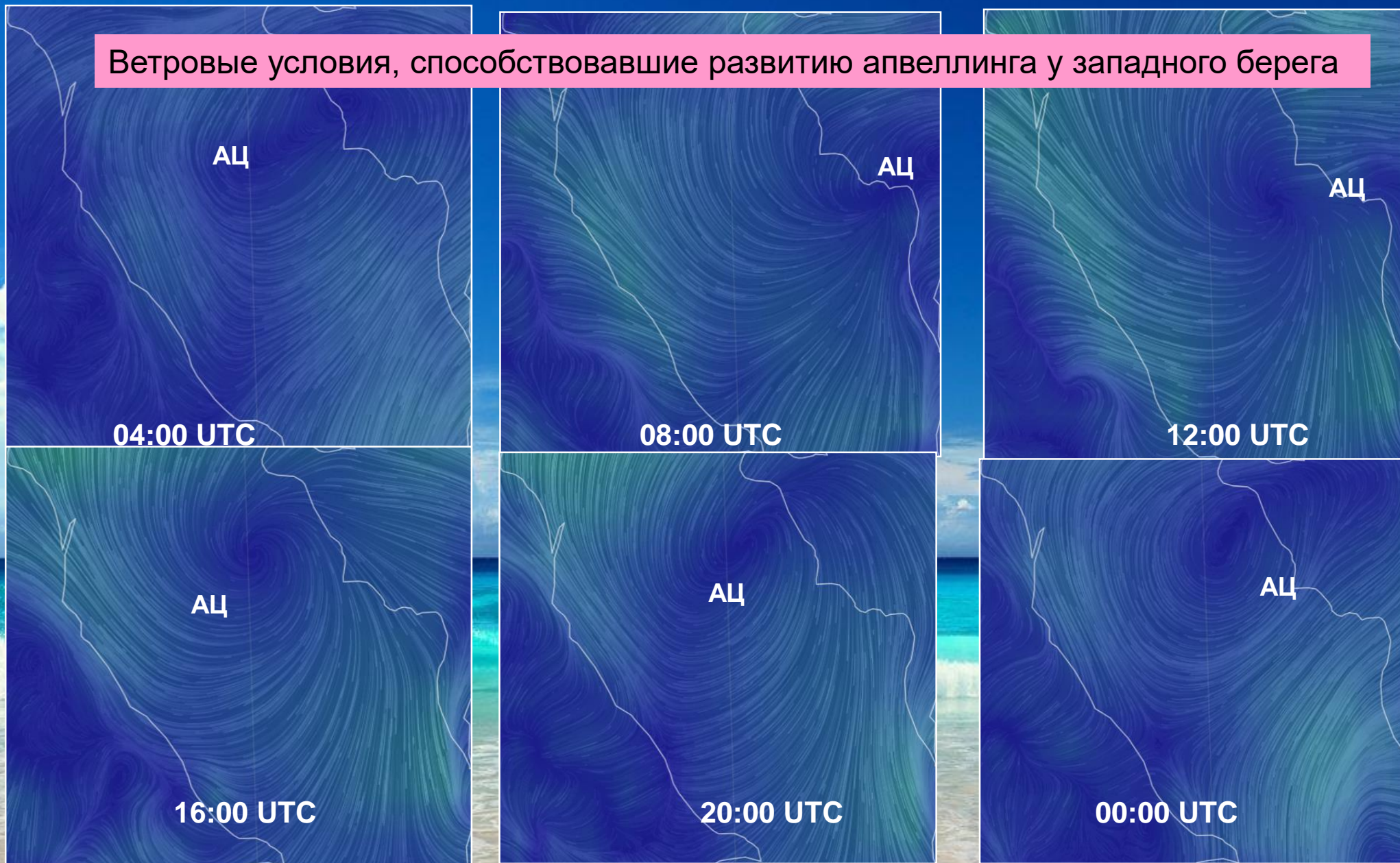


Температура поверхности моря 30 июля 2024 (слева) и 4 августа 2024 (справа) по данным мультимиссий (GHSST - Group for High Resolution Sea Surface Temperature)



Концентрация хлорофилла *a* в мг/м³ в приповерхностном слое в Среднем Каспии 30 июля 2024 (слева) и 3 августа 2024 (справа) по данным спутника Suomi NPP (спектрорадиометр VIIRS)

