



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЯХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОЛЕННОСТИ В АЗОВСКОМ МОРЕ

Шульга Т.Я.^{1,2}, Суслин В.В.¹



Актуальность

обоснована научным и практическим интересом к доступности информации, близкой к реальному времени, об изменениях термохалинных компонентов морской среды, оказывающих существенное влияние на состояние биологических ресурсов, экологию и прибрежную инфраструктуру [1]. Высокая стоимость и неравномерность данных *in situ* привели к поиску альтернативных способов получения информации о температуре и солености [2, 3], в том числе по данным дистанционного зондирования.

Цели

- (1) Получить наборы данных поверхностной солености в Азовском море, восстановленной по региональным биооптическим параметрам.
- (2) Сравнить результаты восстановления солености, полученных с использованием моделей *average regression* и *cumulative regression*.
- (3) Выполнить верификацию среднемесячных значений восстановленной солености за 2000–2018 гг. по среднемесячным среднегодовым значениям солености по данным *in situ* за 1913–2018 гг.
- (4) Определить биооптический параметр, использование которого показывает наилучшую корреляцию между восстановленными значениями восстановленной солености и данными *in situ*.

Этапы исследования

- Этап 1** Формирование массивов, состоящих из пар данных *in situ* и региональных биооптических параметров, синхронизированных по времени и пространству на основании алгоритмов [6, 7].
- Этап 2** Получение наборов данных поверхностной солености, восстановленной по различным биооптическим параметрам и моделям *average regression* и *cumulative regression* для летнего и весеннего сезонов.
- Этап 3** Сравнение результатов восстановления солености и определение биооптического параметра, использование которого показывает наилучшую корреляцию между восстановленными значениями восстановленной солености и данными *in situ*.
- Этап 4** Верификация среднемесячных значений восстановленной солености по климатологии *in situ*.

Район исследования

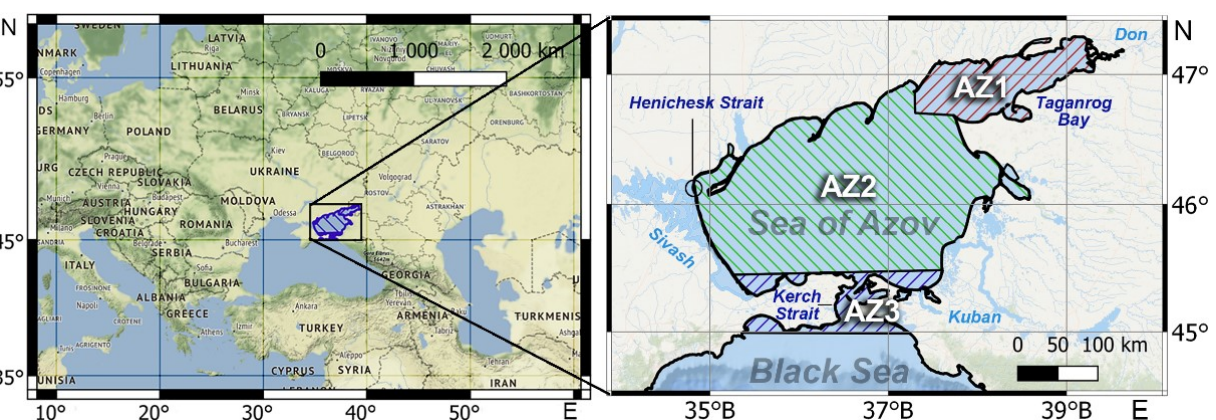


Рисунок 1 Карта Азовского моря с субрегионами AZ1, AZ2, AZ3

Наборы данных

Региональные спутниковые продукты данные MODIS-Aqua/Terra за 2000–2018 гг. ресурс: oceancolor.gsfc.nasa.gov с отбраковкой, согласно [4].

