

П.Д.Ломакин\*, М.А.Попов\*\*,  
А.И.Чепыженко\*, А.А.Чепыженко\*

\**Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь*

\*\**Институт биологии южных морей НАН Украины, г.Севастополь*

## **ПОЛЕ МУТНОСТИ И ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ НА ОСНОВЕ ГИДРООПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЙ**

На основе анализа данных гидрооптических съемок, реализованных в рамках комплексного океанографического мониторинга Балаклавской бухты в 2004 – 2010 гг., исследована структура полей мутности и суммарного взвешенного вещества, выполнена оценка загрязнения рассматриваемой акватории растворённым органическим веществом искусственного происхождения и растворёнными нефтепродуктами. Определены концентрации, источники и пути распространения суммарной взвеси и загрязняющих веществ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *Чёрное море, Балаклавская бухта, мутность, суммарное взвешенное вещество, растворённое органическое вещество, нефтепродукты.*

Обсуждаемый в настоящей статье результат основан на нетрадиционных для классической океанографии экспериментальных гидрооптических исследованиях, позволяющих получить представление о параметрах экологического состояния, практически, любого интересующего водного объекта, в данном случае уникального и недостаточно изученного участка черноморского побережья, – акватории Балаклавской бухты.

Ее цель – выявление закономерностей в структуре полей мутности вод и содержания суммарного взвешенного в водной толще вещества; оценка степени загрязнения рассматриваемой акватории растворенным органическим веществом искусственного происхождения и нефтепродуктами; определение источников и путей распространения загрязняющих веществ.

**Исходные данные и методы исследования.** Анализ полей мутности, содержания суммарного взвешенного в водной толще вещества, растворенного органического вещества и растворенных нефтепродуктов выполнен на основе эмпирических данных, полученных при помощи гидрооптических методов исследования.

В качестве исходных сведений использованы материалы пяти гидрооптических съемок, реализованных на акватории Балаклавской бухты сотрудниками Института биологии южных морей НАН Украины и Морского гидрофизического института НАН Украины с участием авторов. Съемки проведены 21 сентября 2004 г., 11 сентября 2005 г., 23 августа 2006 г., 6 октября 2007 г. и 21 – 23 июля 2010 г. по схеме станций, показанной на рис.1.

Кроме этого, в течение указанного промежутка времени вдоль осевой линии бухты была выполнена серия разрезов, где исследовалась структура поля мутности вод.

Пробы для определения содержания суммарного взвешенного в водной толще вещества, растворенного органического вещества и растворенных

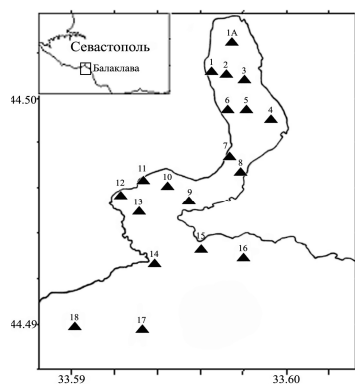


Рис. 1. Схема станций гидрооптических исследований.

нефтепродуктов отбирались батометром с поверхности и у дна с борта маломерного судна. Дальнейший их анализ (определение спектрального коэффициента ослабления направленного света) проводился в лабораторных условиях на спектральном измерителе прозрачности *OSP-IPO* [1].

Концентрации рассматриваемых величин, полученных на основе спектрофотометрических методик [1 – 3], сопоставлялись с их концентрациями, наблюдаемыми в открытых водах Чёрного моря. Последние, заимствованные из [4], и равные 0,2 мг/л для суммарного взвешенного вещества, 2 мг/л для органического растворённого вещества и 1 (безразмерная единица) для растворённых нефтепродуктов, принимались за норму. Концентрация растворённых нефтепродуктов оценивалась в относительных единицах (отн. ед.), показывающих во сколько раз их реальная концентрация превосходит концентрацию, типичную для вод открытой части Чёрного моря. Затем все три исследуемых параметра среды каптировались. Мутность измерялась в зондирующем режиме при помощи зонда-мутномера [5] с шагом по глубине 0,1 м. Координаты станций определялись при помощи спутниковой навигационной системы GPS-12, *GARMIN*.

