

АЗОВСКИЕ ВОДЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Завьялов П.О.¹, Ижицкий А.С.¹, Гончаренко И.В.¹,
Хлебопашев П.В.¹, Ижицкая Е.С.¹, Коновалов Б.В.¹,
Пелевин В.В.¹, Осокина В.А.¹

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящего этапа экспедиции «Черное море - 2017» являются исследования процессов распространения в Черном море поступающих через Керченский пролив вод Азовского моря и их влияния на гидрофизические условия и состояние экосистемы шельфовой зоны Крымского полуострова.

На этапе экспедиции 2017 года решались следующие основные задачи:

1. Исследование влияния распространения вод Азовского моря на гидрофизическую, гидрохимическую и гидрооптическую структуру прибрежных районов Феодосийского залива.
2. Исследование режима биогенных элементов и параметров карбонатной системы морских вод Феодосийского залива и прилегающего шельфа Черного моря.
4. Исследование мелкомасштабной и синоптической изменчивости термохалинных характеристик и морской циркуляции в районах распространения азовоморских вод.
5. Изучение особенностей распределения полей концентраций метана в зоне взаимодействия вод Черного и Азовского морей.

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН E-mail: peter@ocean.ru

Работы выполнялись в Феодосийском заливе и прилегающих к нему прибрежных районах шельфа юго-восточной части Крымского полуострова от мыса Чауда до поселка Курортное (рис. 5.1).

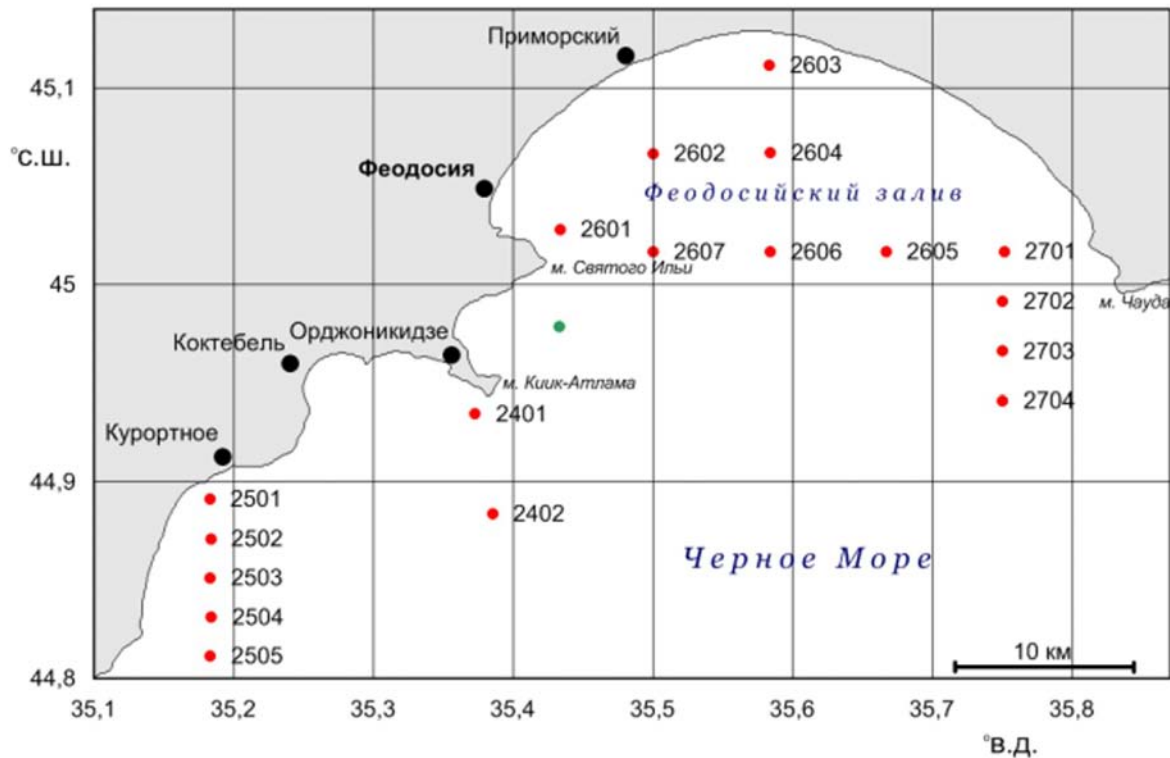


РИС. 5.1.

Схема расположения гидрологических (красные точки) и заякоренной (зеленая точка) станций в районе исследований

Измерения были организованы в форме четырех однодневных выходов (24, 25, 26 и 27 мая) на судне МНИС «Ашамба». В общей сложности за период работ было выполнено 8 гидрологических станций (рис. 5.1).

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЙ

Гидрофизические исследования

Температура и электропроводность воды измерялись на ходу судна в приповерхностном слое (глубина 1 м) с помощью проточной зондирующей системы, состоящей

из подающего забортную воду центробежного насоса производительностью около 1 л/с и уложенного в специальный контейнер емкостью 30 литров на палубе CTD зонда YSI 6600 (рис. 5.2). Частота опроса датчиков CTD-зонда составляла 1 Гц.



РИС. 5.2.

Проточная система с использованием CTD-зонда YSI 6600 (слева) и зонд Cat 19 plus для вертикального зондирования (справа)

Вертикальные распределения величин температуры, электропроводности и флуоресценции хлорофилла измерялись на станциях посредством CTD-зондирования с использованием зонда SBE 19 plus, обеспечивающего дискретность измерений 4 Гц.

Скорость и направление морских течений в придонном слое регистрировались на заякоренной станции, оснащенной измерителем системы MAT Logger. Интервал между измерениями составлял 10 минут при 1-минутном периоде осреднения с частотой 16 Гц. Колебания значений температуры воды (дискретность 2 минуты) фиксировались на шести горизонтах с помощью цепи термисторов, установленных на заякоренной станции. Общий период измерений на заякоренной станции составил 4 суток с 24 мая по 28 мая.

Измерения сопутствующих метеорологических параметров, в том числе колебаний температуры воздуха, атмосферного давления, скорости и направления ветра, проводились с помощью автономной портативной метеорологической станции GILL GMX 500, установленной на борту судна. Частота проведения измерений на метеостанции составляла 1 Гц.

Измерение скорости и направления морских течений на разрезах между станциями проводилось по ходу движения судна при помощи акустического доплеровского измерителя течений RDI WH Sentinel 600 кГц. Измеритель в комплекте с компасом Hemisphere V102 был смонтирован на штанге и размещен на глубине 1,5 м под поверхностью воды.

Методика гидрооптических измерений

На 18 станциях в поверхностном слое определены концентрации общей взвеси, ее минеральной и органической составляющей и Chl-а. Дополнительно на станциях измерена относительная прозрачность воды (максимальная глубина видимости диска Секки). Пробы воды объемом 5 л отбирались с поверхности ведром. Взвесь отфильтровывалась под давлением (при перепаде 0,2 атм) на стекловолоконистые фильтры Whatman GF/F диаметром 47 мм. Фильтры высушивались в присутствии силикагеля и хранились в морозильнике. Анализ содержания взвеси проводился в лабораторных условиях. Концентрация Chl-а определялась по стандартной спектрофотометрической методике (ГОСТ, 1990). Методика определения суммарной концентрации взвеси и ее компонентов описана в работе (Коновалов и др., 2014).

В ходе экспедиции в Феодосийском заливе Черного моря в мае 2017 года проводились измерения лазерным ультрафиолетовым флуоресцентным лидаром УФЛ-9 (Palmer et al., 2013; Pelevin et al., 2017; Завьялов и др., 2014) на станциях и на ходу судна (рис. 5.3).

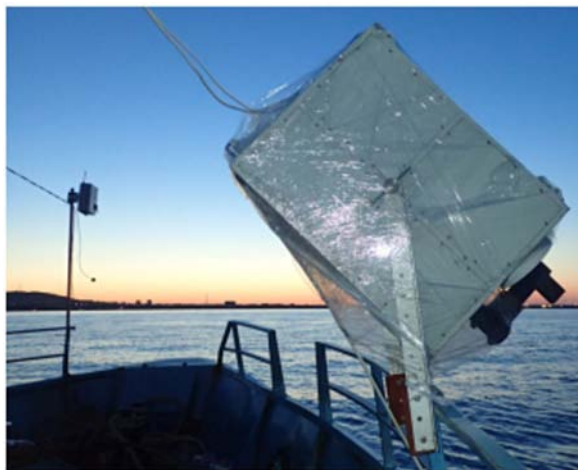


РИС. 5.3.

