



Оценка фонового загрязнения нефтепродуктами Черного и Каспийского морей с использованием данных дистанционного зондирования и модельных расчетов



Экологическое состояние и антропогенная нагрузка



Уровень загрязнения Черного и Каспийского морей в совокупности определяет состояние его экосистемы и изменяется в различных пространственно-временных масштабах под действием климатических, физико-географических факторов, гидробиологических процессов и антропогенного воздействия, которое усиливается с каждым годом.

Инфраструктура добычи и транспортировки нефти и газа в регионе Черного и Каспийского морей



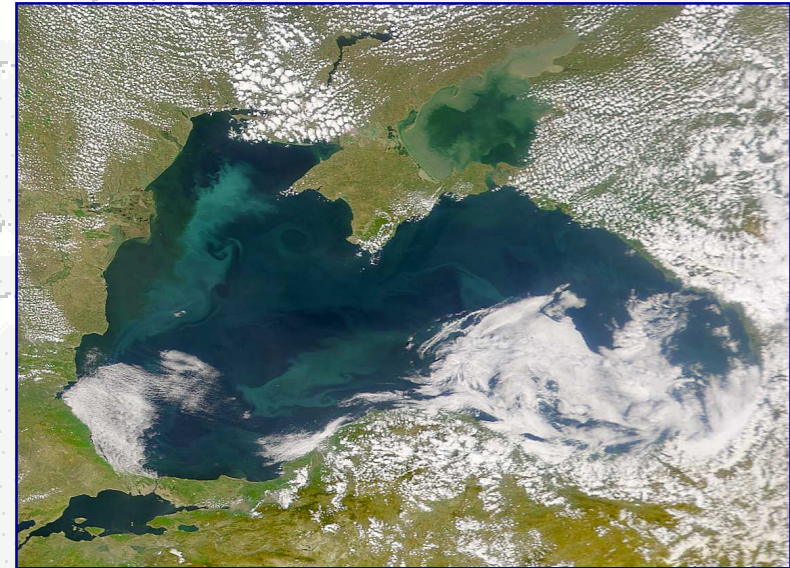
Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.

Экологическое состояние и антропогенная нагрузка

По Черному морю осуществляется экспорт 23% всего российского «черного золота», 74% казахстанского и 65% нефтяного экспорта Азербайджана. Из Новороссийска на танкерах ежегодно уходит около 60 млн тонн нефти, из Туапсе – около 30 млн тонн, из порта Кавказ (вблизи которого произошла катастрофа в ноябре 2007 г.) – 3 млн тонн. Всего через порты Черного моря проходит более 138 млн тонн нефти и нефтепродуктов.

После ввода в строй первой очереди нефтепровода Каспийского трубопроводного консорциума объем транспортируемой нефти по итогам 2007 года увеличился более чем на 32 млн тонн нефти. Таким образом, Черное море превратилось в зону основного российского нефтяного экспорта



Экологическое состояние и антропогенная нагрузка



Возможные нефтяные ресурсы Каспия, по различным оценкам колеблются от 16 млрд тонн до 20,5 млрд тонн. Лидером по объему добычи нефти и доказанным ее запасам является Казахстан.

Второе и третье место по добычи нефти занимают Азербайджан и Туркменистан. Иран добычу углеводородного сырья на Каспии пока не ведет.

В 2004 г. прикаспийскими государствами в море добывалось 16,14 млн. т нефти, в 2005 г. – 21,1 млн. т. К 2010 на акватории Каспийского моря прогнозируемый объем добычи составит 250 млн. т.



Основы дистанционных методов мониторинга нефтяного загрязнения

Разлившаяся на поверхности моря нефть образует нефтяное пятно, пленка которого гасит мелкомасштабное ветровое волнение и формирует области выглаживания, именуемые сликами.

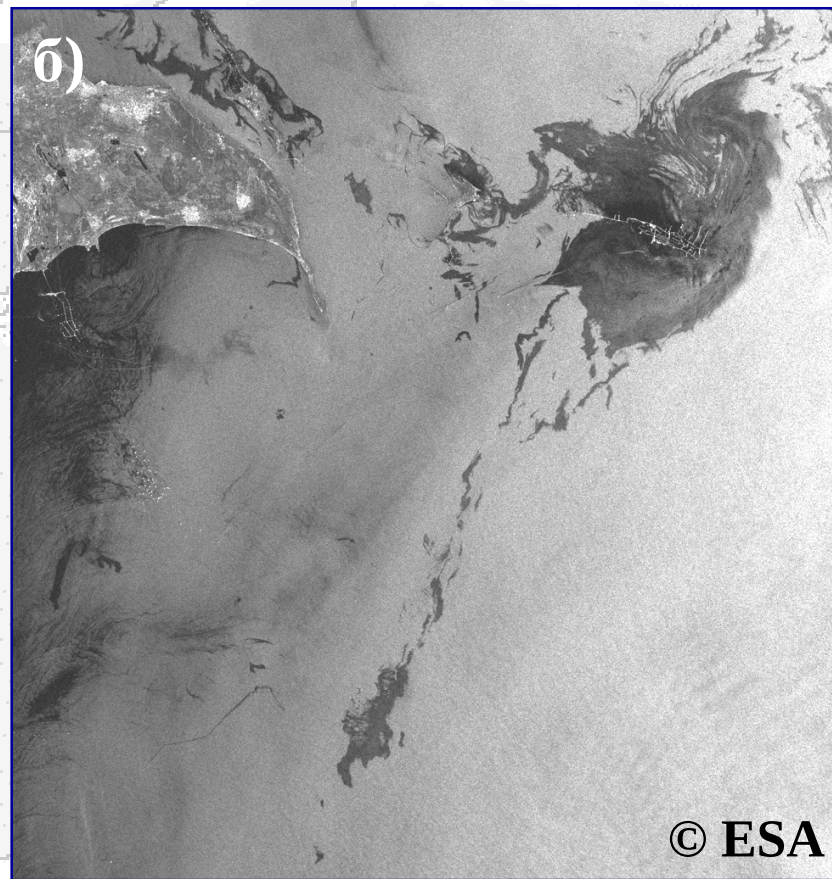
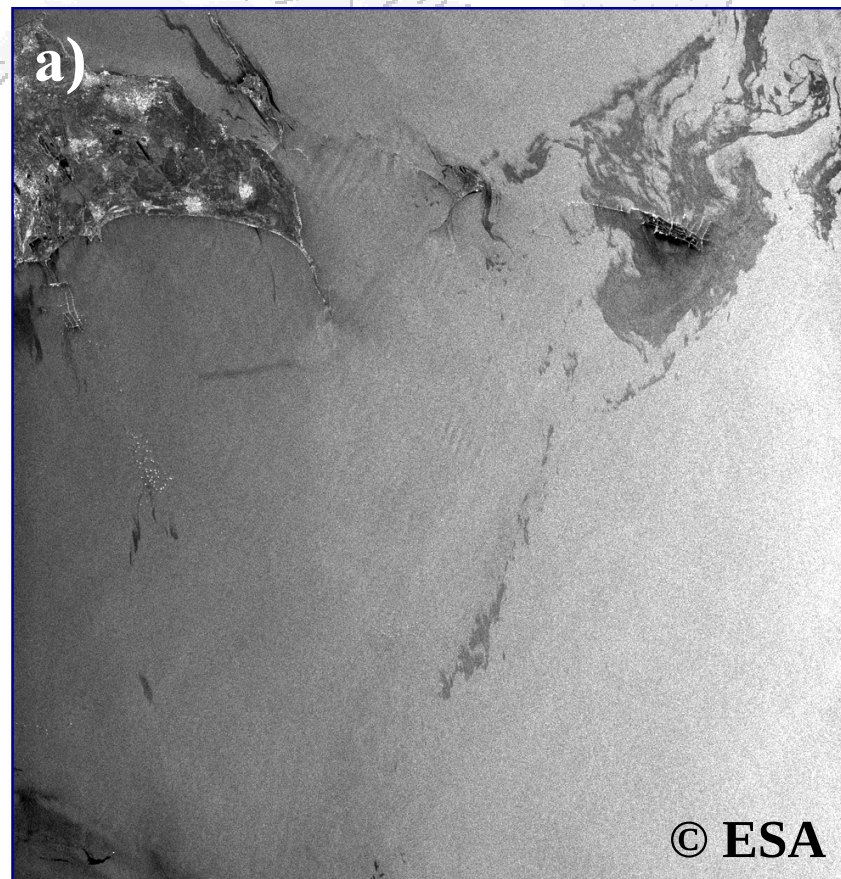
Они отображаются темным тоном на радиолокационных изображениях. Однако имеется ряд природных факторов, ограничивающих применимость космической радиолокации для решения задачи идентификации нефтяных пятен.

При слабом ветре 1–2 м/с нефтяные пленки не различаются на фоне темной (выглаженной) морской поверхности.

При сильном ветре 10–12 м/с они исчезают с поверхности вследствие интенсивного волнового перемешивания.



Основы дистанционных методов мониторинга нефтяного загрязнения



Радиолокационные изображения нефтяных пятен в районе п. Нефтяные Камни (Каспийское море) на последовательных съемках спутников ERS-1 от 12 мая (а) и ERS-2 от 13 мая 1996 г. (б).

