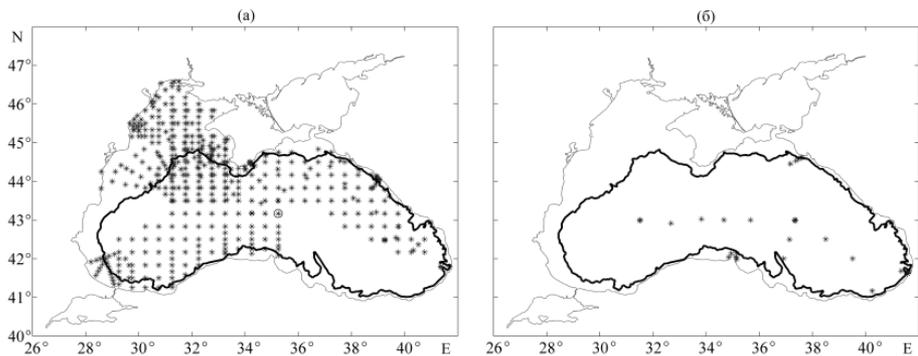


Алгоритм восстановления трехмерных полей температуры и солёности в глубоководной части Черного моря по данным альтиметрии и буев-профилемеров Argo

«Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 13 апреля 2018 г.

Лишаев П.Н.
Морской гидрофизический институт

Нерегулярные по времени и пространству гидрологические зондирования



Пространственное распределение станций измерений в Черном море для апреля 1993 г. (а) и октября 2000 г. (б). Толстой черной линией обозначена изобата 500 м.

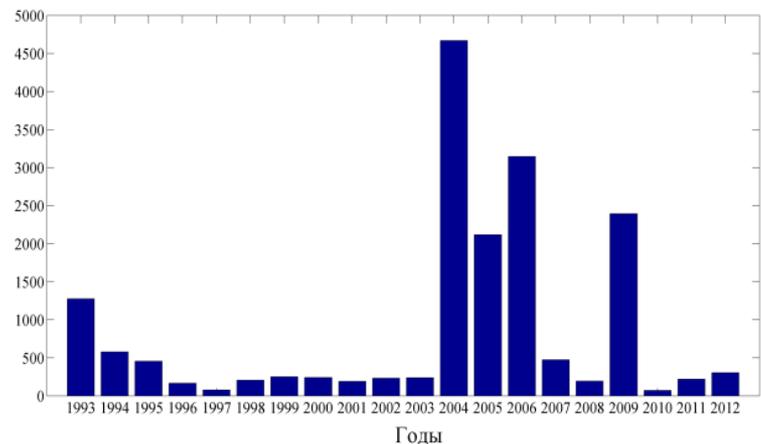
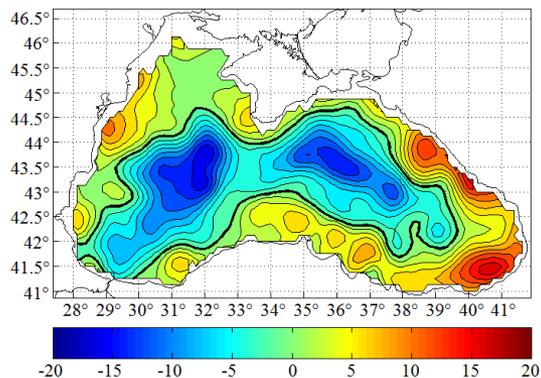
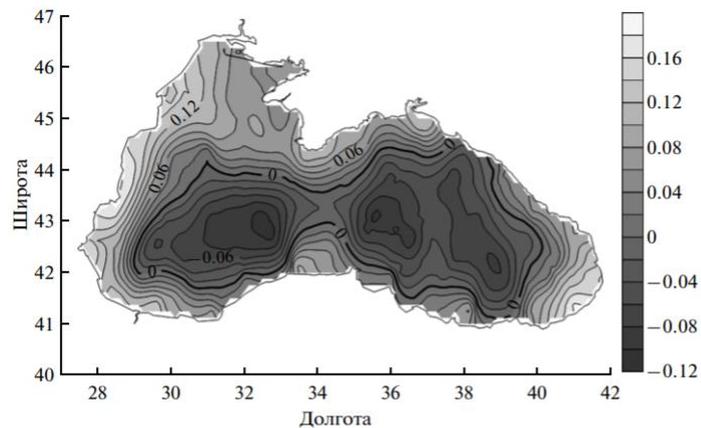


Диаграмма межгодовой изменчивости количества измерений температуры и солёности в глубоководной области Черного моря

С октября 1992 года в свободном доступе имеются данные высокого разрешения об аномалиях альтиметрического динамического уровня (AVISO)

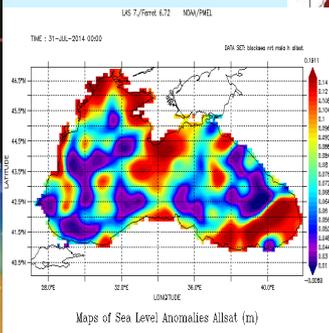
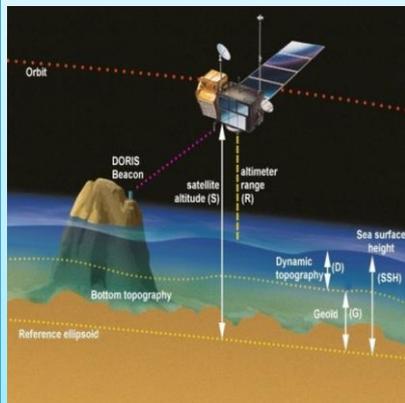


Поле альтиметрического динамического уровня Черного моря на 31 мая 1995 г.



Средняя динамическая топография (Кубряков А.А., Станичный С.В.)