Монтаж измерительного оборудования на судно у причала (слева), работа лидара и спектрофотометра по ходу движения судна (справа)

Результаты измерений автоматически привязывались к координатам места с помощью GPS. На станциях снимался спектр флуоресценции и обратного рассеяния лазерного импульса 355 нм в спектральных каналах 355, 385, 404, 424, 440, 460, 497, 532, 620, 651, 685 нм. На ходу судна проводилось непрерывное зондирование с частотой 2 Гц приповерхностного слоя вод с одновременной регистрацией сигналов при 355, 404, 440, 685 нм, что позволяло измерять: по сигналам флуоресценции при 685 и 440 нм – в относительных единицах концентрации хлорофилла и органического вещества; по сигналу упругого рассеяния при 355 нм – концентрацию взвеси. При этом проводилось нормирование всех измерительных каналов на сигнал комбинационного рассеяния лазерного излучения водой при 404 нм. Толщина зондируемого слоя в районе работ составляла до 5 м.

Для уменьшения влияния случайных ошибок на итоговый результат данные измерений, полученные на станциях наблюдений, сглаживались при усреднении 10-50 сигналов. При обработке данных, полученных на разрезах на ходу судна, проводилось сглаживание рядов данных скользящим средним с шириной окна в 3 отсчета.

По окончании экспедиции была проведена калибровка показаний лидара по данным анализа отобранных на 18 станциях проб воды на Chl-a, взвешенное органическое вещество (ВОВ) и минеральную взвесь (Коновалов и др., 2014). На основании данных калибровок построены карты распределения Chl-a, ВОВ и минеральной взвеси на полигоне работ в абсолютных единицах.

Методы гидрохимических исследований

При гидрохимических исследованиях на данном этапе использовались стандартные методы отбора и лабораторного анализа проб морской воды, подробно описанные в Главе 3 настоящей монографии.

Методы и средства газометрических исследований

Пробы воды с поверхностного и придонного горизонтов отбирались батометром. Были использованы стеклянные банки с узким горлом (30 мл), предварительно промытые раствором хромовокислого калия, дистиллированной водой и высушенные (Бордовский, Чернякова, 1992). При анализе проб воды применялась методика фазово-равновесной дегазации. Она заключается в следующем: банка заполняется водой с переливом одного объема, чтобы внутри не осталось пузырьков воздуха; газовая фаза формируется вытеснением части жидкости специальным шприцем определенного объема. Банка, закрытая крышкой с резиновой прокладкой, хранится в таком положении, чтобы пузырек газа внутри не касался крышки для исключения возможного газообмена между пробой и атмосферным воздухом.

Определение концентраций метана в пробах воды производилось с помощью газового хроматографа с пламенно-ионизационным детектором ХПМ-2, работающего на генераторе чистого водорода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты гидрофизических исследований

Метеорологические условия в первые двое суток периода работ характеризовались относительно малой изменчивостью температуры воздуха и атмосферного давления (рис. 5.4). Величины атмосферного давления достигали в это время максимальных значений 1019,1 гПа. Начиная с 26 мая прослеживался ярко выраженный суточный ход температуры воздуха (амплитуда около 8°C), выделялся общий положительный тренд. В то же время атмосферное давление начало снижаться, достигнув минимальных значений 27 мая (1010,8 гПа), после чего наблюдался его постепенный рост до конца периода работ.

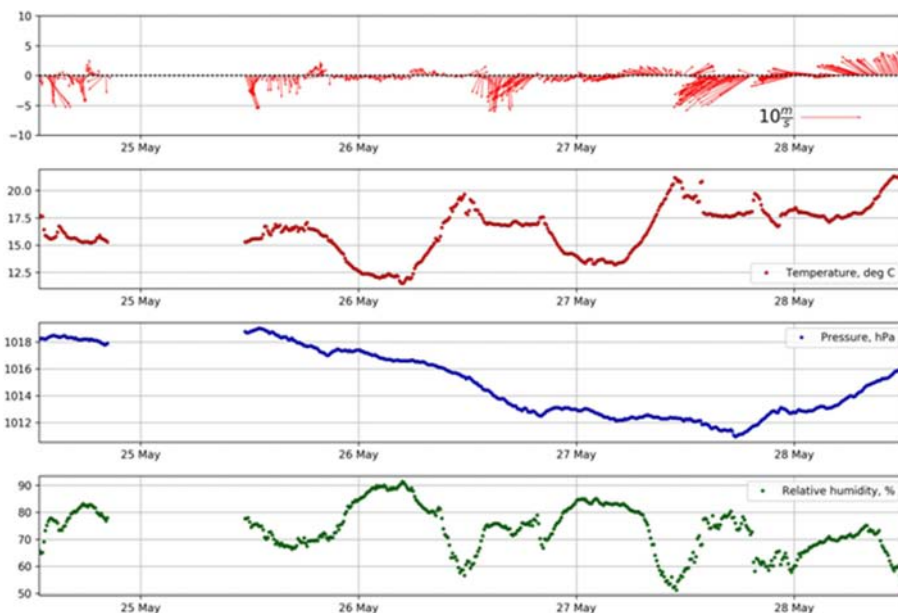


РИС. 5.4.

Результаты измерения основных метеорологических параметров; данные автономной портативной метеорологической станции, размещенной на борту судна «Ашамба», осреднение по 10-минутным интервалам : а – направление и скорость ветра; б – температура, °С; в – атмосферное давление, гПа; г – относительная влажность, %

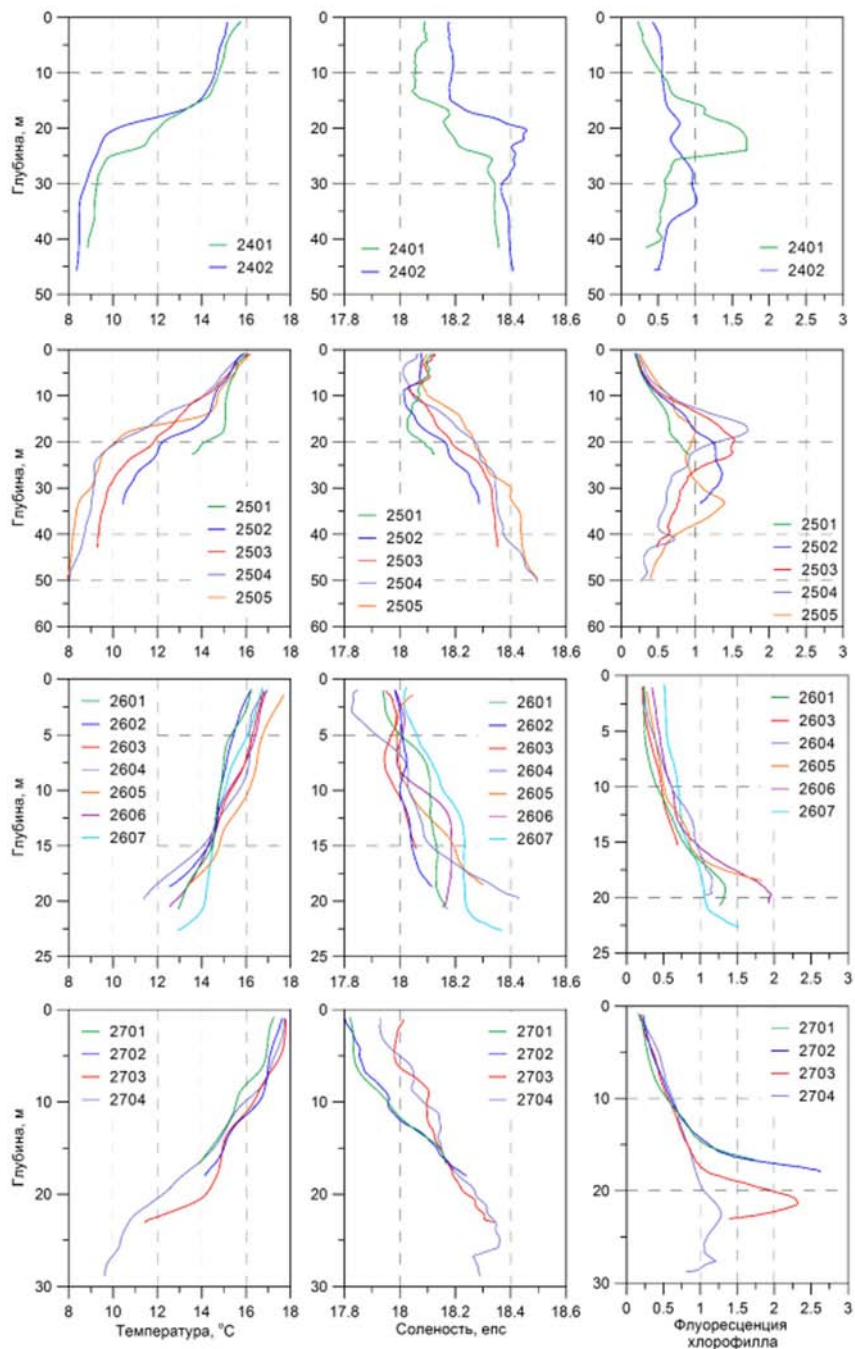
В ходе дневных выходов судна на полигоне наблюдался северный и северо-восточный ветер до 10–11 м/с. Максимальные значения скорости ветра, зафиксированные в период экспедиции, достигали 12,5 м/с. На векторной диаграмме скорости ветра хорошо выделяются периоды нахождения судна в порту (существенно более низкие величины скорости ветра в ночное и вечернее время).