Ветровые условия, способствовавшие развитию апвеллинга у западного берега

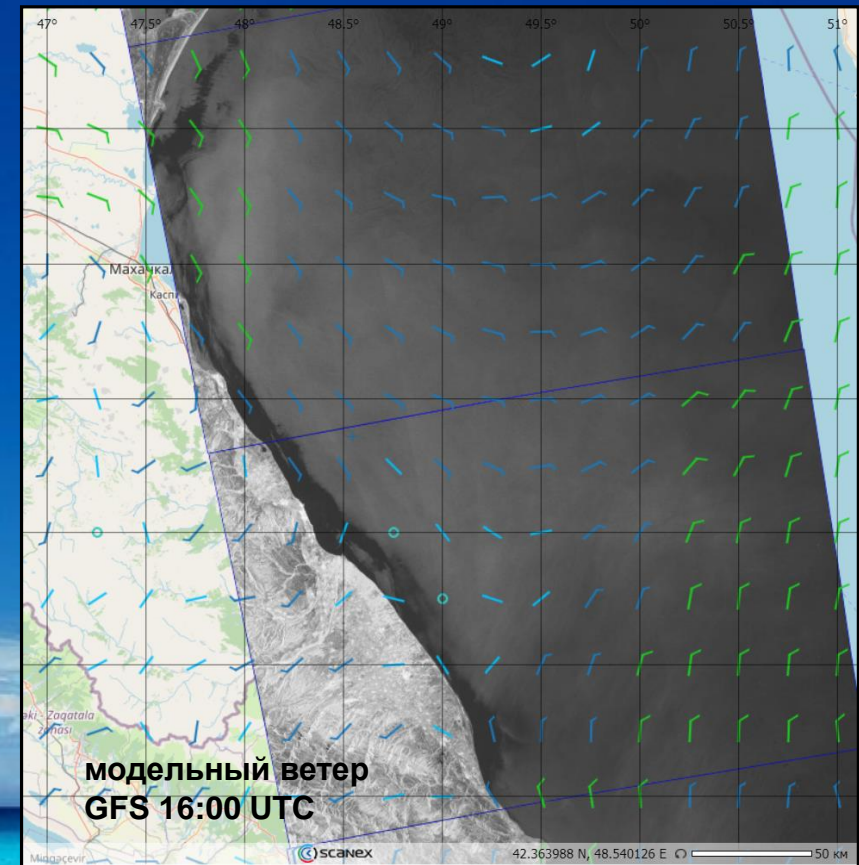
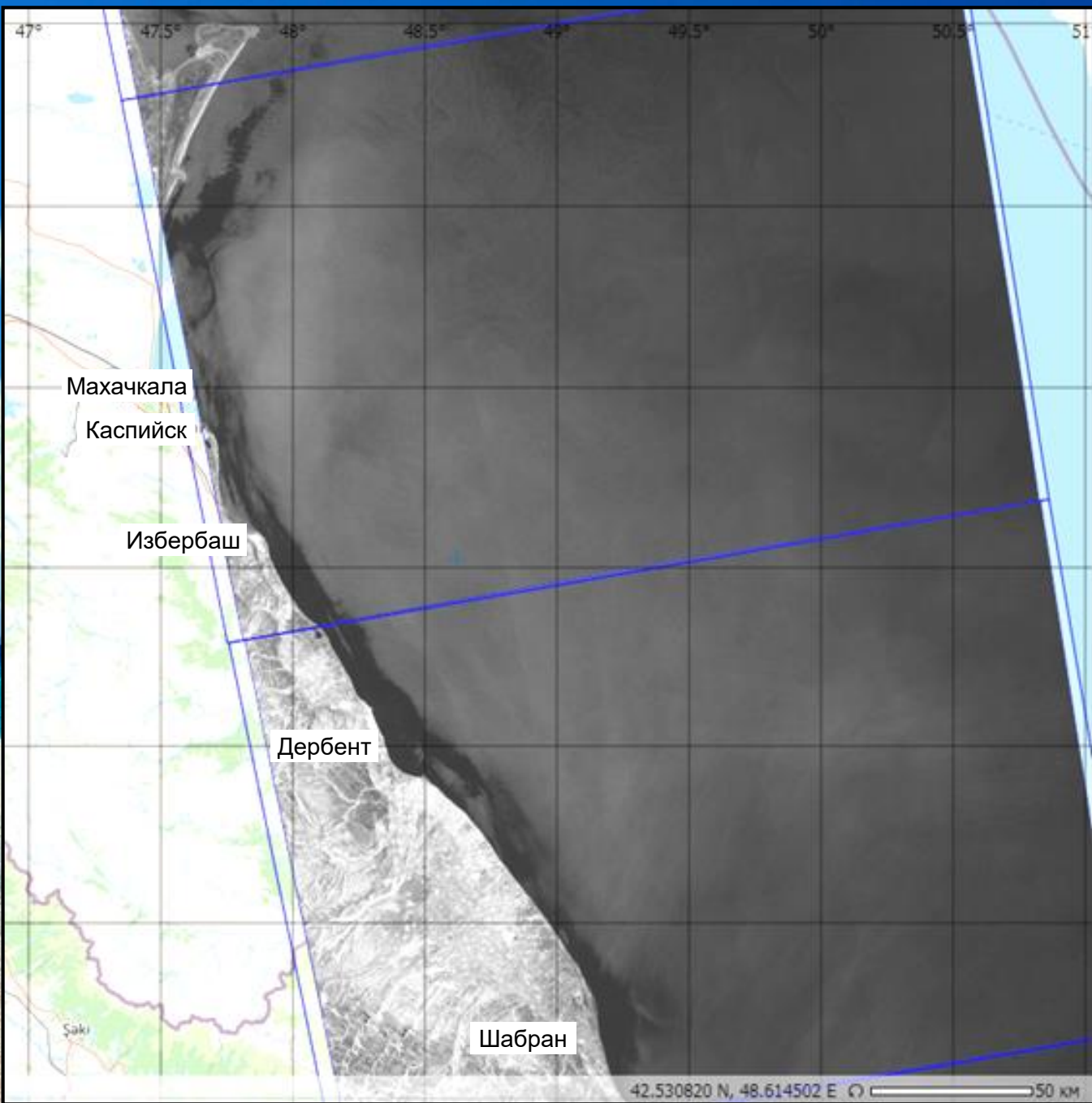