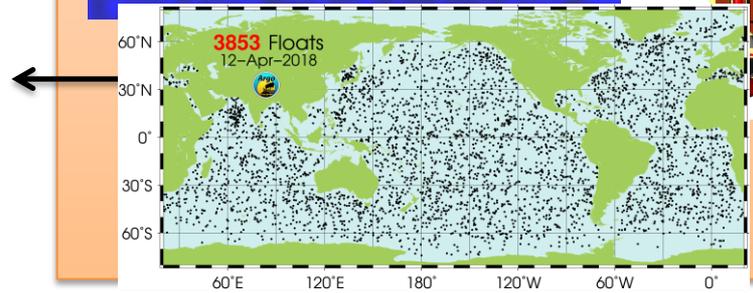
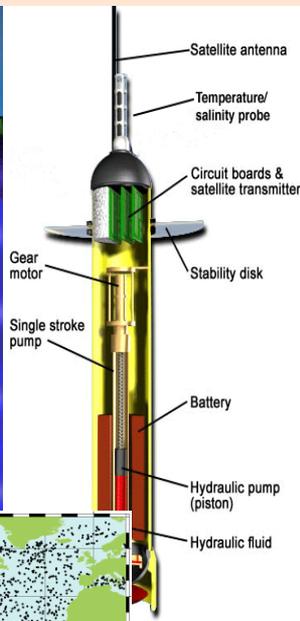
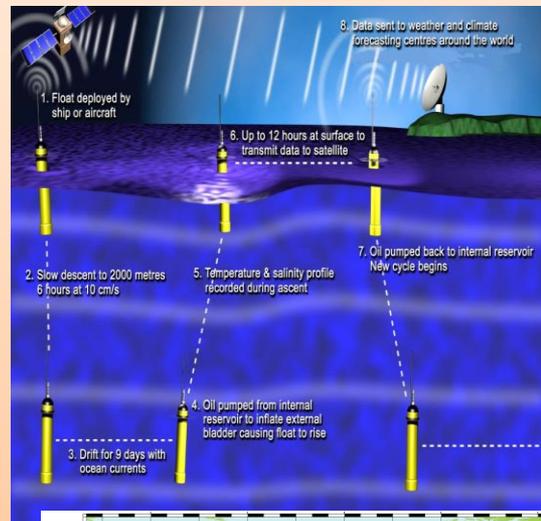
Спутниковая альтиметрия



AVISO (Archivage Validation Interpretation des données des Satellites Océanographiques)
Пространственное разрешение карт составляет 1/8° (~ 12.5 км)



Буи-профилемеры Argo



Argo data selection

Tips: click "Download" to ... download data, click "Refresh" if "Download" is not active, click "Hide observations" to save some time.

Refresh

Download

NetCDF Argo

Data display

Map display

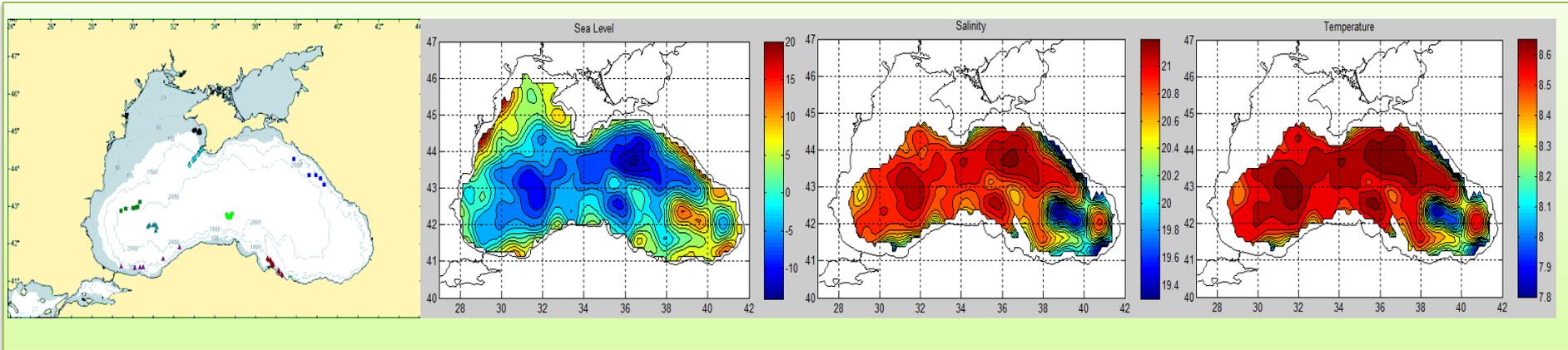
PNG

Hide observations

Help

Start date: 13/03/2018 End date: 13/04/2018

Оригинальная методика

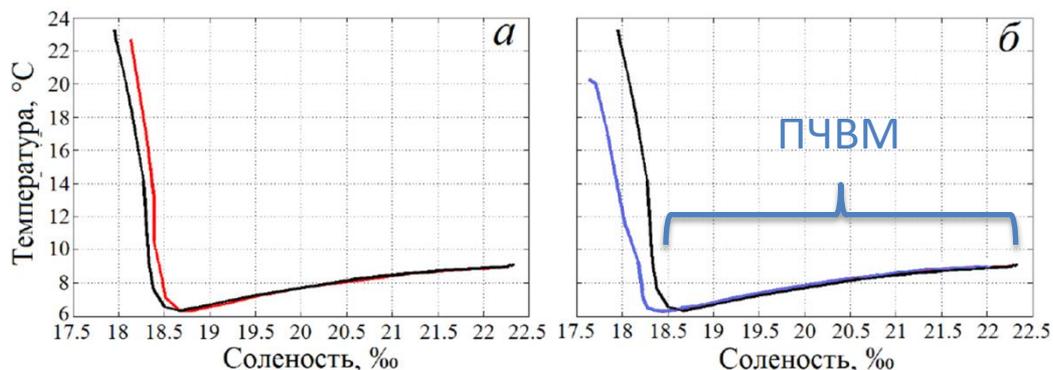


Первая мода разложения отклонений полей T и S моря на ЭОФ воспроизводит более 80% полной дисперсии (по данным Argo). В силу этого топография изоповерхностей (солености, температуры) с высокой точностью зависит однопараметрически от топографии уровня моря (Коротяев, 2010).