В период проведения работ в Феодосийском заливе и на прилегающих участках шельфа была выявлена изменчивость термохалинных характеристик вод, главным образом обусловленная особенностями водообмена различных частей залива с морем и метеорологической обстановкой. На основе данных измерений строились ежедневные карты распределения поверхностной температуры. Эти карты вместе с данными ежедневных вертикальных STD-зондирований, а также данными термисторной косы позволяли следить за пространственной и временной изменчивостью трехмерной структуры исследуемых районов.

На рисунке 5.5 представлены вертикальные профили температуры, солёности и флуоресценции хлорофилла на станциях полигона. 24 мая на разрезе от мыса Киик-Атлама и 25 мая на разрезе от пос. Курортное наблюдалась двухслойная стратификация вод с термоклином на глубине 15 м. Верхний перемешанный слой характеризовался значениями солёности 18.1–18.2 ‰ и температуры 14–15 °С, а придонный – 18.4–18.5 ‰ и 8–9 °С соответственно.

На профилях станций в Феодосийском заливе и на разрезе к западу от м. Чауда 26 и 27 мая термоклин был выражен слабо, имело место постепенное понижение значений температуры и повышение величин солёности от поверхности ко дну. При этом, значения температуры в целом по профилю были выше зафиксированных ранее в западной части полигона. В то же время значения величин солёности на поверхности и в придонной части водной колонны оказались ниже. В особенности это касается станций 2604, 2701 и 2702, где значения солёности в поверхностном слое понижались до 17,8 епс. По-видимому, на этих станциях наиболее отчетливо было зафиксировано влияние распространения трансформированных азовоморских вод из-за м. Чауда в центральную часть залива. Тем не менее, степень этого влияния на гидрологическую структуру вод полигона в период работ была достаточно низка даже в сравнении с аналогичными измерениями, например за 2015 г. (Ижицкий, Завьялов, 2017).

На рисунках 5.6 – 5.7 приведены карты поверхностного распределения термохалинных характеристик исследуемого района. Минимальные значения температуры (14 °С) были зафиксированы в прибрежной зоне в районе м. Киик-Атлама и м. Ильи. Понижение температуры было обусловлено прибрежным апвеллингом, развитие которого подтвердили данные измерения заякоренной станции. В центральной части Феодосийского залива наблюдались максимальные значения температуры, что, по-видимому, отражает влияние залива трансформированных азовоморских вод на полигон. Это согласуется и с данными вертикального зондирования.

**РИС. 5.5.**

Вертикальные профили температуры, солёности и флуоресценции хлорофилла на станциях полигона

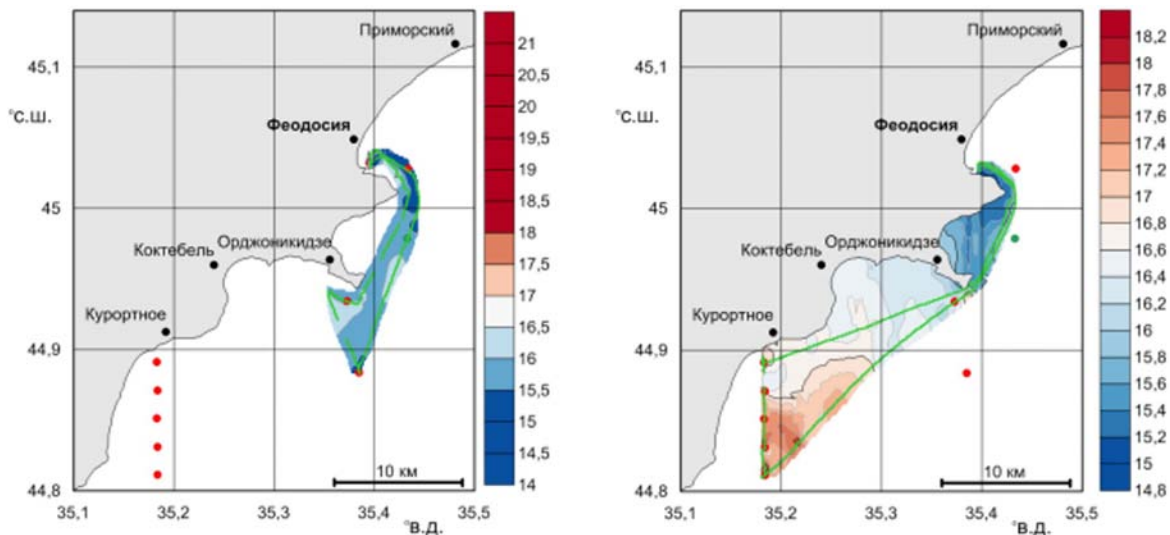


РИС. 5.6.

Распределение температуры вод (°C) в поверхностном слое на участках в западной части полигона 24.05.2017 г. (слева) и 25.05.2017 г. (справа)

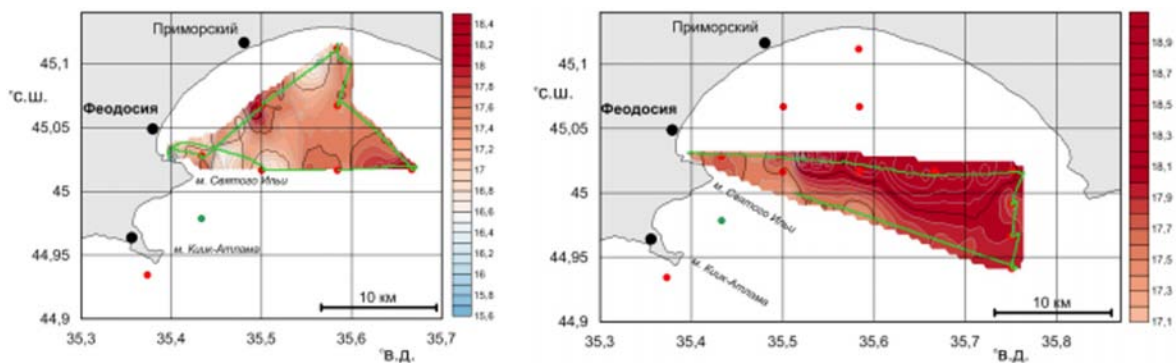


РИС. 5.7.

