

ОТЧЕТ

о проведении Школы молодых ученых и специалистов по оперативной океанологии

А.И.Кубряков, В.Л.Дорофеев

Введение. Согласно планам работ по проекту РНФ «*Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна*» с 20 по 25 ноября 2017 года в ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН» (г. Севастополь) была организована Школа молодых ученых и специалистов по оперативной океанологии. Целью проведения Школы является формирование в России квалифицированного научного сообщества, способного проводить исследования в области прогнозирования изменений морской среды на мировом уровне.

Школа состояла из двух частей: теоретической и практической. Во время теоретической части слушателям были прочитаны лекции по математическому моделированию морской динамики, методам ассимиляции данных наблюдений и оптимизации наблюдательных систем, функционированию современных морских прогностических систем.

Также со слушателями были проведены практические занятия по проведению прогностических расчетов состояния морской среды Черного моря, как для всего бассейна на основе крупномасштабной модели циркуляции, так и в прибрежных зонах моря на основе модели с высоким разрешением.

Дорога, проживание и питание иногородних слушателей и лекторов была оплачена за счет средств гранта.

Программа Школы. Работа Школы проходила ежедневно в течение 5 дней. Один день был посвящен доставке слушателей и лекторов из аэропорта г. Симферополя в Севастополь и размещению их в гостиницах, и один день – доставке в аэропорт г. Симферополя. Ниже приведена Программа Школы.

Программа проведения
Школы молодых ученых и специалистов по оперативной океанологии
20 – 25 ноября 2017г.,
ФГБУН МГИ, г. Севастополь

1 день, 20.11.2017, понедельник

Заезд участников.

2 день, 21.11.2017, вторник

МАЛЫЙ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ

09³⁰ -09⁴⁵–Открытие, вступительные слова

(Руководитель проекта *Кортаев Г.К.*,
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, МГИ РАН, Севастополь)

Лекции

МАЛЫЙ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ

09⁴⁵– 10⁴⁵ –Предмет и задачи оперативной океанологии.

(*Кортаев Г.К.*, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, МГИ РАН, Севастополь)

10⁴⁵ - 11¹⁵ – Перерыв на кофе и консультации с лекторами.

11¹⁵ – 12¹⁵ – Экспериментальный Центр морских прогнозов Черноморского региона.
(Холод А.Л., к.т.н., МГИ РАН, Севастополь)

12¹⁵ – 13⁴⁵ – Перерыв на обед и консультации с лекторами.

АСПИРАНТСКАЯ АУДИТОРИЯ

13⁴⁵ - 14⁴⁵ – Макет системы диагноза и прогноза динамики Черного моря.
Модель циркуляции и методы ассимиляции данных дистанционных измерений. (Дорофеев В. Л., к.ф.-м.н., МГИ РАН, Севастополь)

14⁴⁵ – 15¹⁵ – Перерыв на кофе и консультации с лекторами.

Практические занятия

15¹⁵ - 17³⁰ – Подготовка данных и программного обеспечения. Проведение расчетов для всего бассейна Черного моря без ассимиляции данных.
(Дорофеев В. Л., к.ф.-м.н., Кубряков А.И., д.ф.-м.н., МГИ РАН, Севастополь)

3 день, 22.11.2017, среда

Лекции

МАЛЫЙ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ

09³⁰ – 10⁰⁰ – Математическое моделирование гидродинамики Черного моря с помощью модели NEMO.
(Георгий Шапиро, проф., д.ф.-м.н., Университет Плимута, Великобритания)

10⁰⁰ - 11⁰⁰ – Опыт использования модели NEMO для расчета водообмена через Керченский пролив с применением локального сгущения расчетной сетки.
(Мизюк А.И., к.ф.-м.н., МГИ РАН, Севастополь)

11⁰⁰ – 12⁰⁰ – Перерыв на кофе и консультации с лекторами

12⁰⁰ – 12³⁰ – Механизмы обмена водными массами между шельфом и глубоководной частью Черного моря - интегральный подход.
(Георгий Шапиро, проф., д.ф.-м.н., Университет Плимута, Великобритания)

12³⁰ – 14⁰⁰ – Перерыв на обед и консультации с лекторами.

АСПИРАНТСКАЯ АУДИТОРИЯ

14⁰⁰ - 15⁰⁰ – Моделирование циркуляции в прибрежных морских зонах.
Технология вложенных сеток.
(Кубряков А.И., д.ф.-м.н., МГИ РАН, Севастополь)

15⁰⁰ – 15⁴⁵ – Перерыв на кофе и консультации с лекторами.

Практические занятия

15⁴⁵ – 17¹⁵ – Проведение расчетов для всего бассейна Черного моря с ассимиляцией данных. Подготовка полей для расчетов в прибрежных зонах Черного моря.

(Дорофеев В. Л., к.ф.-м.н., Кубряков А.И., д.ф.-м.н., МГИ РАН, Севастополь)

17¹⁵ – 19¹⁵ – Консультации с лекторами и обсуждение результатов.

4 день, 23.11.2017, четверг

Лекции

МАЛЫЙ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ

09³⁰ – 10³⁰ – Гидродинамическая модель Северной Атлантики и Арктики.

Решение прямых и обратных задач динамики океана с помощью методов расщепления и сопряженных уравнений.

(Залесный В.Б., д.ф.-м.н., ИВМ РАН, Москва)

10³⁰ – 11⁰⁰ – Перерыв на кофе и консультации с лекторами.

11⁰⁰ – 12⁰⁰ – Методы вариационной ассимиляции данных наблюдений для модели гидродинамики океана.

(Шутяев В.П., д.ф.-м.н., ИВМ РАН, Москва)

12⁰⁰ – 13⁰⁰ – Перерыв на обед и консультации с лекторами.

13⁰⁰ – 14⁰⁰ – Оперативные прогнозы в Средиземном море.

(Исаак Гертман, проф., PhD, Институт океанографических и лимнологических исследований, Тель-Шикмона, Израиль).

14⁰⁰ – 14³⁰ – Перерыв на кофе и консультации с лекторами.

Практические занятия

АСПИРАНТСКАЯ АУДИТОРИЯ

14³⁰ – 16⁰⁰ – Проведение расчетов циркуляции в прибрежных зонах Черного моря.

Визуализация результатов расчетов по моделям.

(Дорофеев В. Л., к.ф.-м.н., Кубряков А.И., д.ф.-м.н., МГИ РАН, Севастополь)

16⁰⁰ - 18⁰⁰ – Экскурсия «35 батарея».

5 день, 24.11.2017, пятница

Лекции

МАЛЫЙ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ

09³⁰ - 10³⁰ – Численная гидродинамическая модель Мирового океана.

(Ибраев Р.А., д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, ИО РАН, Москва)

10³⁰ - 11¹⁵ – Перерыв на кофе.

11¹⁵ - 12¹⁵ – Усвоение данных наблюдений в модели динамики океана высокого пространственного разрешения с применением методов параллельного программирования.

(Кауркин М. Н., инженер, ИО РАН, Москва)

12¹⁵ – 13⁴⁵ – Перерыв на обед и консультации с лекторами.

Практические занятия

АСПИРАНТСКАЯ АУДИТОРИЯ

13⁴⁵ – 15⁴⁵ – Применение результатов оперативной океанологии к вопросам безопасности мореплавания и защиты окружающей среды: системы прогноза распространения нефтяных загрязнений и плавающих объектов.
(Кубряков А.А., к.ф.-м.н., Лишаев П.Н., м.н.с., МГИ РАН, Севастополь).

15⁴⁵ - 16¹⁵ – Перерыв на кофе.

МАЛЫЙ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ

16¹⁵ - 17³⁰ – Обсуждение результатов работы, заключительная дискуссия.

6 день, 25.11.2017, суббота

Отъезд

Список лекторов. Для чтения лекций и проведения тренинга были привлечены ведущие специалисты России, Великобритании и Израиля в области оперативной океанологии.

Лекторы:

1. Гертман Исаак (проф., PhD, Институт океанографических и лимнологических исследований, Тель-Шикмона, Израиль),
2. Дорофеев В.Л. (к.ф.-м.н., ФГБУН МГИ, Севастополь),
3. Залесный В.Б. (д.ф.-м.н., ИВМ РАН, Москва),
4. Ибраев Р.А. (д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, ИО РАН, Москва),
5. Кауркин М.Н. (инженер, ИО РАН, Москва),
6. Коротаев Г.К. (д.ф.-м.н., чл.-корр., ФГБУН МГИ, Севастополь),
7. Кубряков А.И. (д.ф.-м.н., ФГБУН МГИ, Севастополь),
8. Кубряков А.А. (к.ф.-м.н., ФГБУН МГИ, Севастополь)
9. Мизюк А.И. (к.ф.-м.н., ФГБУН МГИ, Севастополь),
10. Холод А.Л. (к.т.н., ФГБУН МГИ, Севастополь),
11. Шапиро Г. (проф., д.ф.-м.н., Университет Плимута, Великобритания),
12. Шутяев В.П. (д.ф.-м.н., ИВМ РАН, Москва).

Список слушателей. Слушатели Школы – это 21 человек: молодые ученые и специалисты из 10 организаций и 6 городов России. 11 иногородних слушателей были отобраны по результатам заочного конкурса на основе специально разработанной анкеты. Конкурс составлял 2.5 заявки на 1 место. Бланк анкеты приведен в Приложении 1 к настоящему отчету.

Отобранные слушатели:

1. Багатинский Владислав Андреевич (студент МГУ, 2 курс магистратуры, Москва)Березина Анфиса Владимировна (студент магистратуры, РГГМУ, Санкт-Петербург)
2. Волкова Валентина Валерьевна (студент, МГУ, Москва)
3. Волощук Екатерина Васильевна (м.н.с., РГГМУ, Санкт-Петербург)
4. Громов Игорь Владимирович (асп. МФТИ, Москва)
5. Дриго Илья Вячеславович (студент МГУ, Москва)
6. Захарова Наталья Борисовна (научный сотрудник, ИВМ РАН, Москва)

7. Иванчик А.М. (инженер-исследователь, МГИ РАН, Севастополь)
8. Кальницкий Леонид Юрьевич (студент МФТИ, Москва)
9. Кораблина Анастасия Дмитриевна (аспирант МГУ, Москва)
10. Лишаев Павел Николаевич (м.н.с., МГИ РАН, Севастополь)
11. Лукьянова Анна Николаевна (м.н.с., МГИ РАН, Севастополь)
12. Максимовская Татьяна Михайловна (стажер-исследователь, ММБИ КНЦ РАН, Мурманск)
13. Марьина Евгения Николаевна (старший инженер, ТОИ, Владивосток)
14. Наумов Лев Максимович (студент РГГМУ, Санкт-Петербург)
15. Пузина Оксана Сергеевна (инженер-исследователь, МГИ РАН, Севастополь)
16. Ростилев Даниил Анатольевич (студент МехМат МГУ, Москва)
17. Сендеров Максим Владимирович (старший инженер, МГИ РАН, Севастополь)
18. Файзиева Камила Алишеровна (студент магистратуры, ИГН ТИУ, Тюмень)
19. Червякова Нина Владимировна (начальник лаборатории, ГНИНГИ, Санкт-Петербург)
20. Шармар Виталий Дмитриевич (аспирант ИО РАН, Москва)

Тренинг-класс. Для проведения практических занятий был оборудован тренинг-класс. С этой целью были приобретены 10 компьютеров с мониторами и мебель (столы и стулья). На всех компьютерах было установлено программное обеспечение для проведения расчетов и визуализации результатов, необходимое для практических занятий.

Теоретические занятия. Теоретические занятия включали 14 лекций:

- Предмет и задачи оперативной океанологии.
- Экспериментальный Центр морских прогнозов Черноморского региона.
- Макет системы диагноза и прогноза динамики Черного моря.
- Модель РОМ циркуляции Черного моря и методы ассимиляции данных дистанционных измерений.
- Математическое моделирование гидродинамики Черного моря с помощью модели NEMO.
- Опыт использования модели NEMO для расчета водообмена через Керченский пролив с применением локального сгущения расчетной сетки.
- Механизмы обмена водными массами между шельфом и глубоководной частью Черного моря - интегральный подход.
- Моделирование циркуляции в прибрежных морских зонах. Технология вложенных сеток.
- Гидродинамическая модель Северной Атлантики и Арктики. Решение прямых и обратных задач динамики океана с помощью методов расщепления и сопряженных уравнений.
- Методы вариационной ассимиляции данных наблюдений для модели гидродинамики океана.
- Оперативные прогнозы в Средиземном море.
- Численная гидродинамическая модель Мирового океана.
- Усвоение данных наблюдений в модели динамики океана высокого пространственного разрешения с применением методов параллельного программирования.
- Применение результатов оперативной океанологии к вопросам безопасности мореплавания и защиты окружающей среды: системы прогноза распространения нефтяных загрязнений и плавающих объектов.

Практические занятия. Во время практических занятий слушатели самостоятельно на основе численных моделей циркуляции проводили расчеты, имитирующие функционирование системы диагноза и прогноза Черного моря, включающие в себя подготовку необходимых данных, проведение собственно расчетов, визуализацию и анализ полученных результатов. Для слушателей была разработана Инструкция, содержащая сведения о моделях и данных, используемых для этих расчетов, и регламентирующая правила их проведения. Инструкция приведена в Приложении 2 к настоящему отчету. На практических занятиях слушатели:

- подготовили на компьютерах среду для расчетов по глобальной модели циркуляции Черного моря;
- подготовили массивы данных топографии дна, начальных и граничных условий для расчетов по глобальной модели;
- подготовили необходимые файлы управляющих параметров модели;
- подготовили массивы данных спутниковых измерений температуры поверхности моря и альтиметрических данных для ассимиляции в модели циркуляции;
- установили пакет программ GrADS для визуализации результатов расчета;
- провели прогностические расчеты по глобальной модели без ассимиляции данных;
- провели прогностические расчеты по глобальной модели с ассимиляцией данных;
- подготовили на компьютерах среду для расчетов по локальной модели с высоким разрешением;
- провели прогностические расчеты по глобальной модели с выводом массивов данных для расчетов по локальным моделям;
- провели прогностические расчеты по локальным моделям для произвольно выбранных прибрежных районов Черного моря;
- рисовали распределения полученных результатов на картах, разрезах и графиках;
- проводили анализ полученных результатов.

Отчеты слушателей. По окончании практических занятий слушатели подготовили краткие отчеты о полученных результатах. Примеры нескольких отчетов приведены в Приложении 3 к настоящему отчету.

Заключение. С целью оценки эффективности и результативности Школы была разработана анонимная анкета для слушателей. Бланк анкеты приведен в Приложении 4 к настоящему отчету. На заключительном занятии проведен анализ проведенного анкетирования, обсуждены результаты работы Школы и вручены слушателям сертификаты об участии в Школе. Бланк сертификата приведен в Приложении 5 к настоящему отчету.

Анкета конкурсного отбора слушателей

1. ФИО
2. Дата рождения
3. Место работы и должность
4. С какого времени работаете в данной организации
5. Научные интересы
6. Как Вы представляете себе задачи оперативной океанологии
7. Список основных публикаций (если имеются)
8. Согласие на обработку персональных данных.

Краткая инструкция по проведению прогностических расчетов состояния Черного моря на основе использования численных моделей циркуляции.

Содержание

Введение.

I. Описание моделей и данных

1. Модели циркуляции.
2. Данные.

II. Глобальная модель циркуляции.

1. Параметры модели.
2. Установка модели.
3. Начальные и граничные данные.
4. Задание управляющих параметров.
5. Результаты расчета и их визуализация.

III. Локальная модель с высоким разрешением.

1. Область моделирования
2. Установка модели.
3. Начальные и граничные условия.
4. Запуск модели и задание управляющих параметров.
5. Результаты расчета и их визуализация.

IV. Установка пакетов прикладных программ для визуализации результатов расчетов.

1. GrADS.
2. Golden Software.

Введение.

Разработка и создание междисциплинарных систем, позволяющих подобно метеорологическим системам диагноза и прогноза погоды, оперативно контролировать и прогнозировать состояние морской среды, является одной из основных задач нового бурно развивающегося направления физической океанографии - оперативной океанологии. В настоящее время оперативная океанология является разделом науки об океане, который на регулярной основе делает доступными данные наблюдений и моделирования высокого качества как для фундаментальных исследований, так и для практических приложений.

В основе всех систем мониторинга морской среды лежит идея использования данных наблюдений, в первую очередь данных дистанционного зондирования с ИСЗ, в численных моделях циркуляции морей и океанов. Численные модели, используя данные измерений для задания граничных условий, инициализации и ассимиляции, способны не только восстановить трехмерную структуру морской среды, но и прогнозировать изменение ее состояния. В задачах диагноза и прогноза циркуляции и состояния вод Мирового океана математическое моделирование играет решающую роль.

Реализация оперативной океанографии все еще находится на стадии становления для многих бассейнов Мирового океана и прибрежных морских районов. Для Черного моря в Морском гидрофизическом институте была разработана оперативная система, позволяющая осуществлять непрерывный мониторинг гидрофизических полей. Система эксплуатируется Экспериментальным Центром морских прогнозов Черноморского региона, который осуществляет диагноз и прогноз динамики и экосистемы Черного моря с учетом и ассимиляцией спутниковых и метеорологических данных, поступающих из разных источников и несущих информацию о внешнем воздействии на морскую среду.

Во время работы Школы молодых ученых и специалистов по оперативной океанологии слушателям будут прочитаны лекции о предмете, задачах и методах оперативной океанологии, о современных математических моделях циркуляции, о методах ассимиляции данных, ознакомят с принципами работы Экспериментального Центра морских прогнозов Черноморского региона.

Во время практических занятий слушатели самостоятельно на основе численных моделей циркуляции проведут расчеты, имитирующие функционирование системы диагноза и прогноза Черного моря, включающие в себя подготовку необходимых данных, проведение собственно расчетов, визуализацию и анализ полученных результатов.

Настоящая инструкция содержит сведения о моделях и данных, используемых для этих расчетов, и регламентирует правила их проведения.

I. Описание моделей и данных

1. Модели циркуляции.

В основе макета системы диагноза и прогноза динамики Черного моря лежат две модели циркуляции: глобальная модель (ГМ), описывающая циркуляцию во всем Черном море с фиксированным пространственным разрешением, и локальная модель (ЛМ), описывающая циркуляцию в произвольной акватории моря с заданным, более высоким, пространственным разрешением.

Обе модели представляют собой версии модели циркуляции Принстонского университета – POM (Princeton Ocean Model) [1].

Модель POM основана на полной системе уравнений термогидродинамики океана со свободной поверхностью, включающей уравнения сохранения количества движения и массы для неоднородной вязкой несжимаемой турбулентной жидкости в приближении Буссинеска и гидростатики, уравнение состояния и уравнений для температуры и солёности. Применяемая конечно-разностная схема обладает вторым порядком точности по времени и по пространству и сохраняет массу, температуру, солёность, энергию и импульс.