$$\zeta_d = -\frac{1}{\rho_0} \int_0^H \rho dz$$

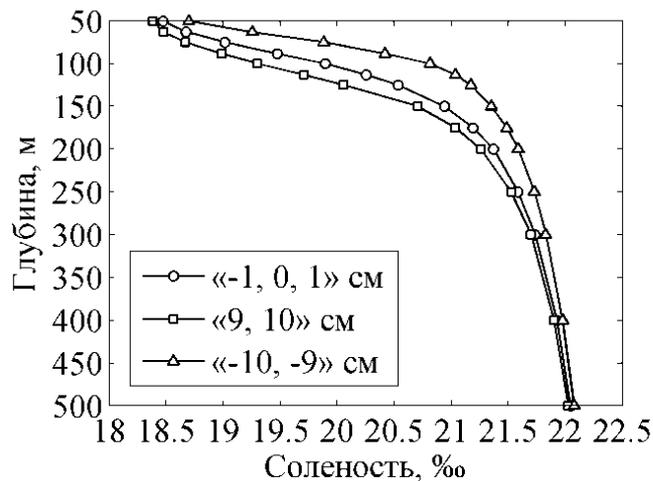
(Саркисян, Передерей, 1972)

Гипотеза: начиная с некоторых глубин можно ввести понятие медленно меняющейся во времени и однородной по горизонтали базовой стратификации полей температуры и солености бассейна $T(z)$, $S(z)$. Искажения топографии изопикнических, изотермических и изохалинных поверхностей синоптической изменчивостью или действием ветра происходят в основном без необратимых изменений базовой стратификации (Коротяев, 2011; Kubryakov, Stanichny, 2015).



ПЧВМ –
промежуточная
черноморская водная
масса

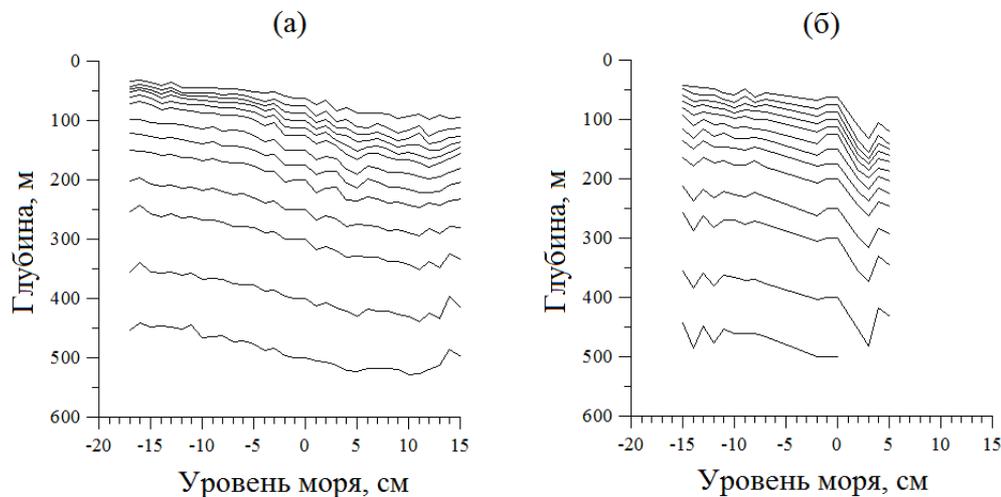
T,S-кривые выбранных градаций уровня для августа 1993г.: «-7,-6»см (красная кривая) – а, «6,7»см (синяя кривая) – б, «-1,0,1»см (черная кривая) – «нулевая» градация уровня



Среднемесячные профили солёности, соответствующие выбранным градациям уровня моря для мая 1994 г.

Фрагмент таблицы глубин (h) солёности (S_0) профиля нулевой градации в профилях солёности положительных и отрицательных градаций уровня моря для сентября 1993 г.

$S_0, ‰$	19.42	19.84	20.23	20.54	20.76	21.11	21.32	21.46	21.65	21.78	21.94	22.06
Градации, см	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
«-5, -4»	73.58	86.03	97.95	109.49	120.04	145.87	169.47	194.17	244.36	292.97	392.92	489.36
«-4, -3»	74.29	86.52	98.90	111.41	122.88	151.05	176.97	201.38	252.11	299.73	399.53	502.41
«-3, -2»	72.06	84.07	95.71	106.15	116.23	142.31	165.32	189.24	237.31	282.55	379.11	478.01
«-2, -1»	70.33	81.64	94.44	106.85	119.22	148.46	174.27	200.42	253.09	305.26	405.74	518.34
«-1, 0, 1»	75	88	100	113	125	150	175	200	250	300	400	500
«1, 2»	83.37	98.26	115.81	130.22	143.61	171.92	194.41	222.54	277.69	335.59	438.74	546.64
«2, 3»	104.73	124.72	143.06	158.20	170.64	192.91	218.62	247.31	302.17	360.84	452.34	547.42
«3, 4»	101.87	113.92	126.29	138.84	148.34	177.45	202.92	231.02	280.47	334.03	433.07	554.14
«4, 5»	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
«5, 6»	112.69	122.69	134.52	144.08	153.50	187.28	217.57	244.26	297.47	361.22	460.63	561.78



Диаграммы зависимости глубин от градаций уровня моря на горизонтах слоя: а – апрель 1993 г., б – май 1998 г.