Распределение температуры вод (°C) в поверхностном слое центральной и восточной частей Феодосийского залива 26.05.2017 г. (слева), а также на разрезе к западу м. Чауда 27.05.2016 г. (справа)

На рисунке 5.8 приведена обобщенная картина распределения температуры в поверхностном слое вод на полигоне. Наблюдаемое поверхностное распределение термohалинных характеристик свидетельствует об имеющейся, но все же не столь значи-

тельной роли азовоморского стока в формировании структуры вод в заливе в период проведения работ.

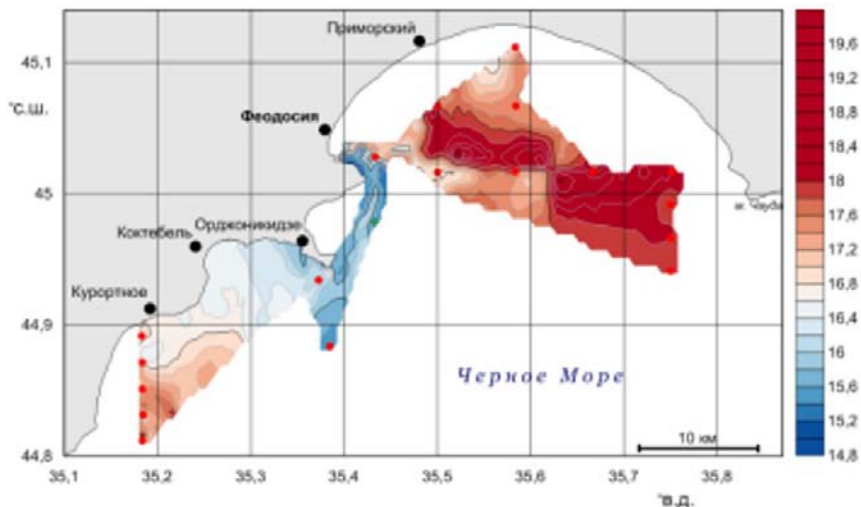


РИС. 5.8.

Обобщенная картина распределения температуры вод ($^{\circ}\text{C}$) в поверхностном слое Феодосийского залива в период исследований

Для непрерывной регистрации данных об изменчивости термической структуры водной толщи и внутренних волнах в прибрежной зоне была установлена заякоренная станция, оснащенная автономными регистраторами температуры DST centi T фирмы *Star-Oddi*. Разрешение датчиков температуры составляло 0.032°C , точность 0.1°C , диапазон измерений от -1°C до 40°C . Термисторы были синхронизированы по времени между собой и вели регистрацию с дискретностью 2 мин. Станция, оснащенная шестью датчиками, непрерывно регистрировала информацию о температурной изменчивости водной толщи в течение практически полных 4 суток (24–28 мая). Характер изменчивости вертикальной термической структуры за весь период наблюдений представлен на рисунке 5.9.

В течение первых двух суток записи на шельфе наблюдалась устойчивая двухслойная структура вод с выраженными волновой изменчивостью значений температуры в термоклине с амплитудой до 5°C и колебаниями нижней границы термоклина в пределах 5 м. В конце вторых суток записи (26 мая) температура всей водной колонны начала понижаться. К концу измерений 28 мая температура толщи вод в охваченном датчиками диапазоне глубин составляла $8,4^{\circ}\text{C}$. По-видимому, наблюдаемая картина связана с усилением апвеллинговых течений в данном районе шельфа, которые могли быть

вызваны действием сгонных ветров северных румбов, зафиксированных на метеостанции 26 мая. Вместе с этим характерные для апвеллинга течения северного направления были зафиксированы на заякоренной станции в придонном слое.

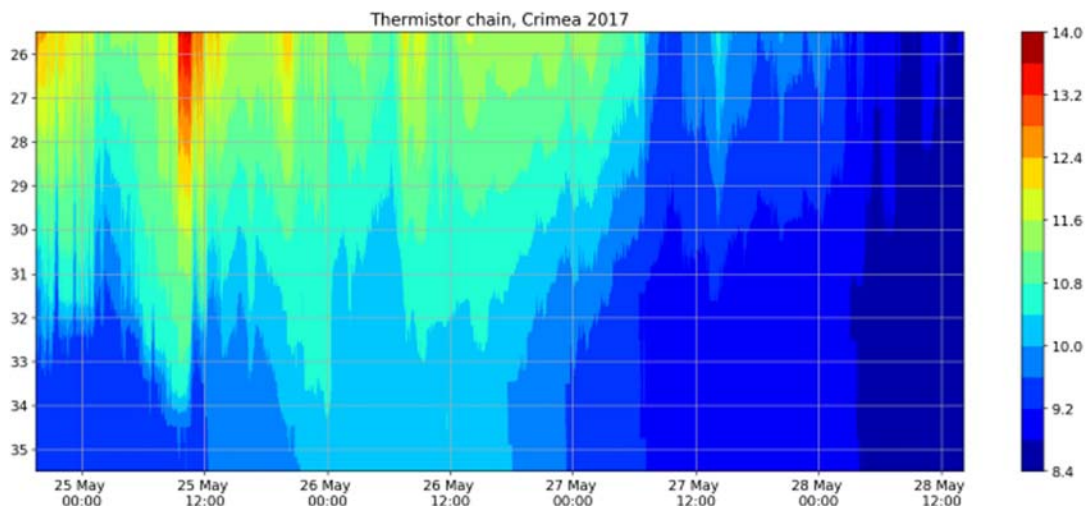
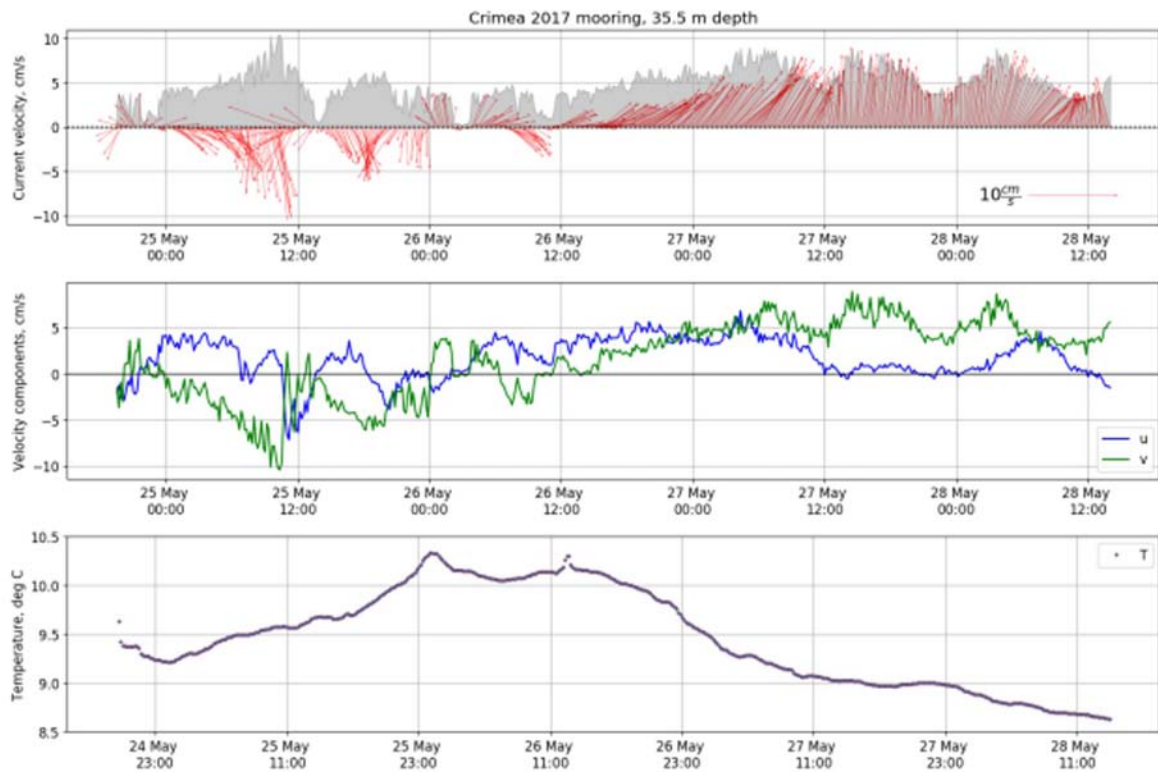


РИС. 5.9.