Модель POM (и её версии или «клоны») на сегодняшний день является одной из самых распространенных моделей циркуляции среди океанографического сообщества. Со времени появления в начале 90-х годов прошлого века Всемирной сети (World Wide Web) модель POM стала одной из первых моделей циркуляции, код которой был в свободном доступе в интернете. Это привело к беспрецедентному росту числа пользователей модели от первоначального десятка человек из США до более 1000 человек в 2000 году из самых разных стран. На конец октября 2017 года число зарегистрированных пользователей насчитывало более 5700 человек из 70 стран. Обратная связь разработчиков модели с пользователями способствовала непрерывному усовершенствованию кода модели. Разработанная первоначально для прибрежных районов океана модель POM расширила затем свое применение на Средиземное море и впоследствии на Атлантический океан для климатических исследований. Кроме того, в настоящее время функционируют оперативные системы морских прогнозов, в основе которых лежит модель POM, для различных областей Мирового океана: для Мексиканского залива, акватории Гольфстрима, залива Мэн и др.

Также среди современных моделей циркуляции насчитывается большое число версий модели POM (в англоязычной литературе POM-based models), т.е. моделей, использующих основные положения и алгоритмы реализации модели.

Основными отличительными особенностями модели POM являются:

- использование полной, так называемой «примитивной», системы уравнений гидродинамики океана со свободной поверхностью;
- использование σ -координаты по вертикали;
- применение сетки C по терминологии Аракавы при конечно-разностной аппроксимации уравнений модели по горизонтали;
- использование алгоритма разделения по модам, так что решение ищется отдельно для бароклинной и баротропной мод;
- параметризация вертикального турбулентного перемешивания с помощью встроенной модели турбулентности Меллора-Ямады [2].

Открытый, достаточно хорошо структурированный, код модели дает возможность пользователю разрабатывать версии модели POM, в которых используются аппроксимации тех или иных членов уравнений, численные схемы, параметризации и пр., отличные от оригинальных. Это позволяет (наряду с возможностью добавления дополнительных модулей/подмоделей для описания тех или иных физических процессов), сохранив основные преимущества модели, существенно расширить круг решаемых с её помощью задач.

Обе модели - ГМ и ЛМ - адаптированы к бассейну Черного моря, используют реальные очертания береговой линии и топографию дна (Рис.1). В ГМ инкорпорированы процедуры ассимиляции спутниковых данных о поверхностной температуре и альтиметрии.

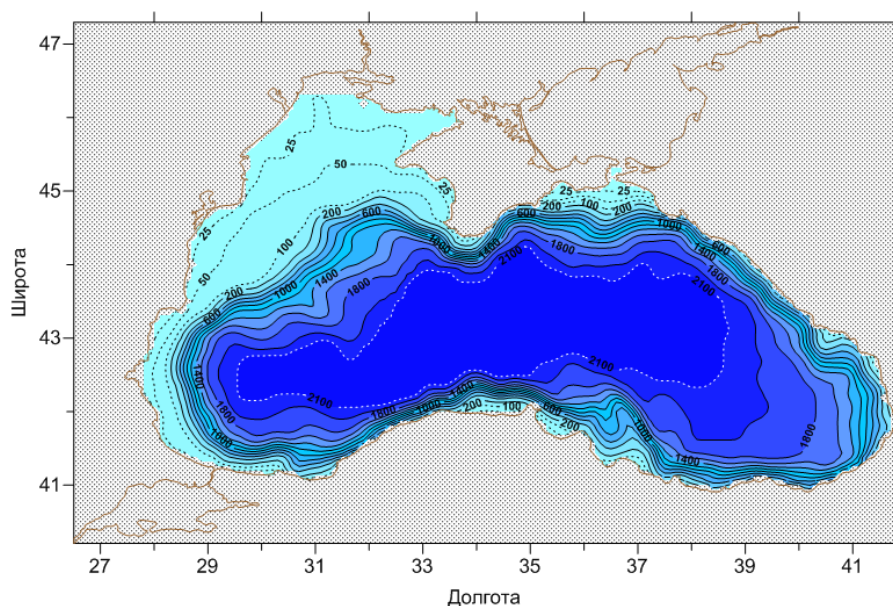


Рис. 1 Конфигурация и топография дна (м) Черного моря.

ЛМ используется для расчета циркуляции с высоким разрешением в произвольных прибрежных акваториях на основе технологии вложенных сеток. При этом используется так называемый пассивный, односторонний метод вложенных сеток в режиме off-line, который обеспечивает передачу необходимой информации через открытую жидкую границу из ГМ в ЛМ. ГМ используется для инициализации ЛМ, которая принципиально определяется динамикой полей ГМ, и обеспечения необходимых граничных полей с заданной частотой по времени. Использование ЛМ позволяет повысить пространственное разрешение с 5 км в ГМ до диапазона 0,5-1 км для областей шельфа.

2. Данные.

Альтиметрические данные, используемые для ассимиляции, представляют собой вдольтрековые измерения аномалий возвышения свободной поверхности относительно средней топографии. Важным моментом процедуры ассимиляции является преобразование аномалий в высоту динамической топографии. Измерения, выполненные со всех спутников, помещаются в один массив и располагаются по возрастанию времени. В модели циркуляции средний по площади бассейна уровень моря равен нулю. В то же время, средний уровень Черного моря меняется в соответствии с водным балансом. Это изменчивость среднего уровня входит в измеренные значения аномалий SLA. Для того, чтобы устранить это влияние при ассимиляции из данных вычиталось текущее скользящее среднее за месячный интервал (ранее показано, что сигнал уровня Черного моря, вызванный компонентами водного баланса, с большой точностью однороден по пространству). Полученные таким образом величины прибавлялись к средней динамической топографии в соответствующих точках, в результате чего получались возвышения свободной поверхности, которые усваивались в модели циркуляции. Средняя динамическая топография была получена на основе результатов реанализа 1993-2012 годов путем осреднения.

Ассимилируемые данные спутниковых измерений температуры поверхности моря (ТПМ) представляют собой двумерные массивы с дискретностью в одни сутки. Аномалии уровня и измерения ТПМ брались с WEB-портала COPERNICUS.

II. Глобальная модель циркуляции.

1. Параметры модели.

Модельная область показана на рис.1. Максимальная глубина составляет 2150 м. Область покрыта сеткой с разрешением по горизонтали около 4.8 км (236 x 130 узлов). По вертикали используется неравномерная сетка, насчитывающая 36 "сигма"-уровней. Шаг по времени для бароклинной моды равен 10 мин., для баротропной - 6 сек., так что 1 расчетный день состоит из 144шагов бароклинной моды.

2. Инсталляция модели.

Для инсталляции ГМ необходимо создать директорию, куда поместить файлы «opersystem.exe» и «param.txt». Первый файл выполняет расчет по модели, второй содержит управляющую информацию. Кроме того, необходимо создать директории (можно скопировать с FTP-сервера) «02», «05», «12», «altim», «input», «meteo», «Nest», «SST». В директорию «02» записываются интегральные результаты расчета: средние по объему плотность кинетической энергии течений, температура, соленость и поверхностные температура и соленость. Директория «05» содержит вспомогательные файлы для ассимиляции спутниковой альтиметрии. В директорию «12» записываются результаты расчетов в виде двумерных и трехмерных массивов. Во время работы программы формируются также описательные файлы для визуализации результатов расчетов. Директория «altim» содержит данные альтиметрии, куда их нужно поместить с FTP-сервера. Директория «input» содержит ряд файлов, необходимых для работы модели, кроме того в нее нужно поместит файл с начальными условиями (скопировать с FTP-сервера). Директория «SST» содержит спутниковые измерения ТПМ, которые нужно скопировать с FTP-сервера. Директория «Nest» используется для работы с региональной модели – записывает необходимые данные. В случае использования в файл «geography» записываются границы области: минимальная и максимальная долгота, минимальная и максимальная широта.

3. Начальные и граничные данные.

Файл с начальными полями YYYYMMDD_fields копируется с FTP-сервера в директорию «input».

В качестве граничных условий на свободной поверхности используются параметры атмосферы на поверхности моря, взятые с FTP-сервера SKIRON. Затем они были подготовлены для использования в модели. Для проведения расчетов необходимо скачать в директорию «meteo» соответствующие файлы. Они имеют формат YMMDDHH.dat

4. Задание управляющих параметров.

Управление расчета осуществляется с помощью параметров, содержащихся в файле «param.txt»:

“dat” - начальная дата (ууууymmdd) расчета;

“nread” – параметр рестарта: nread=0 расчет от начальных полей, nread=1 расчет с промежуточного файла “restart”;

“idays” – длина расчета в днях;

“irest” – частота записи промежуточных результатов “restart” файл;

“ioutint” - частота записи в файл “02\out.dat” некоторых интегральных параметров;

“iav” - длина интервала (в шагах) осреднения результатов расчетов;

“ioutf” - частота выдачи результатов в директорию “12”;

“nsst” – параметр ассимиляции ТПМ, nsst=1 - есть ассимиляция, nsst=0 – расчет без ассимиляции;

“nas” - параметр ассимиляции альтиметрии, nas=1 - есть ассимиляция, nas=0 – расчет без ассимиляции;

“nest” – параметр для записи данных для региональной модели, nest=1 – выполняется запись, nest=0 - нет.

“lnest” – частота (в шагах) записи данных для региональной модели.

5. Результаты расчета и их визуализация.

Основные результаты расчетов записываются в директорию «12» в виде файлов в двоичном формате, в которых содержатся все массивы данных. Для визуализации результатов удобно использовать пакет прикладных программ GrADS.

III. Локальная модель с высоким разрешением.

1. Область моделирования

ЛМ может быть адаптирована к любой области Черного моря. Для этого следует задать координаты, ограничивающие выбранную область, и частоту выдачи необходимых данных из ГМ в ЛМ, задав необходимые значения параметров *nest* и *lnest* при расчете по ГМ в соответствии с п.4 раздела II настоящей инструкции. В число выходных данных ГМ будут входить 2 файла, необходимых для ЛМ:

1) файл "Reg-data" в двоичном формате, содержащий начальные и граничные поля для ЛМ;

2) файл "regparam" в формате ASCII.

Файл "regparam" содержит 4 строки. В первой и во второй строке содержатся вычисленные в ГМ номера линий сетки ГМ, соответствующих координатным линиям, ограничивающим выбранную область (по долготе и широте соответственно), которые были заданы при запуске ГМ.

В третьей строке содержится имя файла начальных и граничных значений - "Reg-data".

Четвертая строка содержит дату начала расчета в формате пакета прикладных программ GrADS.

2. Инсталляция ЛМ.

Для инсталляции ЛМ следует создать папку, куда скопировать 2 вышеупомянутых файла "Reg-data" и "regparam", затем 2 файла с флэшки - файл топографии дна "depth-v.grd" и исполнимый файл "regmod.exe", и создать в этой папке 2 папки - "results" и "resultsG".

3. Начальные и граничные данные.

Файл "Reg-data" содержит начальные поля температуры, солености и скорости течений, поля атмосферного воздействия - касательного напряжения трения ветра, потока тепла, осадков и испарения, а также данные о температуре, солености, скорости течений и уровня морской поверхности на жидких границах области с заданным ранее при запуске ГМ временным интервалом.

4. Запуск модели и задание управляющих параметров.

Для запуска модели следует в выбранной папке стартовать файл "regmod.exe".

По мере выполнения файла на экране появятся сообщения, требующие ввода ряда управляющих параметров:

1) *idiv* - на сколько частей будет делиться шаг ГМ вдоль широты;

2) *jdiv* - на сколько частей будет делиться шаг ГМ вдоль долготы;

3) *nread* - "0", если расчет выполняется сначала, "1" - если расчет продолжается с файла "restart";

4) *tfreq* - частота ввода (в минутах) файлов граничных значений, *tfreq* = *lnest* (см. п.4 раздела II);

5) *days* - промежуток времени прогноза (сутки);

6) *prtd1* - частота вывода результатов расчета (сутки);

7) *dte* - шаг по времени для баротропной моды. Это самый трудный шаг. К сожалению, готовых рецептов для выбора этого параметра нет. По крайней мере, можно попытаться

оценить его значение на основе условия вычислительной устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви (CFL). В любом случае можно ввести любое значение, и когда начнется счет, будет указано максимально рекомендуемое значение этого временного шага ("dte-min") на экране, и если предварительно установленный шаг будет большим, чем "dte-min" программа остановится, можно запустить её вновь, изменив значение "dte".

Программа начнет счет, во время которого на экран будет выводиться информация о выполнении вычислений и значения некоторых расчетных параметров модели.

5. Результаты расчета и их визуализация.

Результаты расчета состоят из следующих файлов, расположенных в исходной папке:

- 6 служебных файлов-дескрипторов *.ctl для визуализации результатов в пакете прикладных программ GrADS: ro.ctl – для плотности морской воды; s.ctl – для солёности; t.ctl – для температуры; uv.ctl – для горизонтальных компонент скорости течений; w.ctl – для вертикальной компоненты скорости течений; wndlev.ctl – для касательного напряжения ветра и уровня моря.

- Файлы маски области (1-вода, 0 –суша): idum.dat - для зональной компоненты скорости течений; idvm.dat - для меридиональной компоненты скорости течений; ifsm.dat - для температуры, солёности и уровня моря.

- Файл kinenerg.dat , содержащий в своих колонках некоторые интегральные характеристики: средних по объёму бассейна плотности кинетической энергии, температуры и солёности, среднего по площади уровня моря, и т.д. В первой колонке - время в сутках, так что возможно рисовать графики изменений во времени этих характеристик.

- Файл s_depth1.dat, содержащий "сигма"-уровни ГМ;
- Файл s_depth2.dat содержащий "сигма"-уровни ЛМ;
- Файл restart для продолжения счета.

В папке “resultsg” содержатся файлы в двоичном формате:

- Файл out2d.dat касательного напряжения ветра и уровня моря;
- Файл ro.dat плотности морской воды;
- Файл s.dat солёности;
- Файл t.dat температуры;
- Файл uv.dat горизонтальных компонент скорости течений;
- Файл w.dat вертикальной компоненты скорости течений.

Папка “results” содержит файлы в формате пакета прикладных программ Golden Software for Windows system (*.grd). Имя каждого файла состоит из трех частей: первая часть - имя параметра, например, “heat_flux” - поток тепла на поверхности, “s”-солёность, “Pr-Ev” - осадки минус испарение и т.д.; вторая часть состоит из 4-х чисел, которые обозначают глубину в метрах; третья часть также состоит из 4-х чисел, которые обозначают время в часах.

Для двумерных массивов вторая часть имени отсутствует, например, "FREE_SURF_EXT_0024.grd - уровень моря через 24 часа, PSIFROM_V - функция тока, AVERAGE_u_0024 и AVERAGE_v_0024 -зональная и меридиональная составляющие средней по глубине скорости течений соответственно через 24 часа.

Визуализацию файлов из папки “resultsg” следует производить, используя пакет прикладных программ GrADS, а из папки “results”, используя программы Surfer и Grapher пакета прикладных программ Golden Software for Windows.

IV. Инсталляция пакетов прикладных программ для визуализации результатов расчетов.

1. GrADS.

Пакет Grid Analysis and Display System (GrADS) является мощным и удобным инструментом для визуализации разного рода геофизических, метеорологических и океанографических данных. Формат данных может быть двоичным, , GRIB, NetCDF, или HDF-SDS (Scientific Data Sets).

GrADS является свободно распространяемым пакетом. Соответствующую версию (для Linux или для Windows) можно выгрузить из сети Интернет и установить на своем компьютере (<http://www.iges.org/grads/downloads.html>).

2. Golden Software.

GRAPHER (2-D graphing system) и SURFER (surface mapping system) of Golden Software, Inc. - программы для Windows систем и являются коммерческими.

Литература.

1. Blumberg A.F., Mellor G.L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in Three-Dimensional Coastal Ocean Models, ed. by N.Heaps, American Geophysical Union, Washington, D.C., Vol. 4, 1987,1-16
2. Mellor G.L., Yamada T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems // Reviews of Geophysics and Space Physics. –1982. – Vol. 20. – P.851–875

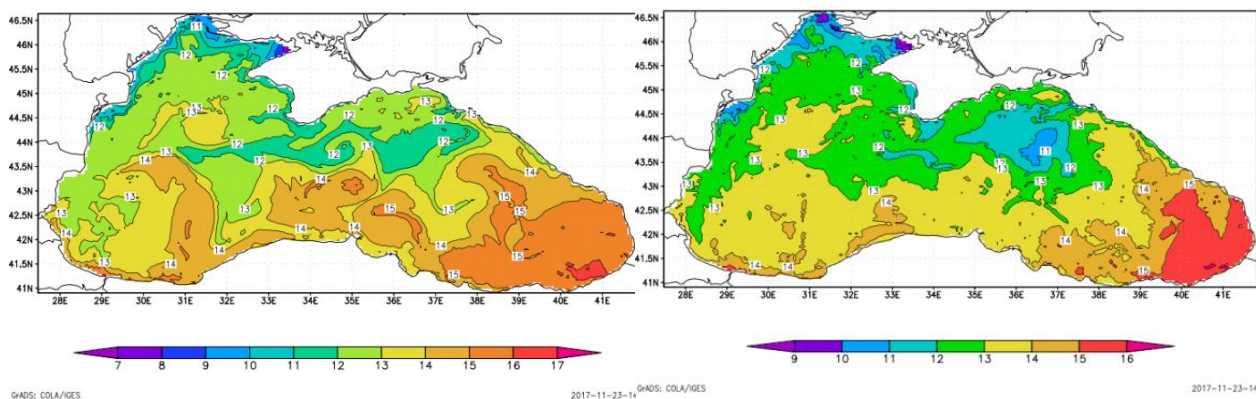
Авторы инструкции: *Кубряков А.И.*
Дорофеев В.Л.

ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН

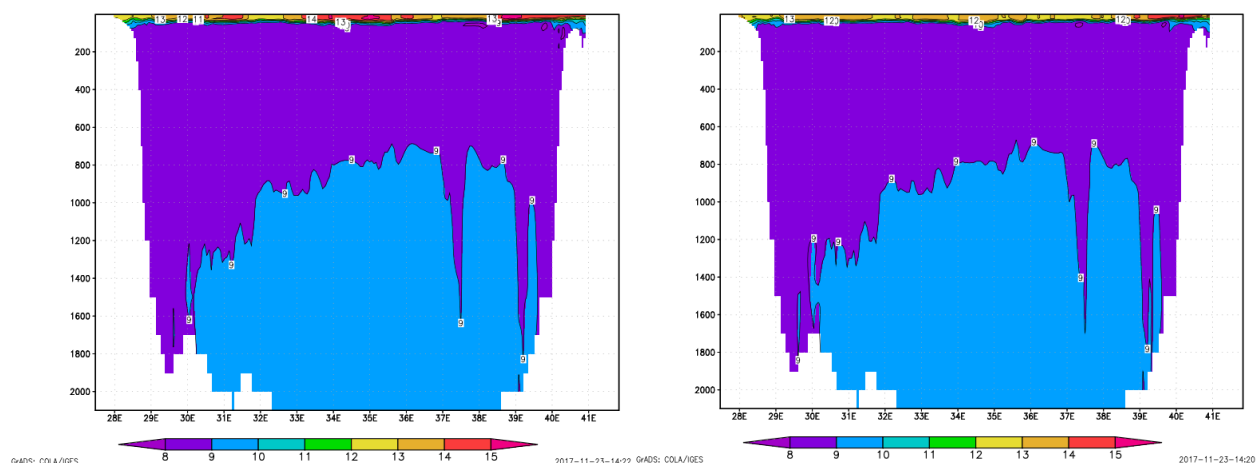
Отчет Максимовской Т.М.