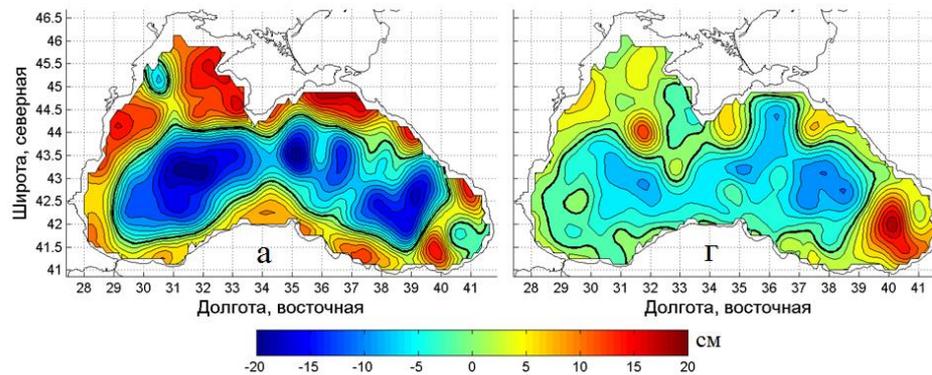
Зависимость изменения глубин залегания изохалин от градаций уровня для каждого значения нулевой солёности аппроксимировали линейной функцией:

$$h(S_0, \zeta) = a(S_0)\zeta + b(S_0),$$

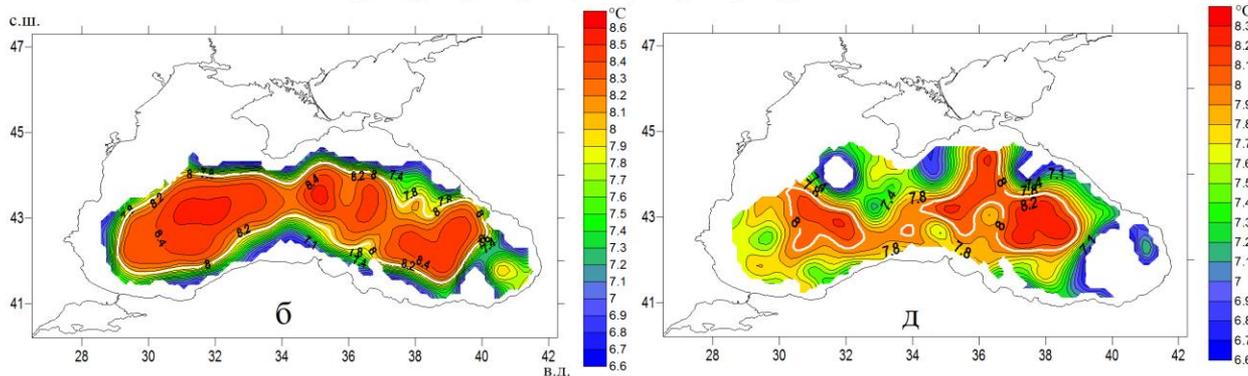
где $h(S_0, \zeta)$ – искомая глубина, ζ – значение уровня моря. Такая зависимость позволяет рассчитать искомую глубину выбранного значения невозмущенной солёности для всего диапазона изменчивости альтиметрического уровня.

Восстановленные поля температуры и солёности

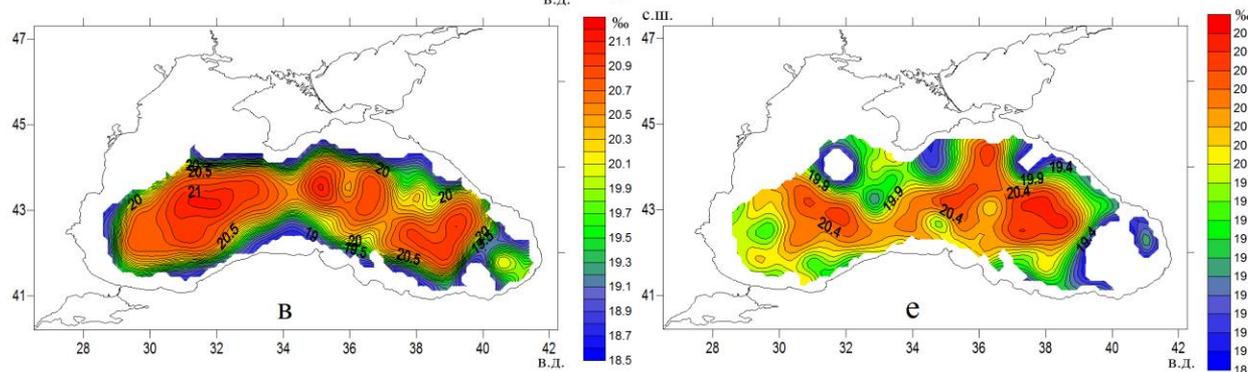
Топография
альтиметрического
динамического уровня



