

Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука  
Российской академии наук



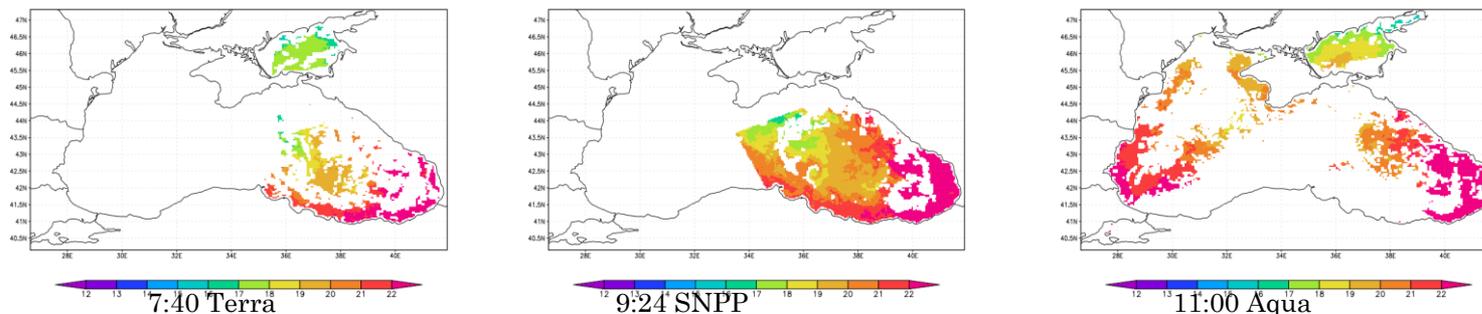
**УЧЕТ ОШИБОК ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ  
ВАРИАЦИОННОЙ АССИМИЛЯЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ  
ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ**

Захарова Н.Б., Пармузин Е.И.

ИКИ РАН, 2021

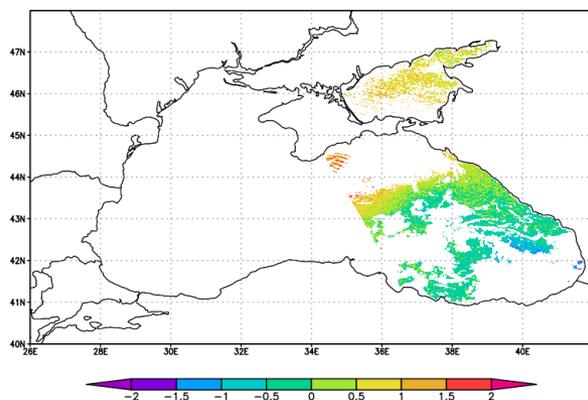
# ДАННЫЕ

- В работе используются данные наблюдений о температуре поверхности Черного и Азовского морей, полученные из Центра коллективного пользования «ИКИ - Мониторинг» [1]. Данные наблюдений о ТПМ получены с различных спутников (Aqua, Terra, SNPP) и приборов (MODIS, VIIRS), поступают нерегулярно и зачастую покрывают только часть исследуемой акватории в силу погодных условий и особенностей измерительных приборов.



**Рис.1.** ТПМ Черного и Азовского морей по данным с разных приборов, 30.09.2019, °С.

- В процессе анализа данных были обнаружены отклонения значения ТПМ в соседние моменты времени, если они получены с разных приборов:

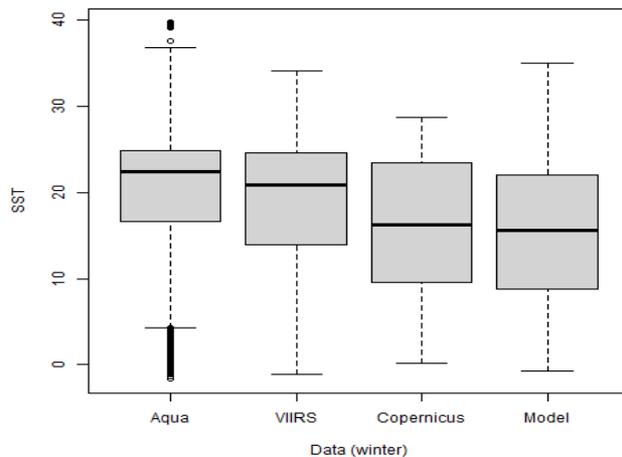


**Рис.2.** Разница между значениями ТПМ Черного и Азовского морей по данным разных спутников Terra (09:00) и SNPP (09:18), (09:24) на 9 сентября 2019 г., °С