Проведение расчетов для всего бассейна Черного моря и прибрежной области без и с ассимиляцией данных

В ходе работы были построены карты распределения температуры, солёности, плотности, скорости и направления течений по расчетам глобальной модели для Черного моря без и с ассимиляцией данных на горизонтах 2.5, 10, 100, 1000 м.



Температура поверхности моря при двух вариантах работы модели имеет некоторые различия как в диапазоне изменчивости характеристики, так и в распределении значений по акватории.



Разрез температуры вод вдоль 43°с.ш. на 9 день прогноза по расчетам с ассимиляцией натурных данных и без нее имеет схожий характер.

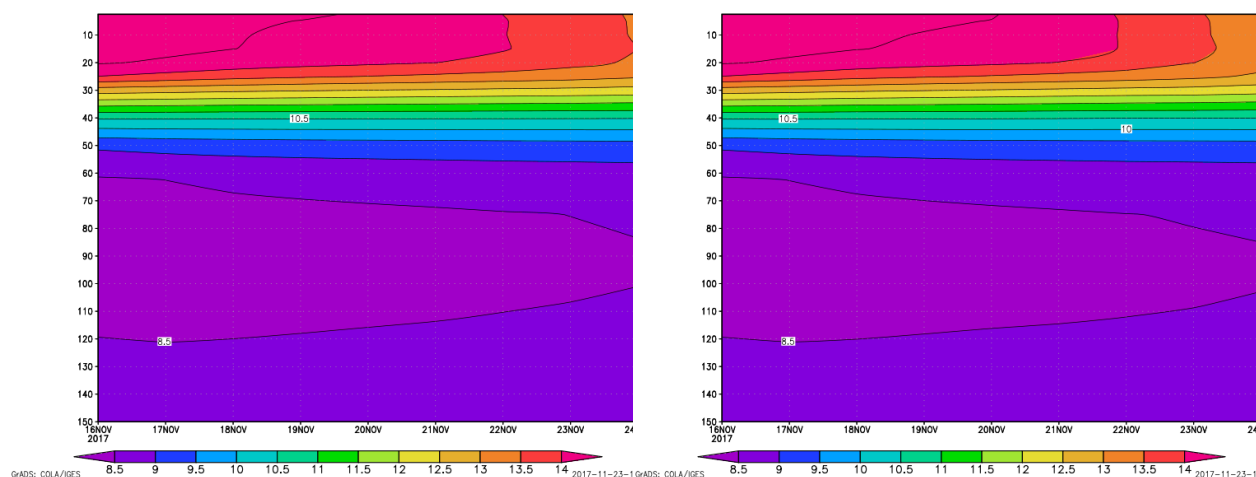


Рис. 3. - Изменчивость температуры по времени а) расчет без ассимиляции, б) расчет с ассимиляцией

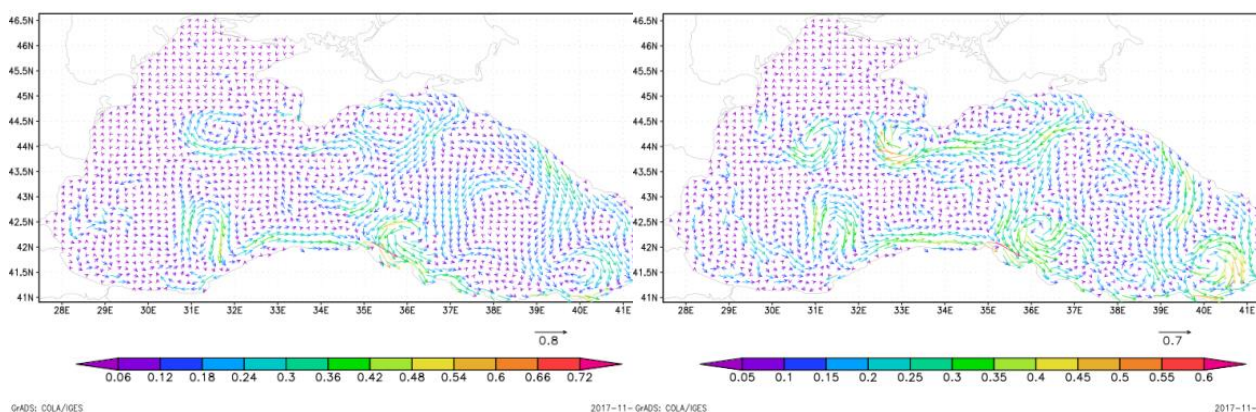


Рис.4. – Изменчивость направления и скорости течения на поверхности Черного моря а) расчет без ассимиляции, б) расчет с ассимиляцией

Общая распределение скорости и направления поверхностных течений сохраняется, однако при ассимиляции данных скорость течений на поверхности моря имеет меньший размах (меньшую в сравнении с расчетом без ассимиляции величину скорости).

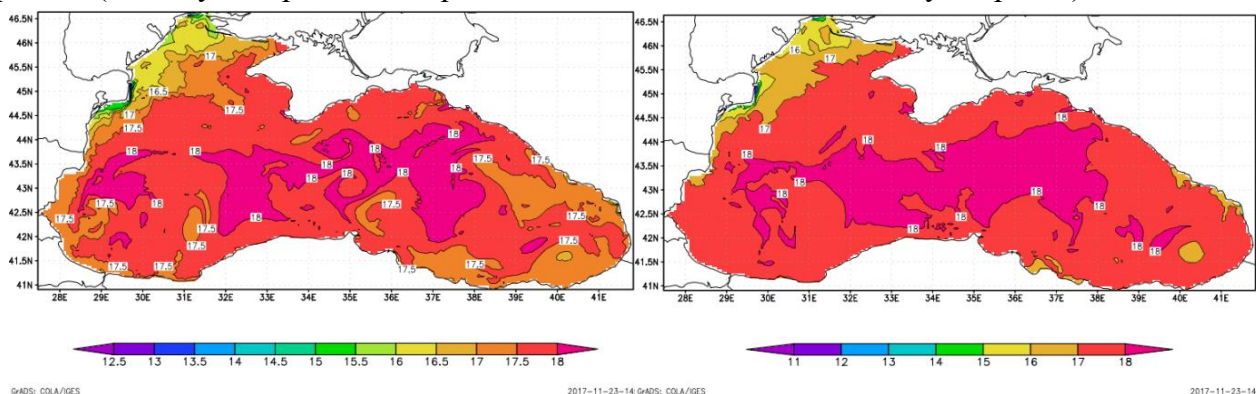


Рис.5 – Соленость поверхностного слоя на 9 день а) расчет без ассимиляции, б) расчет с ассимиляцией

Расчет с ассимиляцией дал более однородную картину распределения солёности поверхностного слоя Черного моря.

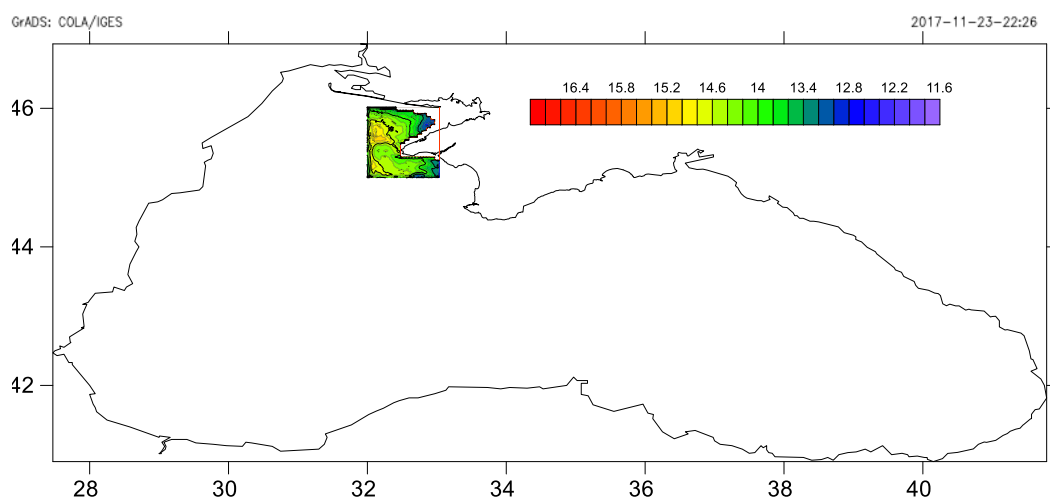
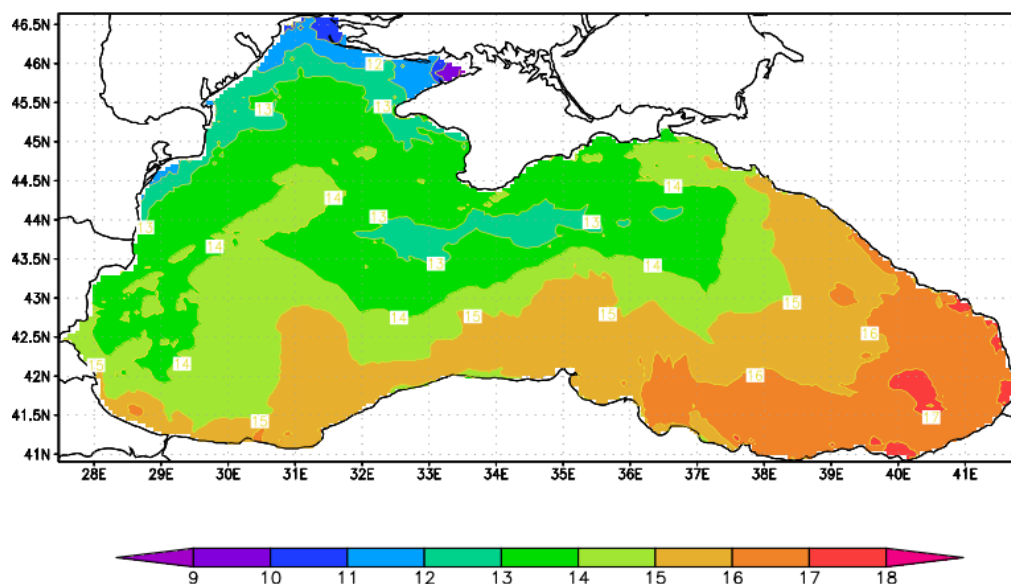


Рис. 6. - Распределение температуры воды на поверхности Черного моря с ассимиляцией данных а) расчет для всего моря, б) расчет для участка

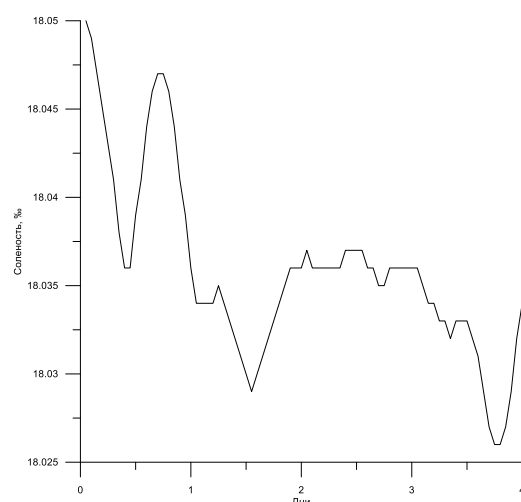
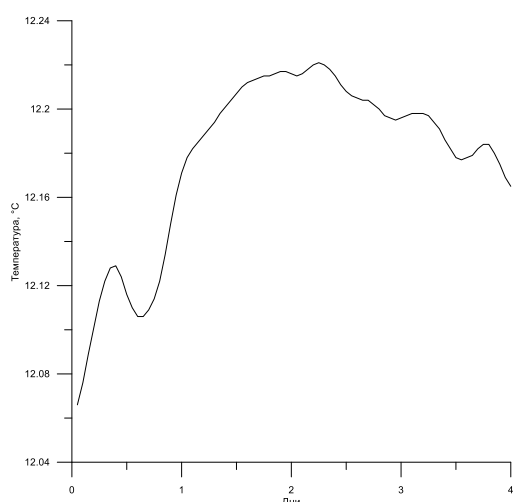


Рис. 7. – Временная изменчивость осредненных по площади а) температуры, б) солености вод локального участка

Был проведен расчет прогноза на 4 дня с ассимиляцией данных локальной области с большим разрешением в сравнении с расчетом глобальной модели (1/3 шага по сетке), шаг по времени для баротропной моды задавался равным 3 с. На рисунке 6а представлена температура поверхности моря, полученная по расчету для всего Черного моря, а на рис. 6б

- ТПМ для локального заранее заданного участка, на котором можно видеть более подробную структуру термического режима поверхностного слоя.

Отчет
Расчет по модели термодинамики Черного моря
Захарова Н.Б.

В настоящей работе проводится тестирование модели Черного моря на реальных данных наблюдений.

Начало расчета с 13 октября, 5 суток с данными (13.10.2017-17.10.2017), далее – прогностический расчет модели на четыре дня (18.10.2017-21.10.2017).

1-й эксперимент

Проводится расчет значений основных параметров моря по модели термодинамики без ассимиляции ТПМ и альтиметрии,

Ниже приведены результаты расчетов на глубинах 2,5 метра от поверхности, 400м., 2100м. на 1-й день расчета.

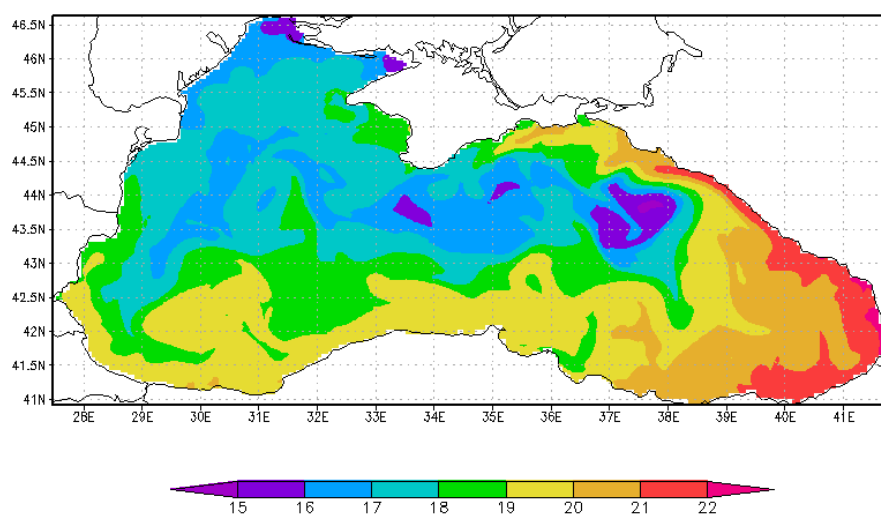


Рис. Температура, глубина 2,5м., °С.

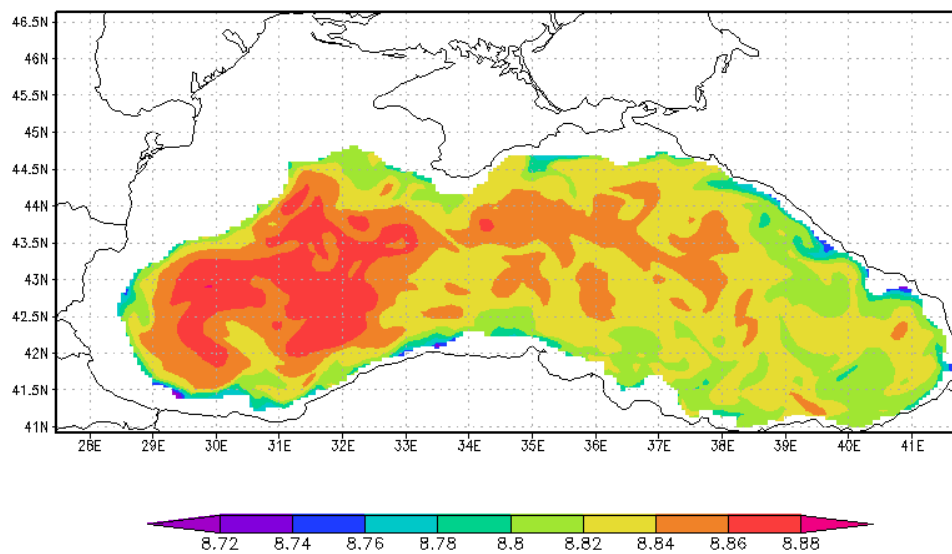


Рис. Температура, глубина 400м., °С.

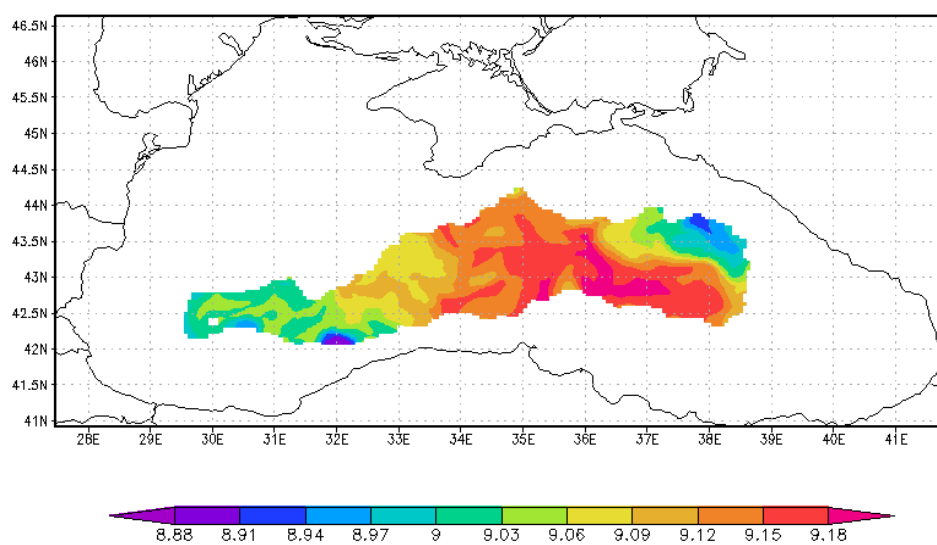


Рис. Температура, глубина 2100м., °С.

Далее представлены результаты на 5-й день расчета.