Данные *in situ*

база океанографических данных ЮНЦ РАН за 1913–2006 гг. [5] «Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария» 1913–2018 гг. сайты: atlas.ssc-ras.ru/azs/azs-invent.html, www.seadatanet.org/, www.nodc.noaa.gov/OCS/WOD/pr_wod.html.

Методы

- 1. Региональный биооптический алгоритм [7] для оценки IOPs в Азовском море**
 - $a_{ph}(678)$, m^{-1} – коэффициент поглощения света фитопланктоном при длине волны 678 нм
 - $Tchl$, $mg \cdot m^{-3}$ – сумма концентраций хлорофилла а и феофитина
 - $a_{CDM}(438)$, m^{-1} – коэффициент поглощения света окрашенным взвешенным веществом
 - $a_{CDM}(438)$, m^{-1} – коэффициент поглощения света всеми оптически активными компонентами среды
 - $b_{sp}(438)$, m^{-1} – коэффициент обратного рассеяния частиц
- 2. Региональные модели**
 - average regression* – модель прямого усреднения коэффициентов статистически значимых регрессий, полученных отдельно для выбранных лет, удовлетворяющих условию репрезентативности выборки пар данных *in situ* и дистанционного зондирования
 - cumulative regression* – регрессионная модель между генеральными совокупностями пар данных *in situ* и дистанционного зондирования за весь период наблюдения 2000–2018 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица 1 Диапазоны изменения климатической солености (S) и температуры (T) для субрегионов Азовского моря по данным *in situ* за 1913–2018 гг.

Субрегион	Глубина	Соленость, ‰			Температура, °C		
		S_{min}	S_{max}	$S_{avg} \pm \sigma$	T_{min}	T_{max}	$T_{avg} \pm \sigma$
AZ1	0–2 м	1,0	6,4	$4,26 \pm 1,37$	0,1	24,1	$11,58 \pm 9,5$
	2–4 м	1,9	7,0	$4,87 \pm 1,28$	1,1	23,7	$12,80 \pm 9,1$
AZ2	0–2 м	9,9	11,8	$10,89 \pm 0,5$	0,4	24,2	$12,21 \pm 9,2$
	2–6 м	10,0	12,4	$11,08 \pm 0,6$	1,1	24,7	$11,92 \pm 8,8$
	6–14 м	10,9	12,1	$11,62 \pm 0,4$	0,9	23,9	$11,53 \pm 9,1$
AZ3	0–2 м	12,4	15,9	$13,63 \pm 1,1$	3,6	23,9	$12,85 \pm 8,1$
	2–10 м	11,4	17,9	$12,95 \pm 1,7$	3,2	23,7	$12,51 \pm 8,1$
	> 10 м	10,8	14,0	$12,52 \pm 0,9$	1,1	23,8	$13,08 \pm 8,1$



Рисунок 2 Карты распределения пар данных *in situ* и MODIS

СТАНДАРТНЫЕ ОШИБКИ

средней солености по данным *in situ* (I) и модели (M)

$$\text{Mean Error} = \overline{M_j - I_j}$$

$$\text{Mean Absolute Error} = \overline{|M_j - I_j|}$$

$$\text{Correlation Coefficient} = \frac{(\overline{M_j \cdot I_j} - \overline{M} \cdot \overline{I})}{\sqrt{(\overline{M_j^2} - \overline{M}^2) \cdot (\overline{I_j^2} - \overline{I}^2)}}$$

$$\text{Scatter Index} = \sqrt{\frac{(\overline{(M_j - \overline{M}) - (I_j - \overline{I})})^2}{I}}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{(\overline{M_j - I_j})^2}$$