Изменчивость вертикальной термической структуры (температура, °С) за весь период наблюдений (в виде временной записи термисторной цепи по глубине) на заякоренной станции

В ходе экспедиционных работ были получены данные о характере прибрежной циркуляции вод. Измерения проводились на заякоренной станции, установленной в точке на участке шельфа при выходе из Двукорной бухты на глубине 35.5 м. На рисунке 5.10 представлена изменчивость скорости и направления течения в придонном слое. В течение первых двух суток наблюдались направленные преимущественно на юг течения, изменчивость скорости которых носила ярко выраженный волновой характер, что хорошо заметно на графике колебаний меридиональной и зональной компонент. К концу вторых суток записи на участке шельфа начало развиваться направленное на север, северо-восток течение, со скоростями 10–15 см/с. Развитие этого течения сопровождалось монотонным падением температуры воды придонного и вышележащих слоев водной колонны. Вместе с данными записи термисторной цепи это указывает на развитие апвеллинговых движений вод на данном участке исследуемого полигона. Согласно полученным данным, апвеллинг начал развиваться под воздействием сгонных северных ветров и продолжался до конца периода записи приборов, что привело к заметному понижению температуры всей водной толщи.

**РИС. 5.10.**

Данные измерений, выполненных на заякоренной станции: векторная диаграмма течений в придонном слое (верхний график), изменчивость меридиональной и зональной компонент морского течения (средний график), график колебаний температуры воды в придонном слое (нижний график)

Результаты исследований гидрохимической структуры вод

Гидрохимические исследования позволили сделать ряд выводов о характере загрязнения и процессах водообмена Феодосийского залива и прилегающей прибрежной акватории Черного моря. Было установлено, что основным источником поступления загрязняющих веществ исследуемого участка моря является береговой сток г. Феодосия, который, по всей видимости, подвержен существенному антропогенному воздействию. Об этом свидетельствует сходное распределение форм азота (рис. 5.11), концентрации которых возрастают из открытой части моря в направлении залива. Этот рост особенно выражен в придонном слое. Характер распределения биогенных элементов не позволяет с уверенностью говорить о влиянии азовоморской водной массы на акваторию Феодосийской бухты в рассматриваемый период. Невысокие концентрации биогенных

элементов (кроме содержания аммонийного и, частично, нитритного азота) характерны для завершающей стадии развития планктонных сообществ и не превышают ПДК водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей.

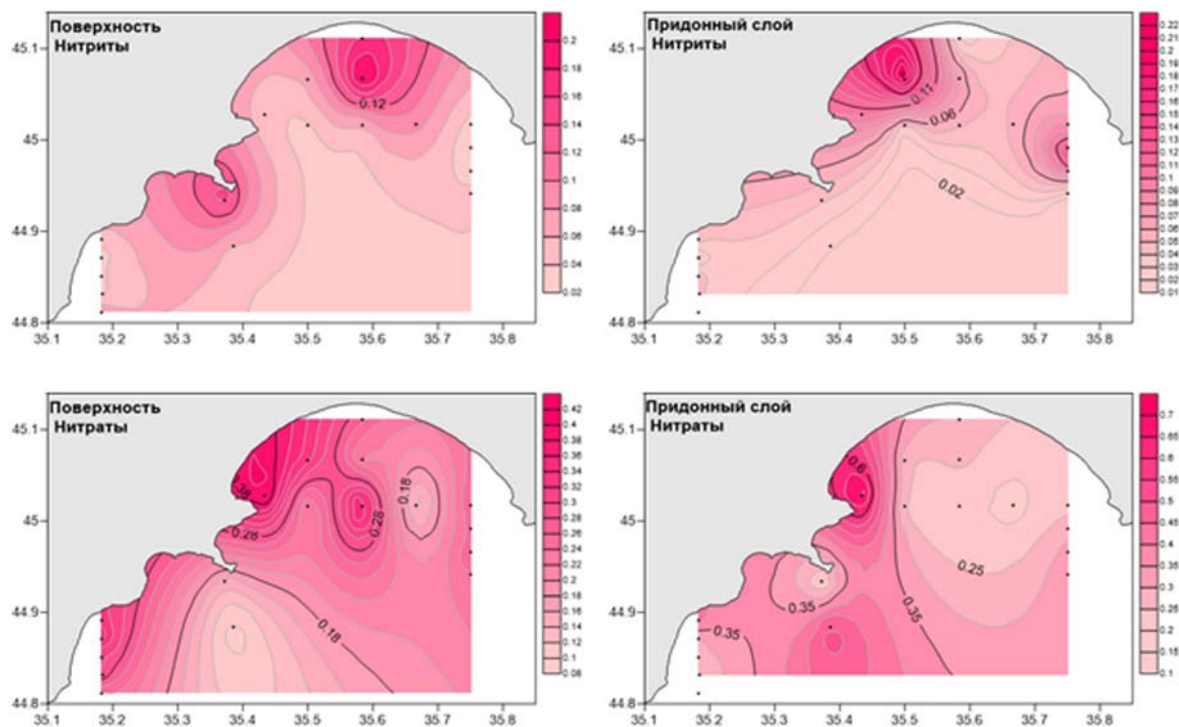


РИС. 5.11.

Распределения концентраций (мкМ/л) нитритного азота на поверхности и в придонном слое (верхняя панель) и нитратного азота на поверхности и в придонном слое (нижняя панель)

Результаты исследования концентраций растворенного метана

Изучение распределения растворенного в воде метана представляет большой интерес при поиске нефтегазовых месторождений на дне акваторий (Шимкус и др., 1998) и оценке парникового эффекта нашей планеты (Бажин, 2000). Кроме того, данные о концентрации метана позволяют косвенно оценить степень загрязнения вод сточными органическими веществами (Федоров и др., 2005) и исследовать биогеохимический круговорот веществ.

В рамках экспедиции в мае 2017 г. одной из целей являлось продолжение исследования характера распределения растворенного метана в районе Феодосийского залива.

Были поставлены следующие задачи:

1. Отбор проб с поверхностного и придонного горизонтов параллельно с отбором проб на различные гидрохимические показатели в районе Феодосийского залива.
2. Лабораторный анализ проб воды и осадков на содержание метана газовой-хроматографическим методом.
3. Выявление закономерностей распределения растворенного метана с установлением роли возможных факторов, влияющих на содержание CH_4 в исследуемом регионе.
4. Сравнение полученных данных с результатами экспедиций прошлых лет.

Величины значений концентраций метана, полученные в период экспедиции в районе Феодосийского залива в 2017 г., в среднем в 15 раз превышают равновесное значение с атмосферным воздухом, что практически полностью совпадает с результатами исследований в мае 2016 г. (рис. 5.12). В прибрежных районах сосредоточено значительное количество органических веществ, образующихся в толще вод вблизи берега и верхнем слое грунта, а также поступающих с материковым стоком. В условиях анаэробного разложения органики, которые создаются в бескислородных микронишах в воде (кишечные тракты зоопланктона, фекальные пеллеты), а также в восстановленном осадке на дне, происходит образование биогенного метана.

Концентрация метана в поверхностном слое вод в центральной части Феодосийского залива 26 мая 2017 г. составляла около 14 нмоль/л, в два раза превышая средние значения мая 2016 г. Придонное содержание метана в заливе было в среднем в два раза ниже, чем год назад, и составляет около 30 нмоль/л. Однако, как и в 2016 г., наблюдается рост придонных концентраций CH_4 с удалением от берега залива и общее превышение придонных значений над поверхностными.

При рассмотрении вертикального распределения метана в толще вод вблизи залива можно отметить рост его концентраций ко дну на станциях с глубинами 30 – 50 м примерно до 80 нмоль/л, наблюдавшийся также в мае 2016 г. В ряде предыдущих прибрежных экспедиций в северо-восточной части Черного моря на горизонтах 30 – 50 м был зафиксирован локальный максимум содержания метана, вероятно, связанный с накоплением в этой области зоопланктона. Таким образом, увеличение содержания метана в придонных водах на станциях с глубиной до 50 м может отражать общие закономерности его распределения в прибрежных водах.