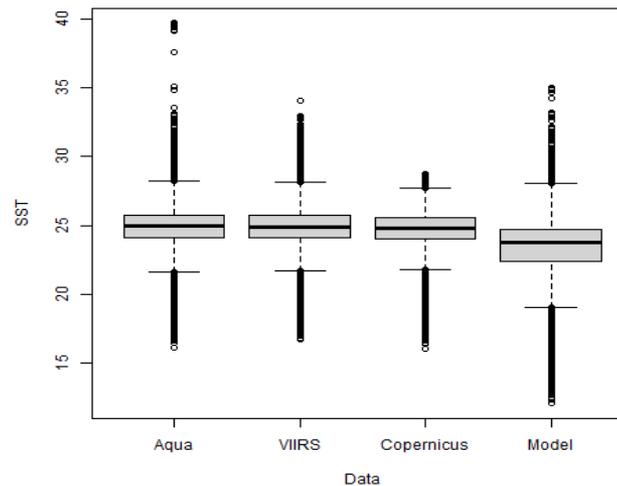
[1] Proshin A A, Burtsev M A et al. 2020 Problems in Remote Sensing of the Earth from Space 17 51–55

# АНАЛИЗ ДАННЫХ

- Усвоение в численной модели данных с различных приборов, не согласованных между собой, может привести к скачкам численного решения, энергии и потоков при усвоении данных в чистом виде. Наличие дополнительных алгоритмов для учета разброса в данных с различных источников может существенно улучшить точность расчетов.
- Так, одним из вариантов решения возникшей проблемы согласования данных с различных источников между собой может быть усвоение данных с добавлением некоторых весовых коэффициентов, определённых уровнем доверия к данным. Однако, чтобы рассчитать такие весовые коэффициенты, какие-то из данных следует принять за истинные, «эталонные» данные.
- Для оценки получаемых данных наблюдений были выбраны данные с Европейского портала Коперникус (<https://marine.copernicus.eu>). Среднесуточные данные наблюдений о ТПМ Черного и Азовского морей (product id sst\_eur\_sst\_l3\_nrt\_observations\_010\_00\_a), сформированные с учетом следующей иерархии: AVHRR METOP B, VIIRS NPP, SLSTR, SEVIRI, AVHRR-19, MODIS A, MODIS T, AMSR2.



(а) Зима, 2019



(б) Лето, 2019

**Рис.3.** Разброс значений ТПМ Черного и Азовского морей по данным спутников Aqua (MODIS) и SNPP (VIIRS), среднесуточных данных Коперникус и расчетов численной модели, °С. Жирной линией помечена медиана значений.

# ВЕСОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

Для дополнительной верификации оперативных данных наблюдений о ТПМ со спутников был разработан алгоритм, основанный на определении весовых коэффициентов, характеризующих близость данных наблюдений к известным проверенным и принятым «эталонными» значениям.

$$\beta(x, y, t) = 10 - \frac{|T_{obs}(x, y, t) - T_C(x, y, t)|}{|T_C(x, y, t)|},$$

где  $T_C$  — «эталонные» данные,  $T_{obs}$  — оцениваемые данные наблюдений.

Данная формула позволяет вычислить весовой коэффициент, **близкий к 1, если данные близки к «эталонным»**, и уменьшать коэффициент по мере увеличения относительной ошибки между данными. Данный весовой коэффициент вычисляется на каждый день, в каждом узле расчетной точки исходя из оцениваемых данных наблюдений.

Полученная матрица весовых коэффициентов может быть использована в качестве коэффициента  $\beta$  в слагаемом, отвечающем за приближение модельной температуры к наблюдаемой в функционале стоимости  $J_\alpha$  при решении задачи вариационной ассимиляции данных [2].

$$J_\alpha(Q) = \frac{\alpha}{2} \int_0^{\bar{t}} \int_{\Omega} |Q - Q^{(0)}|^2 d\Omega dt + \sum_{j=1}^J \int_{t_{j-1}}^{t_j} \int_{\Omega} \beta m_0 (T|_{z=0} - T_{obs})^2 d\Omega dt$$

# АССИМИЛЯЦИЯ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В исследовании использована численная модель ИНМОМ [3], разработанная в ИВМ РАН. Пространственное разрешение численной модели составляет 4 км, эксперименты проводятся с шагом по времени 2,5 минуты.

В модель встроена процедура усвоения данных [4] с целью восстановления потока тепла на поверхности моря  $Q$  по данным наблюдений о температуре поверхности со спутников Aqua, Terra и SNPP.