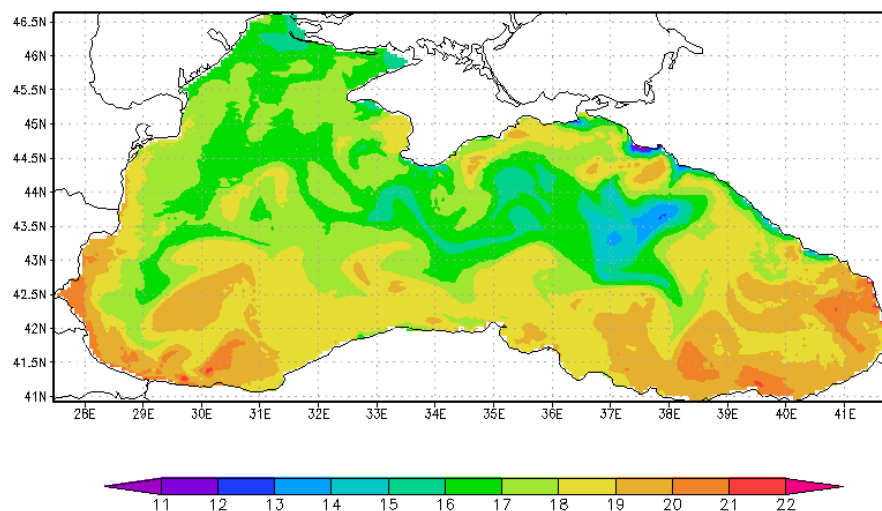


Рис. Температура, глубина 2,5м., °С.

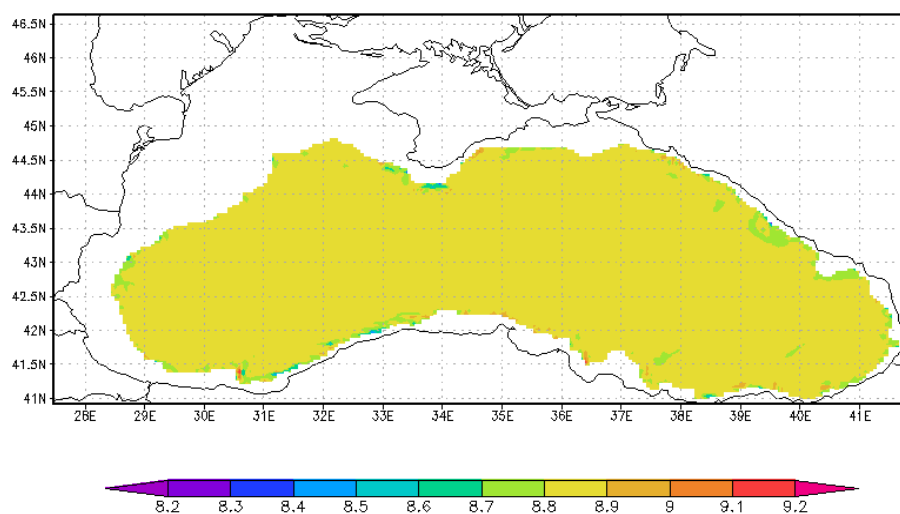


Рис. Температура, глубина 400м., °С.

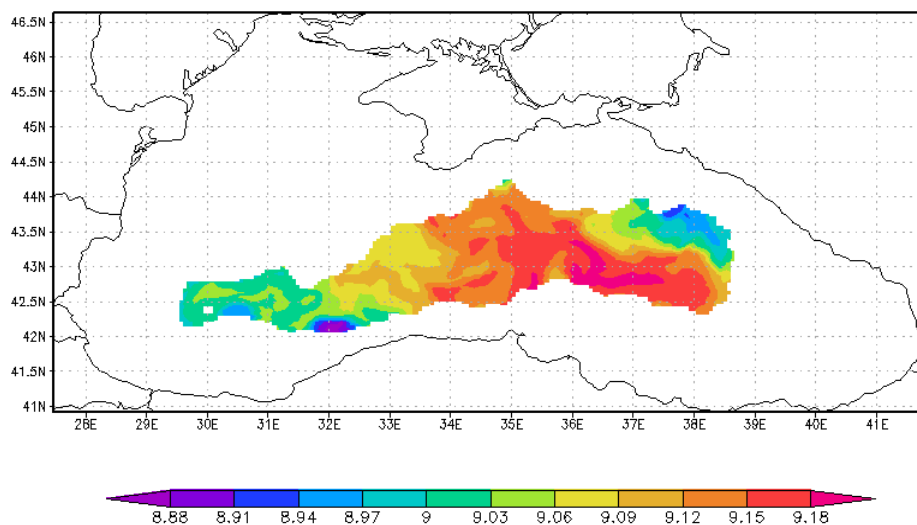


Рис. Температура, глубина 2100м., °С.

Ниже представлены поля температуры на 9-й день расчета (4-й день прогноза):

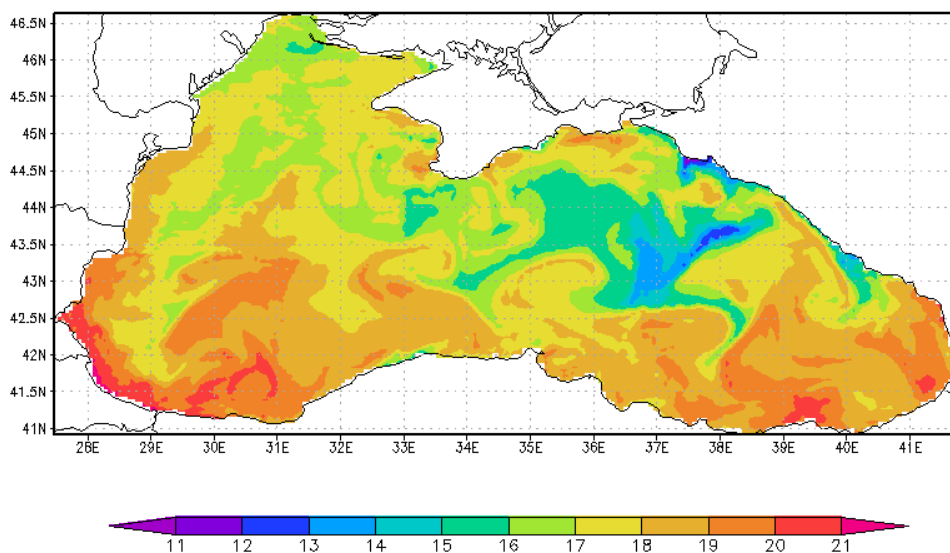


Рис. Температура, глубина 2,5 м., °С.

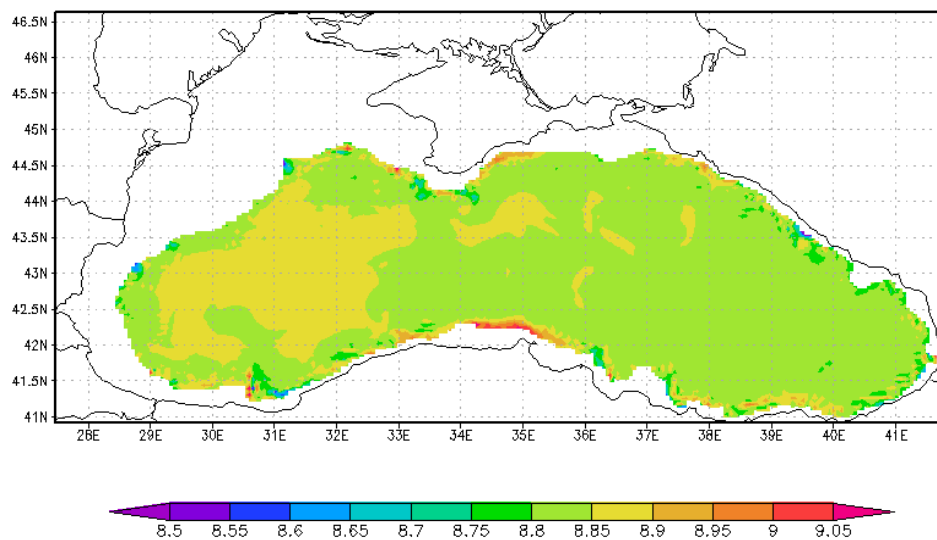


Рис. Температура, глубина 400м., °С.

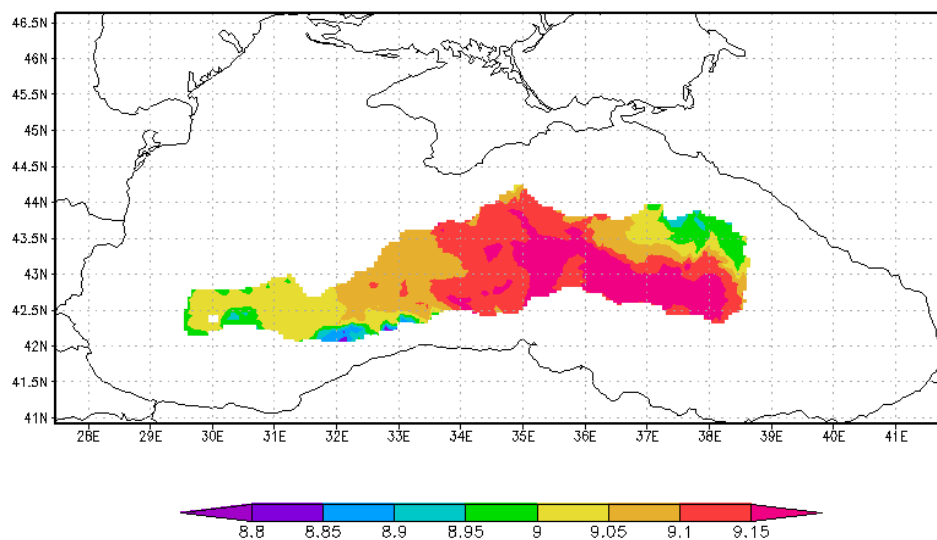


Рис. Температура, глубина 2100 м., °С.

2-й эксперимент

Проводится расчет значений основных параметров моря по модели термодинамики с ассимиляцией только ТПМ.

Ниже приведены результаты расчетов на 1-й день расчета.

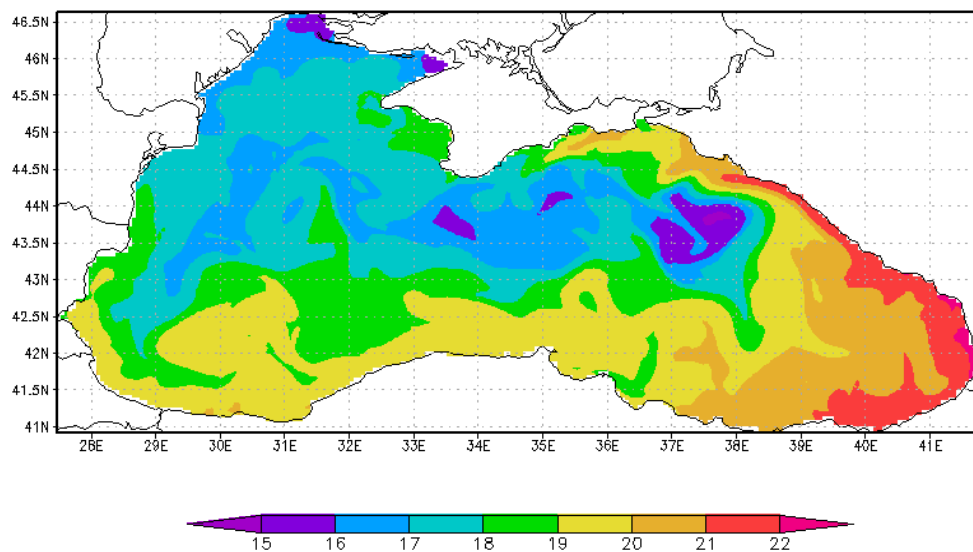


Рис. Температура, глубина 2,5 м., °С.

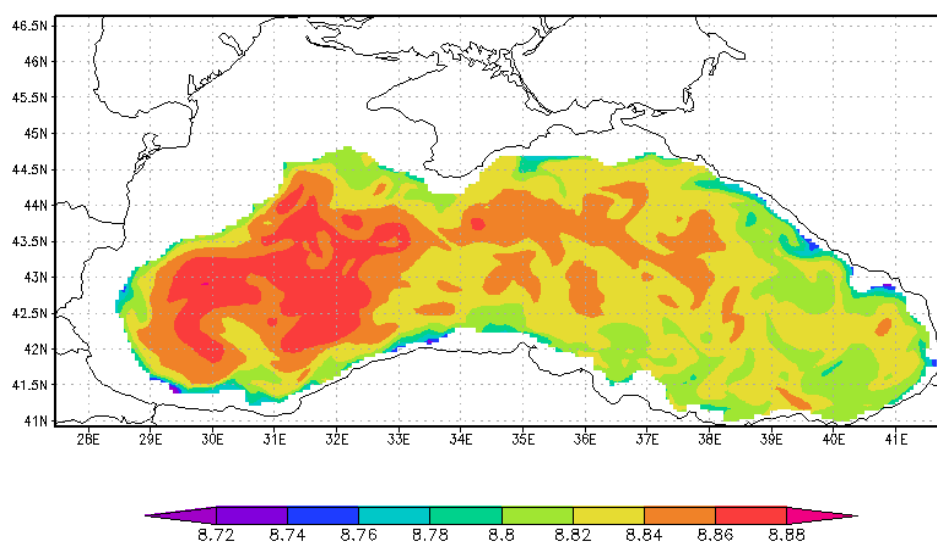


Рис. Температура, глубина 400м., °С.

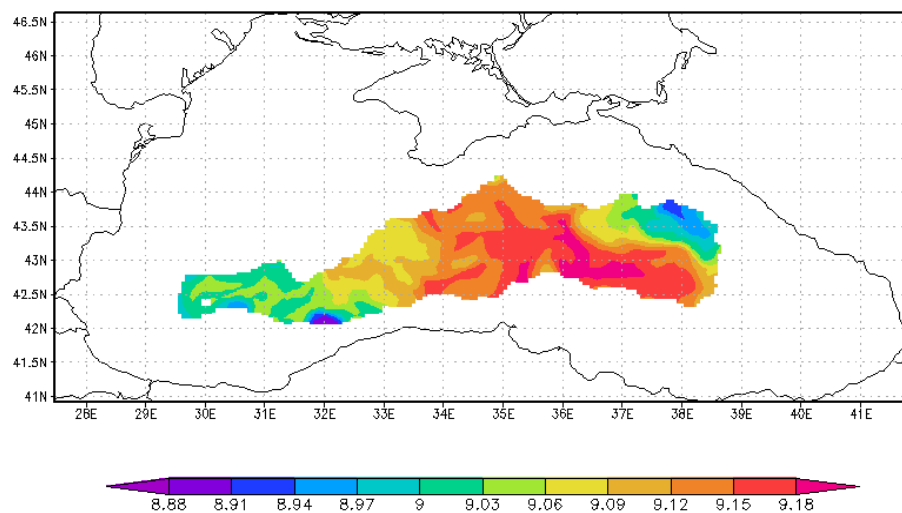


Рис. Температура, глубина 2500 м., °C.

Далее приведены поля температуры на 5й день расчетов (5-й день ассимиляции).

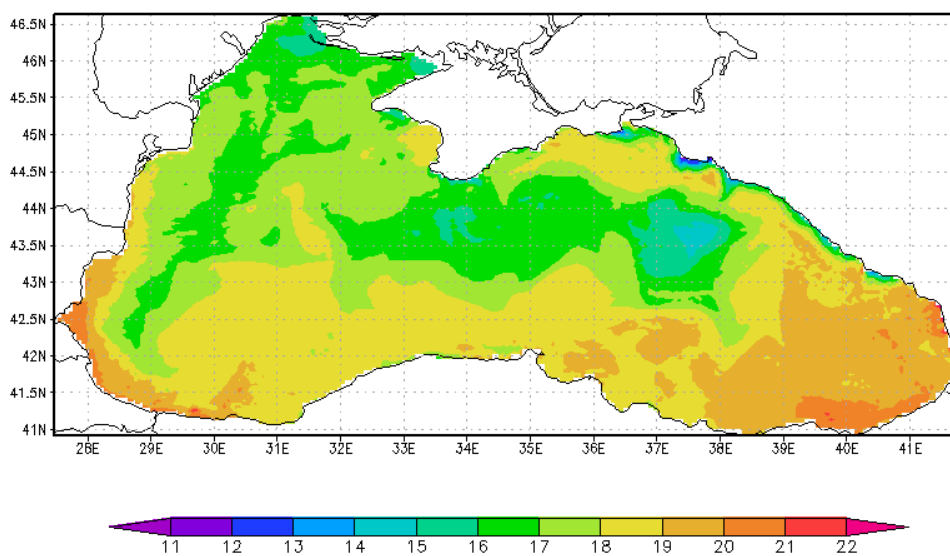


Рис. Температура, глубина 2,5 м., °C.

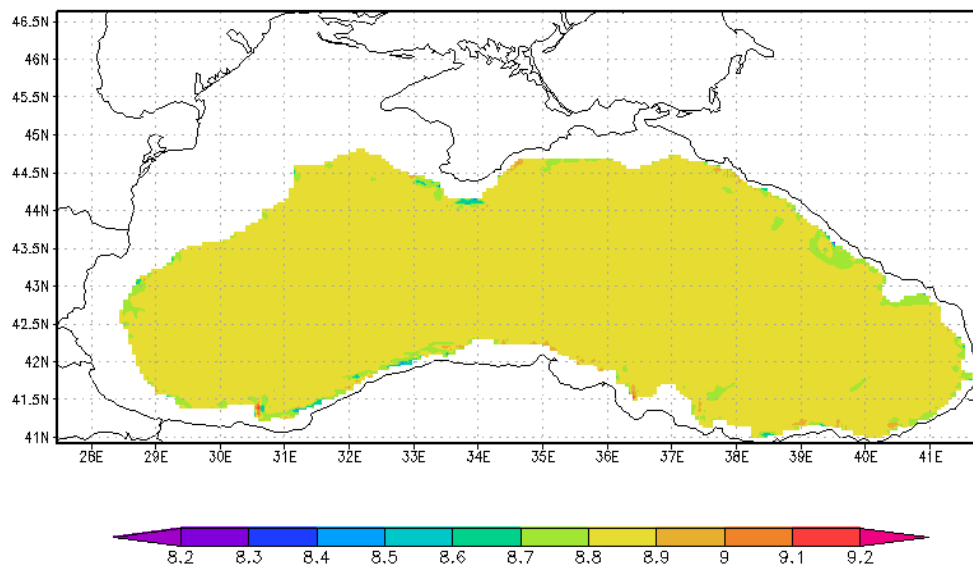


Рис. Температура, глубина 400 м., °С.