$$\text{Relative Error} = \frac{|M_j - I_j|}{I_j}$$

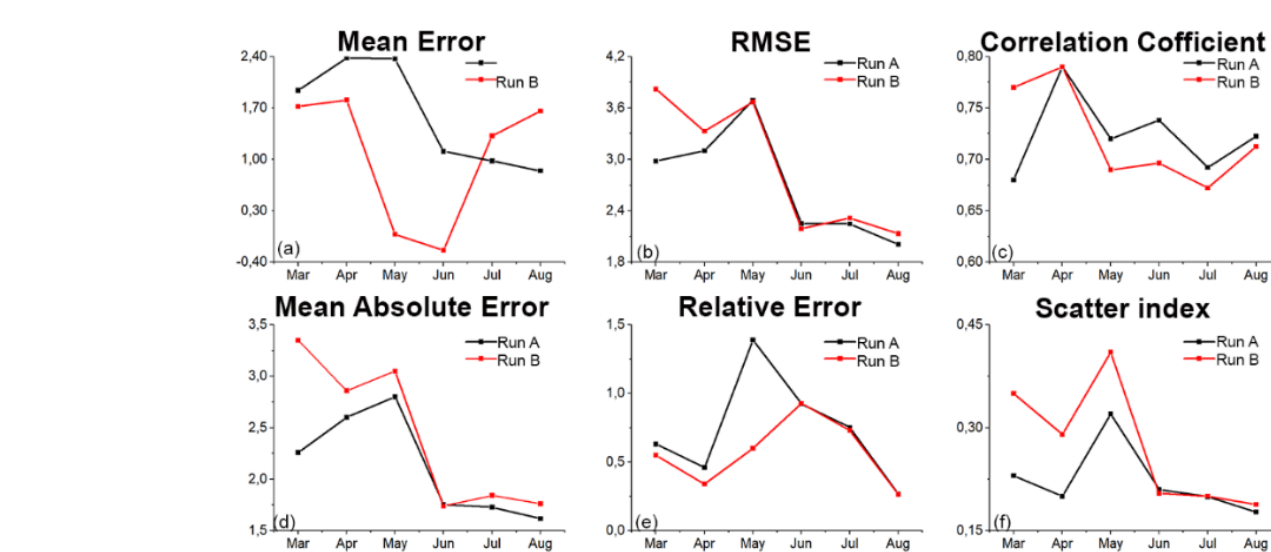


Рисунок 5 Статистика ошибок среднемесячных значений солености, восстановленных по параметру $a_{CDM}(438)$ за 2000–2018 гг. по отношению к климатологии *in situ* 1913–2018 гг.