Схема оперативного спутникового мониторинга



Системы оперативного спутникового мониторинга

В настоящее время успешно работает система оперативного спутникового мониторинга :

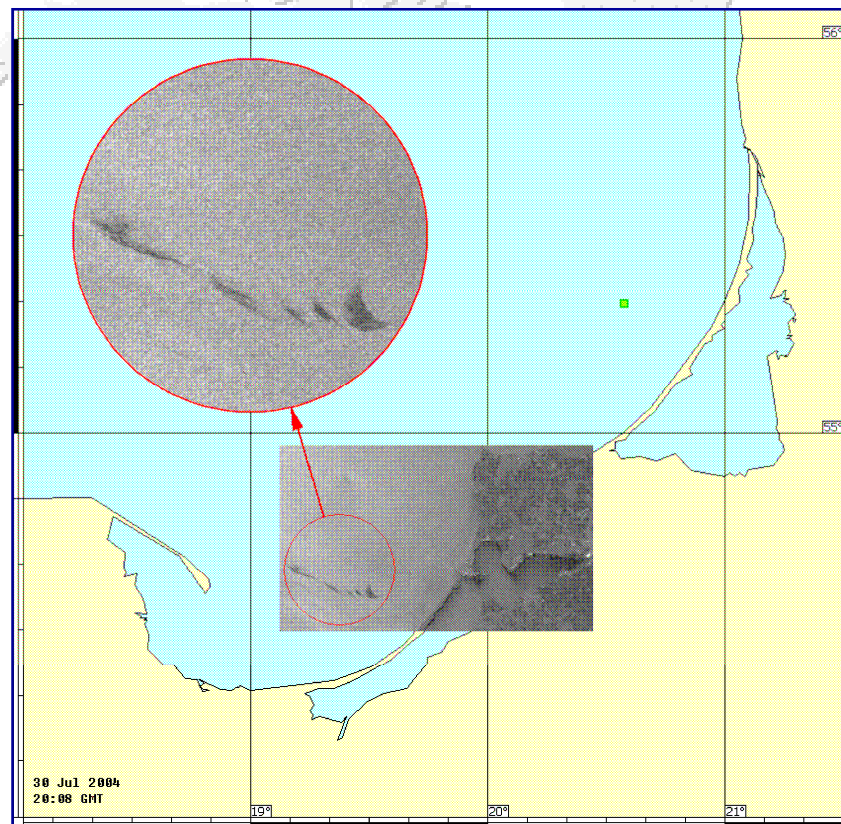
- ⇒ Система оперативного спутникового мониторинга юго-восточной части Балтийского моря, разработанная российскими специалистами по заказу ООО «ЛУКОЙЛ–Калининградморнефть».
- ⇒ Система спутникового мониторинга Азовского моря и российского сектора Черного моря, разработанная в ГУ НИЦ «Планета» (<http://planet.iitp.ru>)
- ⇒ Система спутникового мониторинга Северного Каспия организованная ИТЦ «СканЭкс» (<http://www.scanex.ru>) в сотрудничестве с некоммерческой организацией НП «Прозрачный мир» (<http://gis.transparentworld.ru/caspian>).



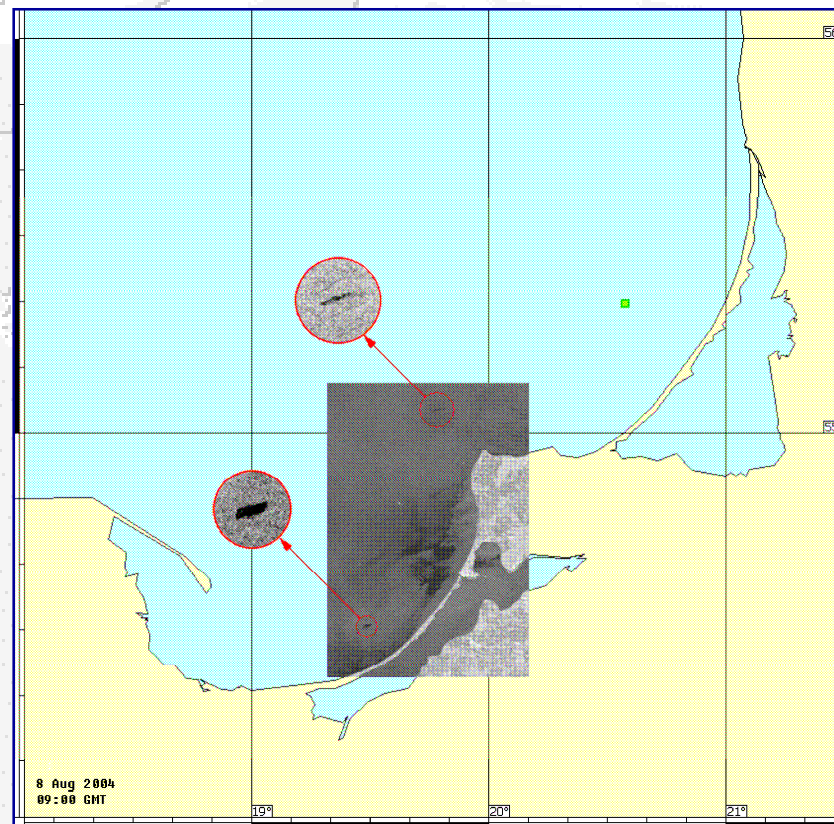
Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.

Спутниковый мониторинг юго-восточной части Балтийского моря

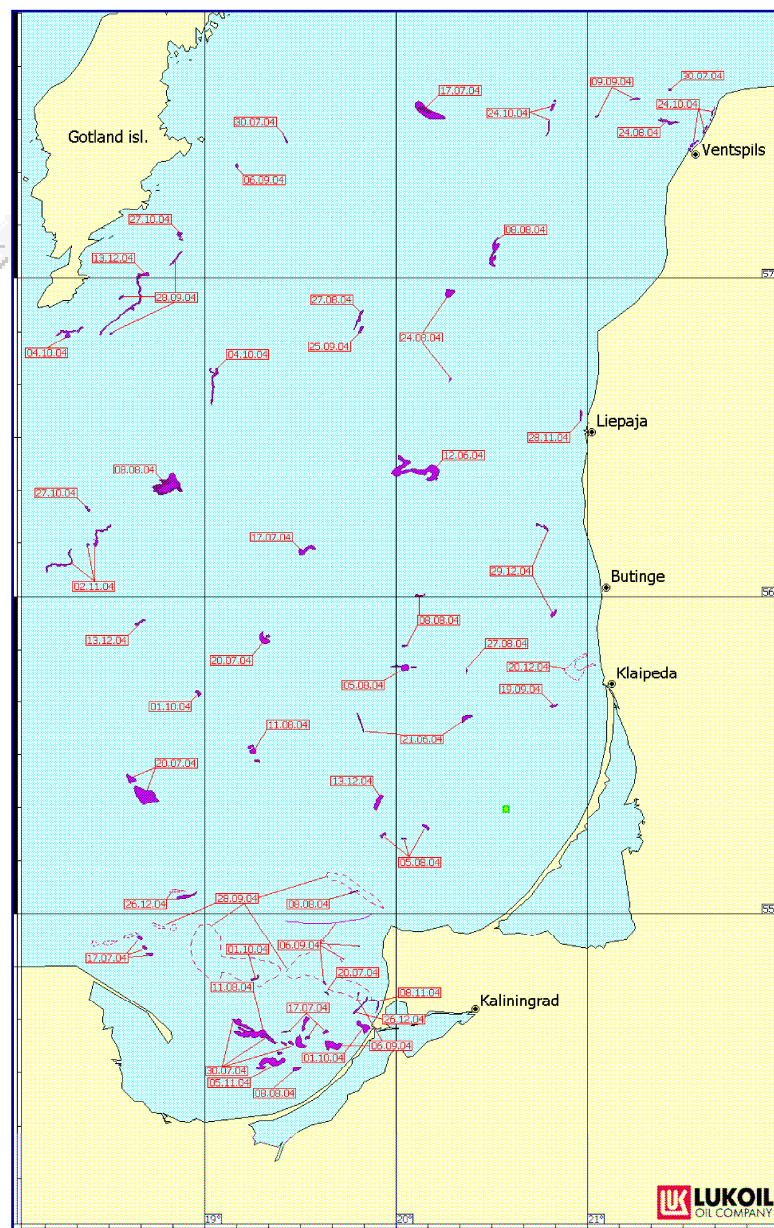


30 июля 2004, 20:08 GMT
Цепочка нефтяных пятен:
длина – 26 км,
общая площадь – 20.3 км²