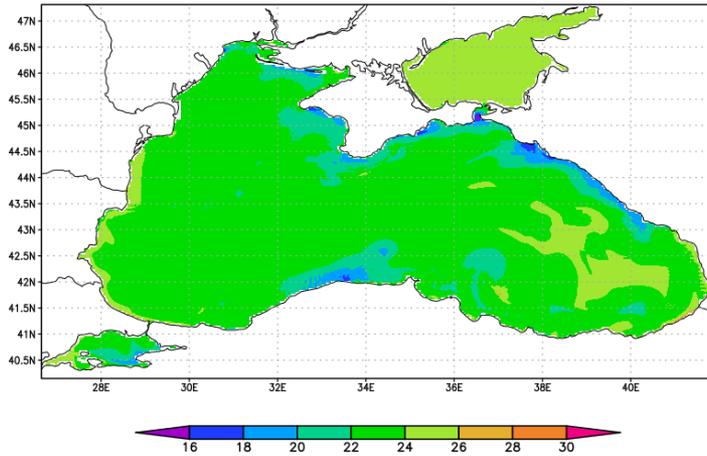
Численный расчет по модели с процедурой ассимиляции производится с матрицами весовых коэффициентов, рассчитанных по данным наблюдений.

Продолжительность расчета составляла 1 год. В качестве начального условия использовались среднеклиматические поля основных гидрофизических параметров. Метеорологические характеристики для расчета атмосферного воздействия в модели ИНМОМ вычислялись с помощью «балк-формул», в том числе для расчета турбулентного потока тепла на поверхности моря. Значения среднеклиматического потока  $Q^0$ , рассчитанный таким образом, использовались в данных процедура ассимиляции как первое приближение к вычисляемому потоку тепла на поверхности.

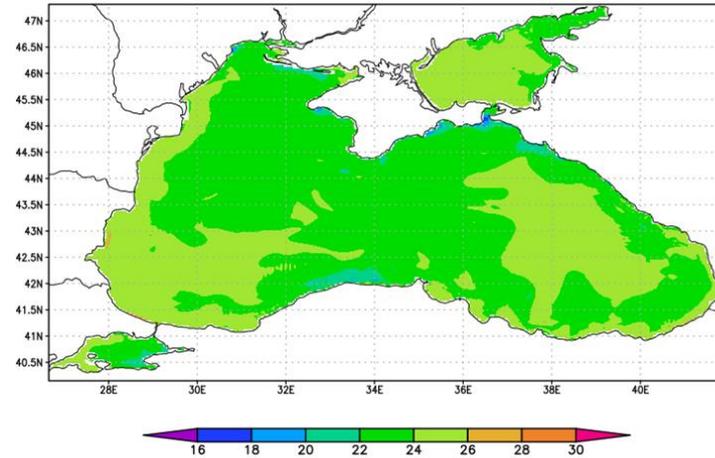
[3] V. B. Zalesny, N. A. Diansky, V. V. Fomin. Numerical model of the circulation of the Black Sea and the Sea of Azov // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2012, Vol. 27. No 1. pp. 95-111.

[4] Agoshkov, V.I., Lezina, N.R., Parmuzin E.I., Sheloput T.O., Shutyaev V.P., Zakharova N.B. Methods of variational data assimilation with application to problems of hydrothermodynamics of marine water areas // Russ. J. Numer. Anal. Math. 2020, Modelling 35 (4): 1–14

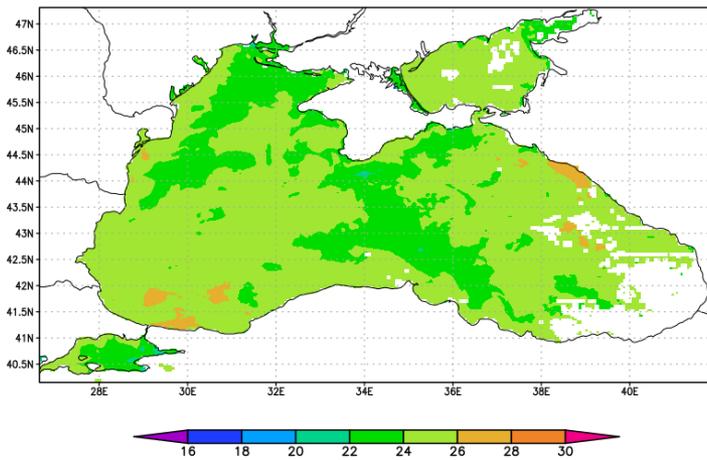
# АССИМИЛЯЦИЯ ДАННЫХ. РЕЗУЛЬТАТЫ



(а)



(б)