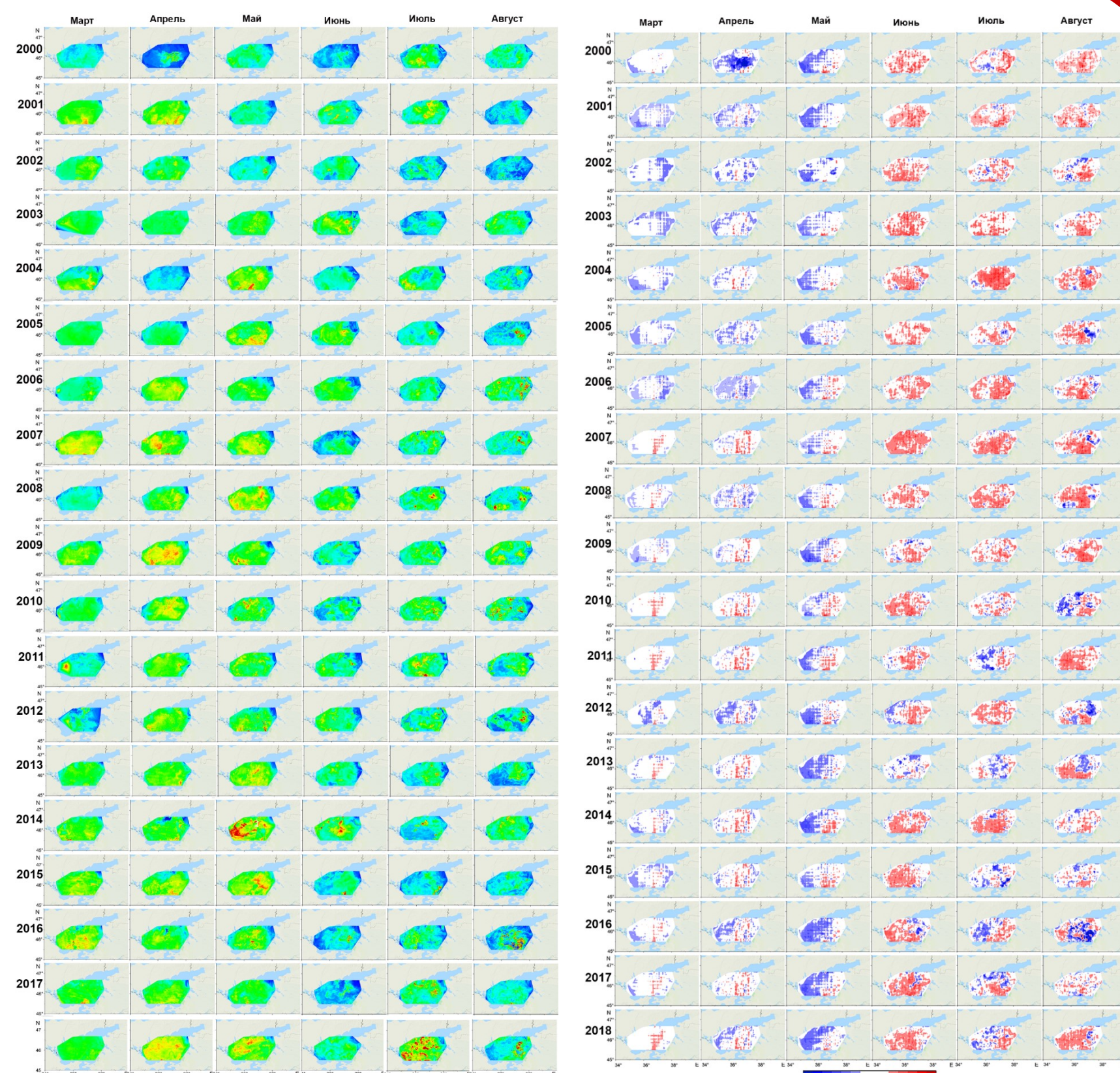


Рисунок 3 Карты среднемесячных значений восстановленной солености 2000–2018 гг. по параметру $a_{CDM}(438)$