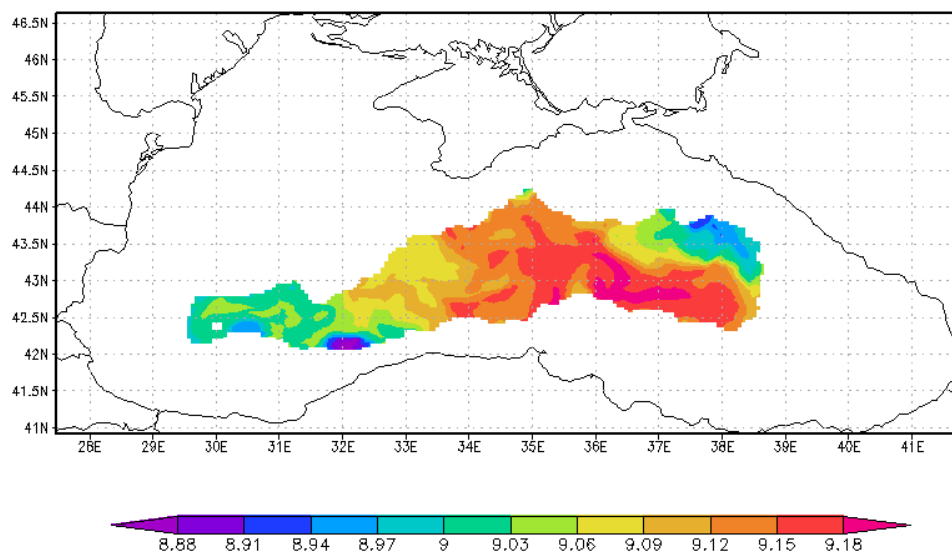


Рис. Температура, глубина 2100м, °С.

Ниже представлены поля температуры на 9-й день расчетов (4-й день прогноза).

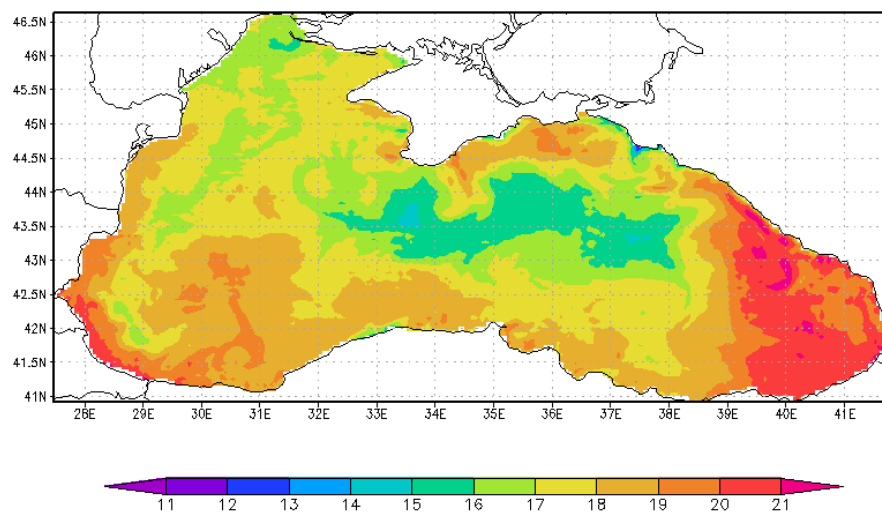


Рис. Температура, глубина 2,5 м, °С.

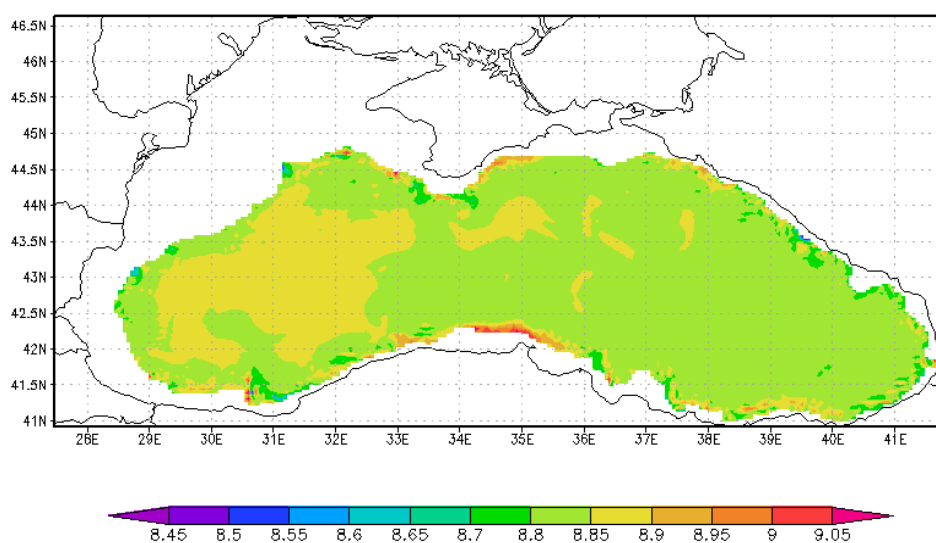


Рис. Температура, глубина 400 м, °С.

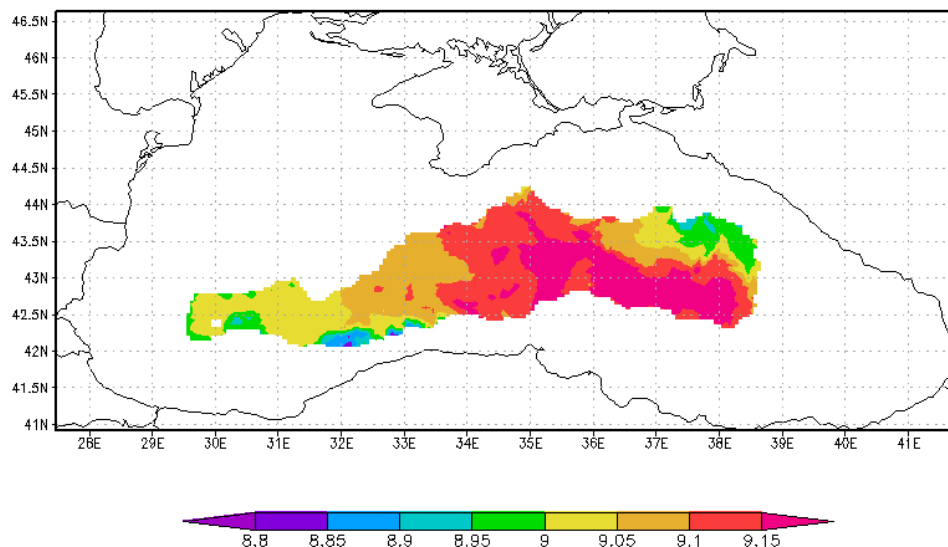


Рис. Температура, глубина 2100 м, °С.

В настоящем эксперименте имеет смысл сравнить результаты расчета поля температуры с расчетом без ассимиляции температуры.

Ниже представлена разница полей температуры на 5-й день расчета между полем с ассимиляцией ТПМ и полем, рассчитанным моделью без ассимиляции.

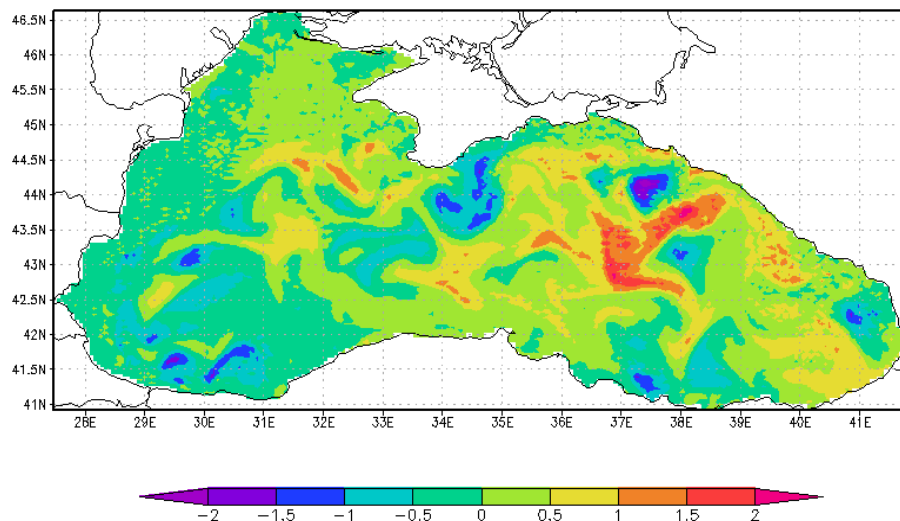


Рис. Разница полей ТПМ между результатом расчета с ассимиляцией поля ТПМ и результатами расчета без ассимиляции, 5-й день расчета, глубина 2,5 метра, °С.

Если посмотреть разницу во все девять моментов времени между полем, полученным по расчету модели без ассимиляции каких-либо параметров и полем температуры, рассчитанным с 5-ю днями ассимиляции поверхностной температуры, то получим довольно большую разницу значений температуры. Так, если в первый день разница достигает по модулю максимум 0.5 °С, то к пятому дню расчетные поля различаются до 2,35 °С, а самая большая разница достигается к девятому расчетному дню – достигает 7 °С в

некоторых областях. Ниже приведем изображение поля разницы значений рассчитанных полей температур на 9-й расчётный день.

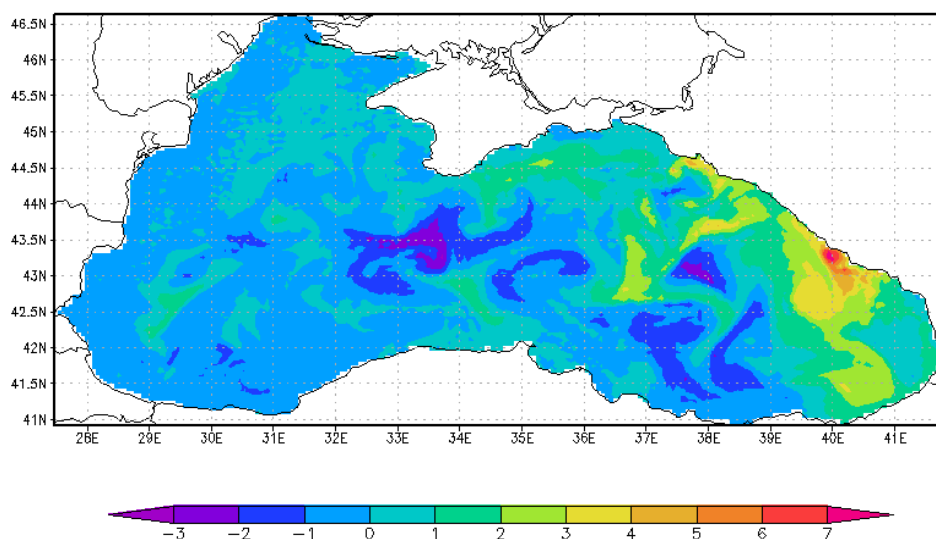


Рис. Разница полей температуры между результатом расчета с ассимиляцией поля ТПМ и результатами расчета без ассимиляции, 9-й день расчета, глубина 2,5 метра, °C.

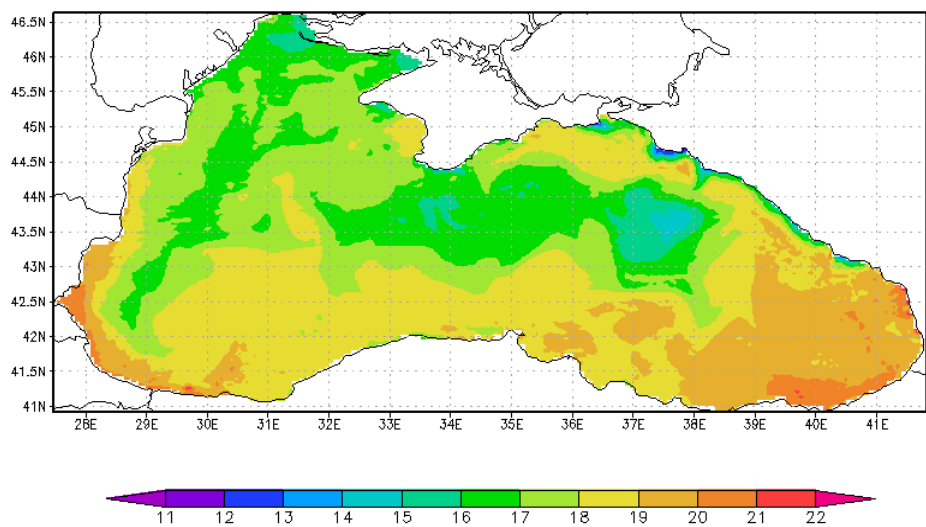
Из рисунка видно, что наибольшая разница значений температур возникает в восточной части моря, в районе побережья Абхазии.

3-й эксперимент

Проводится расчет значений основных параметров моря по модели термодинамики с ассимиляцией и ТПМ и альтиметрии.

Приведем полученные поля ТПМ, соленость, уровень моря.

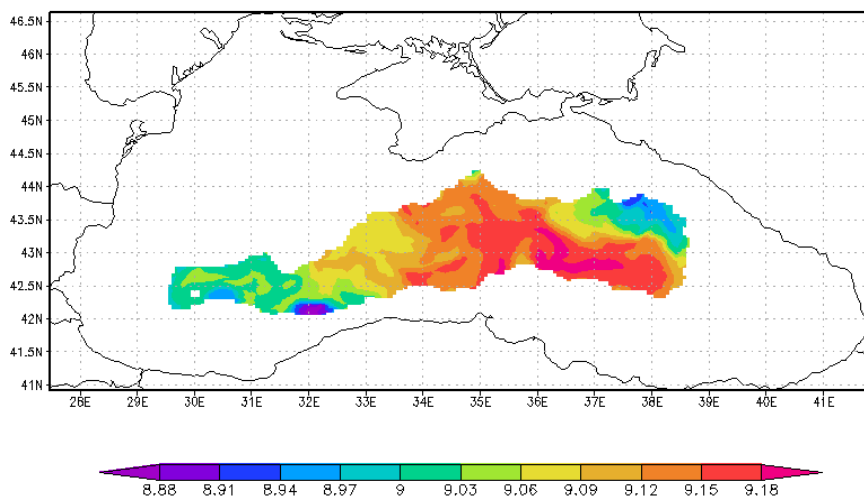
Ниже приведены результаты на 5-й день расчета (5-й день ассимиляции данных).



GrADS: COLA/IGES

2017-11-22-14:46

Температура, глубина 2,5 м., °C.

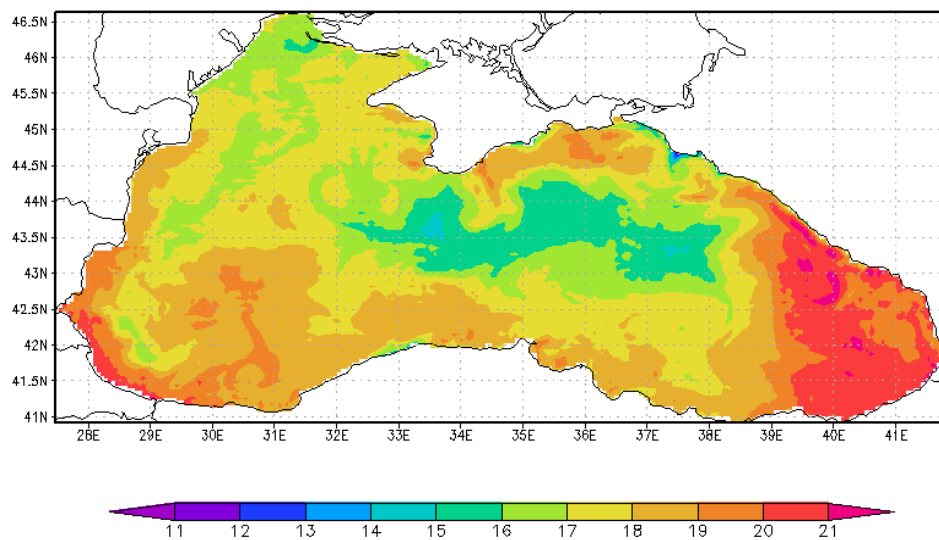


GrADS: COLA/IGES

2017-11-22-14:46

Температура, глубина 2100 м., °C.

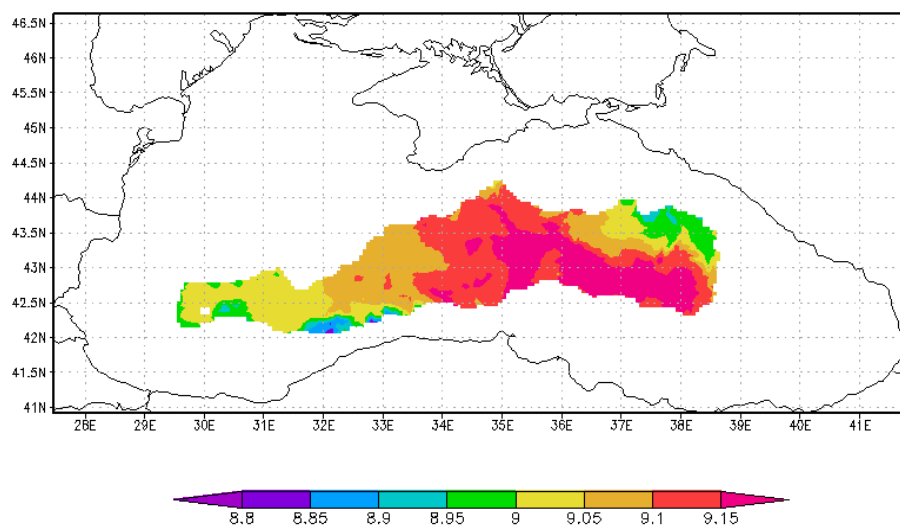
Ниже приведем поле температуры на 9-й день расчета (4-й день прогноза).



GrADS: COLA/IGES

2017-11-22-14:46

Температура, глубина 2,5 м., °C.