Значения концентраций метана в поверхностном слое вод, полученные в мае 2017 г. на разрезах к юго-западу (мыс Киик-Атлама 24 мая и Карадагский природный заповедник 25 мая) и юго-востоку (мыс Чауда 27 мая) от Феодосийского залива, лежат примерно в одном диапазоне. В придонном слое амплитуда концентраций значительно выше, однако характер распределения газа по разрезам 24 и 25 мая совпадает в поверхностных

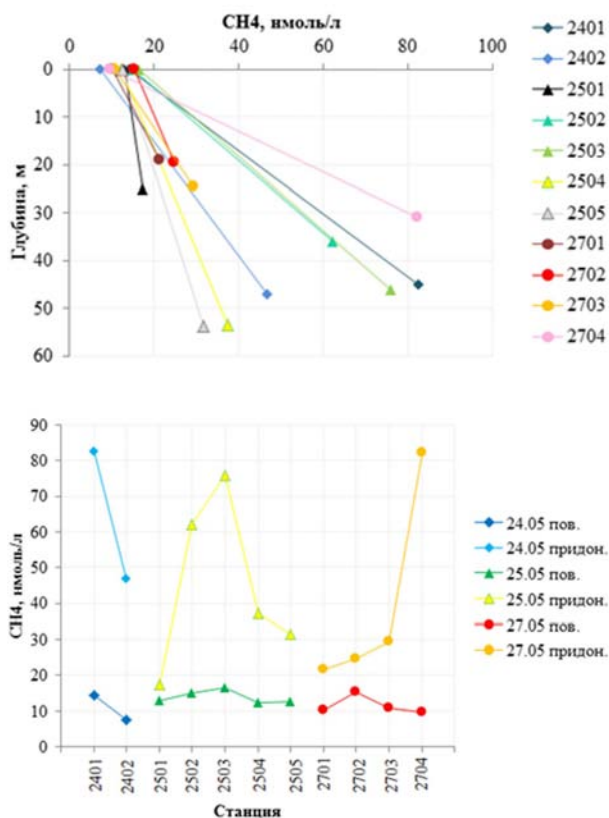


РИС. 5.12.

Содержание метана в поверхностном и придонном слоях вод на станциях разрезов в районе Феодосийского залива 24, 25 и 27 мая 2017 г. (по станциям – вверху, по разрезам – внизу)

и придонных водах. В то же время на разрезе вблизи мыса Чауда количество растворенного метана у дна сильно возрастает с удалением от берега, в отличие от содержания в поверхностном слое, что указывает на различные условия формирования полей концентраций метана на различных горизонтах в этом районе.

Результаты гидрооптических исследований

Диапазоны изменчивости концентраций показателей, приведенных в табл. 5.1, заметно различались в период проведения работ. Наименьшие отклонения от средних значений наблюдались у пигментного индекса (ПИ) фитопланктона (3.2 ± 0.2), что свидетельствует прежде всего об относительном постоянстве возраста его клеток. Наибольшие – у минеральной взвеси (0.74 ± 0.4). В водной массе, поступающей в залив с востока, максимальные концентрации $C_{\text{вмв}}$ были в 3.5 раза выше по сравнению с ее фоновыми значениями на юго-западе. Несмотря на указанные изменения concentra-

ций минеральной взвеси, которая в основном и определяет мутность воды, относительная прозрачность изменялась не столь значительно, всего в 1.6 раза. В период работы прослеживалось общее постепенное снижение концентраций минеральной и органической взвеси в западном направлении (рис. 5.13). При этом характер этих изменений на качественном уровне хорошо согласуется с изменениями относительной прозрачности. Это выглядит особенно убедительно на рис. 5.14-5.15, на которых отсутствует их мелко-масштабная изменчивость.

Таблица. 5.1. Распределение компонентов взвеси, хлорофилла и относительной прозрачности на станциях

| № ст. | Глубина D, м | Концентрации | | | | | Chl-a C _{a'} мкг/л | ПИ, D _{450/665} | Относит. прозрач., Н, м |
|----------|-----------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|--|------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | | общей взвеси C _{взв'} мг/л | минер. C _{вмв'} мг/л | органич. C _{вов'} мг/л | C _{вов} /C _{взв} , % | | | | |
| 240501 | 45 | 0.75 | 0.61 | 0.14 | 18 | 0.23 | 2.9 | 8 | |
| 240502 | 47 | 0.53 | 0.41 | 0.12 | 22 | 0.26 | 2.9 | 8 | |
| 250501 | 25 | 0.93 | 0.78 | 0.15 | 16 | 0.22 | 3.1 | 8 | |
| 250502 | 36 | 0.58 | 0.48 | 0.10 | 18 | 0.14 | 3.1 | 8 | |
| 250503 | 46 | 0.83 | 0.70 | 0.13 | 16 | 0.22 | 3.0 | 8 | |
| 250504 | 53.5 | 0.61 | 0.49 | 0.12 | 20 | 0.21 | 2.9 | 7.5 | |
| 250505 | 53.8 | 0.45 | 0.33 | 0.12 | 27 | 0.25 | 2.9 | 7.5 | |
| 260501 | 23 | 1.02 | 0.87 | 0.15 | 15 | 0.13 | 3.3 | 7 | |
| 260502 | 21.5 | 0.82 | 0.68 | 0.14 | 17 | 0.16 | 3.1 | 7 | |
| 260503 | 17.5 | 0.92 | 0.78 | 0.14 | 15 | 0.16 | 3.2 | 7.5 | |
| 260504 | 22 | 0.92 | 0.76 | 0.16 | 17 | 0.20 | 3.3 | 6.5 | |
| 260505 | 20.7 | 1.33 | 1.14 | 0.19 | 15 | 0.17 | 3.4 | 6.5 | |
| 260506 | 22.5 | 0.89 | 0.75 | 0.13 | 15 | 0.20 | 3.3 | 6.5 | |
| 260507 | 24.8 | 1.34 | 1.14 | 0.20 | 15 | 0.24 | 3.3 | 5.8 | |
| 270501 | 19 | 0.95 | 0.80 | 0.15 | 16 | 0.18 | 3.4 | 7.5 | |
| 270502 | 19.6 | 0.87 | 0.72 | 0.15 | 17 | 0.19 | 3.4 | 5.5 | |
| 270503 | 24.5 | 0.87 | 0.72 | 0.15 | 17 | 0.23 | 3.1 | 5.5 | |
| 270504 | 31 | 1.29 | 1.11 | 0.18 | 14 | 0.23 | 3.1 | 5 | |
| мин. | 17.5 | 0.45 | 0.33 | 0.10 | 14 | 0.13 | 2.9 | 5 | |
| макс. | 53.8 | 1.34 | 1.14 | 0.20 | 27 | 0.26 | 3.4 | 8 | |
| макс/мин | 3.1 | 2.95 | 3.46 | 1.93 | 2 | 2.04 | 1.2 | 1.6 | |
| средн. | 30.7 | 0.88 | 0.74 | 0.15 | 17 | 0.20 | 3.2 | 7.0 | |