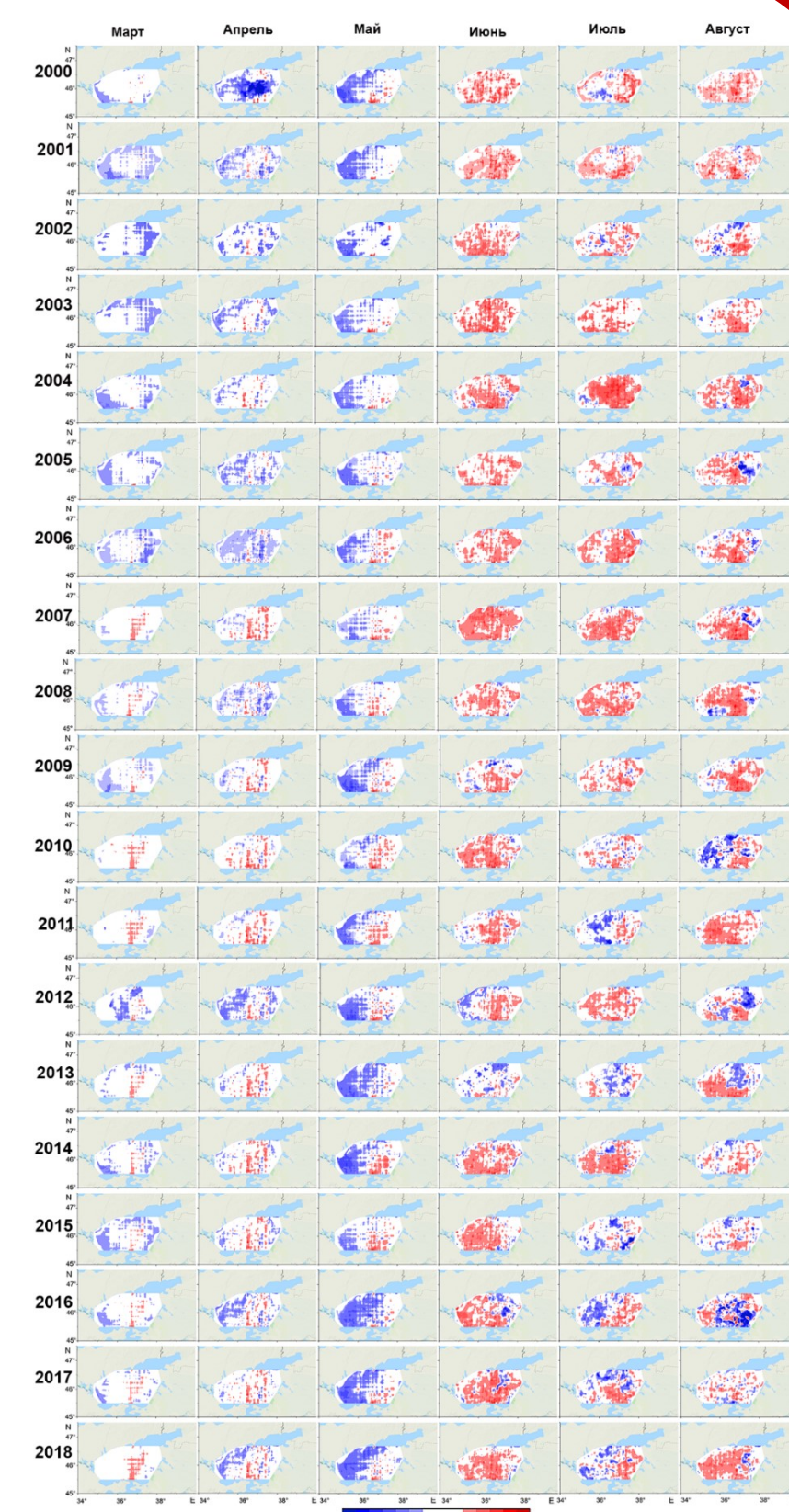


Рисунок 4 Карты отклонений ($\Delta SSS = SSS_{model} - SSS_{in situ}$, ‰) среднемесячных значений восстановленной солености за 2000–2018 гг. относительно климатологии 1913–2018 гг.