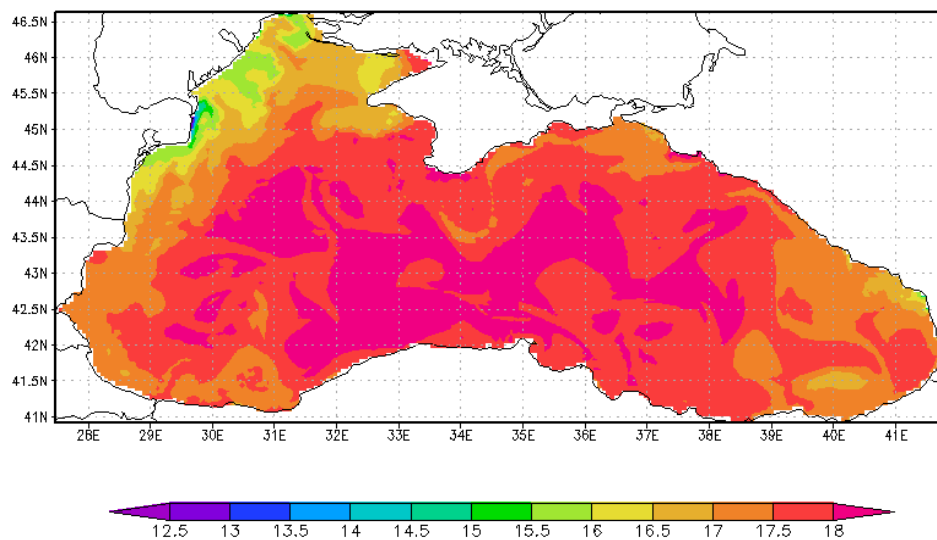


GrADS: COLA/IGES

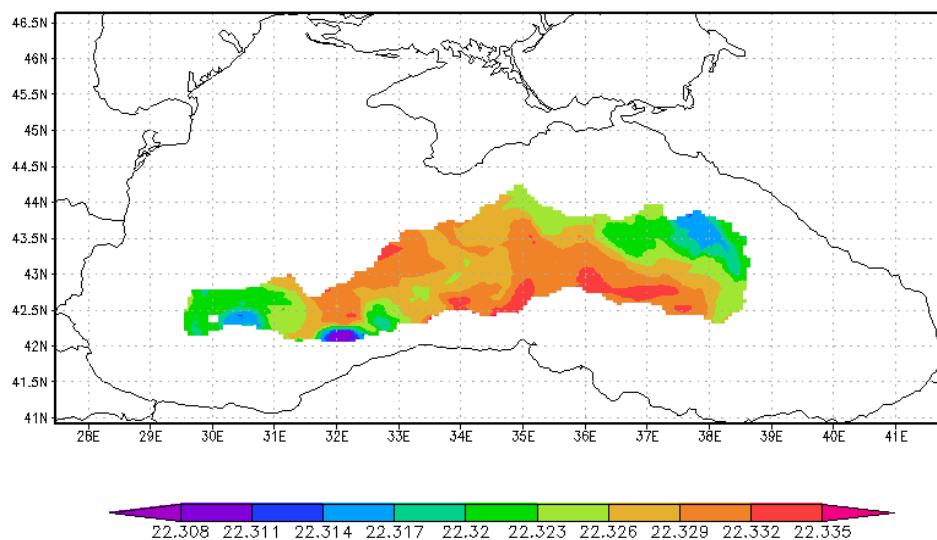
2017-11-22-14:46

Температура, глубина 2100 м., °C.

Ниже приведено поле солёности на 5-й день расчёта (5-й день ассимиляции).

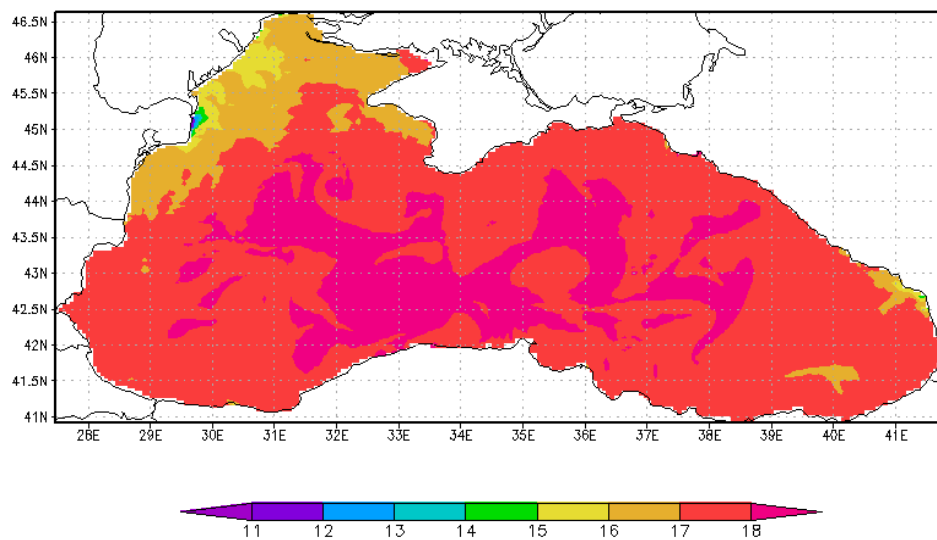


Соленость, глубина 2,5 м., °С.

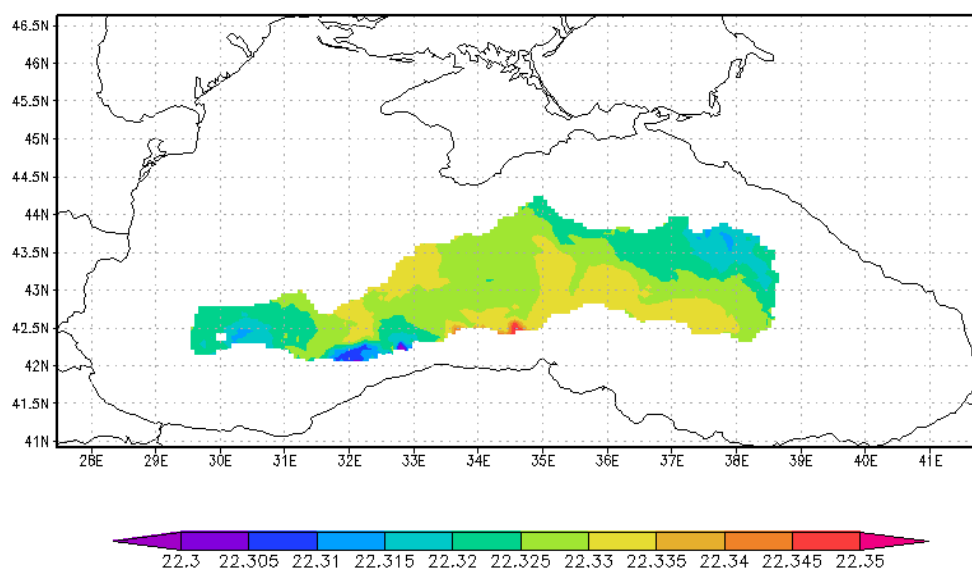


Соленость, глубина 2100 м., °С.

Ниже приведено поле солёности на 9-й день расчёта (4-й день прогноза).



Соленость, глубина 2,5 м., °С.



Соленость, глубина 2100 м., °С.

Ниже приведено поле циркуляции вод в исследуемой акватории на 5-й и 9-й дни расчета.

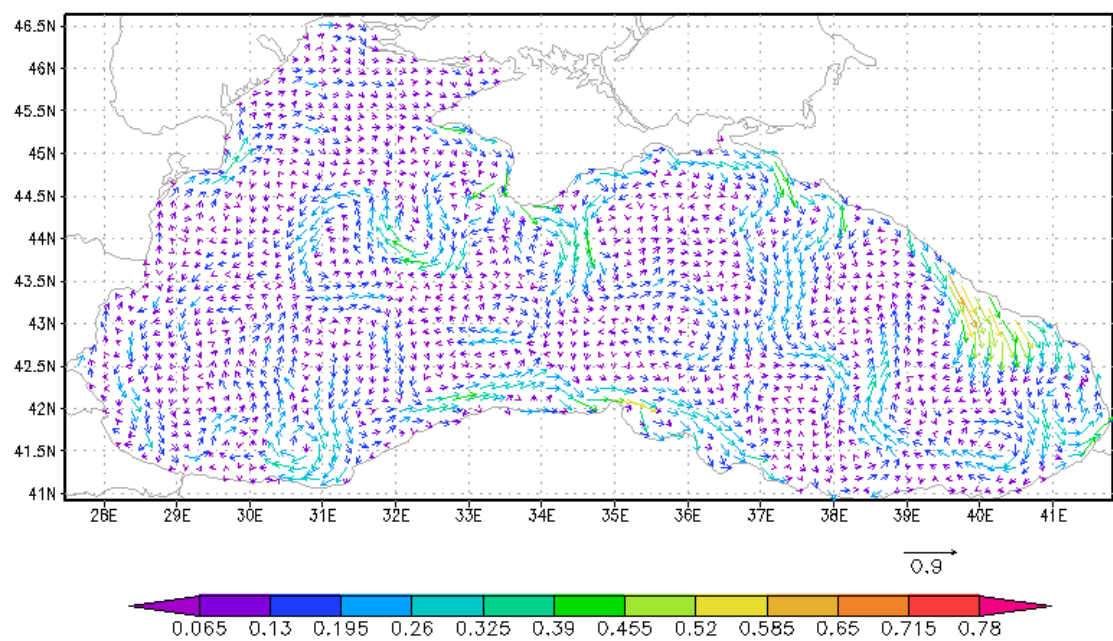


Рис. Циркуляция, 5-й расчётный день, глубина 2,5 метра, м/с.

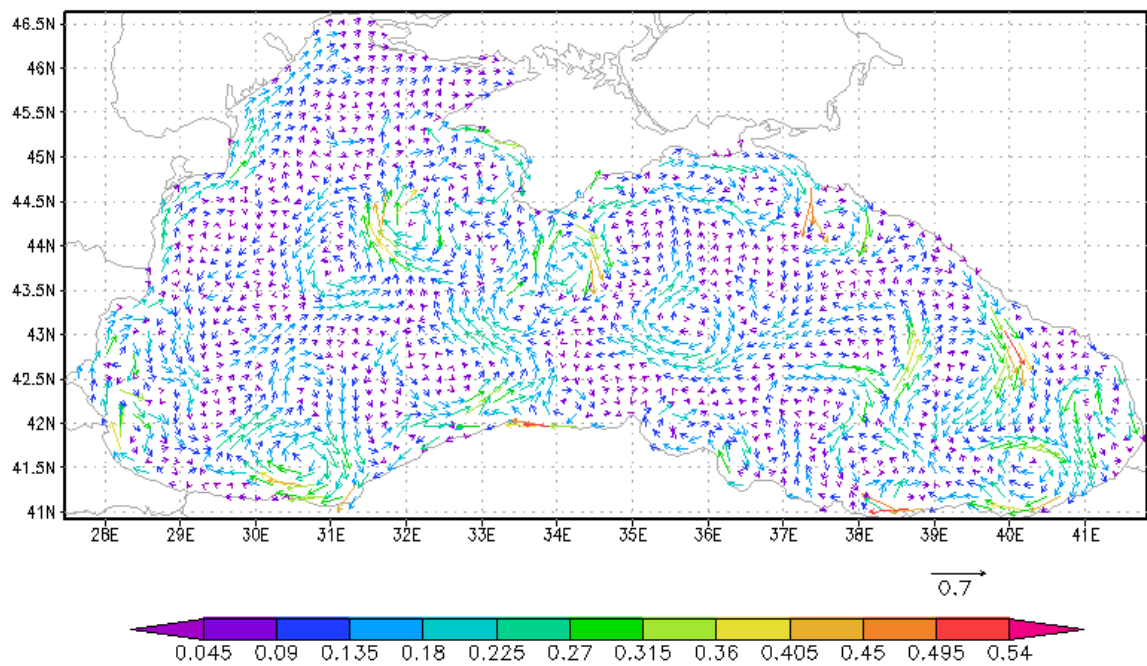
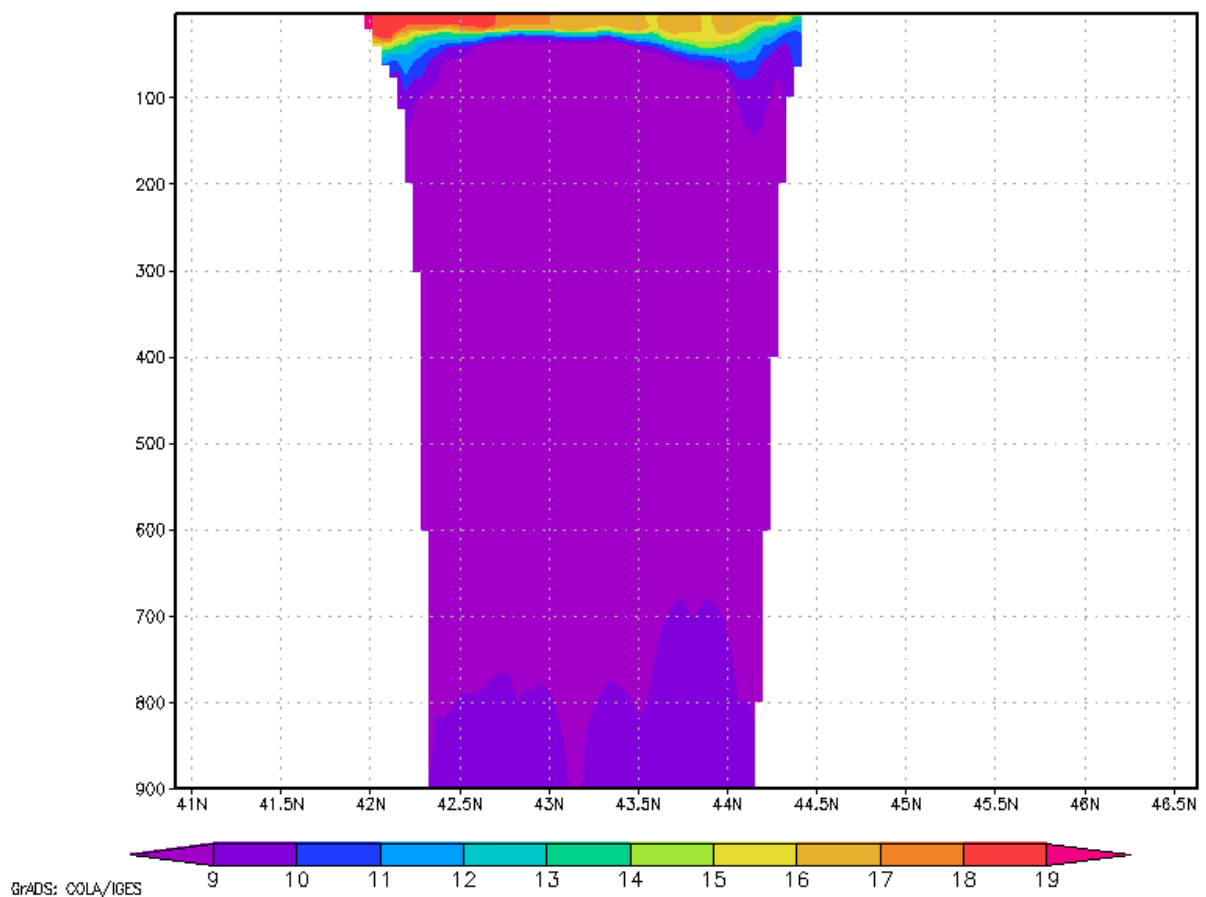


Рис. Циркуляция, 9-й расчётный день, глубина 2,5 метра, м/с.
Ниже приведено поле температуры, разрез по долготе 33 °в.д..



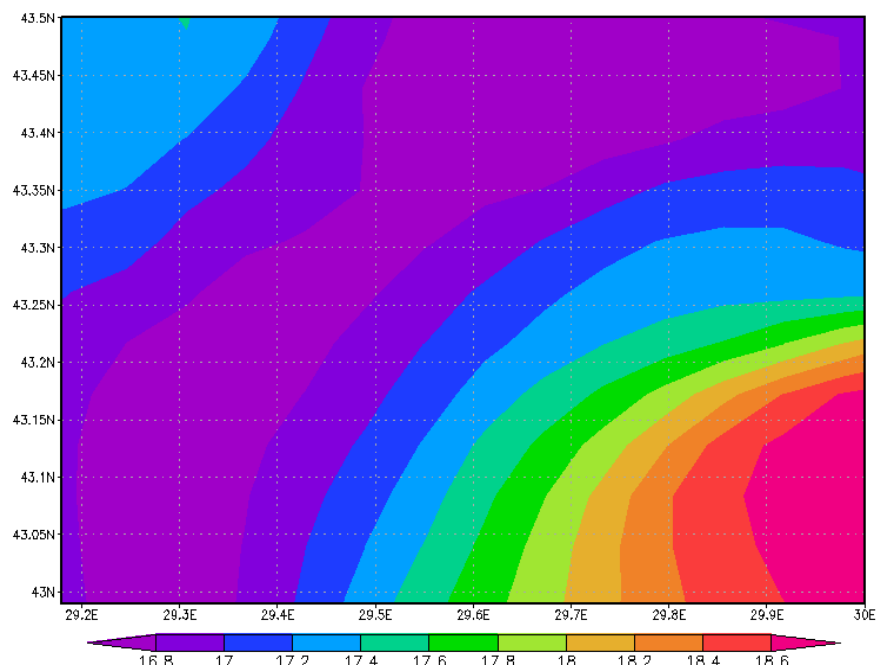
Разрез по температуре на 5-й день расчета, 33.13 °в.д., °С.

На рисунке отчетливо виден холодный промежуточный слой.

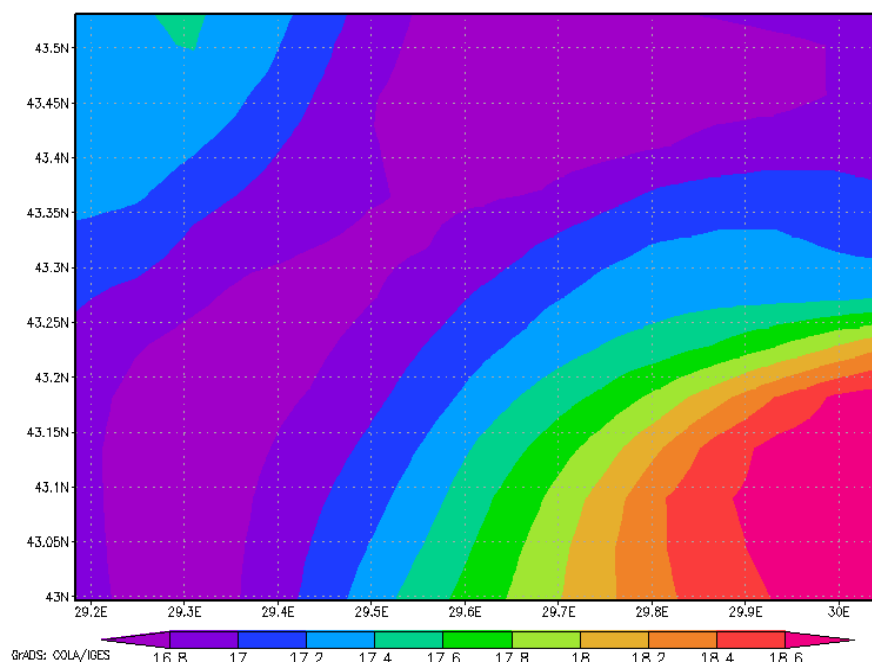
4-й эксперимент

Проводится расчет значений основных параметров моря по локальной модели термодинамики с ассимиляцией ТПМ и альтиметрии, координаты локальной расчетной области 29.2–30.0 °с.ш., 43.0–43.5 °в.д.

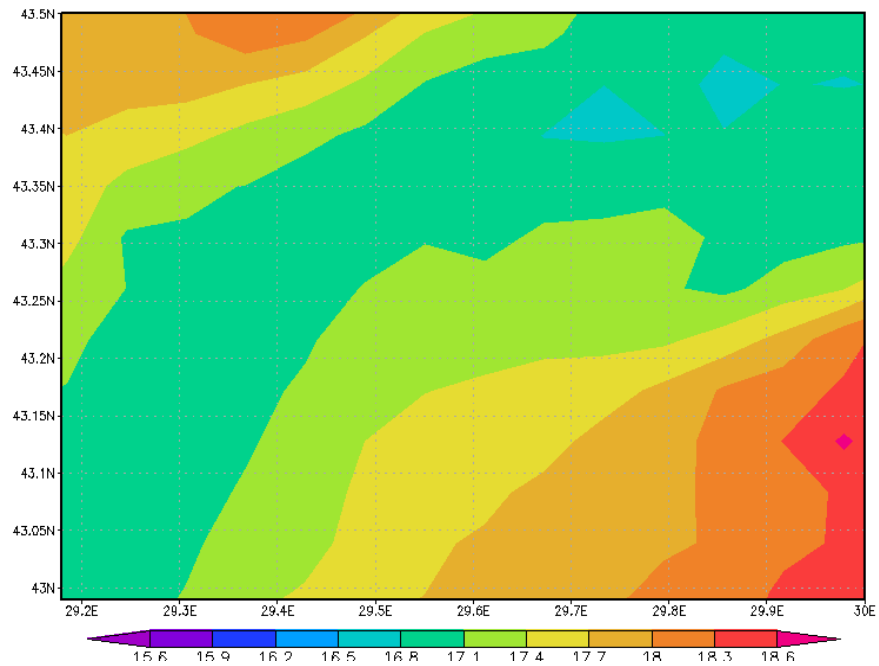
Ниже приведены разница результатов расчетов.



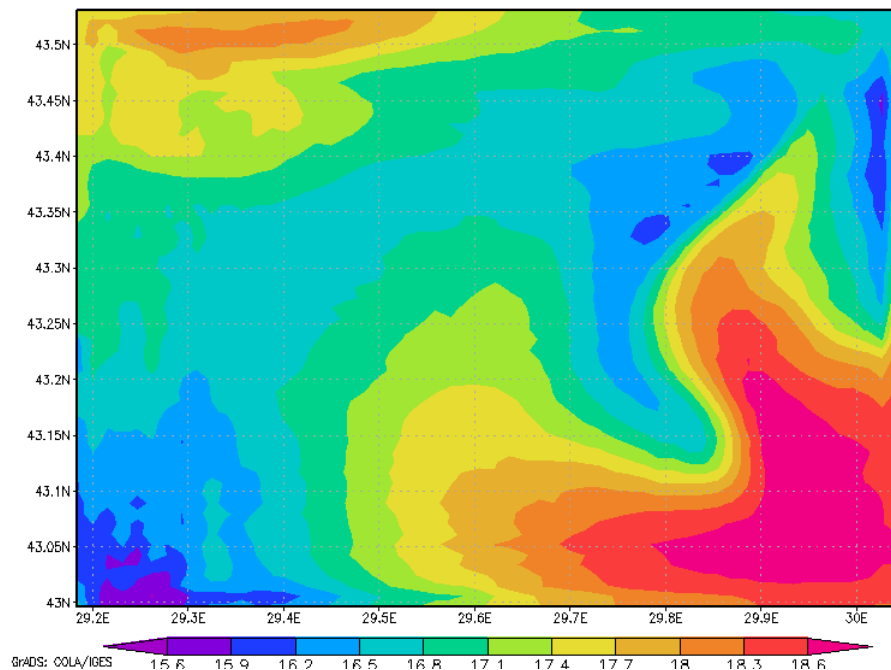
Расчет на 13 октября, 1-й день расчёта, общая модель моря, температура, глубина 2м., °C.



Расчет на 13 октября, 1-й день расчёта, локальная модель моря, температура поверхности моря, °C.



Расчет на 15 октября, 3-й день расчёта, общая модель моря, температура, глубина 2м., °C.



Расчет на 15-е октября, 3-й день расчётов, локальная модель моря, температура поверхности моря, °C.

Из сравнения результатов расчётов по общей и локальной моделям можно сделать вывод о том, что если на первый день поля температуры качественно очень похожи, то на третий день различия уже существенны и разница может достигать нескольких градусов.

Расчет скоростей и направлений течений на поверхности в Черном море и прибрежной акватории г. Севастополь

Дриго Илья

В рамках Школы Оперативной Океанографии 2017 года, была проведена работа по моделированию характеристик Черного моря при помощи глобальной и регионально моделей МГИ. Глобальная модель запускалась со следующими параметрами:

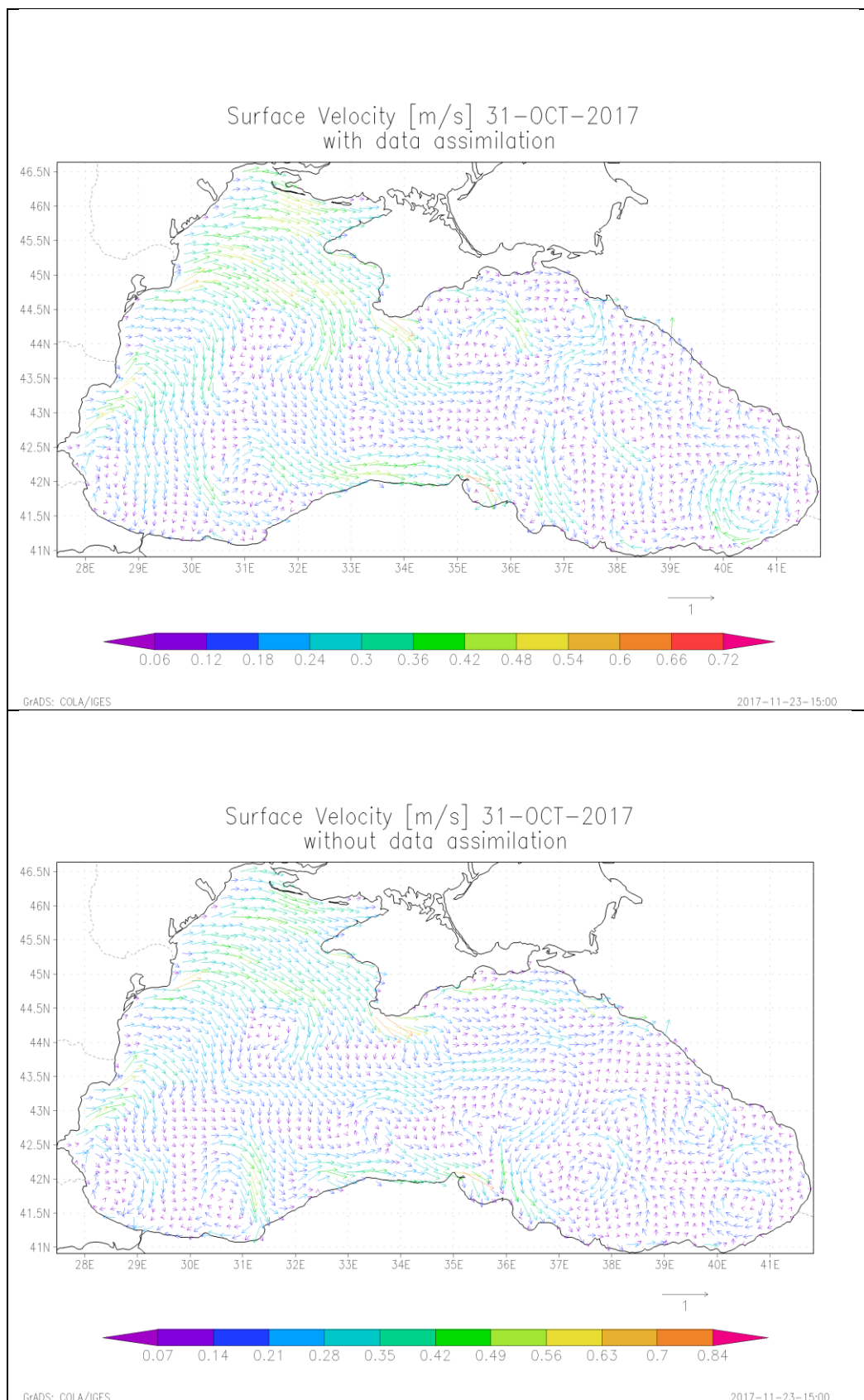
- Анализ: 4 дня
- Прогноз: 5 дней
- Время начала прогноза: 27.10.2017
- Время начала анализа: 23.10.2017
- Шаг сетки по широте и долготе: 5 км

Проводилось два запуска глобальной модели Черного моря: с ассимиляцией данных и без ассимиляции. При запуске модели с ассимиляцией, использовались данные аномалии уровня моря, температуры поверхности моря, поля метеорологических параметров. Кроме того, для области размером примерно 2х2 градуса вблизи г. Севастополь, были рассчитаны гидрологические характеристики при помощи локальной модели. Данные в локальную модель передавались при помощи технологии нестинга или вложенных сеток. Локальная модель запускалась со следующими параметрами:

- Анализ: 0 дней
- Прогноз: 3 дня
- Время начала прогноза: 23.10.2017
- Шаг сетки по широте и долготе: 2 км

Результаты расчета см в приложенной папке

Сравнение расчетов с ассимиляцией данных и без



Расчет поверхностных течений на 4й день прогноза (8й день всего). Расчет с ассимиляцией данных (верхний рисунок) указывает на существование более интенсивных течений, нежели без ассимиляции.

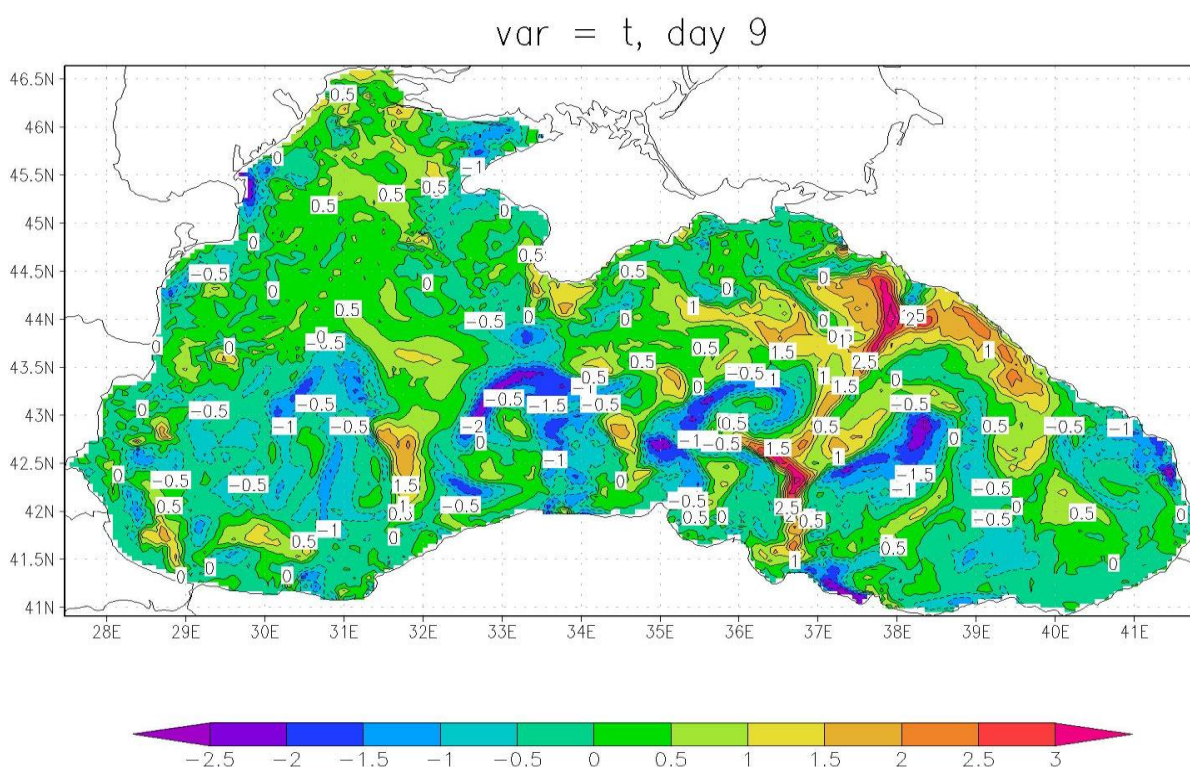
Школа оперативной океанографии

Отчёт подготовил Громов Игорь

Моделирование в глобальной модели

Расчёт проводился в двух режимах: с ассимиляцией данных и без ассимиляции.

В обоих случаях расчёт проводился в режиме диагноза по данным с 4 по 8 ноября 2017 года, и в режиме прогноза с 9 по 12 ноября.



GrADS: COLA/IGES

2017-11-23-22:12

Рис. 1 Разница температуры поверхности между расчётами с ассимиляцией и без на конец 9 дня расчёта

Моделирование в локальной модели

Для получения более точных результатов используется локальная модель с большим горизонтальным разрешением, но меньшей расчётной областью. Мною была выбрана область

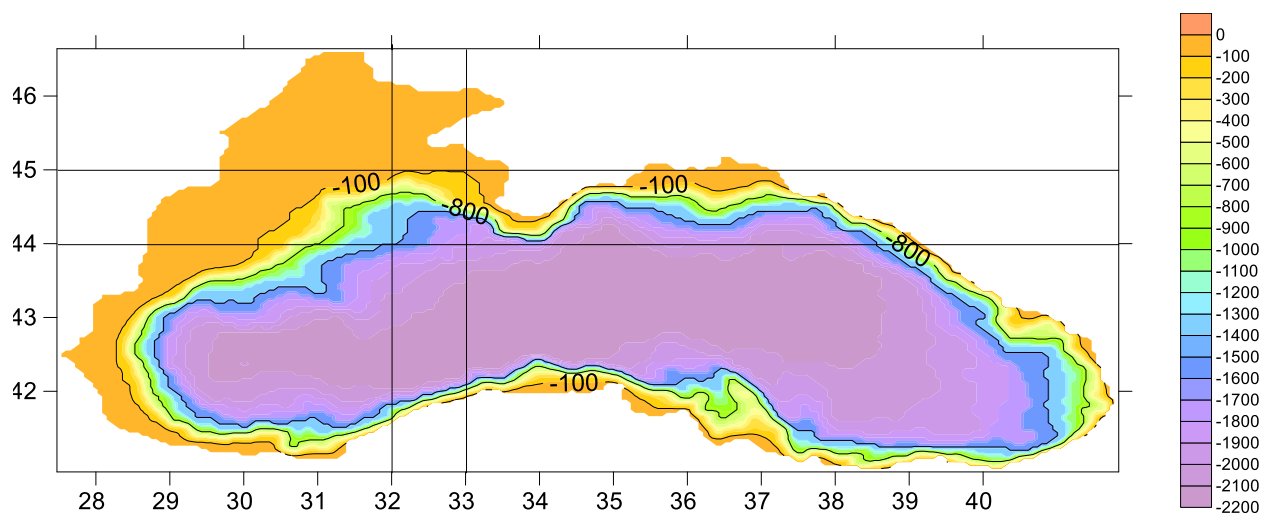


Рис. 2 Топография Черного моря с отмеченным регионом расчёта для локальной модели

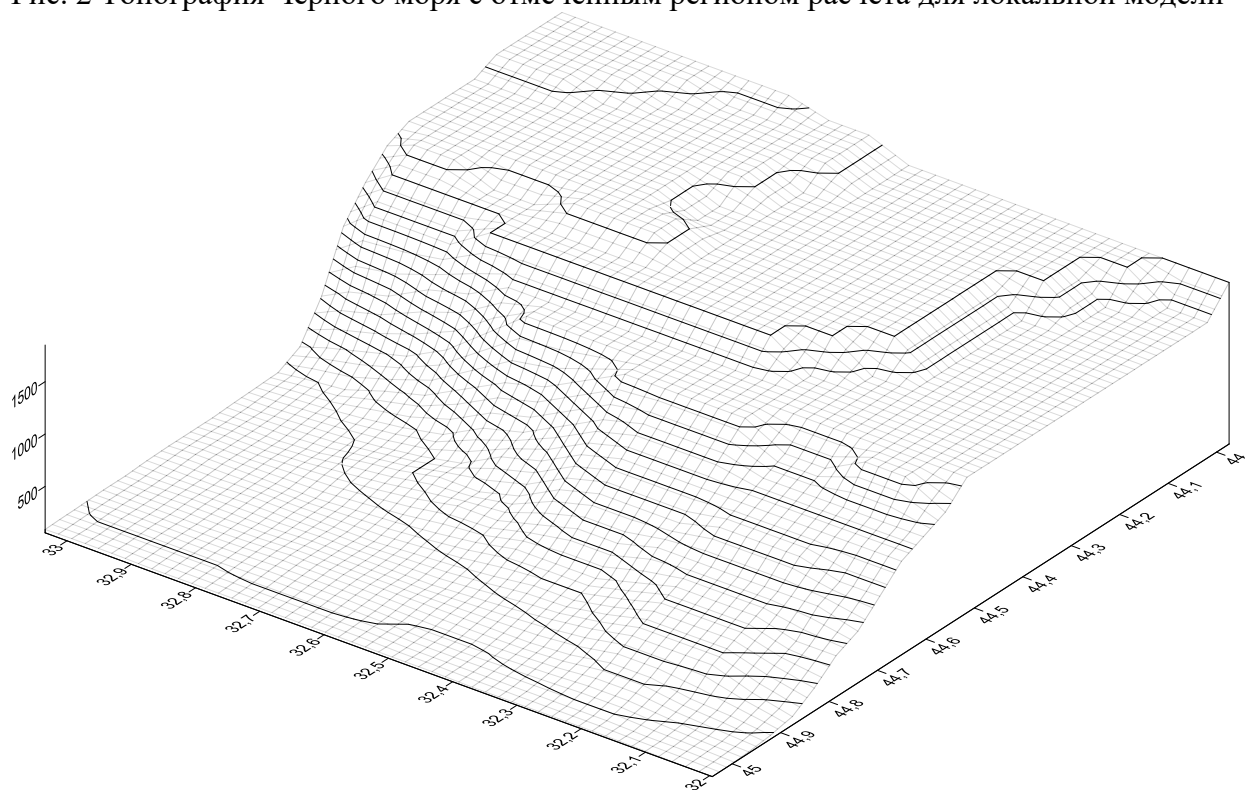
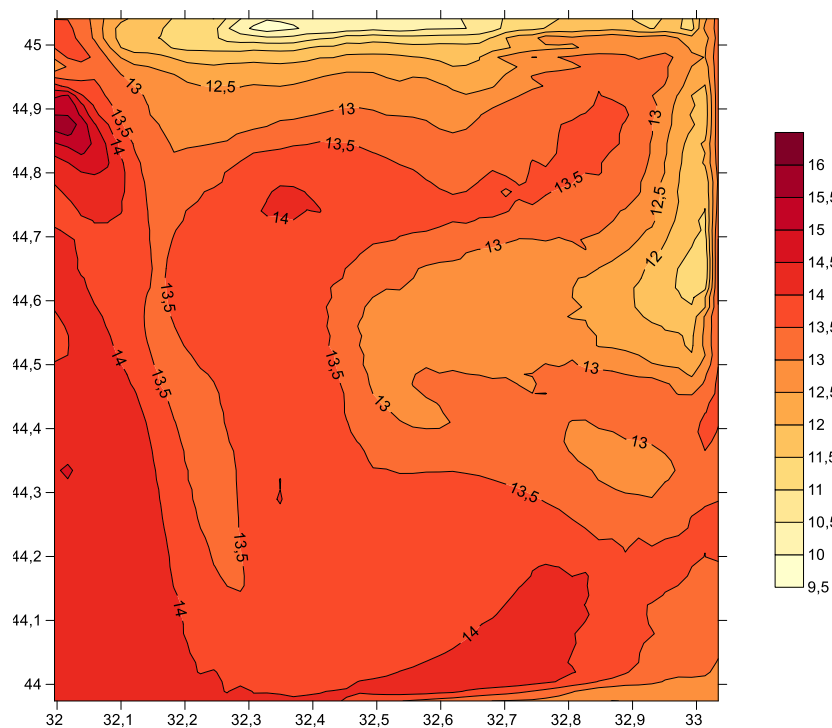
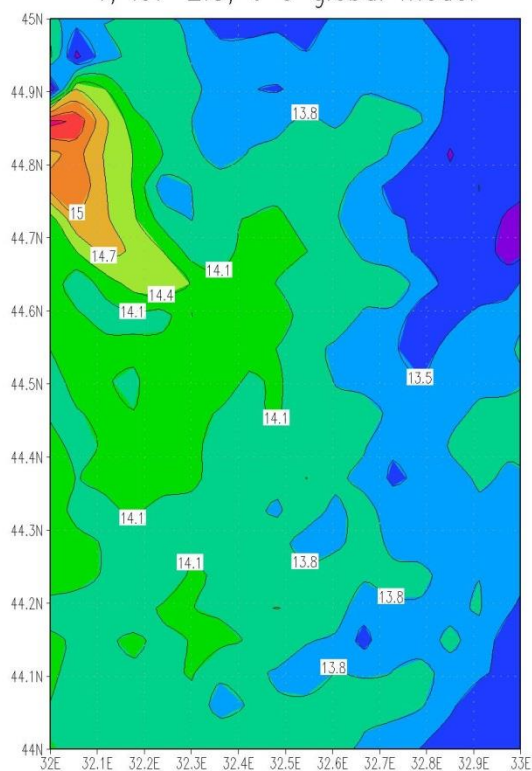