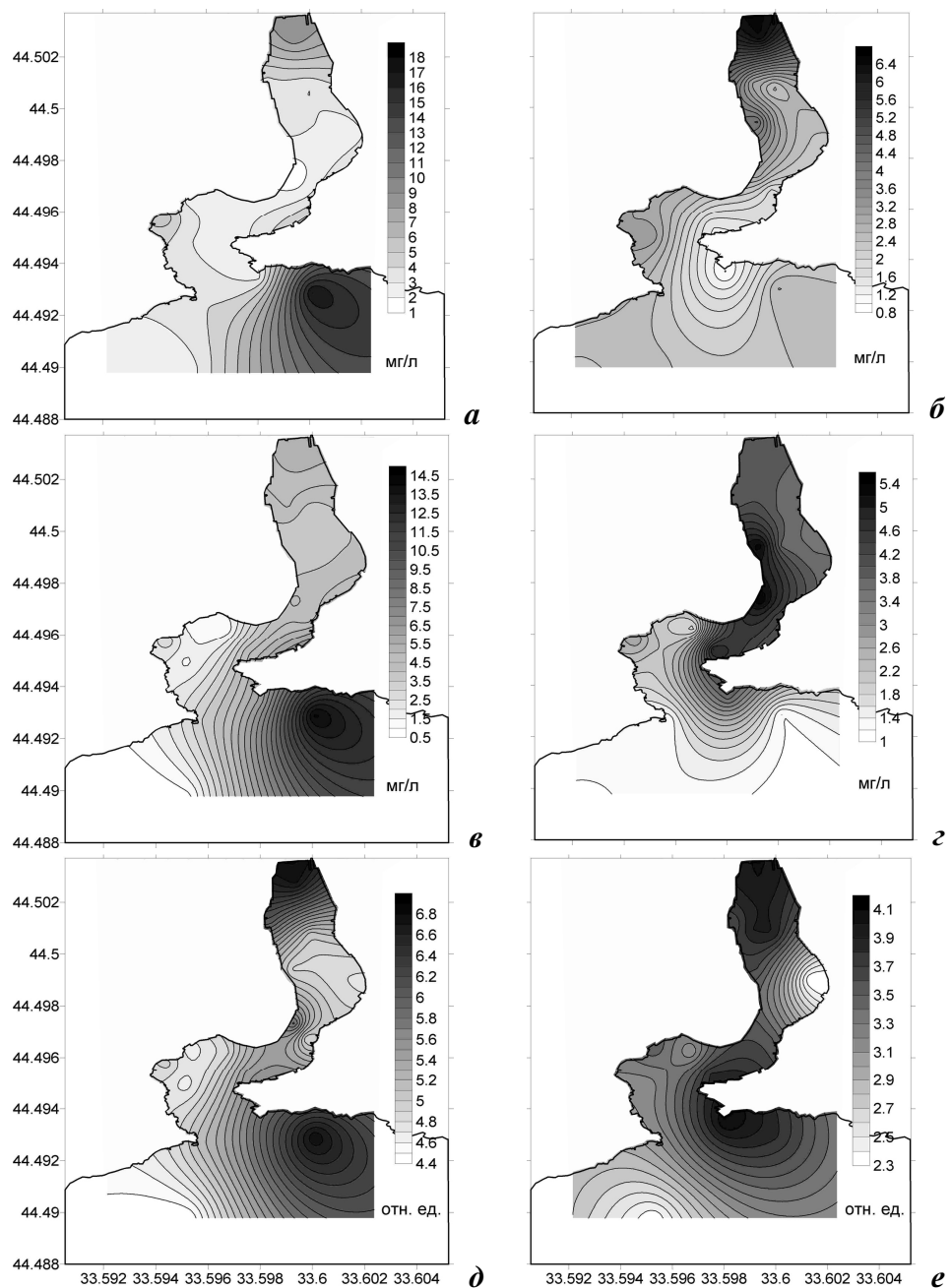
Отметим, что используемый оптический метод в последнее время получил довольно широкое распространение в экспедициях Морского гидрофизического института НАН Украины и Института биологии южных морей НАН Украины, которые проводятся в различные участки Азово-Черноморского бассейна [6 – 9].

**Обсуждение результатов.** Анализ полей рассмотренных параметров среды показал, что их структура от съёмки к съёмке качественно не изменялась, а выявленные различия носили преимущественно количественный характер. Поэтому ниже проиллюстрирован результат лишь одной съёмки, выполненной в августе 2006 г. (рис.2), когда концентрация исследуемых веществ оказалась максимальной.

На всех схемах горизонтального распределения анализируемых параметров водной среды присутствуют два основных максимума, которые идентифицируют две области экстремального загрязнения акватории Балаклавской бухты, – ее куттовую часть и мористый участок, локализованный у оголовка выпуска сточных вод г.Балаклава (рис.2).

*Суммарное взвешенное в водной толще вещество.* Распределение на поверхности суммарного взвешенного вещества имело четко выраженный максимум (18,1 мг/л, что в 90 раз выше условной нормы) в районе главного выпуска хозяйственно-бытовых вод. Повышенное содержание суммарной взвеси наблюдалось в куттовой части бухты и в районе Георгиевского субмаринного источника (8,8 и 5,5 мг/л соответственно). Наименьшие значения концентрации суммарного взвешенного вещества 1,2 мг/л обнаружены в срединной самой узкой части бухты (рис.2, а).

На всех схемах горизонтального распределения анализируемых параметров водной среды присутствуют два основных максимума, которые идентифицируют две области экстремального загрязнения акватории Балаклавской бухты, – ее куттовую часть и мористый участок, локализованный у оголовка выпуска сточных вод г.Балаклава (рис.2).



Р и с . 2 . Распределение общего взвешенного вещества, мг/л (*a*, *б*); растворенного органического вещества, мг/л (*в*, *з*); растворенных нефтепродуктов, условные единицы (*д*, *е*) в верхнем и придонном слоях соответственно 23 августа 2006 г.

У дна содержание суммарной взвеси оказалась ниже по сравнению с верхним слоем. Максимальные концентрации 6,4 мг/л (в 32 раза выше условной нормы) были обнаружены в кутовой части бухты, а минимальные

(1,0 – 1,1 мг/л) – на взморье. Распределение данного параметра среды здесь имело относительно равномерный характер с менее выраженными экстремумами, чем на поверхности (рис.2, б).

Отметим, что, обследовав поля суммарной взвеси (мутности) в районах крымского побережья, в местах нахождения источников субмаринной разгрузки (Балаклавская бухта, юго-западное побережье Крыма, побережье у Карадага [7]), мы обнаружили ряд локальных характерных особенностей в структуре этих полей. В районах субмаринных источников содержание суммарной взвеси может быть как ниже, так и выше по сравнению с окружающими водами. По имеющимся эмпирическим сведениям в большинстве случаев непосредственно в местах субмаринной разгрузки содержание взвеси было меньше по отношению к общему фону. Локальные на окружающем фоне максимумы концентрации взвешенного вещества наблюдались после выпадения ливневых дождей и в период снеготаяния на территории водосбора источников. По-видимому, это связано с процессом фильтрации сточковых пресных вод. Также зафиксированы случаи, когда субмаринные источники не проявлялись в структуре исследуемых полей [6]. Это явление отмечено в летние засушливые месяцы, когда водность субмаринных источников пресной воды минимальна.

*Растворенное органическое вещество.* Максимум концентрации растворенного органического вещества (14,2 мг/л, что в 7 раз выше условной нормы) на поверхности наблюдался в области главного канализационного коллектора. Его локальные максимумы были обнаружены в кутовой части бухты (5,3 мг/л, в 2,6 раза выше условной нормы), а также на участках основной узкости (4,3 – 4,5 мг/л) (рис.2, в).

У дна максимальное содержание растворенной органики (5,2 мг/л, что в 2,6 раза выше условной нормы) было зафиксировано в области основной узкости бухты (рис.2, г).

Высокая, существенно превосходящая природную норму, концентрация суммарной взвеси и растворенной органики свидетельствует об антропогенной природе этих веществ.

Участок вблизи Георгиевского субмаринного источника, как на поверхности, так и в придонном горизонте выделялся небольшим повышением концентрации растворенного органического вещества относительно окружающего фона (рис.2, в, г).

*Растворенные нефтепродукты.* Максимальное содержание растворенных нефтепродуктов, достигавшее 6,8 – 7,0 усл. ед. в верхнем слое обнаружено в местах стоянки судов – яхт-клуб, причальная линия на выходе из бухты, кутловая часть бухты, а так же в районе выпуска хозяйственно-бытовых вод (рис.2, д).

Локальные максимумы концентрации растворенных нефтепродуктов (2 – 4 усл. ед.) в придонном слое наблюдались в кутовой части бухты, у причальных стенок, в местах якорных стоянок судов и в районе выпуска сточных вод (рис.2, е).

По сведениям [10], основанным на результате классического гидрохимического анализа, в 2001 – 2002 гг. область, локализованная у выпуска хозяйственно-бытовых вод, отличалась высокой степенью нефтяного загрязнения.

Здесь содержание нефтепродуктов в поверхностных водах превысило 11 ПДК.

Согласно [11], повышенные на 2 – 5 % относительно окружающего фона концентрации растворенных нефтепродуктов у причальных линий типичны для бухт Севастополя, а также для Балаклавской бухты. То есть, имеющиеся литературные сведения подтверждают выявленные нами закономерности пространственного распределения растворенных в воде нефтепродуктов на исследуемой акватории.

Представленные выше данные о распределении максимумов концентрации рассмотренных веществ, позволяют выявить их источники и природу. Очевидны два основных существенно загрязненных участка исследуемой акватории: кутовая часть Балаклавской бухты и область на взморье, локализованная у коллектора хозяйственно-бытового выпуска.

В кутовой мелководной части бухты вследствие ограниченного водообмена аккумулированы пресные стоки, содержащие суммарную взвесь и растворенную органику, концентрация которых в десятки раз превосходит природную концентрацию этих веществ, что указывает на их искусственное происхождение. Природа и источник загрязняющих веществ на взморье очевидны и не требуют интерпретации.

Следы загрязнения от ливневого коллектора анализируемыми съемками не были зафиксированными, т.к. они (съемки) были выполнены в сухую погоду.

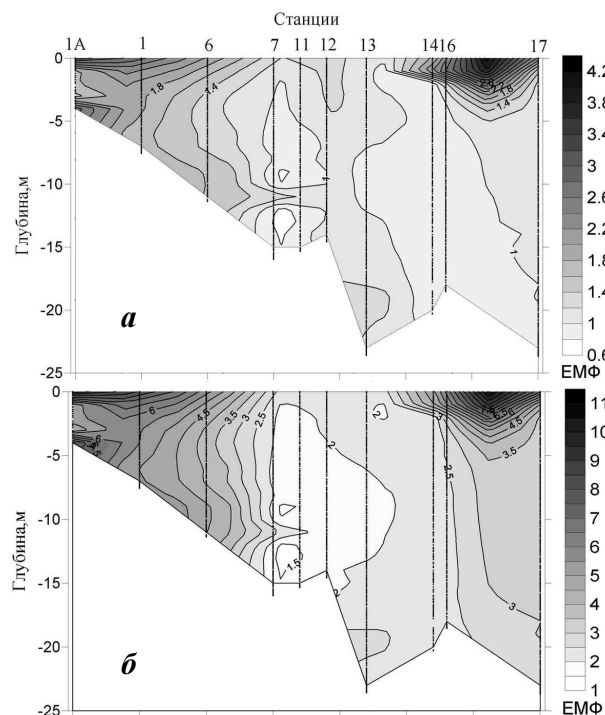
Наименьшие концентрации загрязнителей на акватории бухты были обнаружены по результатам съемки, реализованной нами 11 сентября 2005 г. Концентрация всех элементов, практически, повсеместно, была в 1,5 – 3,5 раза ниже по сравнению с ситуацией, показанной на рис.2. Вода в бухте отличалась высокой прозрачностью и минимальной за все время наблюдений мутностью (рис.3, а).

Анализ синоптической обстановки показал, что за сутки до выполнения этой съемки в исследуемом регионе наблюдался умеренный западный ветер, вероятно, способствовавший развитию локального апвеллинга. Низкие концентрации суммарной взвеси, растворенной органики и нефтепродуктов – вероятное следствие очищающего эффекта данного явления.

Судя по структуре поля загрязнителей, наиболее значимый их источник в пределах исследуемой акватории – коллектор сточных хозяйственно-бытовых вод г.Балаклава, оголовок которого выведен в юго-восточную часть бухты на глубину 10 м.

Этот вывод также подтверждает анализ вертикального распределения мутности вод, согласно которому в области коллектора наиболее мутные воды 11 – 12 ЕМФ сосредоточены в верхнем 1 – 2 м слое (рис.3). Абсолютный максимум мутности 22 – 23 ЕМФ здесь был фиксирован нами в июле 2010 г.

Анализ структуры поля мутности свидетельствует о том, что в кутовой мелководной части Балаклавской бухты загрязнена вся толща вод, от поверхности до дна. Здесь концентрация загрязнителей незначительно убывает с глубиной. В открытой ее области загрязняющие вещества, поступающие сюда из канализационного коллектора г.Балаклава, аккумулированы в тонком верхнем слое. Здесь их концентрация в десятки раз превышает природный фон. От горизонта 1 – 2 м их содержание резко убывает с глубиной, хотя в подстилающих верхний слой водах и у дна концентрация загрязнителей остается вы-



Р и с . 3 . Распределение мутности (оптические единицы ЕМФ) на разрезе вдоль осевой линии Балаклавской бухты: 11 сентября 2005 г. (а), 23 августа 2006 г. (б).

сокой и в разы превосходит их содержание в открытых черноморских водах.

В открытой части бухты слой скачка плотности в теплый период года расположен на глубине 10 – 15 м [12]. То есть, хозяйственно-бытовые стоки г.Балаклава не попадают непосредственно под черноморский пикноклин. Они концентрируются в верхнем слое над скачком плотности (рис.3).

Согласно мнению профессора С.Г.Богуславского (устное сообщение), наиболее эффективное функционирование системы выпуска сточных хозяйственно-бытовых вод с населенных пунктов в Черное море предполагает ее

организацию таким образом, чтобы оголовок выпуска находился под основным галоклином.

Очевидно, что процесс природного очищения попадающих в Балаклавскую бухту сточных вод г.Балаклава при существующих геометрических параметрах системы их выпуска малоэффективен. Зависающие в тонком верхнем слое загрязняющие вещества распространяются адвективными течениями в различных направлениях, достигая кутовой части бухты. Так, по результатам съемок акватории бухты в пробах, отобранных в ее кутовой области, часто обнаруживаются загрязняющие вещества, поступающие сюда посредством адвекции их течениями из участка, где расположен коллектор сточных вод г.Балаклава.

**Заключение.** На основе анализа данных оптических наблюдений в рамках пяти комплексных океанографических экспериментов, проведенных в 2004 – 2010 гг. в район Балаклавской бухты, получены численные оценки по загрязнению рассматриваемой акватории растворённым органическим веществом искусственного происхождения и растворёнными нефтепродуктами. Выявлены закономерности пространственной структуры поля мутности, Определены концентрации и источники суммарной взвеси и загрязняющих веществ.

Обнаружены две наиболее загрязненные области акватории Балаклавской бухты, – ее кутовая часть и участок, локализованный у оголовка вы-

пуска сточных вод г.Балаклава. Здесь зафиксирована значительная мутность и высокая, в десятки раз превосходящая природную норму, концентрация суммарной взвеси и растворенной органики, а также явные признаки нефтяного загрязнения. Локальные максимумы содержание растворенных нефтепродуктов, обнаружены в местах стоянки судов и у причальных линий.