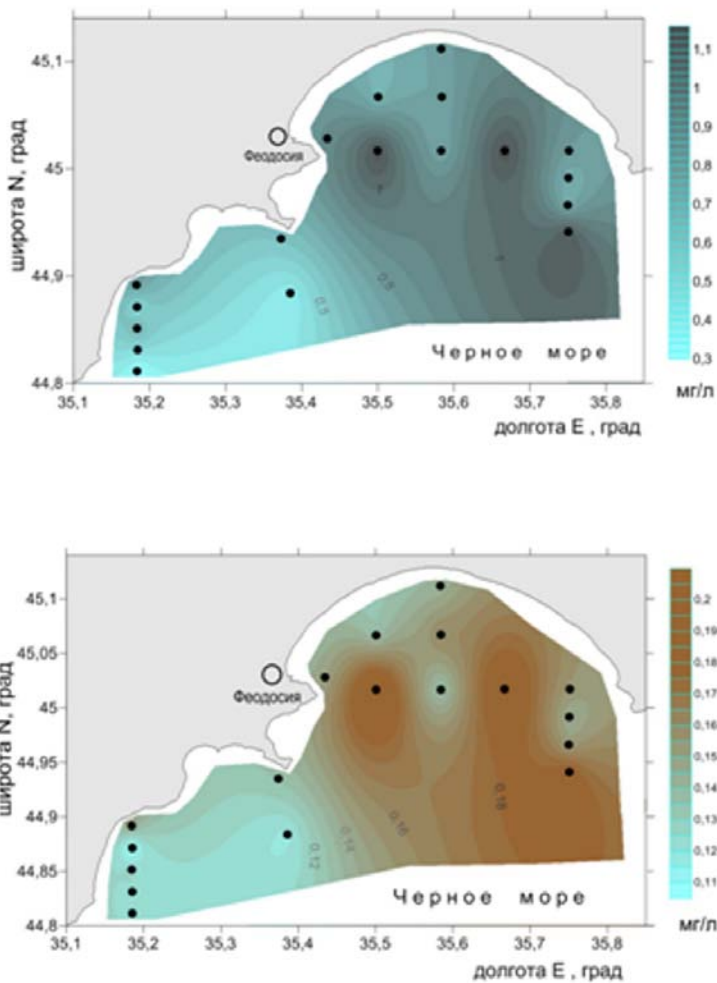


РИС. 5.13.

Распределение концентраций взвешенного минерального вещества $C_{\text{МВ}}$ (вверху) и взвешенного органического вещества $C_{\text{ОВ}}$ (внизу) на поверхности Феодосийского залива

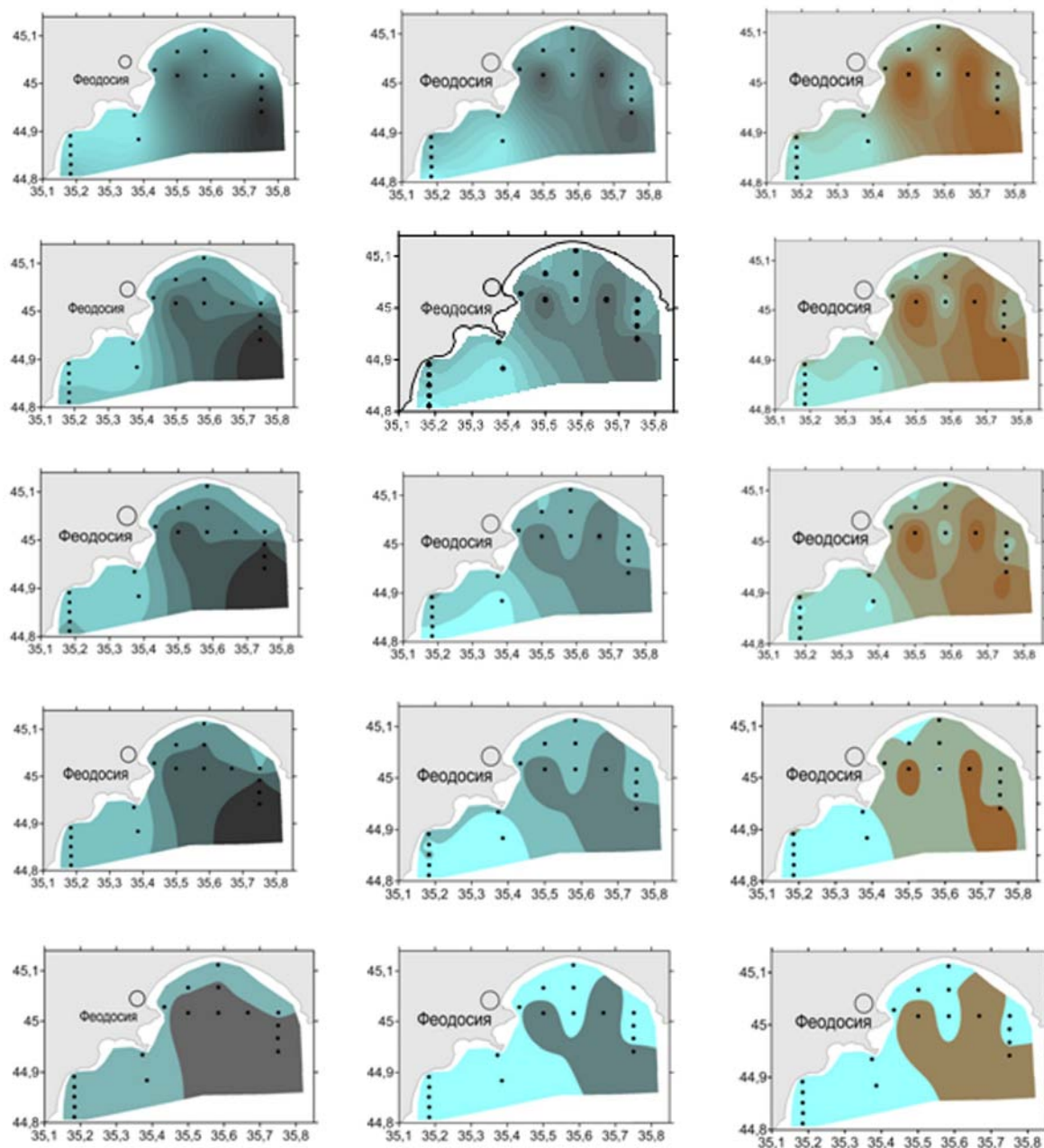


РИС. 5.14.

Сравнение контрастностей картин распределения относительной прозрачности и концентраций минеральной и органической взвесей для разных масштабов осреднения. Левый столбец – относительная прозрачность H , в м; средний – концентрация взвешенного минерального вещества $C_{\text{вмв}}$, в мг/л; правый – концентрация взвешенного органического вещества $C_{\text{воб}}$, в мг/л

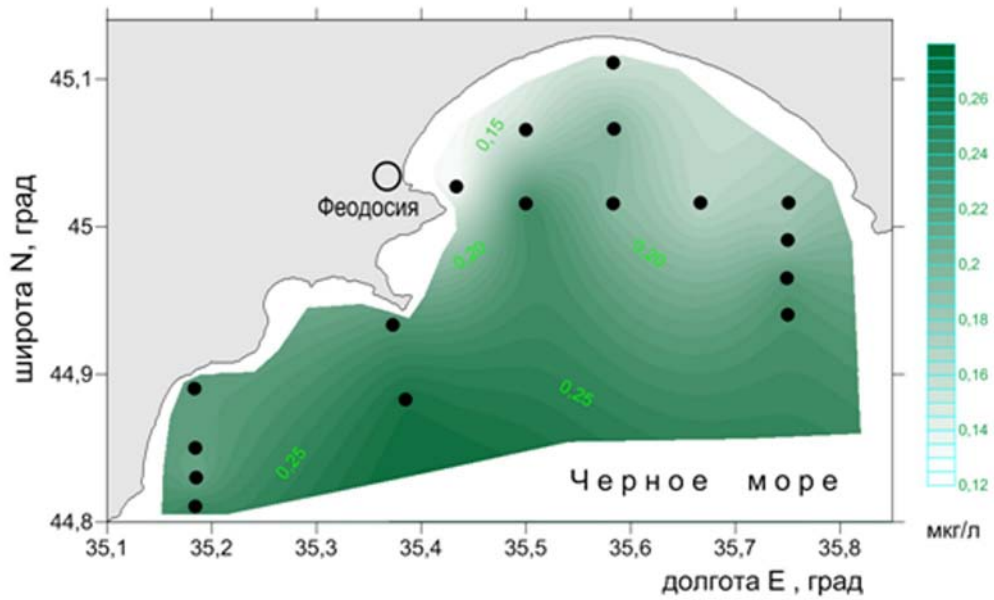


РИС. 5.15.

Распределение концентраций Chl-a – C_a на поверхности Феодосийского залива

Предварительный анализ данных лидарного зондирования за отдельные дни измерений показал их хорошую согласованность и отсутствие хаотичности распределения параметров, что позволило сделать вывод о квазистационарности гидродинамических процессов за весь период проведения работ (рис. 5.16 – 5.18) и анализировать распределение измеряемых параметров не за отдельные периоды, а в комплексе. В период проведения работ в исследуемой акватории присутствовал меандрирующий фронт, который наиболее ярко выражен на карте распределения взвеси (рис. 5.18).