Температура на
горизонте 100 м

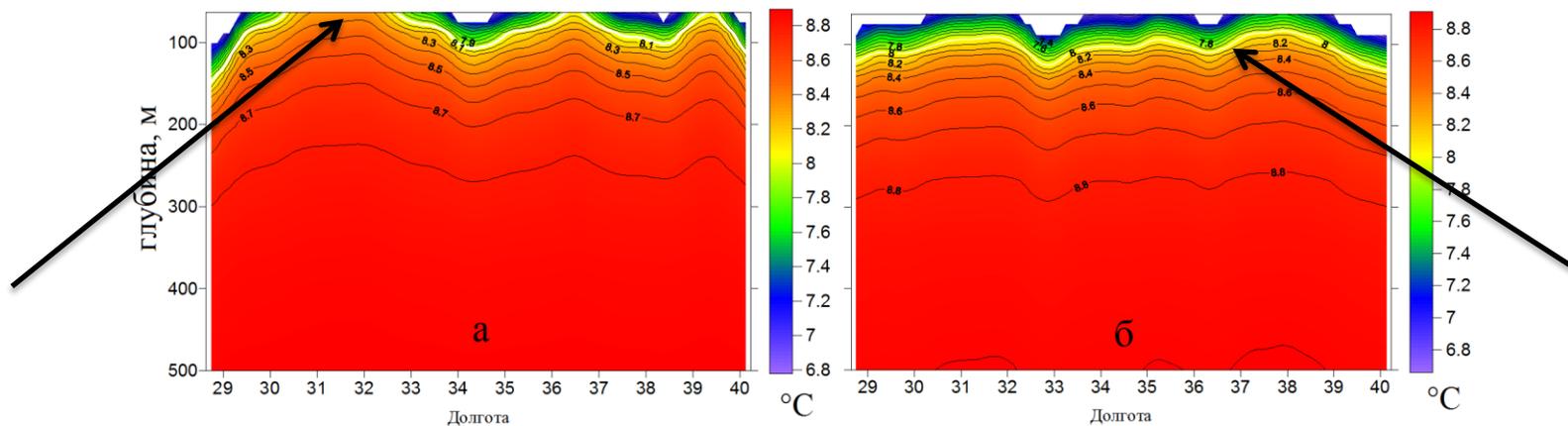


Солёность на
горизонте 100 м

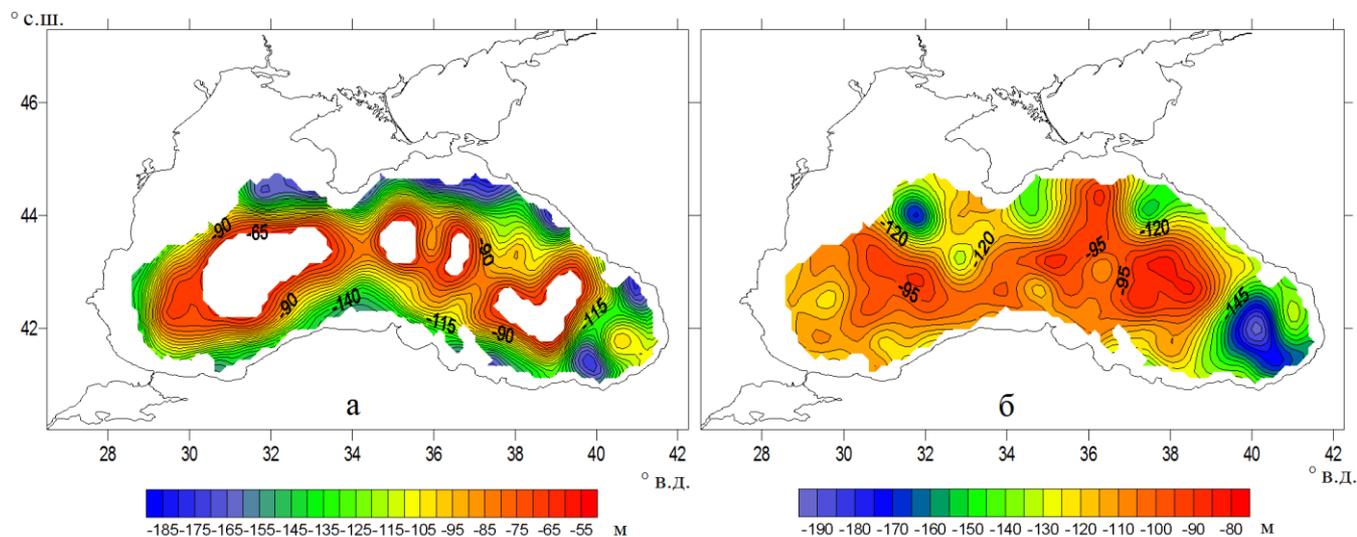


Топография альтиметрического динамического уровня (а, г), восстановленные поля температуры (б, д) и солёности (в, е) на горизонте 100 м, соответствующие 17 февраля (а, б, в) и 18 августа (г, д, е) 1993 г.

Внутригодовая изменчивость положения нижней границы ХПС



Поле температуры на широтном разрезе 43° с.ш. 17 февраля (а) и 18 августа (б) 1993 г.

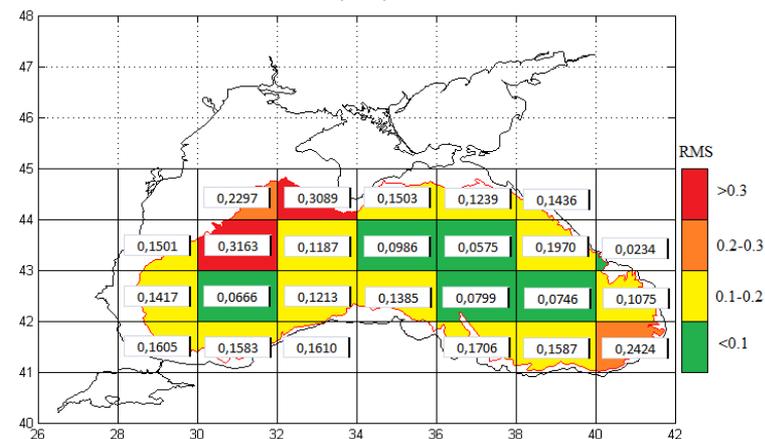
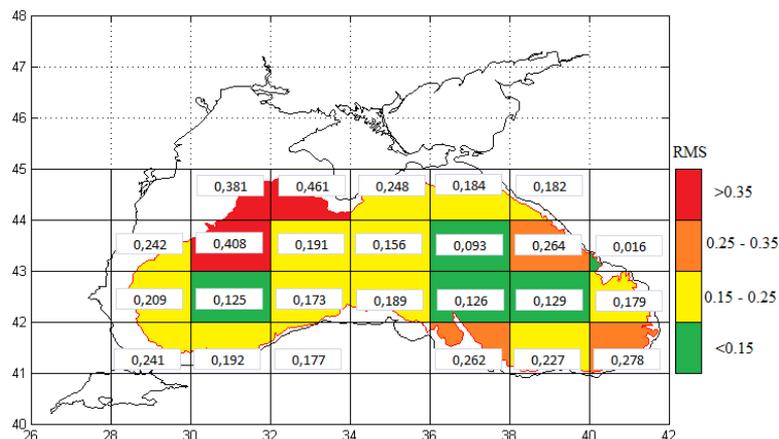


Распределение глубин изотермической поверхности 8°C на 17 февраля (а) и 18 августа (б) 1993 г.

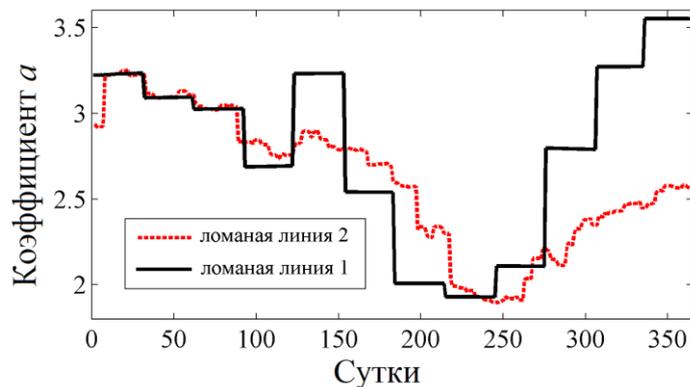
Восстановленные поля температуры и солёности

Горизонты, м	(СО)		(СКО)	
	температура, °С	солёность, ‰	температура, °С	солёность, ‰
100	-0,0424	-0,0366	0,3110	0,3935
113	-0,0282	-0,0106	0,2782	0,3571
125	-0,0220	-0,0133	0,2371	0,3187
150	-0,0091	-0,0067	0,1740	0,2441
175	-0,0087	-0,0102	0,1127	0,1576
200	-0,0105	-0,0170	0,0768	0,1065
250	-0,0069	-0,0145	0,0583	0,0675
300	-0,0042	-0,0124	0,0522	0,0516
400	-0,0014	-0,0088	0,0341	0,0350
500	0,0004	-0,0046	0,0239	0,0278

Оценка средних (СО) и среднеквадратических (СКО) отклонений восстановленных температуры и солёности по горизонтам и за весь период 1993 – 2012 гг., выполненная при сопоставлении с данными измерений



Среднеквадратические ошибки восстановления солёности (а) и температуры (б) на 150 м, оцененные по боксам за период 1993 – 2003 гг.



Использование для фиксированных суток (t) временного окна ($t-30, t+30$) суток для накопления профилей измеренной солёности (температуры) в градациях уровня позволило восстановить трехмерные поля со скользящим суточным сдвигом за 1993 - 2012 гг.

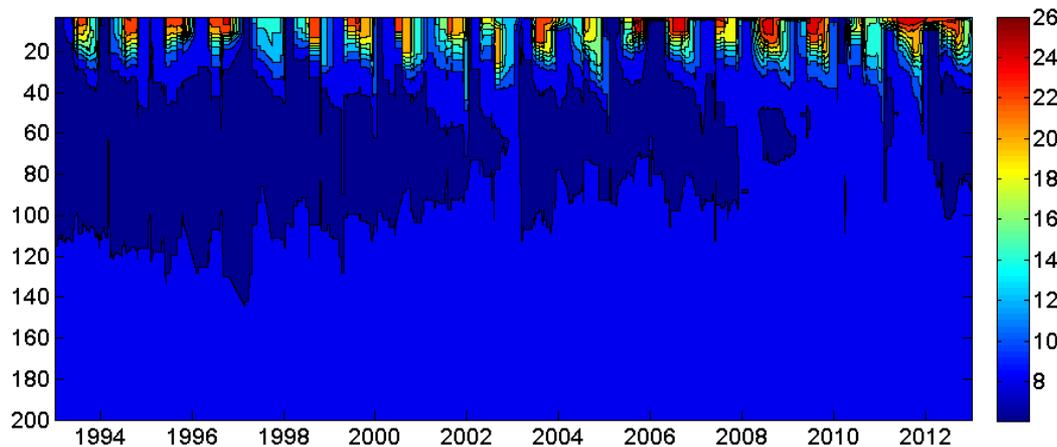
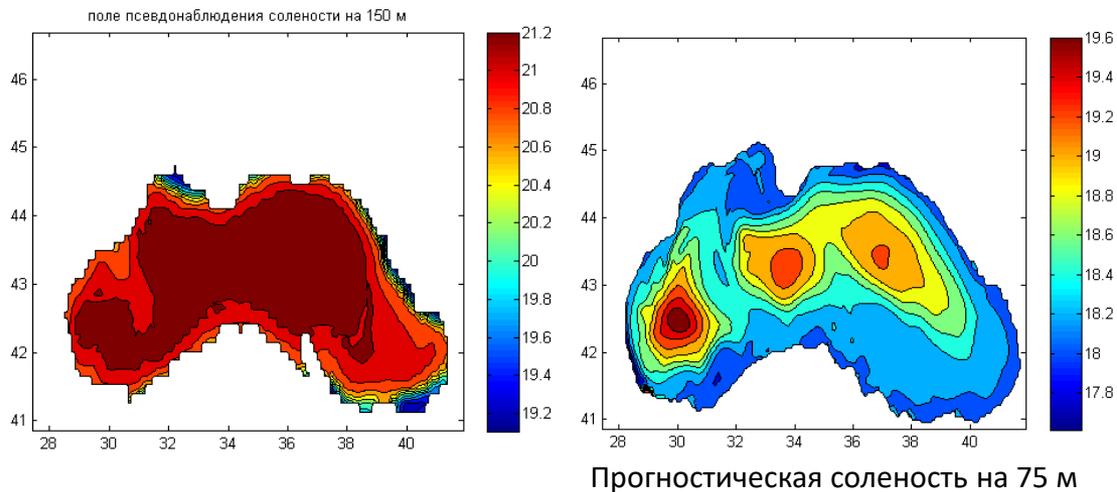


Диаграмма сезонной и межгодовой изменчивости профиля температуры нулевой градации альтиметрического уровня



Для восстановления полей псевдоизмерений температуры и солёности в областях с «белыми пятнами» и в слое от 63 м до поверхности необходимо было определить начальный горизонт полностью «заполненный» значениями псевдоизмерений

Коррекция профиля солёности и расчет корреляционной функции:

$$S^*(z^k) = S(z^k) + \frac{P_{ss}}{\sigma_S + \sigma_{\text{Сощ.изм.}}} * (S^{3d}(z^*) - S(z^k))$$

$$P_{ss} = \frac{1}{N(z) - 1} \sum_{ij} \delta S'_{ij}(z^*) \delta S'_{ij}(z^k)$$

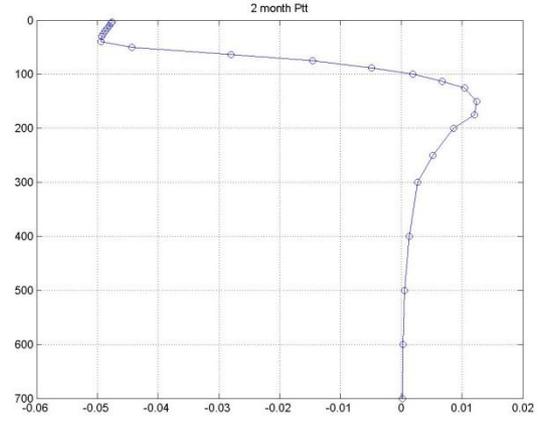
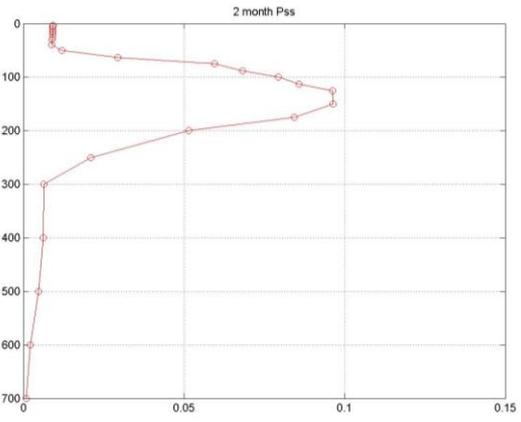
$$\delta S'_{ij}(z^*) = \delta S_{ij}(z^*) - \overline{\delta S_{ij}(z^*)}$$

$$\delta S_{ij}(z^*) = S_{ij}^{3d}(z^*) - \overline{S_{ij}^{3d}(z^*)}$$

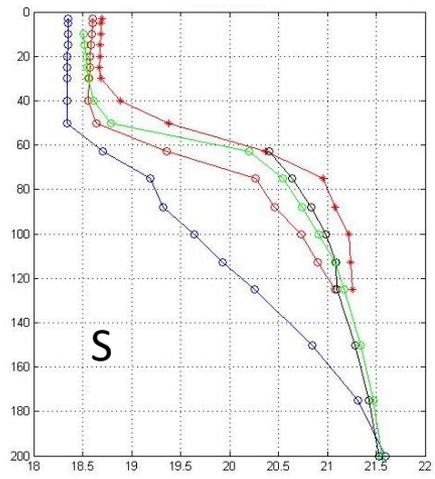
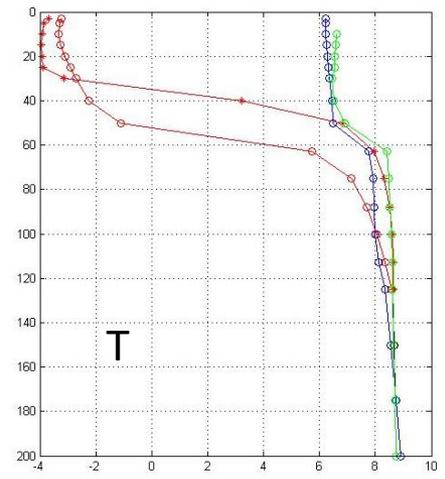
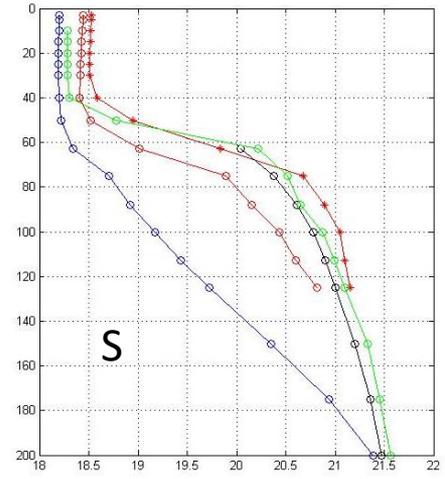
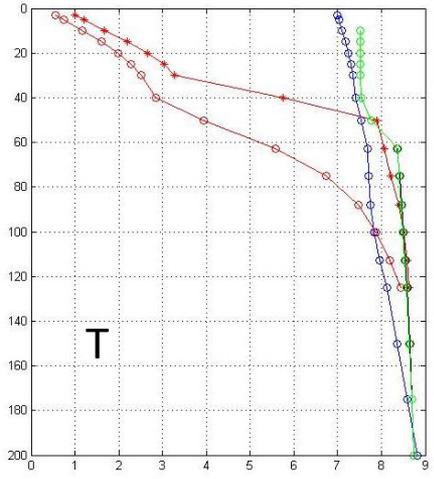
$$\delta S'_{ij}(z^k) = \delta S_{ij}(z^k) - \overline{\delta S_{ij}(z^k)}$$

$$\delta S_{ij}(z^k) = S_{ij}^{3d}(z^k) - \overline{S_{ij}^{3d}(z^k)}$$

Алгоритм заполнения «белых пятен»



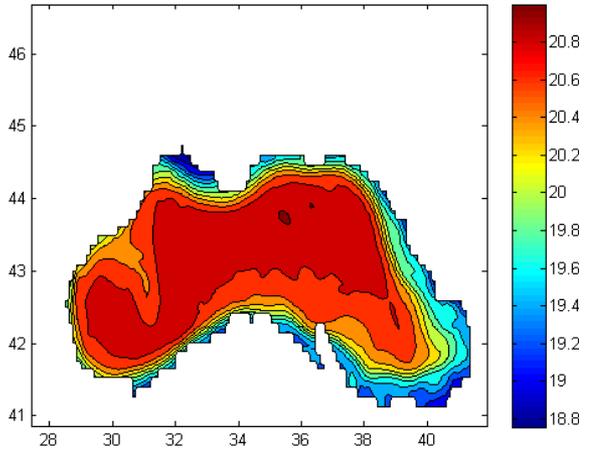
Вертикальная изменчивость профилей функций Pss и Ptt



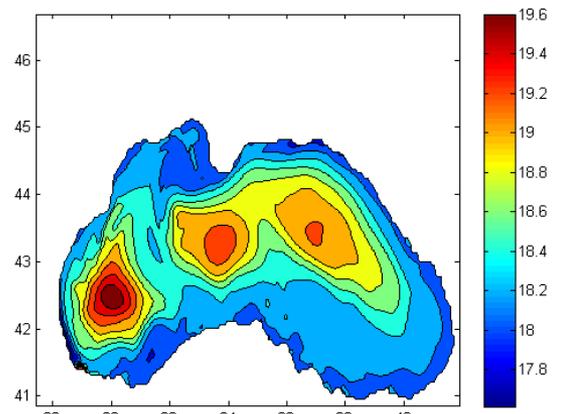
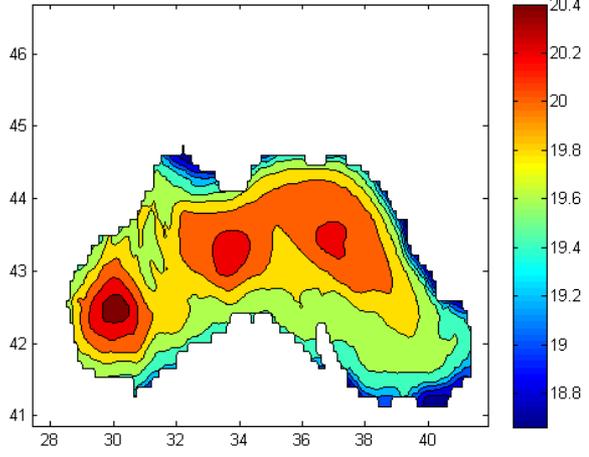
- прогноз
- по прогнозу
- *— по реанализу
- псевдоизмерение
- контактное измерение

Алгоритм заполнения «белых пятен»

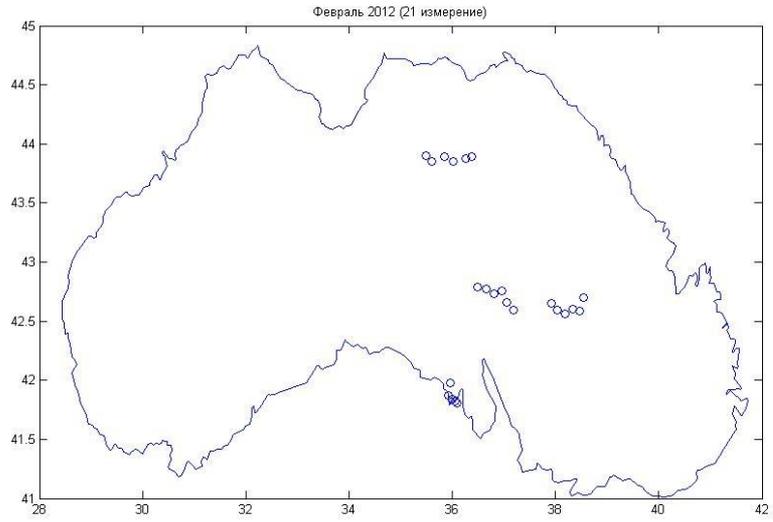
соленость 75 м восстановленная по данным реанализа с усвоением псевдополей



соленость 75 м восстановленная по данным прогностического расчета



Прогностическая соленость на 75 м



Спасибо за внимание