8 августа 2004, 09:00 GMT
Два нефтяных пятна площадью:
1.1 км² и 2.3 км²

Спутниковый мониторинг юго-восточной части Балтийского моря



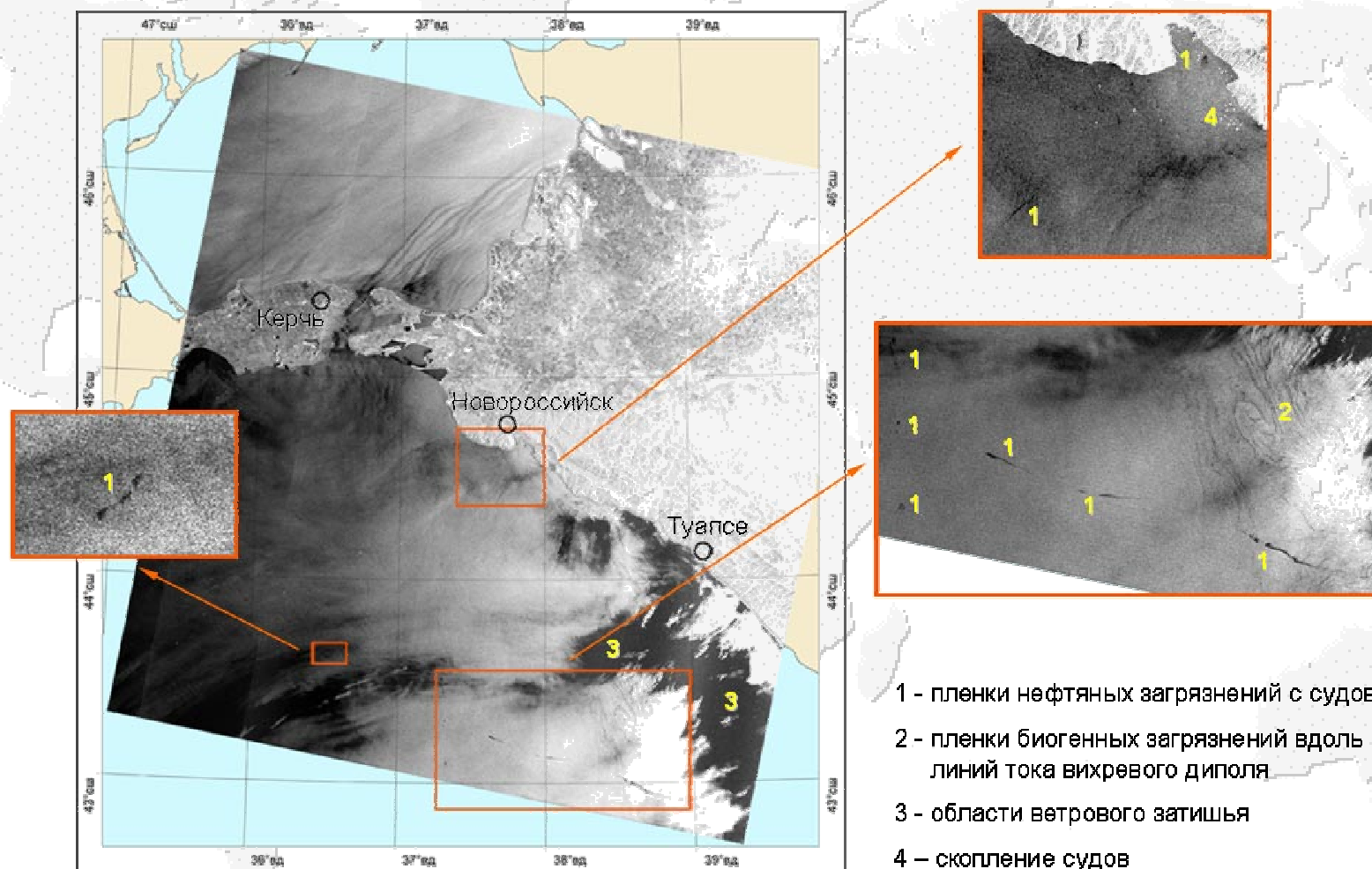
Карта нефтяных пятен,
обнаруженных PCA ENVISAT
в июне-декабре 2004 г.



Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.

Спутниковый мониторинг Азовского моря и российского сектора Черного моря



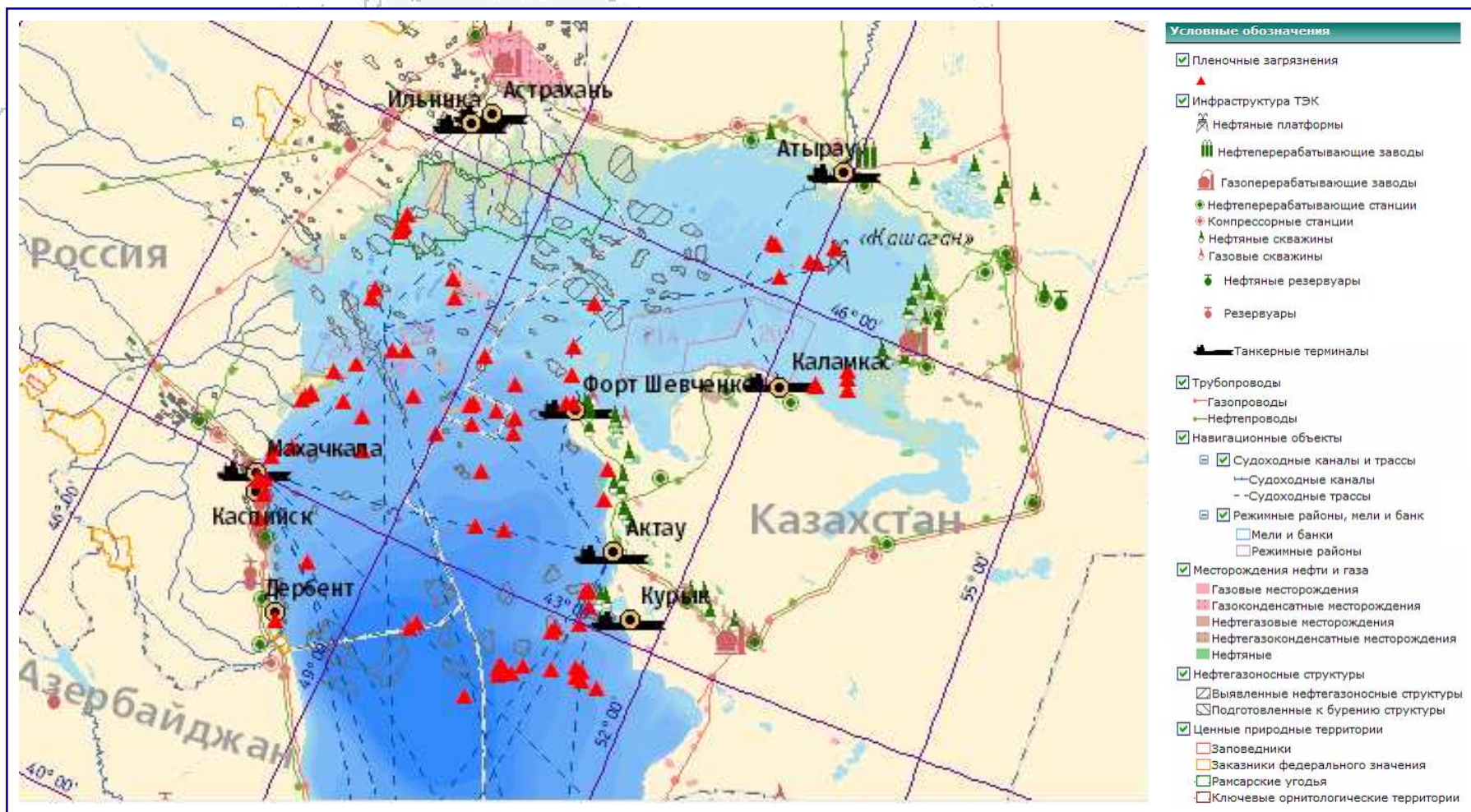
ИСЗ ENVISAT, ASAR, разрешение 75 м 08.04.2007 г. 07:42 GMT



Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.

Спутниковый мониторинг Северного Каспия



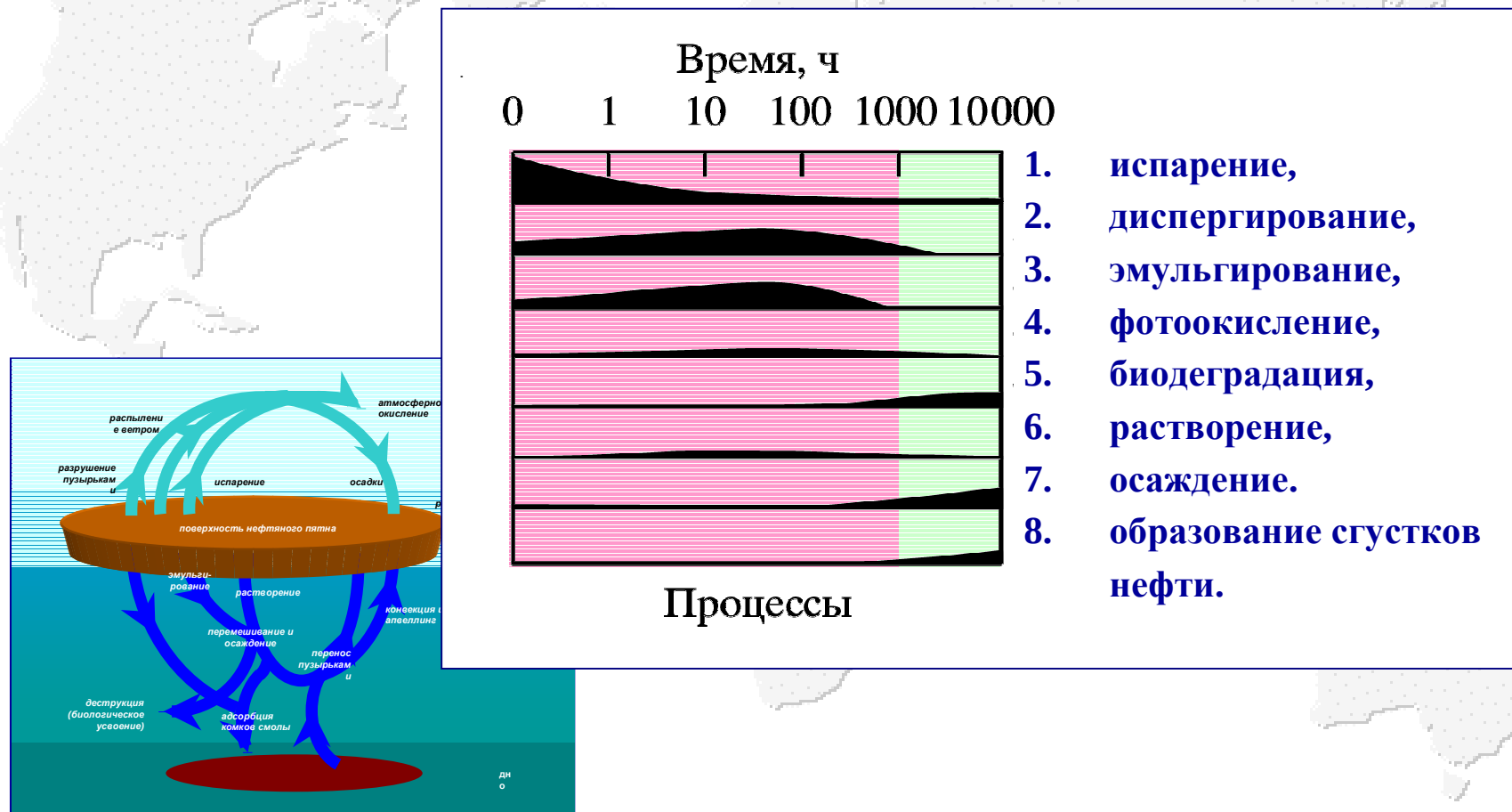
Возможности систем моделирования распространения нефтяных пятен и аварийных разливов