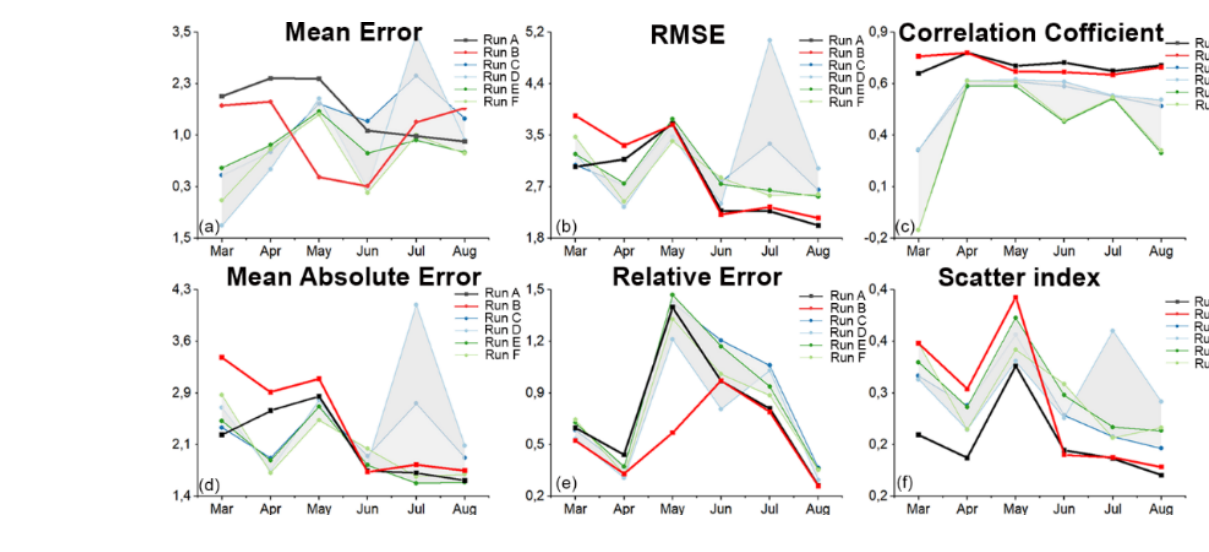


Рисунок 6 Статистика ошибок среднемесячных значений солености, восстановленных по параметрам $a_{ph}(678)$ и $b_{sp}(438)$ за 2000–2018 гг. по отношению к климатологии *in situ* 1913–2018 гг.

Заключение

- (1) Конечным продуктом являются регрессии для весеннего и летнего сезонов, предназначенные для восстановления солености и обеспечения ежемесячных данных о поверхностной солености Азовского моря и ее визуализации на картах.
- (2) Показано, что соленость восстановленная по параметру $a_{CDM}(438)$, наиболее реалистично отражает ее изменения по пространству в наблюдаемом *in situ* диапазоне солености.
- (3) В весенний и летний сезоны 2000–2018 гг. среднемесячные значения восстановленной солености сохраняют общие тенденции периодов осолонения/опреснения по климатологии *in situ* за 1913–2018 гг.

Будущие исследования

- (1) Настоящее исследование выполнено для летнего и весеннего сезонов. Поэтому планируется построение регрессионных зависимостей для осеннего и зимнего сезонов.
- (2) Результаты исследования будут использованы для получения фотосинтетически активного излучения в толще воды и на дне моря.
- (3) Полученные результаты будут использованы для задания начальных полей солености в 3D гидродинамической модели.

Литература

[1] Wolanski E., Elliott M. Estuarine Ecohydrology: An Introduction. Elsevier Science, Amsterdam, 2015. 322 p.

[2] Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А. Исследование связи солености и флуоресценции желтого вещества в Карском море // Фундаментальная и Прикладная Гидрофизика, 2018. 11(3).С.34–39.

[3] Shul'ga T.Y., Suslin V.V., Shukalo D.M., Ingerov A.V. Research of the relations between the seasonal variability of salinity and bio-optical features in the Sea of Azov using the satellite data in the visible spectrum range. Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika, 2020. 13(2). P. 68–75.

[4] Suslin V.V., Suetin V.S., Korolev S.N., et al. 2007. Use of SeaWiFS data to estimate water optical properties of the Black Sea // Proc. SPIE 6615, Current Research on Remote Sensing, Laser Probing, and Imagery in Natural Waters, 661509, April 13, 2007.

[5] Матишов Г.Г., Бердников С.В., Жичкин А.П., и др. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013). ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.

[6] Suslin, V.V., Churilova T.Ya., Efimova T.V., et al. Regional bio-optical algorithm for remote estimation of the sea of Azov's IOPS. Proceedings of SPIE. 2020. V. 115600R.

[7] Чурилова, Т.Я., Ефимова Т.В., Моисеева Н.А., Скороход Е.Ю. 2022. "Спектральные показатели поглощения света взвешенным веществом и растворенным органическим веществом в Азовском море." Фундаментальная и прикладная гидрофизика 15, С. 73–83

¹ ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, Россия

² Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Росгидромет, Россия

Emails: shulgaty@mail.ru, slava.suslin@mhi-ras.ru

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0003 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений» (шифр «Оперативная океанология»)

Двадцать первая международная конференция

«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

13 – 17 ноября 2023 г.

г. Москва



Институт космических исследований Российской академии наук

Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов