

П.Д.Ломакин, А.И.Чепыженко, А.А.Чепыженко

*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь*

### **ПОЛЕ СУММАРНОЙ ВЗВЕСИ И ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД ФЕОДОСИЙСКОГО ЗАЛИВА ПО ДАННЫМ ГИДРООПТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

На основе анализа данных гидрооптических наблюдений в рамках двух комплексных океанографических экспедиций, проведенных сотрудниками Морского гидрофизического института НАН Украины 14 – 15 декабря 2006 г. и 9 – 10 января 2007 г. в Феодосийском заливе, выполнены оценки 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, Феодосийский залив, суммарное взвешенное вещество, растворённое органическое вещество, нефтепродукты.*

Акватория Феодосийского залива, в силу ее закрытости для проведения гражданских исследований, остается недостаточно изученной в океанографическом плане. До настоящего времени немногочисленны сведения о степени загрязнения данного участка черноморского побережья. Согласно [1, 2], к важнейшим факторам антропогенного воздействия на водную среду залива относятся город и порт Феодосия, а также примыкающая к заливу и расположенная южнее м.Киик-Атлама действующая свалка, куда осуществляется дампинг изъятых при дноуглубительных работах грунта. Этот загрязненный грунт принадлежит к донным осадкам II класса загрязнения, В настоящее время информация о степени очистки и объеме сбрасываемых в залив городских сточных вод отсутствует. Феодосийский залив также известен как район минных постановок и затопления судов. [1].

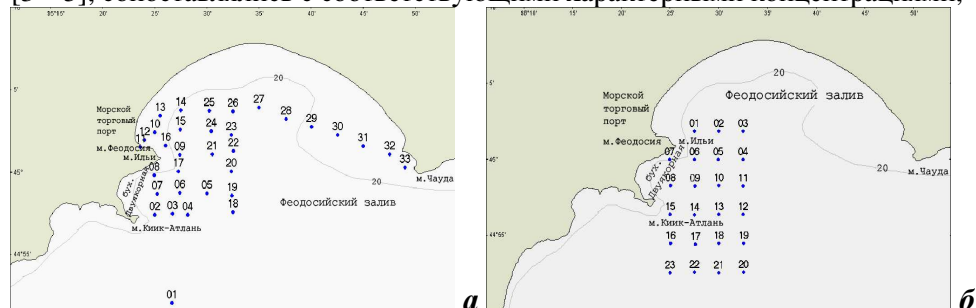
В данной работе рассмотрены следующие неизученные для исследуемой акватории параметры: суммарное взвешенное в водной толще вещество и растворенное органическое вещество (РОВ), которые, оседая на дно, заиливают грунты и отрицательно сказываются на состоянии бентосных поселений. Также проанализировано поле содержания растворённых в воде нефтепродуктов. Выявлены источники и пути распространения загрязняющих веществ.

**Исходные данные и методы исследования.** В качестве исходных данных использованы материалы двух экспедиций, проведенных сотрудниками Морского гидрофизического института НАН Украины западной части Феодосийского залива 14 – 15 декабря 2006 г. и 9 – 10 января 2007 г. (рис.1).

Пробы на загрязнение (на анализ спектрального коэффициента ослабления направленного света) отбирались батометром с поверхности и у дна с борта маломерного судна.

Дальнейший анализ проводился в лабораторных условиях на спектральном измерителе прозрачности *OSP-IPO* [3]. Концентрации рассматриваемых величин, полученных на основе спектрофотометрических методик

[3 – 5], сопоставлялись с соответствующими характерными концентрациями,



Р и с . 1 . Схема станций океанологических съемок, выполненных в Феодосийском заливе 14 – 15 декабря 2006 г. (а) и 9 – 10 января 2007 г. (б).

наблюдаемыми в открытых водах Чёрного моря. Последние, заимствованные из [6], и равные 0,2 мг/л для суммарного взвешенного вещества, 2 мг/л для РОВ и 1 (безразмерная единица) для растворённых нефтепродуктов, принимались за норму. Иными словами, 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.

Содержание суммарного взвешенного вещества измерялось в зондирующем режиме при помощи зонда-мутномера [6] с шагом по глубине 0,1 м.

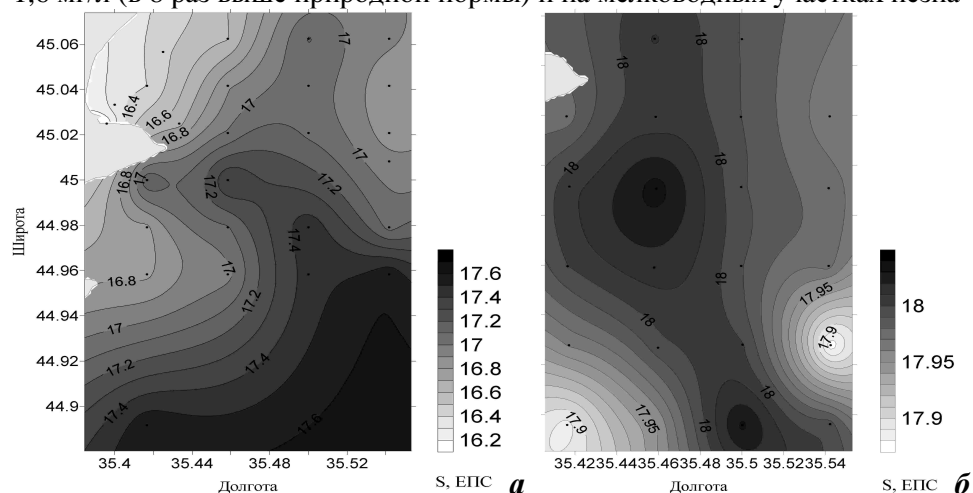
**Обсуждение результатов.** Известно [7], что в Феодосийском заливе активно взаимодействуют поступающие сюда в системе Основного черноморского течения (ОЧТ) из Керченского пролива низко соленые азовские воды и воды черноморские, с характерной для них повышенной соленостью. Поэтому анализ полей интересующих величин целесообразно начать с рассмотрения структуры поля солености.

Отметим, что во время выполнения обеих съемок и в ближайшие предшествовавшие им дни преобладала сухая погода. Следовательно, возможный источник поступления взвешенного вещества и загрязнителей в акваторию залива, обусловленный ливневым стоком отсутствовал.

Во время *декабрьской съемки 2006 г.* преобладающая часть исследуемой акватории, особенно ее прибрежные участки, была занята трансформированными водами азовоморского происхождения с соленостью 16,0 – 17,0 е.п.с. От юго-востока на акваторию полигона проникал «язык» черноморских вод с соленостью около 17,3 – 17,6 е.п.с., с хорошо выраженным горизонтальным градиентом солености вдоль его периферии (рис.2, а). Вертикальная структура термохалинного поля характеризовалась слабо выраженной стратификацией.

Анализ схем распределения рассматриваемых характеристик (рис.3) свидетельствует о том, что, как на поверхности моря, так и у дна обнаружены два максимума их концентрации, обусловленные двумя источниками загрязнения. Это примыкающий к порту крайний северо-западный участок полигона и участок, расположенный в западной части открытой области исследуемой акватории.

Содержание суммарной взвеси в районе порта было максимальным 1,6 мг/л (в 8 раз выше природной нормы) и на мелководных участках незна-



Р и с . 2 . Распределение солёности (е.п.с.) на поверхности: в декабре 2006 г. (а) и январе 2007 г. (б).

чительно увеличивалось с глубиной. Т.е. вся толща вод здесь была насыщена взвешенным веществом.

На западном участке концентрация взвеси возрастала с глубиной от 1,2 мг/л на поверхности до 1,6 мг/л у дна. Судя по распределению солёности, повышенная концентрация взвеси здесь была связана с адвекцией азовоморские вод.

Абсолютный интервал изменения концентрация общего взвешенного вещества в Феодосийском заливе по результатам анализируемой съёмки оказался небольшим, от 0,2 до 1,6 мг/л (рис.3, а, б), что значительно меньше соответствующих значений характерных, например, для Севастопольских бухт, участков Южного берега Крыма и Керченского пролива [8].

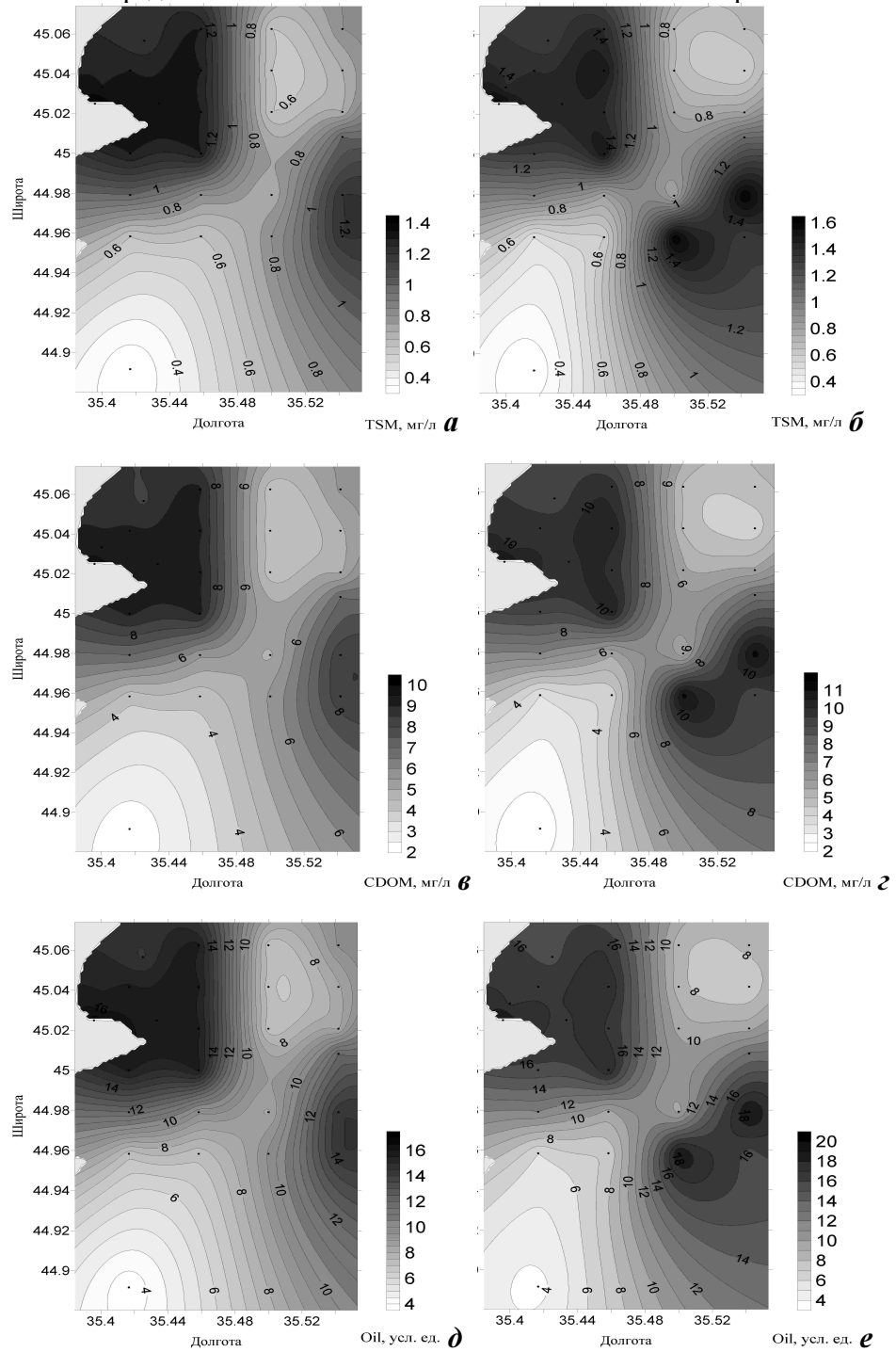
Отметим особенности вертикальной стратификации данного параметра среды. Его вертикальные профили, представляющие собой немонотонные функции глубины, оказались качественно различными для разных участков залива (рис.4).

Вместе с тем, большинство из них обладало одинаковым свойством – скачкообразным увеличением концентрации взвеси у дна. В придонной области на большинстве станций выявлен слой с высоким содержанием суммарного взвешенного вещества, толщина которого в отдельных случаях достигала 5 м.

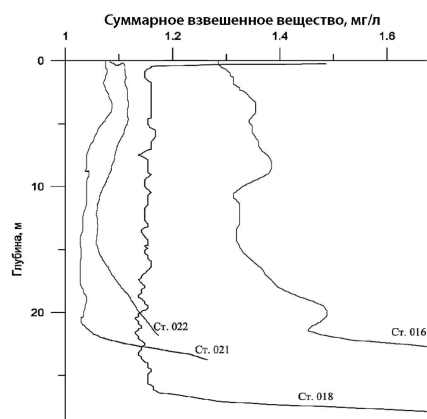
Подобный элемент вертикальной стратификации поля суммарной взвеси, получивший наименование «наилок» (*sludge*), представляет собой динамически неустойчивый, суспензированный слой взвеси, который, при повышении динамической активности у дна, переходит во взвешенное состояние и может быть причиной вторичного загрязнения акватории залива. В Керченском проливе этот слой значительно тоньше, около 0,1 – 0,2 м [9].

Согласно данным гидрохимических наблюдений [10], в придонном слое рассматриваемой акватории содержание растворенного кислорода уменьша-

лось на 0,5 – 1,0 мл/л (около 10 %), что позволило автору цитируемой статьи высказать предположение о наличии значительных количеств органического



Р и с . 3 . Распределение общего взвешенного вещества, мг/л (а, б); растворенного органического вещества, мг/л (в, г); растворенных



Р и с . 4 . Вертикальные профили взвешенного вещества.

нефтепродуктов, усл. ед. (*д*, *е*) в верхнем (*а*, *в*, *д*) и придонном (*б*, *з*, *е*) слоях соответственно в декабре 2006 г.

углерода в осадках Феодосийского залива. Данное предположение подтверждает приведенный ниже анализ поля РОВ.

Поле растворенного органического вещества (показатель органического загрязнения) отличалось в целом высоким содержанием, от 1,42 до 10,78 мг/л (рис.3, *в*, *з*). Характерная особенность вертикального распределения данного параметра среды – более высокая концентрация в придонном слое. Наиболее ярко это свойство выражено на примыкающем к

порту участку. Так, в районе порта отмечен абсолютный максимум содержания РОВ: 7,81 мг/л на поверхности моря и 10,78 мг/л – у дна, что в 4 и 5,4 раз превосходит условную природную норму. Другой менее значимый максимум, расположенный на западе полигона, имел значения 3,43 и 3,68 мг/л на поверхности моря и в придонном слое соответственно (рис.3, *в*, *з*).

Максимальное содержание растворенных нефтепродуктов, 12 – 14 усл. ед. на поверхности и 17 – 19 усл. ед. у дна (в 12 – 19 раз выше принятой нормы), обнаружено на примыкающем к порту участке (рис.3, *д*, *е*). Отметим, что столь высокая концентрация этого загрязнителя от постоянно действующего источника (в данном случае Феодосийский порт) в водах крымского побережья на базе оптических методов наблюдений зафиксирована впервые. В мае 2005 г. в Керченском проливе нами было обнаружено пятно нефтяного загрязнения с максимальным содержанием растворенных нефтепродуктов 17 – 18 усл. ед. в верхнем слое вод, которое имело адвективное происхождение [11]. В других регионах в прибрежных водах Крыма концентрация растворенных нефтепродуктов значительно ниже [12].

9 – 10 января 2007 г. съемка была повторена. При этом полигон был смещен в мористую область Феодосийского залива, а шаг сетки уменьшен.

Для данной съемки характерна качественно иная океанографическая ситуация по сравнению с рассмотренной выше.

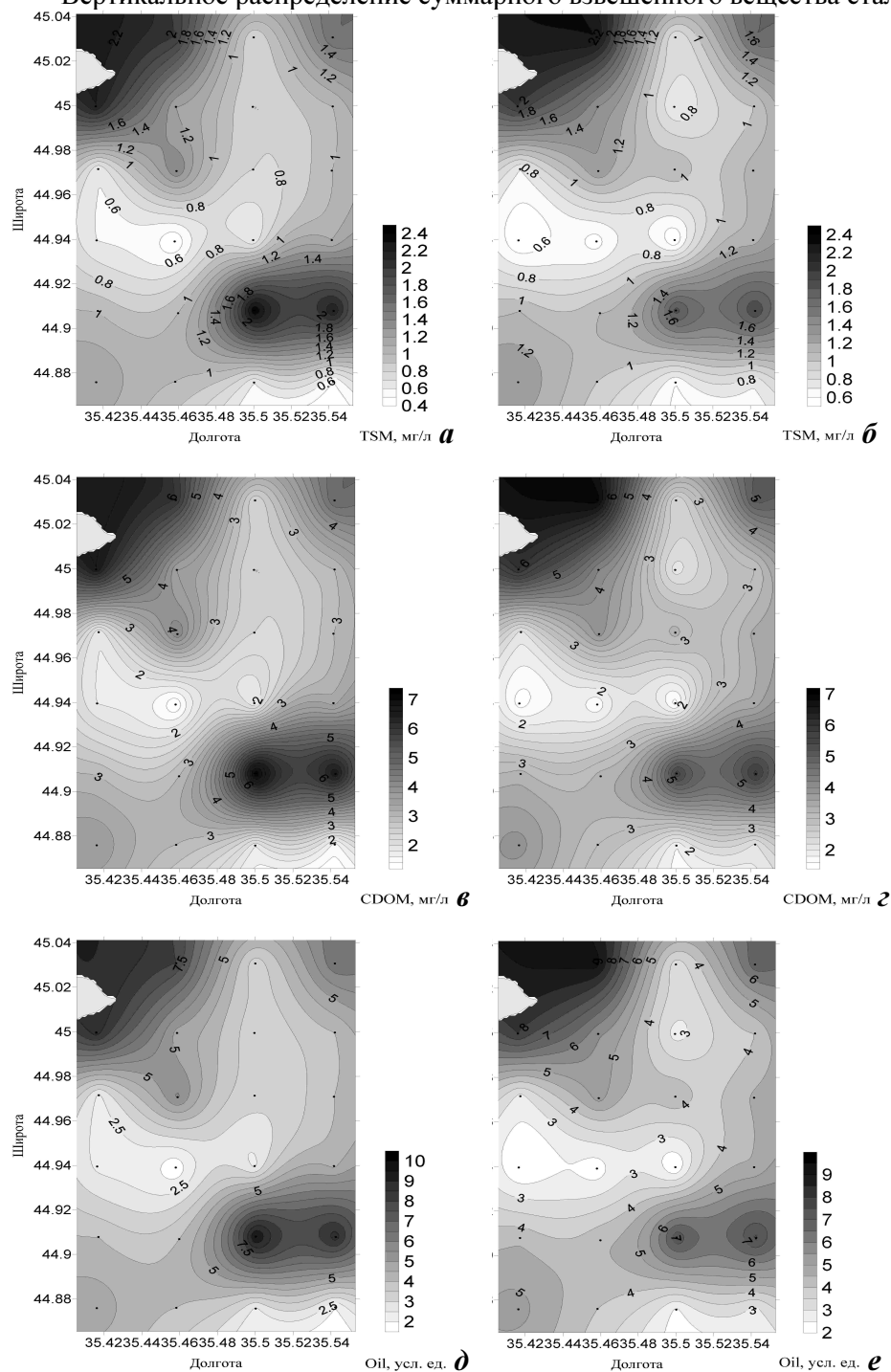
Водная толща, как по горизонтали, так и по вертикали, отличалась однородностью. Преобладающая часть исследуемой акватории была занята трансформированными черноморскими водами с соленостью 17,98 – 18,05 е.п.с. придонной

На крайнем юго-восточном участке полигона наблюдались менее соленые воды ~ 17,80 е.п.с. (рис.2, *б*). Вертикальная стратификация термохалинного поля, как результат действия термической конвекции, практически исчезла.

Содержание суммарной взвеси в целом по полигону увеличилось, примерно, на 20 – 30 %, а в районе порта – на 50 – 60 % (рис.5, *а*, *б*).

Как и в предыдущей ситуации, отмечены два максимума содержания исследуемых параметров среды: абсолютный – в районе порта и локальный – в водах минимальной солености.

Вертикальное распределение суммарного взвешенного вещества стало



Р и с . 5 . Распределение общего взвешенного вещества, мг/л (*a, б*); растворенного органического вещества, мг/л (*в, г*); растворенных нефтепродуктов, усл. ед. (*д, е*) в верхнем (*a, в, д*) и придонном (*б, г, е*) слоях соответственно в январе 2007 г.

более однородным. Слой повышенной концентрации взвеси в придонной области, зарегистрированный в ходе декабрьской съемки, существенно сузился (возможно, под влиянием конвективных токов при наблюдавшемся слабом волнении моря) до 0,5 – 1,5 м.

В ходе повторной съемки повсеместно, примерно в 1,5 раза, зарегистрировано снижение содержания РОВ и растворенных нефтепродуктов, хотя на участках у порта и на юго-востоке полигона концентрации этих характеристик оставались высокими (рис.5, *в – е*).

Анализ эмпирических сведений, полученных в ходе выполнения двух съемок, позволил выявить два основных источника загрязнения акватории Феодосийского залива. Это постоянно действующий источник – порт, и источник, связанный с адвекцией загрязняющих веществ в пределы исследуемой акватории в системе ОЧТ, которые попадают в воды этого течения из промышленных районов Азовского моря и Керченского пролива.

Ограниченность акватории полигона не позволила оценить антропогенное влияние таких мощных источников, как городской канализационный сброс и действующая грунтовая свалка.

Воздействие на водную среду функционирующих и закрытых свалок изъятых при дноуглубительных работах грунта, которые расположены в Керченском проливе, исследовано в [9, 13]. В частности, в них оценен радиус антропогенного влияния свалки, расположенной у м.Такиль, и показано, что токсичные вещества из района этой свалки распространяются на десятки и сотни миль, достигая Феодосийского залива, северной узкости Керченского пролива и берегов Анапы.

Отметим, что из всех районов крымского побережья, исследованных ранее на базе оптических методов [8, 12, 14, 15], Феодосийский залив оказался наиболее загрязненным растворенными нефтепродуктами и растворенным органическим веществом искусственного происхождения.

Очевидно, что Феодосийский залив, как уникальный природный объект, подвергающийся длительному неконтролируемому антропогенному прессу, требует развития комплексных исследований его акватории, разработки и реализации программ и неотложных мер, направленных на оздоровление экологической ситуации в регионе.

**Заключение.** На основе анализа данных оптических наблюдений в рамках двух комплексных океанографических экспериментов, проведенных МГИ НАН Украины 14 – 15 декабря 2006 г. и 9 – 10 января 2007 г. в Феодосийском заливе, получены численные оценки по загрязнению рассматриваемой акватории растворённым органическим веществом искусственного происхождения и растворёнными нефтепродуктами. Определены концентрации, источники и пути распространения суммарной взвеси и загрязняющих веществ.

Показано, что воды залива загрязнены растворённым органическим веществом искусственного происхождения и растворёнными нефтепродуктами, а также содержат повышенную концентрацию суммарного взвешенного

вещества. Концентрация всех трёх указанных параметров среды выше у дна по сравнению с верхним слоем и в местах максимального загрязнения существенно превосходит условную норму (содержание этих веществ в открытых водах Чёрного моря).

Показано, что придонный слой толщиной 1,5 – 5,0 м в Феодосийском заливе отличается высоким содержанием суммарного взвешенного вещества, растворенного органического вещества и нефтепродуктов, а также пониженной концентрацией растворенного кислорода. Этот слой, не типичный для других, исследованных ранее участков крымского побережья, может быть источником вторичного загрязнения.

Выявлены два источника загрязнения:

– постоянно действующий источник – Феодосийский порт, вблизи которого концентрация растворенных нефтепродуктов в 12 – 19 раз превышает условную норму;

– внешний источник, связанный с эпизодической адвекцией в пределы акватории залива загрязнённых вод в системе Основного черноморского течения из промышленных районов, находящихся на берегах Азовского моря и Керченского пролива.

Из всех, исследованных ранее на базе оптических методов районов крымского побережья, Феодосийский залив оказался наиболее загрязнённым растворёнными нефтепродуктами и растворённым органическим веществом искусственного происхождения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пунько В.И., Кравчук О.П., Кадурич С.В., Чернышенко Е.О. Геотоксикология водных систем Одессы // Геоэкология рекреационных зон Украины.– Одесса, 1999.– С.153-161.
2. Котельянец Е.А., Коновалов С.К. Распределение тяжелых металлов в донных отложениях Феодосийского залива // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008.– вып.17.– С.171-175.
3. Chepyzhenko A.I., Haltrin V.I. Laboratory and flow-through optical spectral probes to measure water quality and content // Ocean Remote Sensing and Applications / Ed. by Frouin R.J., Yell Yuan, Hiroshi Kawamura.– Proc. SPIE.– 2003.– v.4892.– P.482-488.
4. Fargion G.S., Mueller J.L. Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation.– San Diego, California, NASA, Goddard space flight space center, greenbelt, Maryland 20771, August 2000.
5. 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.
6. Хайлов К.М. Экологический метаболизм в море.– Киев: Наукова думка, 1971.– 250 с.
7. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Репетин Л.Н. Гидрометеорологические условия Феодосийского залива / Препринт.– Севастополь: МГИ НАНУ, 2005.– 75 с.
8. Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А. Оценка концентрации полей суммарной взвеси и растворенного органического вещества в бухтах крымского побережья на основе данных оптических измерений // Экологическая безо-



пасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007.– вып.15.– С.168-176.

9. *Ломакин П.Д., Стиридонова Е.О.* Природные и антропогенные изменения в полях важнейших абиотических элементов экологического комплекса Керченского пролива в течение двух последних десятилетий.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010.– 118 с.
10. *Кондратьев С.И.* Изменения в гидрохимическом составе вод Феодосийского залива в результате проникновения азовоморских вод зимой 2006 – 2007 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– вып.18. – С.30-38.
11. *Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Панов Б.Н.* Гидрологические условия и характеристика загрязнения вод Керченского пролива в мае 2005 года по данным контактных измерений и спутниковых наблюдений // Исследование Земли из космоса.– 2006.– № 4.– С.27-33.
12. *Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.* Оценка концентрации растворённых 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.
13. *Петренко О.А., Себах Л.К., Фащук Д.Я.* Некоторые экологические последствия дампинга в Черном море грунтов, извлекаемых при дноуглублении в Керченском проливе // Водные ресурсы.– 2002.– № 5.– С.622-635.
14. *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.
15. *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 2005-2008гг. // Морской экологический журнал.– 2011.– т.10, № 1.– С.43-49.

Материал поступил в редакцию 22.02.2012 г.

*АНОТАЦІЯ.* На основі аналізу даних гідрооптичних спостережень у рамках двох комплексних океанографічних експедицій, проведених співробітниками МГІ НАНУ 14 – 15 грудня 2006 р. та 9 – 10 січня 2007 р. у Феодосійській затоці, виконані оцінки забруднення даної акваторії розчиненою органічною речовиною штучного походження та розчиненими нафтопродуктами. Визначені концентрації, джерела та шляхи поширення сумарної зваженої речовини та забруднюючих речовин.

*ABSTRACT.* On the base of analysis of the hydrooptical data within the framework of two complex oceanographic expeditions, conducted by the employees of MHI NAS of Ukraine on December, 14 – 15, 2006 and January, 9 – 10, 2007 in the Feodosia bay, the estimations of contamination the examined area of waters by the organic matter of artificial origin and dissolved oil are executed. Concentrations, sources and ways of the TSM distribution and contaminants, are certain.