Рис. 3 Топография региона расчёта в локальной модели



T, lev=2.5, t=9 global model



GRADS: COLA/IGES

2017-11-24-07:51

Рис. 4 Сопоставление ТПО на 9 день в локальной(сверху) и глобальной с ассимиляцией(снизу) моделях

В архиве results.rar приложен набор иллюстраций переменных на поверхности к расчётам с и без ассимиляции, а также их разнице.

24.11.17

Отчет по практическим занятиям

Выполнила: Волощук Екатерина Васильевна

Цель работы: оценка физических параметров вод Черного моря с помощью модели МГИ.

Основные результаты:

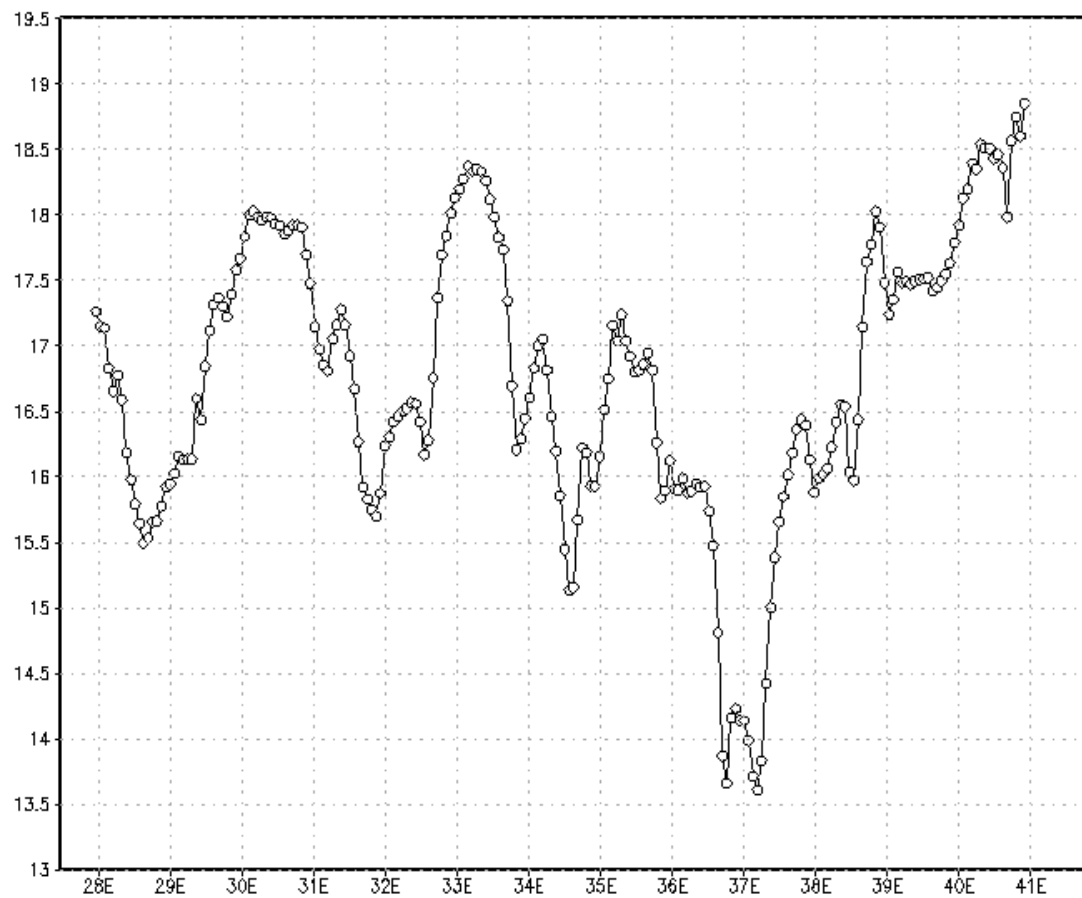


Рис. Разрез по температуре поверхности воды вдоль 43° широты для 29-10-2017 (t=1, без ассимиляции данных).

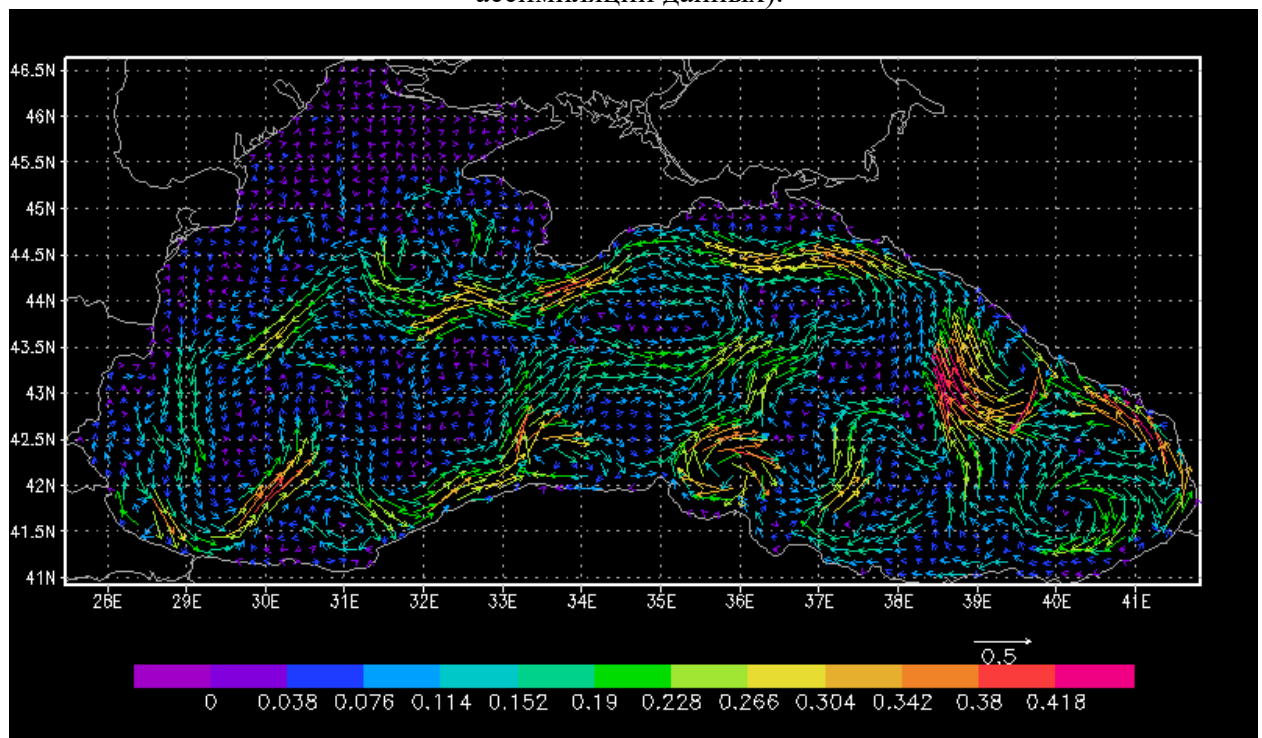
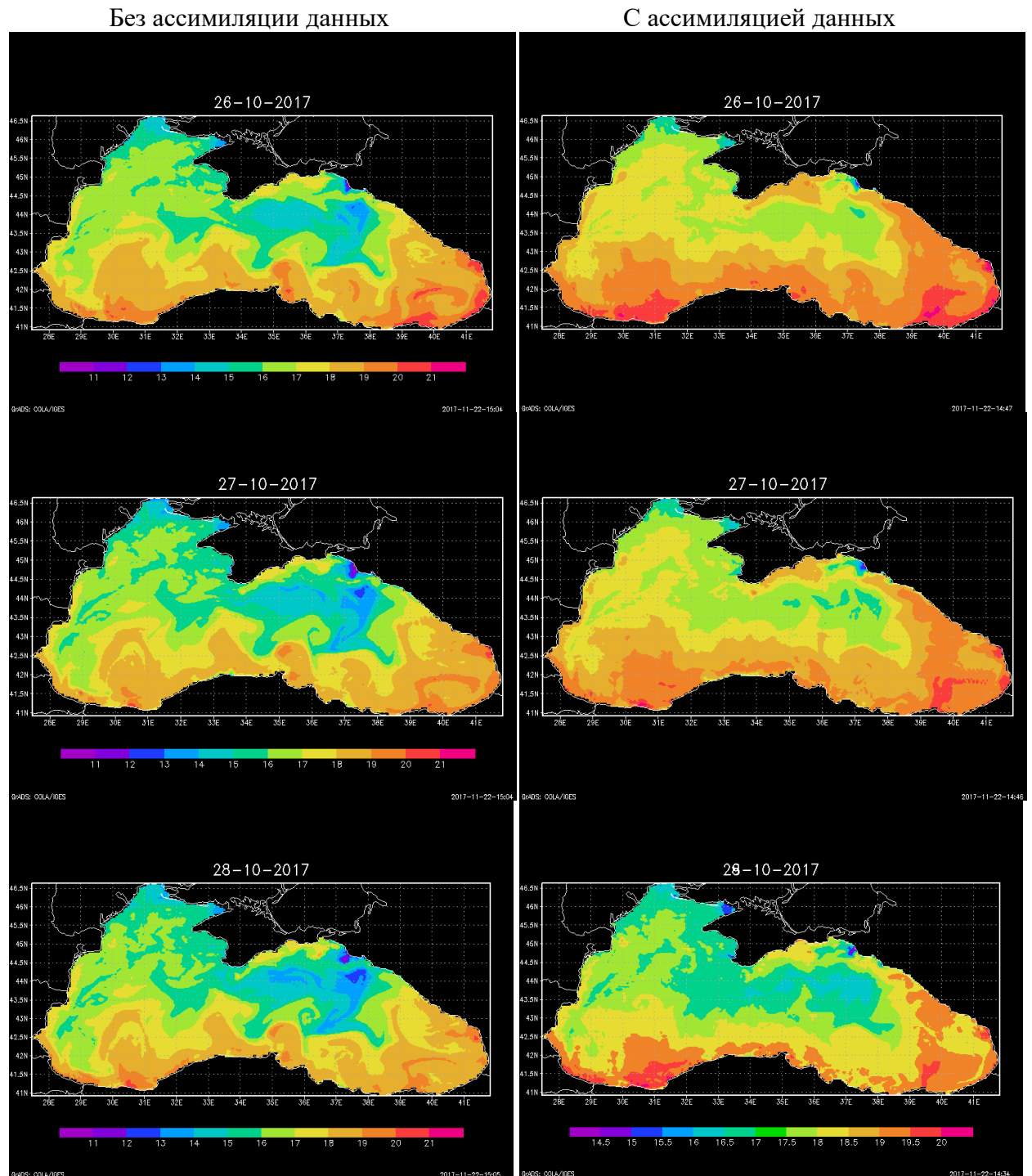


Рис. Поле скоростей течений в Черном море, 29-10-2017 (t=1).

На рисунке можно наблюдать основное Черноморское течение, а также мезомасштабные структуры в восточной части моря.

На модели были проведены расчеты без ассимиляции данных о температуре и альтиметрических данных, а также в условиях их ассимиляции в модели. Результаты расчетов для четырех дней прогноза поля температуры представлены на рис.



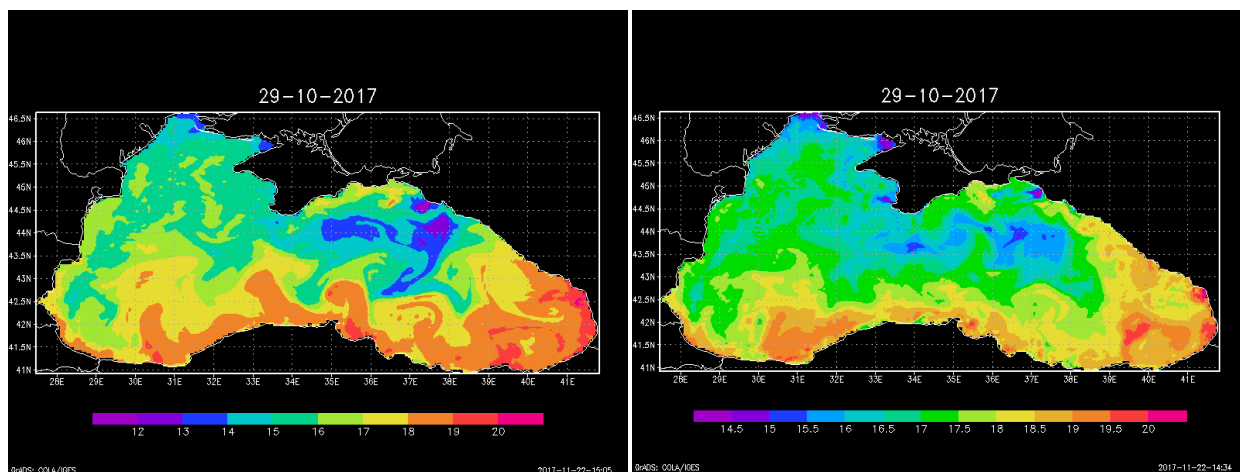


Рис. Поля изменчивости температуры поверхности Черного моря на 6-9 дни (26-29.10.2017).

Можно наблюдать различие в полях поверхностной температуры воды без учета и с учетом ассимиляции данных наблюдений.

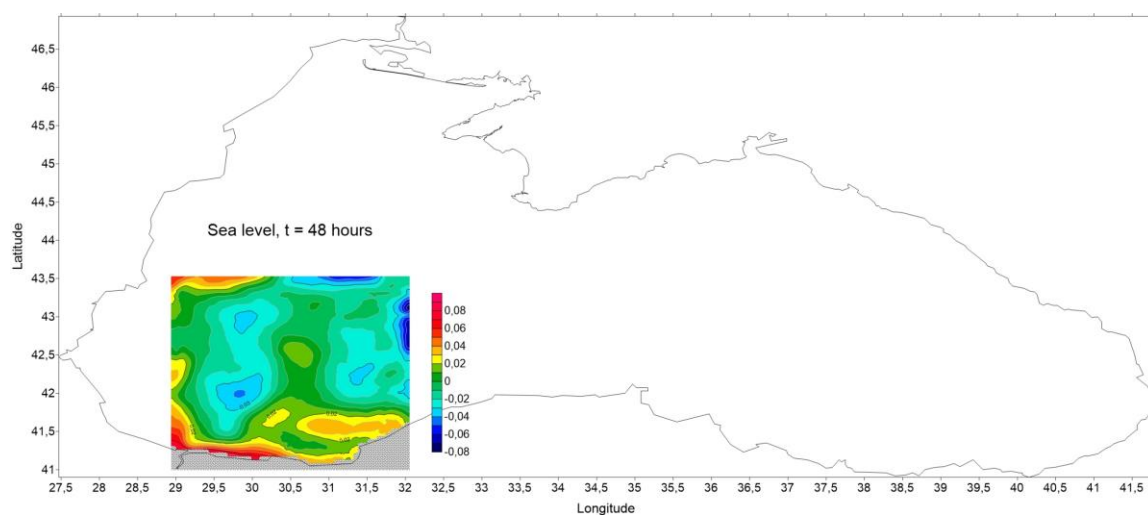


Рис. Карта уровня Черного моря.

Анкета - Обратная связь

Уважаемый Слушатель Школы молодых ученых и специалистов по оперативной океанологии, потратьте, пожалуйста, несколько минут своего времени на заполнение следующей анонимной анкеты - этим Вы поможете нам улучшить работу Школы в дальнейшем.

№ пп	Вопрос	Ответ		
		Да	Нет	Отчасти
1	Удовлетворены ли Вы организацией работы Школы?			
2	Полученная информация была новой для Вас?			
3	Были ли интересны прочитанные лекции?			
4	Были ли эффективны практические занятия?			
5	Получили ли Вы новые навыки во время практических занятий?			
6	Школа была полезной для Вас?			
7	Намерены ли Вы использовать знания, полученные в Школе, в дальнейшей своей работе?			
8	Хотели ли бы Вы принять участие в следующей подобной Школе?			

Если у Вас есть предложения, каким образом можно улучшить работу следующей Школы по оперативной океанологии, напишите их здесь:



СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

настоящий сертификат подтверждает, что

принял участие в школе молодых ученых
в рамках проекта РНФ

**«Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и
прогноза Мирового океана и Арктического бассейна»**
20 - 25 ноября 2017 года, г. Севастополь, Россия

Директор ФГБУН МГИ, чл.-корр. РАН

С.К. Коновалов

Научный руководитель проекта, чл.-корр. РАН

Г.К. Коротаев



Российский
научный
фонд