В кутовой мелководной части Балаклавской бухты загрязнена вся толща вод, от поверхности до дна. В открытой ее области загрязняющие вещества, поступающие сюда из канализационного коллектора г.Балаклава, аккумулированы в тонком верхнем слое. Здесь их концентрация в десятки раз превышает природный фон. От горизонта 1 – 2 м их содержание резко убывает с глубиной, хотя в подстилающих верхний слой водах концентрация загрязнителей остается высокой и в разы превосходит их содержание в открытых черноморских водах.

Показано, что хозяйственно-бытовые стоки г. Балаклава не попадают под основной черноморский пикноклин. Они концентрируются в верхнем слое над скачком плотности и распространяются по всей акватории бухты. Существующая системы выпуска хозяйственно-бытовых вод г.Балаклава малоэффективна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chepyzhenko A.I., Haltrin V.I.* Laboratory and flow-through optical spectral probes to measure water quality and content / Ocean Remote Sensing and Applications / Eds by R.J.Frouin, Y. Yuan, H.Kawamura / Proc. SPIE.– 2003.– v.4892.– P.482-488.
2. *Chepyzhenko A.I., Haltrin V.I.*, Laboratory and flow-through optical spectral probes to measure water quality and content // Ocean Remote Sensing and Applications. Eds by R.J.Frouin, Yell Yuan, H.Kawamura.– Proc. SPIE.– 2003.– v.4892 (24-26 October 2002).– Hangzhou, China, 2003.– P.482-488.
3. *Clark D.K.* MODIS. Algorithm theoretical basis document, bio-optical algorithms, national oceanic and atmospheric administration, National Environmental Satellite Service, Washington, D.C. 20233, Version 1.2.
4. *Хайлов К.М.* Экологический метаболизм в море.– Киев: Наукова думка, 1971.– 250 с.
5. <http://www.ecodevice.narod.ru/turbidimeter/turbidimeter.htm>.
6. *Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.* Характеристика загрязнения прибрежных вод у Карадагского заповедника в мае 2007 года по данным оптических наблюдений // «Карадаг-2009».– Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– С.439-445.
7. *Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.* Размыв Бердянской косы (Азовское море) после штормового нагона в ноябре 2007 года // Геология и полезные ископаемые Мирового океана.– 2010.– № 2.– С.63-68.
8. *Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.* Результаты исследования структуры поля суммарного взвешенного вещества на участках Азово-Черноморского побережья Украины в приложении к задачам морской геологии и экологии // Геоинформатика.– 2011.– № 1.– С.66-71.
9. *Ломакин П.Д., Чекменева Н.И., Чепыженко А.А.* Гидрофизические условия и характеристика загрязнения прибрежных вод в районе орнитологического заповедника Лебяжьего острова (Каркинитский залив, Черное море) в летний сезон 2005-2008 гг. // Морской экологический журнал.– 2011.– т.10, № 1.– С.43-49.

10. *Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В.* Комплексные экологические исследования Балаклавской бухты // Экология моря.– 1999.– вып.49.– С.16-20.
11. *Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.* Оценка концентрации растворенных нефтепродуктов в прибрежных водах Крыма на основе данных оптических измерений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– вып.14.– С.245-258.
12. *Ломакин П.Д., Попов М.А.* Структура и сезонная изменчивость термохалинного поля в Балаклавской бухте и прилегающей акватории Черного моря по данным контактных и спутниковых наблюдений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010.– вып.23.– С.171-179.

Материал поступил в редакцию 06.08.2011 г.

*АНОТАЦІЯ.* На основі аналізу даних гідрооптичних зйомок, реалізованих у рамках комплексного океанографічного моніторингу Балаклавської бухти в 2004 – 2010 рр., досліджена структура полів каламутності та сумарної зваженої речовини, виконана оцінка забруднення досліджуваної акваторії розчиненою органічною речовиною штучного походження та розчиненими нафтопродуктами. Визначені концентрації, джерела та шляхи поширення сумарної зваженої та забруднюючих речовин.

*ABSTRACT.* On the base of hydrooptical data analysis, received during the undertaken complex oceanographic monitoring (experiment) in Balaklava bay in 2004 – 2010, the turbidity and TSM fields' structure was explored, CDOM and dissolved oil contamination were estimated for the considered area of water. Concentrations were measured, the sources and the ways of the TSM field and polluting materials' spreading were defined.