Ветровые условия 02-03.08.24, способствовавшие развитию апвеллинга у западного берега по данным сервиса Earth Nullschool. Поле ветра и ЮВ ветер определял антициклон (АЦ), образовавшийся над северо-восточной частью Среднего Каспия.

Верификация

дата	Махачкала	Каспийск	Избербаш	Дербент
31 июля	22,6	22,4	23,9	25,2
1 августа	23,7	23,0	23,3	24,0
2 августа	22,9	22,4	23,3	23,7
3 августа	21,7	22,6	23,2	22,4
4 августа	21,1	21,8	23,6	23,5
5 августа	22,5	22,5	22,7	22,8
6 августа	22,7	23,0	23,4	24,0
7 августа	22,6	21,7	23,8	25,2
8 августа	22,9	22,4	23,5	25,4
9 августа	23,4	23,1	24,5	25,5
ΔT	2,6	1,3	1,8	3,1

Температура поверхности моря во время апвеллинга 3-5 августа 2024 г., измеренная в водах приморских городов Дагестана



Отображение прибрежного западно-каспийского апвеллинга в виде темной узкой полосы на радиолокационном изображении Sentinel-1A от 3.08.2024 (14:38 UTC). Образовалась при трансформации атмосферного погранслоя над прибрежной полосой относительно холодной воды в маловетренных условиях, ветер В/ЮВ 2-4 м/с

Выводы

Несмотря на одинаковую (экмановскую) природу возникновения апвеллингов у западного и восточного берегов, у них имеются и существенные различия:

- ❖ Восточно-каспийский апвеллинг значительно больше по масштабам, устойчивее и продолжительнее западного. Это связано с более мощными и долго действующими ветрами северо-западных румбов у восточного побережья Каспийского моря, дующими практически каждое лето, что определяется динамикой воздушных масс на периферии мощного антициклона. Фактически у восточного побережья ежегодно образуется сезонный апвеллинг - он может наблюдаться в течение всего теплого периода, но наиболее часто в июне-июле. Продолжительность западно-каспийского апвеллинга, возникающего при южных/ЮВ ветрах не превышает нескольких суток.
- ❖ Частота появления западного поднятия вод по данным наблюдений прошедших лет значительно меньше.
- ❖ В восточно-каспийском апвеллинге средствами ДЗЗ не зафиксировано существенного повышения концентрации хлорофилла в отличие от западно-каспийского. Возможно, это связано с тем, что на восточном побережье Каспия отсутствуют реки, выносящие в море биогенные вещества, а в западную прибрежную зону они поступают с реками Дагестана.
- ❖ Перепады ТПМ гораздо больше в восточно-каспийском апвеллинге. Западно-каспийский апвеллинг характеризовался незначительными понижениями ТПМ ($2-3^{\circ}\text{C}$), в то время как восточно-каспийский - значительными перепадами в $8-10^{\circ}\text{C}$ и более. В благоприятных ГМУ каспийские апвеллинги в прибрежных зонах наблюдаются на радиолокационных изображениях в поле шероховатости морской поверхности - в виде протяженных сигнатур темного тона.
- ❖ Таким образом, использование для изучения апвеллингов Каспийского моря мультисенсорного подхода позволяет определить механизм их возникновения, динамику, характерные термические и биооптические характеристики.



Спасибо за внимание!

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования России (тема FMWE-2024-0015)