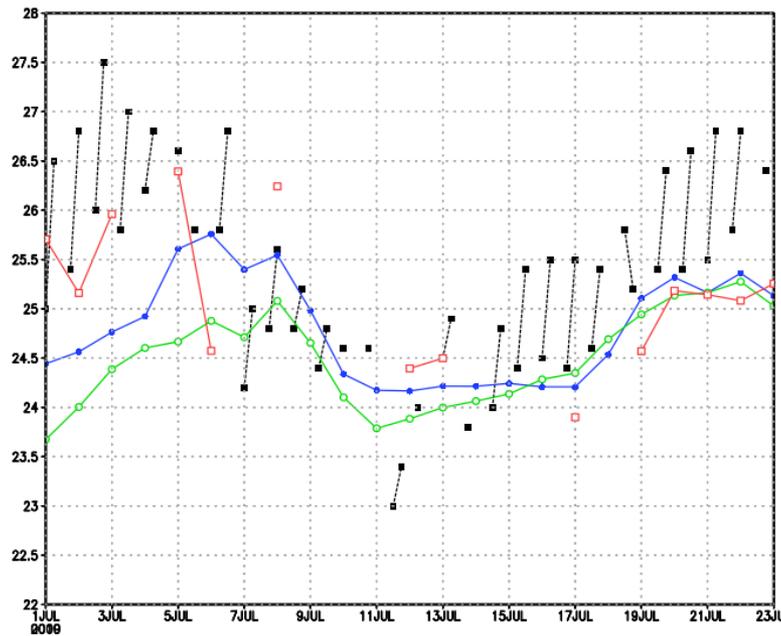
(в)

Результаты численного расчета, Среднесуточная температура, 1 июля 2019 года, °С

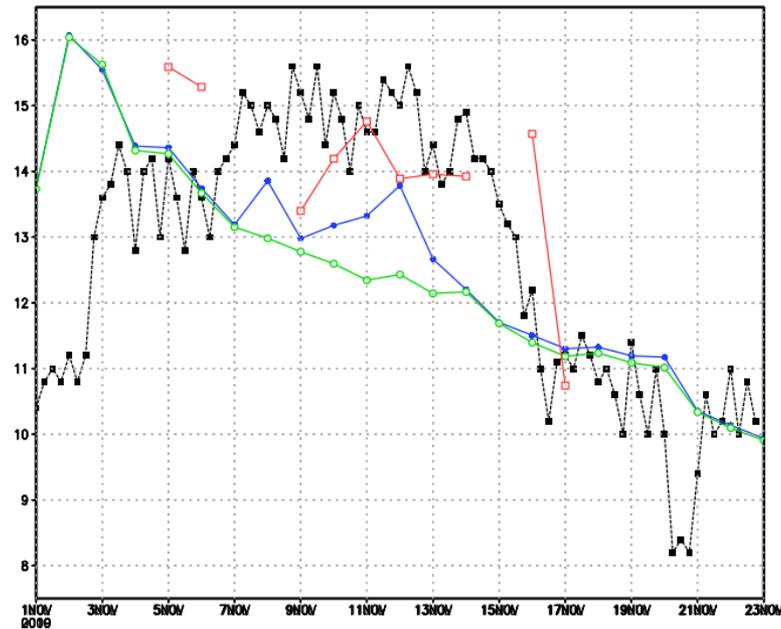
- (а) результаты расчета по модели без блока усвоения,
- (б) результаты расчета по модели с блоком ассимиляции данных и весовыми коэффициентами,
- (в) данные наблюдений о температуре поверхности моря за 1 июля , полученные с сервиса Copernicus

# АССИМИЛЯЦИЯ ДАННЫХ. РЕЗУЛЬТАТЫ

**Зеленая линия** представляет результат, полученный при расчете по модели без процедуры ассимиляции, **синяя** - расчет с ассимиляцией и матрицами весовых коэффициентов  $\beta(x, y, t)$ , **красная** - среднесуточные данные от Copernicus, **черная пунктирная линия** - in situ данные с прибрежных станций.



(a) Июль 2019



(b) Ноябрь 2019.

Рис. 4. Температура поверхности моря, координаты станции 27.95 E, 43.2 N, °C.

# Выводы

- Проведен анализ данных наблюдений о ТПМ Черного и Азовского морей со спутников. Выявлены отклонения в значениях наблюдаемой величины, получаемых с разных приборов.
- Предложен алгоритм, основанный на определении весовых коэффициентов, характеризующих близость данных наблюдений к известным проверенным и (или) принятым «эталонными» значениям.
- На основании полученных полей данных дистанционного зондирования и дополнительного набора среднесуточных данных с европейского портала Коперникус с помощью предложенного метода построены весовые коэффициенты.
- Вычисленные матрицы весовых коэффициентов используется в алгоритме вариационной ассимиляции данных наблюдений в численной модели термодинамики Черного и Азовского морей.