- ➔ **Расчёт и прогноз основных гидрометеорологических характеристик (ветер, течения, волнение, дрейф льда в зимний период)**
- ➔ **Расчёт и прогноз распространения нефти и других загрязняющих веществ в случае их аварийного выброса или регулярного технологического сброса для береговых гидросооружений с учетом растекания, испарения, диспергирования, эмульгирования и деструкции.**
- ➔ **Оценка эффективности применения средств борьбы с разливом (боновые заграждения, скиммеры, диспергаторы, сорбенты, сжигание).**
- ➔ **Планирование операций по борьбе с нефтяными разливами.**
- ➔ **Риск-анализ проектов.**
- ➔ **Оценки трансграничного переноса загрязняющих веществ**



Моделирование механизмов переноса нефти

Процессы, управляющие переносом и деградацией нефтяного пятна и характерное время протекания этих процессов:



Моделирование фонового загрязнения нефтепродуктами

В основе модельного подхода лежит решение двумерного уравнения эволюции концентрации $C(x, y, t)$:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = D \Delta C - \frac{q}{\rho_0} + \frac{P}{\rho_0}$$
$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0$$

U, V – горизонтальные проекции скорости на оси, $C(x, y)$ – начальное распределение примеси,
 D – коэффициент турбулентной диффузии, $P(x, y)$ – скорость поступления ЗВ в среду,

Учет деструкции, испарения и осаждения

$$q = \lambda C \rho_0 \exp(-\lambda t) + C \rho_0 \beta t$$

$\lambda(x, y)$ – параметр, определяющий темп
биохимической и микробиологической
деструкции ЗВ,

β

– параметр, характеризующий испарение
примеси в атмосферу и удаление ее за счет
осаждения.

Модель применима к ЗВ двух типов:

- первый тип – это ЗВ, деструкция которых, в первом приближении, описывается экспоненциальным по времени законом; испарение в атмосферу и осаждение – линейные функции по времени;
- второй тип, “неорганика” – это ЗВ, деструкция которых считается несущественной по сравнению с осаждением.



Температура морской поверхности

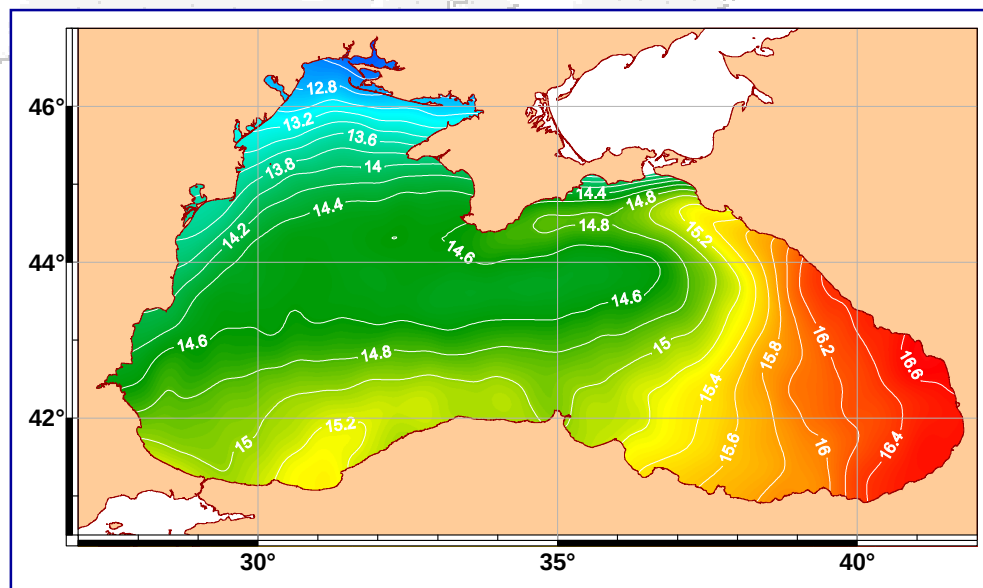
На сегодняшний день температура морской поверхности (ТМП) определяется по данным радиометрии в ИК и СВЧ диапазонах с точностью измерения $0.3\text{--}0.5^{\circ}\text{K}$ и $0.6\text{--}0.7^{\circ}\text{K}$ соответственно.

Пространственное разрешение составляет $1.1\text{--}4\text{ км}^2$ для ИК-диапазона и 25 км^2 для СВЧ диапазона. Ширина полосы обзора изменяется от 1400 до 4000 км в зависимости от датчика. Количество работающих спутников, оснащенных приборами измерения ТМП таково, что, например, для Черного и Каспийского морей можно получать данные дистанционного зондирования не реже одного раза в сутки.

В данной работе использовались ежедневные данные о ТМП интерполированные в регулярную сетку с пространственным разрешением $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ проекта Global Data Assimilation Experiment High Resolution Sea Surface Temperature Data (GHR SST), которые объединяют данные спутниковых измерений ТПМ в ИК и СВЧ диапазонах.

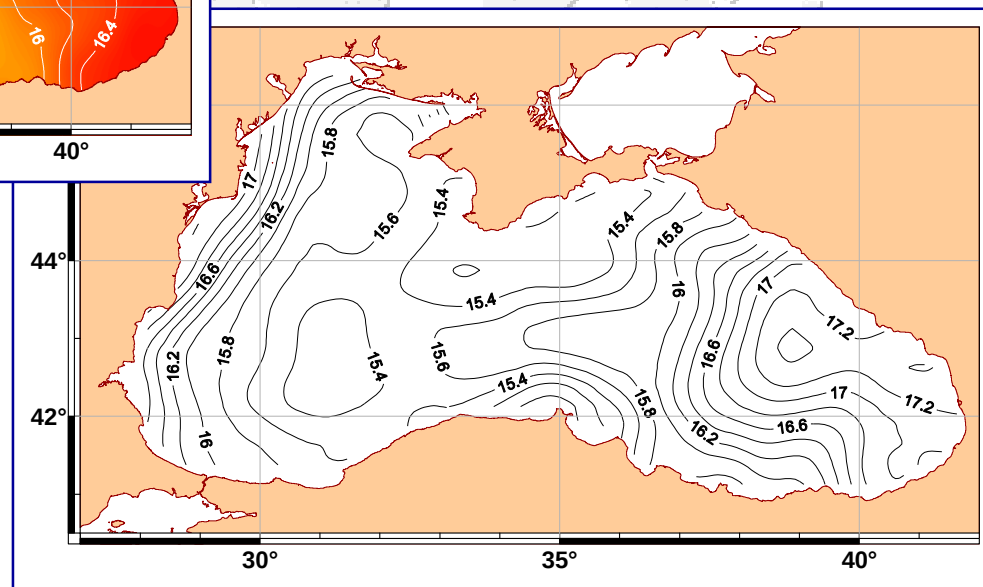


Температура морской поверхности Черного моря



Климатическое поле ТМП (°C)
Каспийского моря, рассчитанное по
данным GHRST за период с 1993 по
2008 гг.

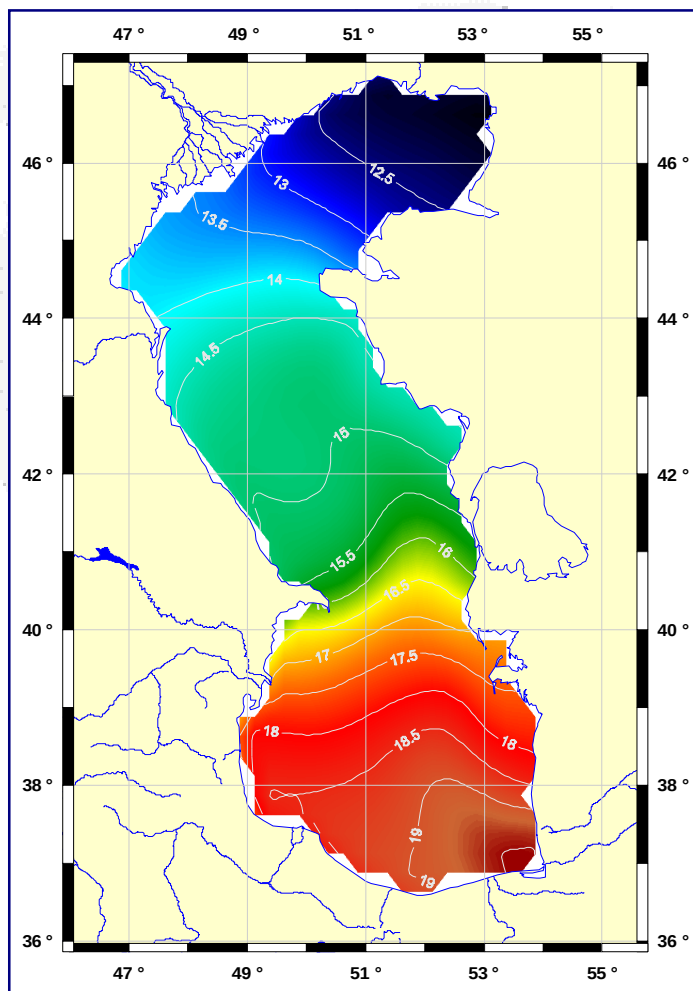
Синоптическое поле ТМП (°C)
Черного моря на 6 июня 2008 по
данным GHRST