За период проведения работ концентрации измеряемых параметров изменялись в следующих пределах:

- Chl-a: 0.02 – 0.8 мкг/л;
- ВОВ: 0.08 – 0.24 мг/л;
- минеральная взвесь: 0.4 – 2.5 мг/л.

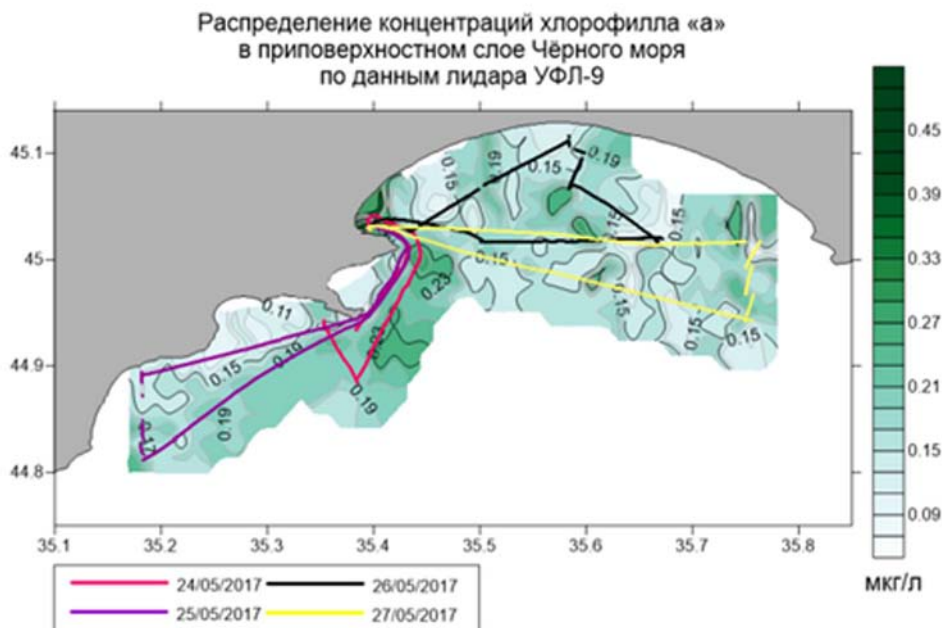


РИС. 5.16.

Распределение концентраций Chl-a в приповерхностном слое Черного моря по данным лидара УФЛ-9

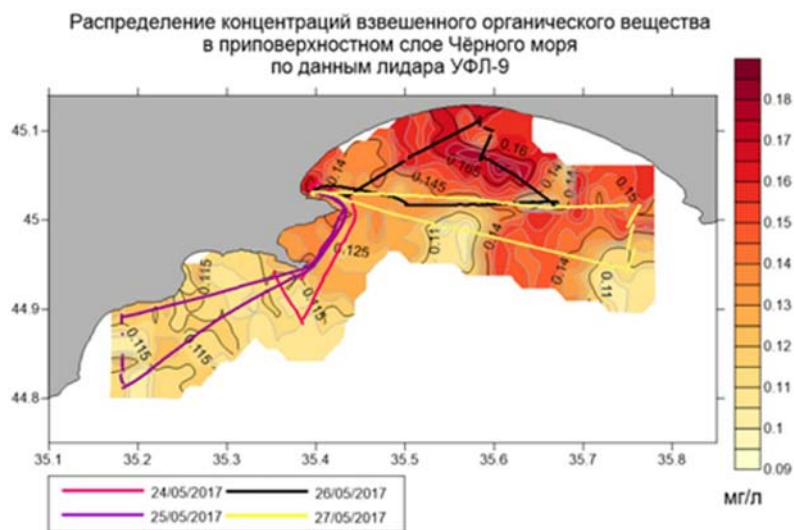


РИС. 5.17.

Распределение концентраций взвешенного органического вещества в приповерхностном слое Черного моря по данным лидара УФЛ-9

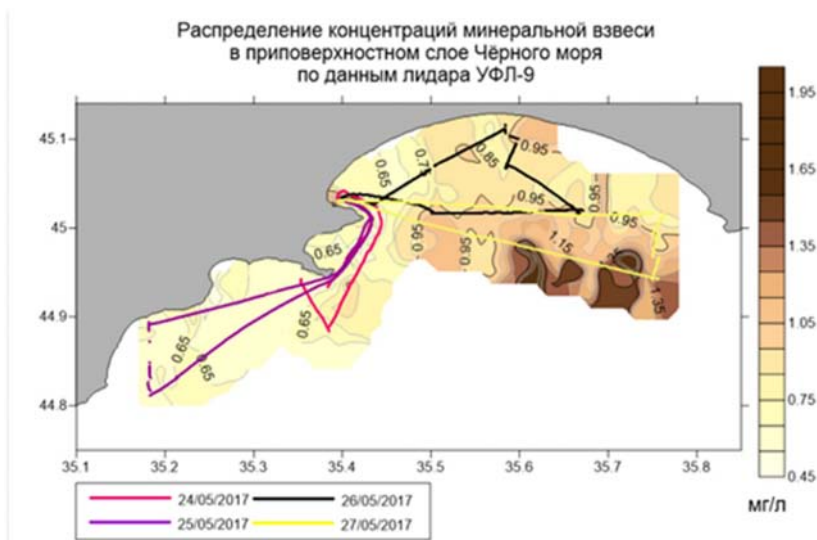


РИС. 5.18.

Распределение концентраций взвешенного минерального вещества в приповерхностном слое Черного моря по данным лидара УФЛ-9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 5

1. *Бажин Н.М.* Метан в атмосфере // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 3. С. 52-57.
2. *Бордовский О.К., Чернякова А.М.* Современные методы гидрохимических исследований океана / Отчет ИО РАН. М. 1992. 200 с.
3. ГОСТ 17.1.04.02-90. «Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а». Госкомитет СССР по охране природы. М. 1990. 16 с.
4. *Завьялов П.О., Маккаев П.Н., Коновалов Б.В., Осадчиев А.А., Хлебопашев П.В., Пелевин В.В., Грабовский А.Б., Ижицкий А.С., Гончаренко И.В., Соловьев Д.М., Полухин А.А.* Гидрофизические и гидрохимические характеристики морских акваторий у устьев малых рек российского побережья Черного моря // Океанология. 2014. Т. 54. № 3. С. 293-293.
5. *Ижицкий А.С., Завьялов П.О.* Гидрофизическое состояние вод Феодосийского залива в мае 2015 г. // Океанология. 2017. Т. 57. № 4. С. 538-545.
6. *Коновалов Б.В., Кравчишина М.Д., Беляев Н.А., Новигатский А.Н.* Определение концентрации минеральной взвеси и взвешенного органического вещества по их спектральному поглощению // Океанология. 2014. Т. 54. № 5. С. 704-704.
7. *Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О.* Метан в водных экосистемах. Ростов-на-Дону // ЗАО «Ростиздат». М. 2005. 329 с.
8. *Шимкус К.М., Москаленко В.Н., Райен В.Б., Питман В.К.* Газоносные четвертичные отложения Прикерченской части Черноморского шельфа и их связь с прибрежными литофациями // Бюл. Московского Общества испытателей природы, отд. Геол. 1998. Т. 73, вып. 4. С. 51-55.
9. *Palmer S. C. J., Pelevin V., Goncharenko I., Kovács A., Zlinszky A., Présing M., Horváth H., Nicolás-Perea V., Balzter H., Tóth V.* Ultraviolet fluorescence LiDAR (UFL) as a measurement tool for water quality parameters in turbid lake conditions // Remote Sensing. 2013. Т. 5. № 9. P. 4405-4422.
10. *Pelevin V., Zlinszky A., Khimchenko E., Toth V.* Ground truth data on chlorophyll-a, chromophoric dissolved organic matter and suspended sediment concentrations in the upper water layer as obtained by LIF lidar at high spatial resolution // International journal of remote sensing. 2017. Т. 38. № 7. P. 1967-1982.