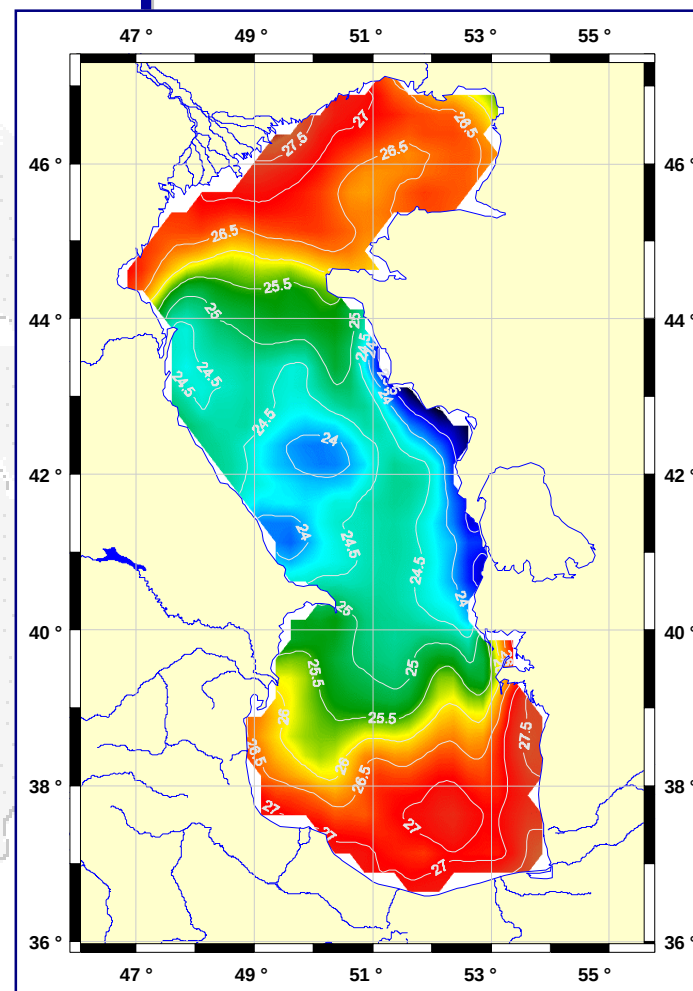
Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.

Температура морской поверхности Каспийского моря



Климатическое поле ТМП (°C) Каспийского моря, рассчитанное по данным GHRSSST за период с 1993 по 2008 гг.



Синоптическое поле ТМП (°C) Каспийского моря на 6 июня 2008 по данным GHRSSST



Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.

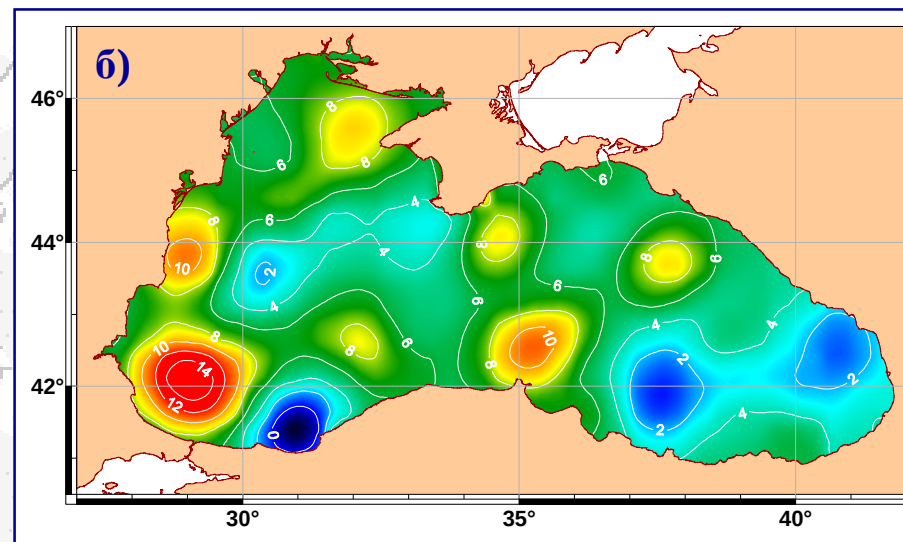
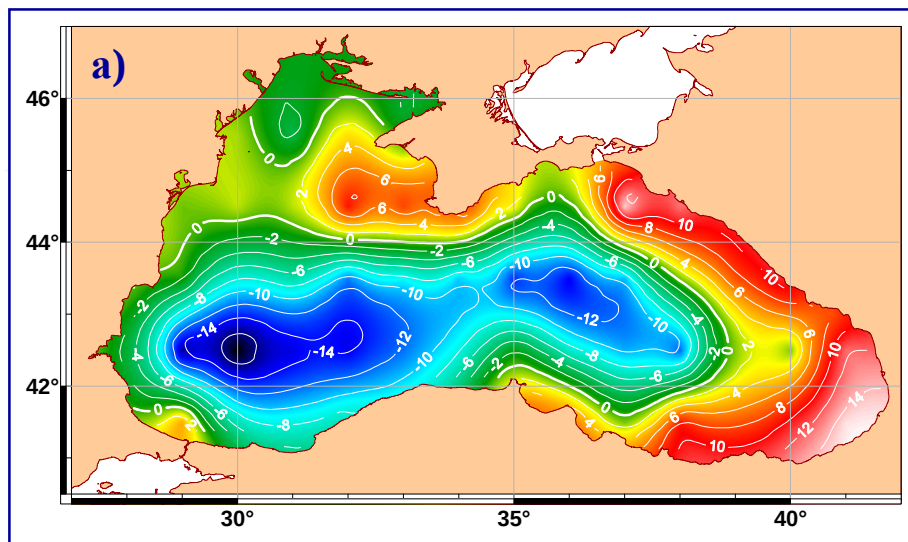
Динамическая топография Черного моря

Динамическая топография (ДТ), определяемая по данным спутниковой альтиметрии, позволяет анализировать поля поверхностных течений, не имеющих ярко выраженный термический характер, который присущ сильным струйным течениям. Пространственно-временной масштаб данных о высоте морской поверхности (ВМП) позволяет активно использовать их для расчета поверхностных течений и в различных термогидродинамических моделях с ассимиляцией данных, что дает возможность с высокой точностью делать физически обоснованный прогноз.

Для Черного моря на первом этапе по данным гидрологических станций за многолетний период (с 1927 по 2008 годы) строились поля плотности, которые затем использовались в квазигеострофической модели для расчетов климатической ДТ и скоростей течений. На втором этапе для временного интервала с января 1993 по декабрь 2008 по данным спутников альтиметрии рассчитывались аномалии ВМП с учетом всех необходимых поправок относительно средней ВМП. В итоге после суммирования получалось поле синоптической ДТ.



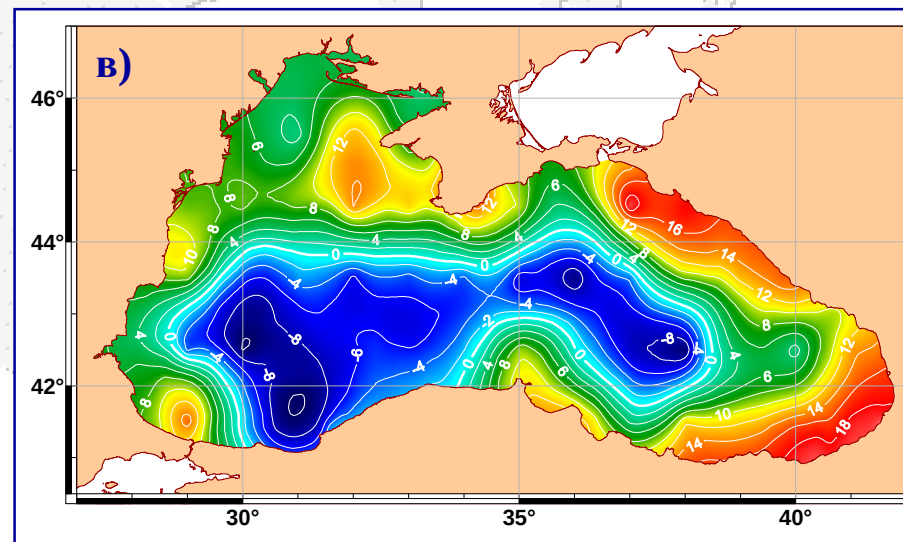
Динамическая топография Черного моря



а) – Климатическая динамическая топография (см) Черного моря, рассчитанная по квазигеострофической модели;

б) – Аномалии высоты морской поверхности (см) по данным альтиметрическим измерений спутника Jason-1 на 1 июня 2007 г.;

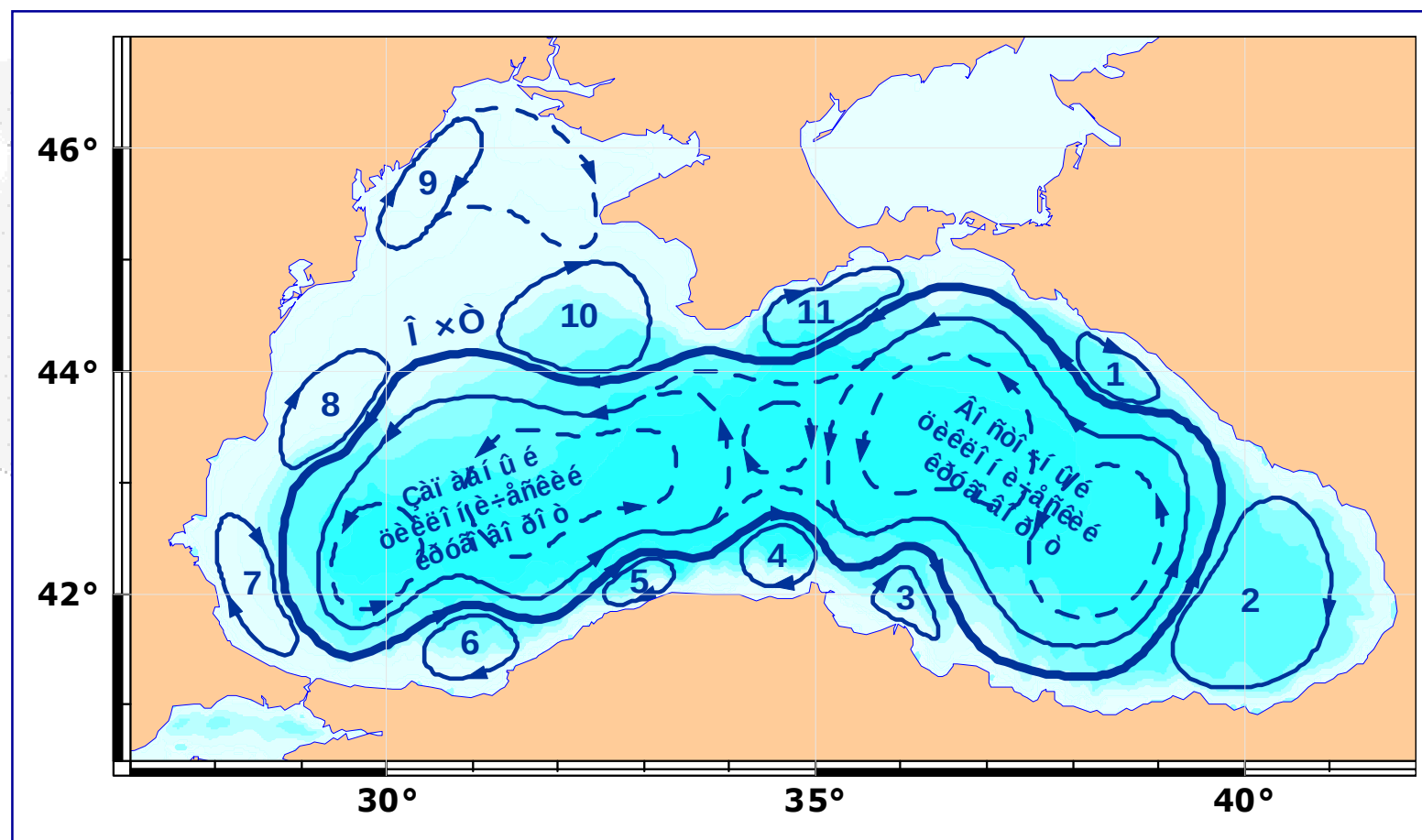
в) – Синоптическая ДТ (см), рассчитанная как суперпозиция (а) и (б).



Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.

Обобщенная схема циркуляции Черного моря



1 – Кавказский АЦ,
2 – Батумский АЦ,
3 – Самсунский АЦ,
4 – Синопский АЦ,

5 – Инеболунский АЦ,
6 – Сакарский АЦ,
7 – Босфорский АЦ,
8 – Калиарский АЦ,

9 – Дунайский АЦ,
10 – Севастопольский АЦ,
11 – Крымский АЦ.



Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.

Динамическая топография Каспийского моря

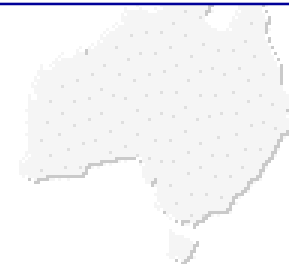
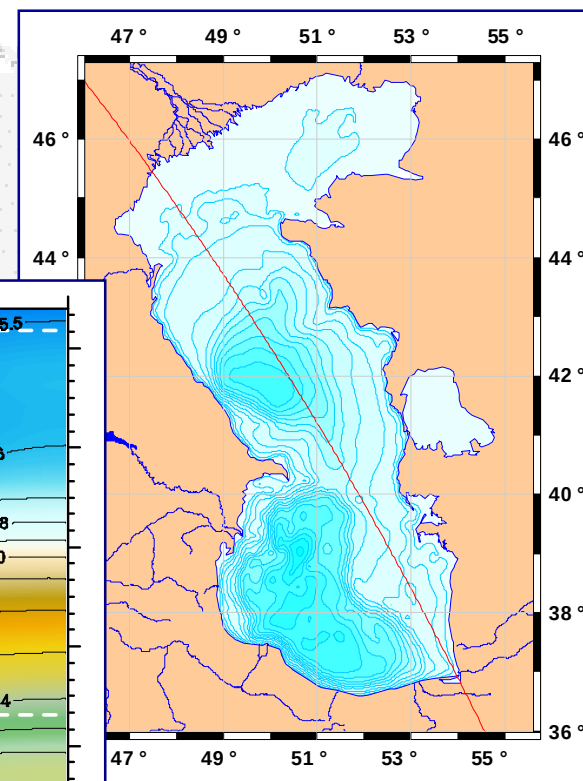
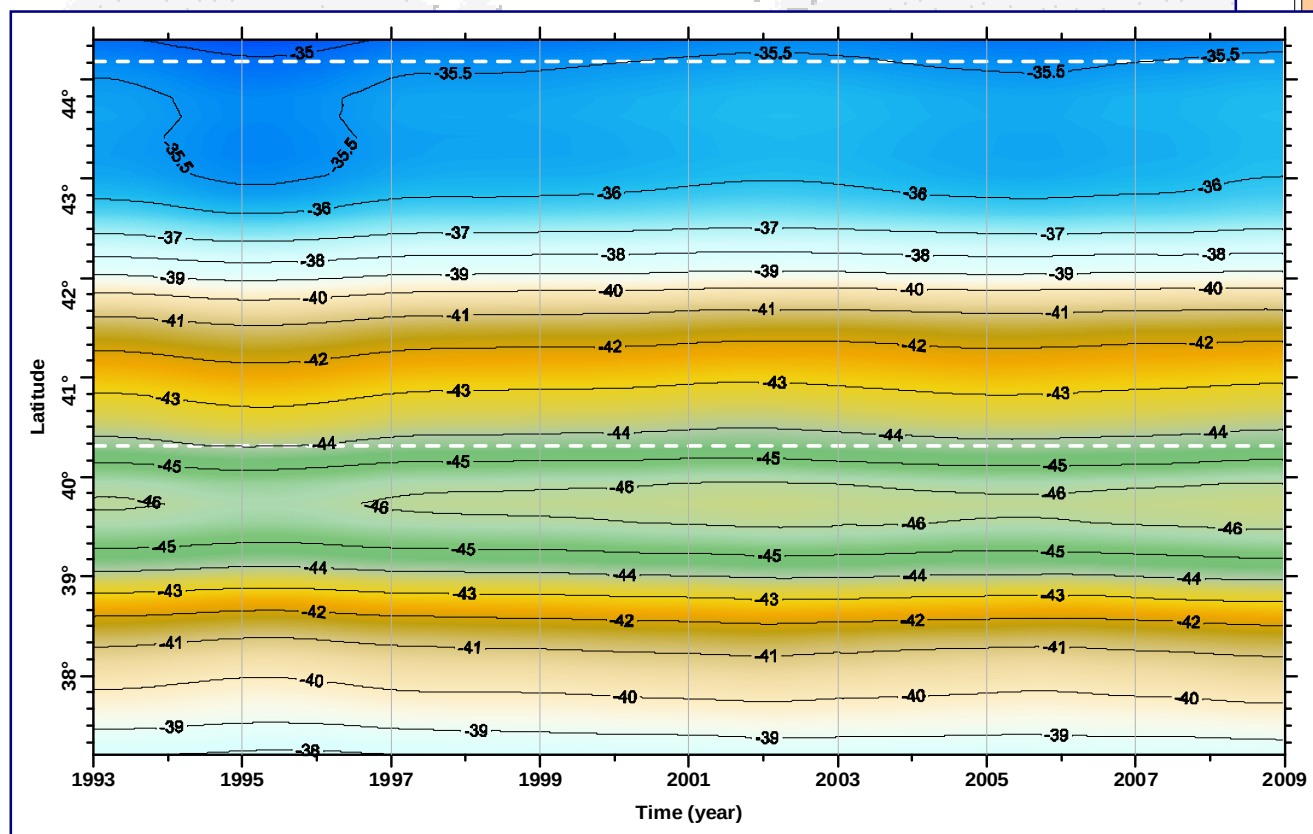
Для анализа синоптической изменчивости динамики Каспийского моря, чтобы правильно рассчитать аномалии ВМП, необходима новая модель средней ВМП. В первом приближении она должна соответствовать эквипотенциальной или невозмущенной поверхности моря в каждый момент времени.

В отличие от глобальных моделей средней ВМП, построенных по данным спутниковой альтиметрии, для Каспийского моря она должна зависеть не только от широты и долготы, но и от времени. Такая модель создана в Геофизическом центре РАН и обновляется каждый год. Аномалии ВМП относительно этой средней ВМП и климатическая ДТ, рассчитанная по термогидродинамической модели Лаборатории прикладных морских исследований (ЛПМИ) Гидрометцентра РФ, в сумме дают синоптическую ДТ.



Динамическая топография Каспийского моря

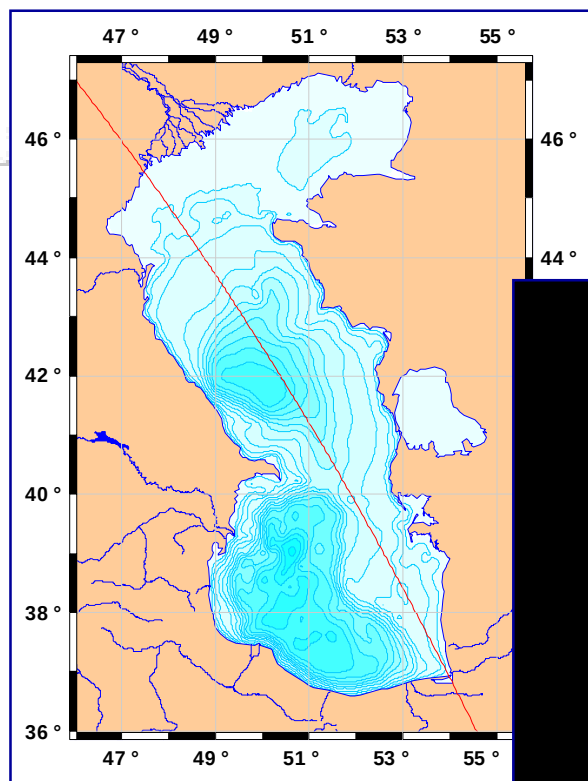
Временная изменчивость средней высоты морской поверхности (м) Каспийского моря вдоль нисходящего трека спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2



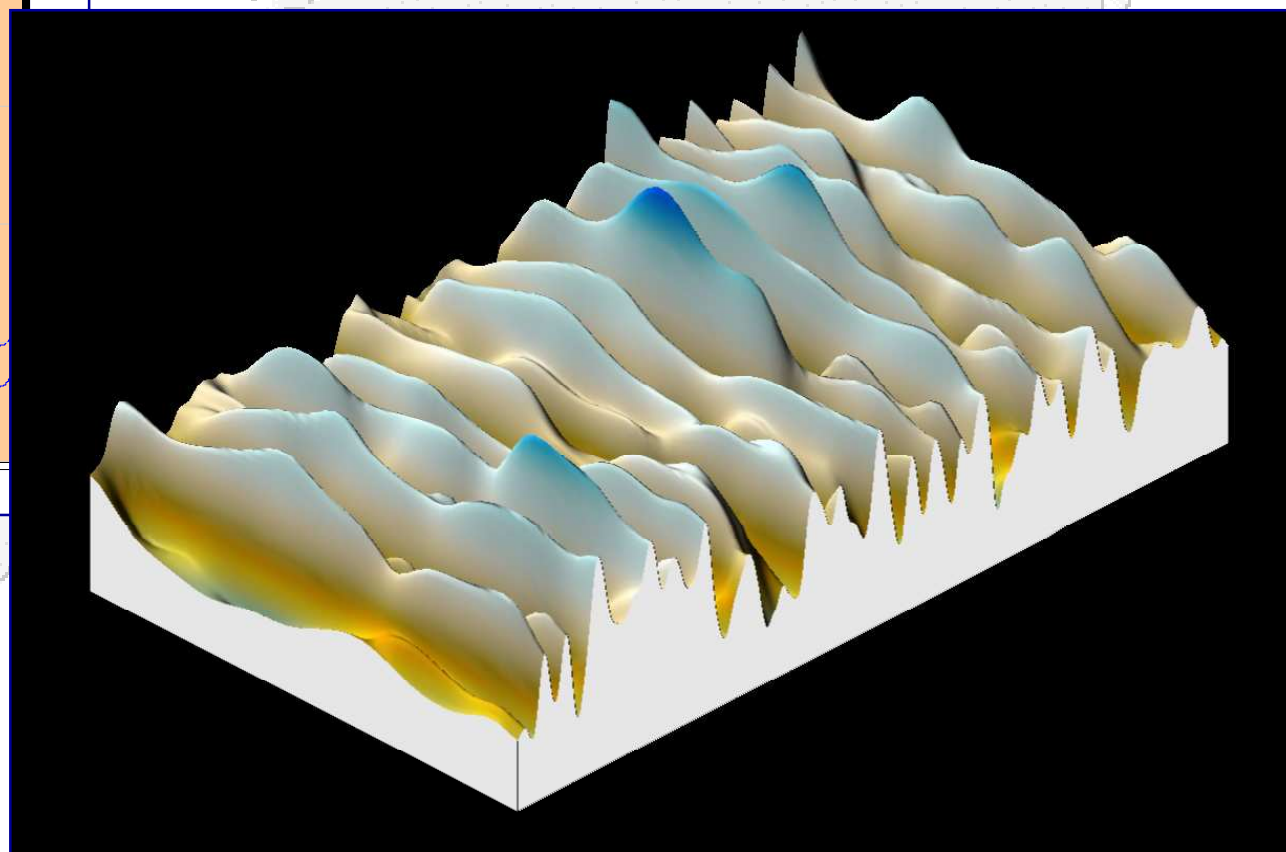
Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.

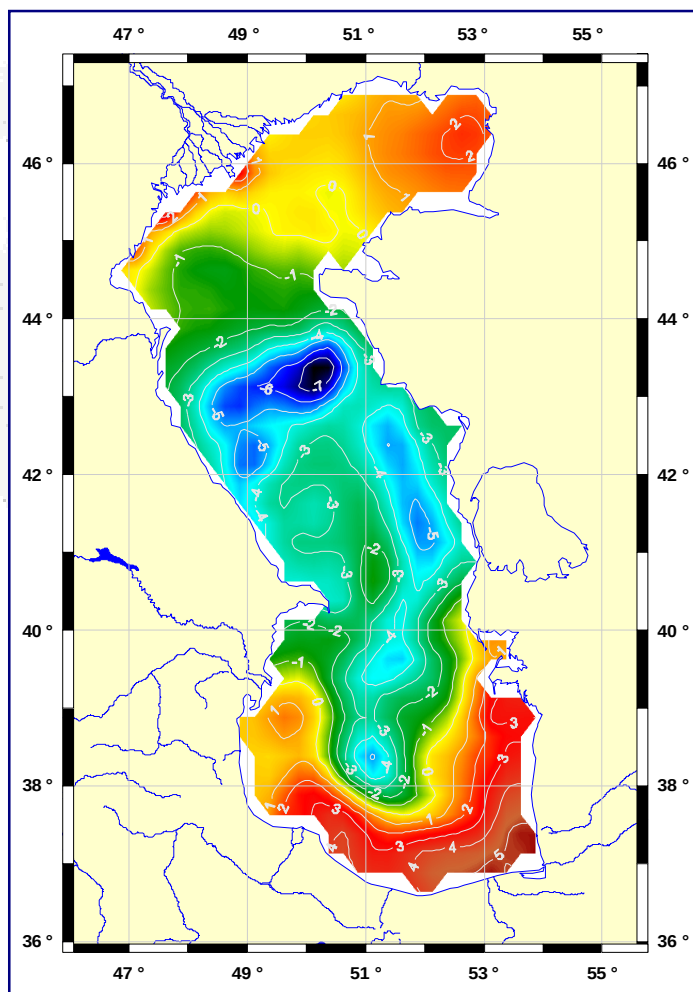
Динамическая топография Каспийского моря



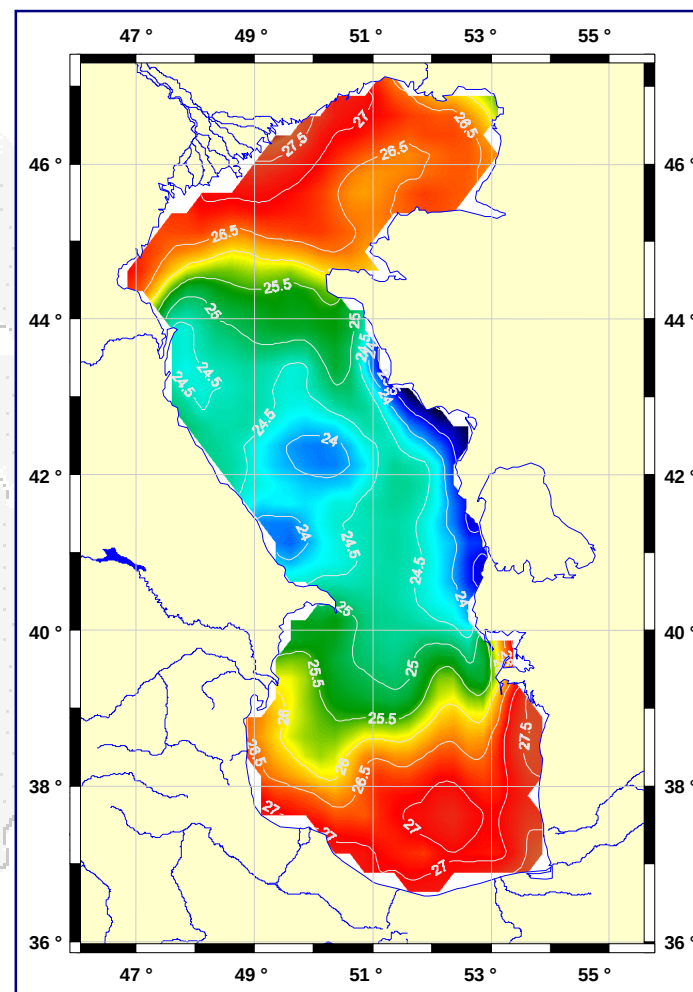
Временная изменчивость аномалий высоты морской поверхности (см) Каспийского моря вдоль нисходящего трека спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2



Динамическая топография Каспийского моря



**Климатическая динамическая топография
(см) Каспийского моря, рассчитанная по
модели ЛПМИ Гидрометцентра РФ**



**Синоптическая динамическая топография
Каспийского моря на 6 июня 2008 по
данным спутниковой альтиметрии**



Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.

Основные источники загрязнения нефтяными углеводородами

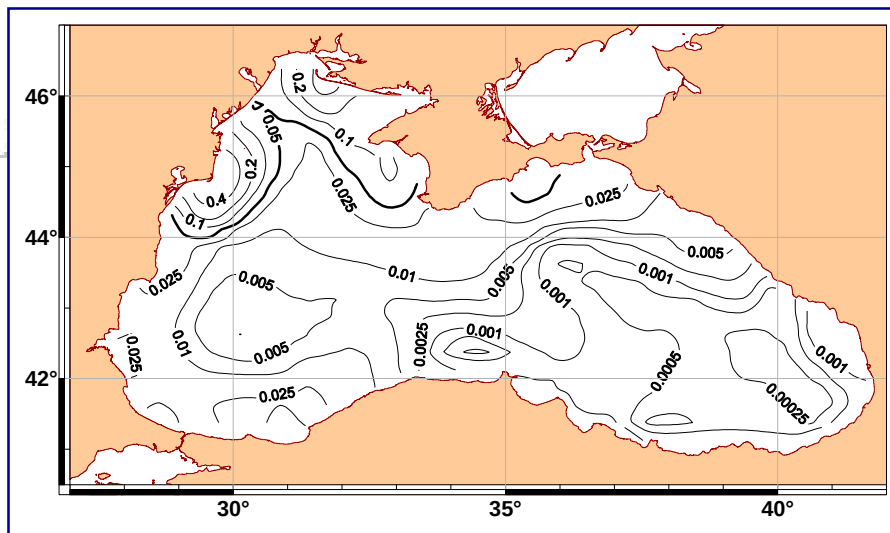
Источники загрязнения	Мировой океан				Черное море		Каспийское море	
	1985		2007					
	тыс, т/год	%	тыс, т/год	%	тыс, т/год	%	тыс, т/год	%
Бытовые и промышленные сточные воды (включая растворенные нефтепродукты, приносимые со стоком рек)	1 080,00	46,35	1 175,00	49,98	127,37	99,85	121,35	86,51
Транспортировка и внештатные ситуации	700,00	30,04	564,00	23,99	0,14	0,11	0,10	0,07
Добыча нефти на шельфе	50,00	2,15	47,00	2,00	-	-	1,23	0,88
Атмосферные осадки	300,00	12,88	306,00	13,02	0,05	0,04	0,35	0,25
Естественные источники	200,00	8,58	259,00	11,02	-	-	17,25	12,30
Общее количество	2 330,00		2 351,00		127,56		140,28	



Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

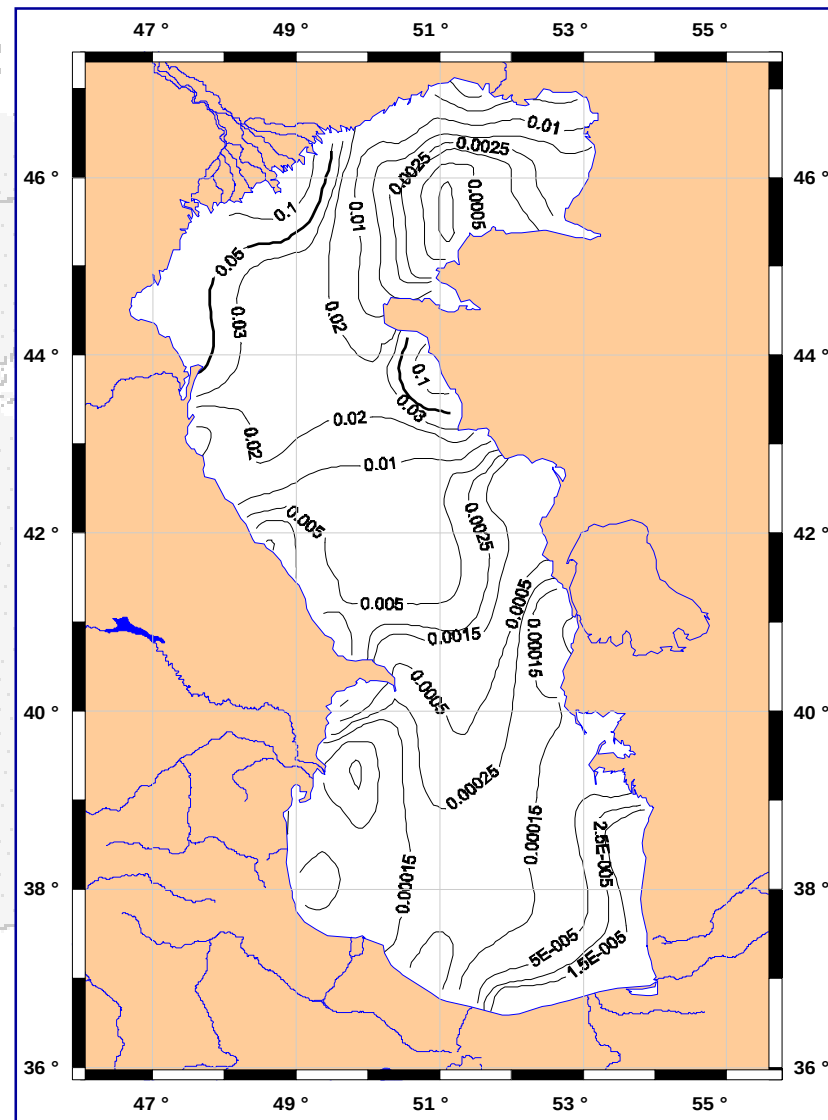
© 2010, Лебедев С.А.

Результаты моделирования



Пространственное распределение фоновой концентрации нефтяных углеводородов по акватории Черного и Каспийского морей, рассчитанное по модели без учета загрязнения связанного с транспортировкой нефти.

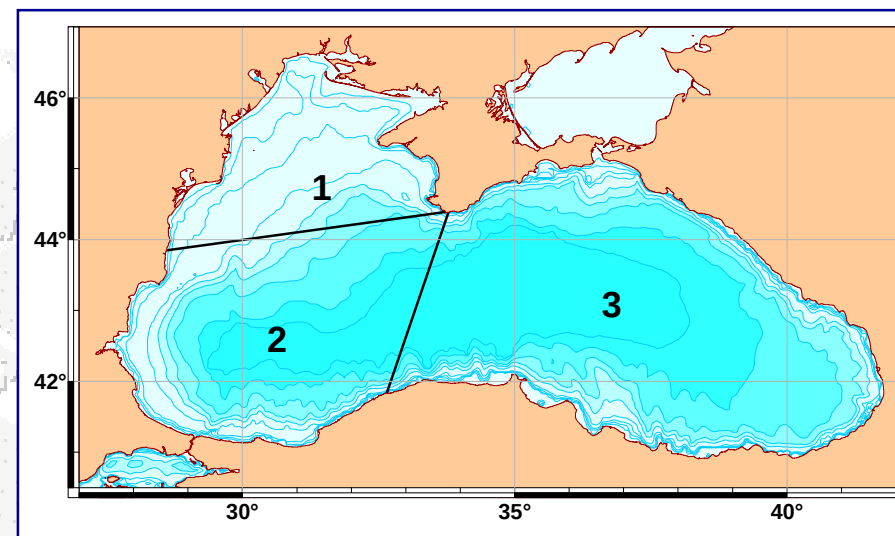
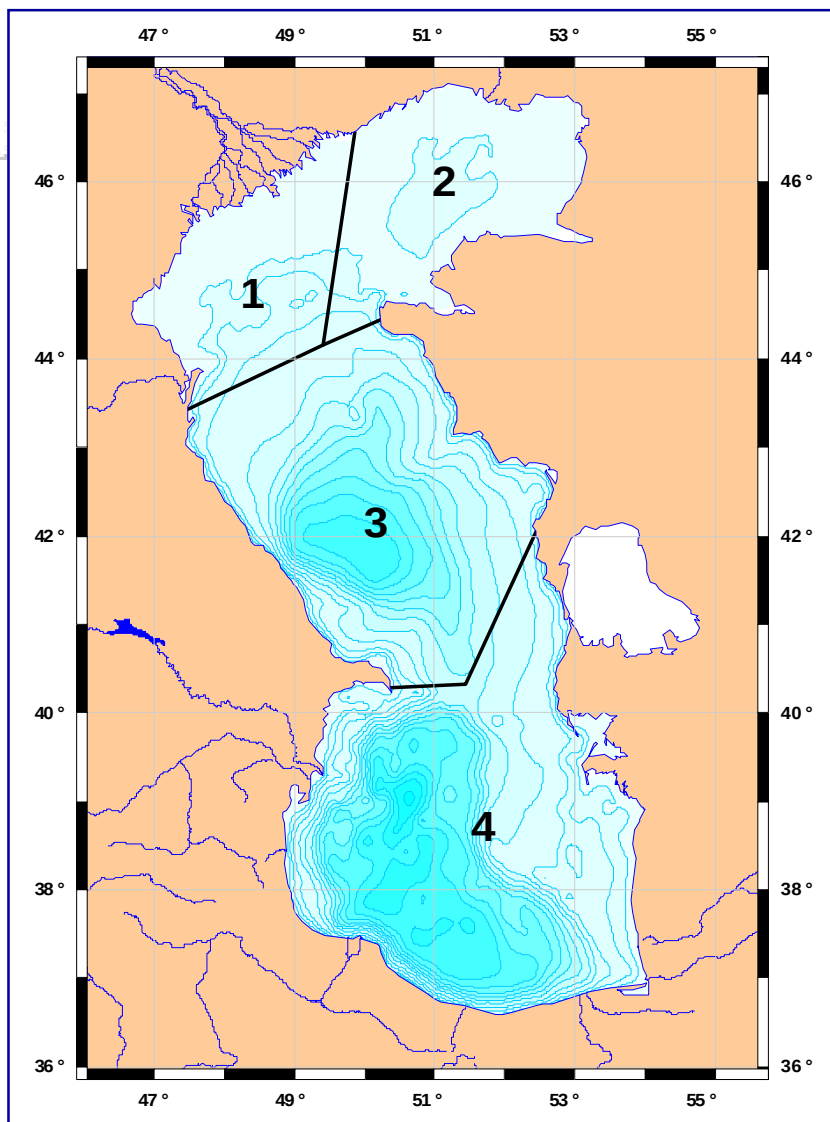
Жирной линией показано значение концентрации равное ПДК



Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.

Результаты моделирования



**Географическое районирование
Каспийского и Черного морей по
концентрации нефтяных углеводородов**



Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.



**Спасибо за
внимание**



Выездной семинар-школа. «Состояние и перспективы мониторинга Мирового океана и морей России по данным дистанционного зондирования и результатам математического моделирования», Таруса, 9-12 июля 2010 г.

© 2010, Лебедев С.А.