

УДК 504 + 551. 465

© П.Д. Ломакин<sup>1</sup>, О.А. Трощенко<sup>2</sup>, А.И. Чепыженко<sup>1</sup>,  
А.А. Чепыженко<sup>1</sup>, 2011

<sup>1</sup>Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь

<sup>2</sup>Институт биологии южных морей НАН Украины, Севастополь

## ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД У КАРАДАГСКОГО ЗАПОВЕДНИКА ПО ДАННЫМ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

*На основе анализа данных оптических наблюдений в рамках комплексных океанографических экспедиций, проведенных сотрудниками ИнБЮМ НАНУ и МГИ НАНУ 22, 23 мая 2007 г. и 21, 22 июля 2009 г. в прибрежных водах Черного моря у Карадагского заповедника, выполнены оценки загрязнения рассматриваемой акватории растворенным органическим веществом искусственного происхождения и растворенными нефтепродуктами. Определены концентрации, источники и пути распространения суммарной взвеси и загрязняющих веществ. Зафиксирован рост степени загрязнения заповедной акватории в течение двух последних лет.*

**Введение.** С начала 90-х годов прошлого столетия отмечено резкое снижение качества прибрежных вод в районе Карадагского заповедника. Это связывают с общим ухудшением экологической ситуации в Черном море и с ее локальным усугублением, обусловленным отсутствием современных очистных сооружений в поселках Коктебель и Курортное. Сведения об этапах, методах, изучаемых параметрах и результатах комплексных экологических исследований, которые ведутся в прибрежной заповедной области сотрудниками Карадагского природного заповедника НАН Украины и Института биологии южных морей НАН Украины с 1980 по 2008 г., детально изложены в [1].

Полигон, на котором дважды был реализован анализируемый комплексный океанографический эксперимент (глубины от 8 до 30 м), включил Коктебельскую бухту, воды у заповедной зоны Карадага и прибрежное водное пространство у Карадагской гидробиологической станции Института биологии южных морей НАН Украины.

В настоящей статье рассмотрены следующие недостаточно изученные для исследуемой акватории параметры: суммарное взвешенное в водной толще вещество и растворенное органическое вещество, которые, оседая на дно, заиливают грунты и отрицательно сказываются на состоянии бентосных поселений и, в частности, мидийных. Также проанализировано поле содержания растворенных в воде нефтепродуктов. Выявлены источники и пути распространения загрязняющих веществ. Оценены изменения в полях исследуемых характеристик среды, произошедшие в течение двух последних лет.

**Материалы и методы.** В качестве исходных сведений использованы результаты двух экспедиций, выполненных 22, 23 мая 2007 г. и 21, 22 июля

2009 г. сотрудниками Института биологии южных морей НАН Украины и Морского гидрофизического института НАН Украины. Особенность этих экспериментов заключается в том, что комплекс стандартных гидрофизических и гидрохимических наблюдений был дополнен наблюдениями за содержанием суммарного взвешенного в водной толще вещества, растворенного органического вещества и растворенных нефтепродуктов, которые определялись при помощи оптических методов. Подобные исследования, позволяющие оценить степень загрязнения водной среды, для этого участка крымского побережья ранее не проводились.

Пробы на загрязнение (на анализ спектрального коэффициента ослабления направленного света) отбирались батометром с поверхности и у дна с борта маломерного судна на трех разрезах, ориентированных, примерно, по нормали к береговой черте. Непосредственно на пляжах в зоне волнового обрушения (глубина около 1 м) также были отобраны пробы воды – две у гидробиологической станции и две в заповеднике у камня Кузьмич и в районе скалы Золотые ворота.

Дальнейший анализ проводился в лабораторных условиях на спектральном измерителе прозрачности OSP-IPO [2]. Концентрации рассматриваемых веществ, полученные на основе спектрофотометрических методик [2-4], сопоставлялись с соответствующими характерными концентрациями, наблюдаемыми в открытых водах Черного моря. Последние, заимствованные из [5], и равные 0,2 мг/л для суммарного взвешенного вещества, 2 мг/л для органического растворенного вещества и 1 (безразмерная единица) для растворенных нефтепродуктов, принимались за норму. Иными словами, концентрация растворенных нефтепродуктов оценивалась в относительных единицах (отн. ед.), показывающих, во сколько раз она превосходит концентрацию, типичную для вод открытой части Черного моря. Затем все три исследуемых параметра среды картировались.

В настоящей статье мы приводим схемы распределения исследуемых параметров среды только для придонного горизонта, где отмечены их максимальные значения. На поверхности моря соответствующие распределения оказались качественно аналогичными распределениям у дна.

Отметим, что используемый оптический метод в последнее время получил довольно широкое распространение в экспедициях Морского гидрофизического института и Института биологии южных морей НАН Украины для различных участков Азово-Черноморского побережья [6–8].

**Результаты. Майская съемка 2007 г.** Судя по структуре термохалинного поля, вертикальная стратификация толщи вод была достаточно хорошо выраженной, типичной для начала теплого сезона года. Верхний квази-однородный слой с температурой 19,3 – 20,2 °С и соленостью 16,3 – 16,8 ‰ имел толщину от 3 м у берега и до 5 – 7 м в мористой части полигона. Глубже слоя скачка температура уменьшалась, а соленость увеличивалась с глубиной соответственно до 17,6 – 9,3 °С и 17,0 – 18,1 ‰ у дна.

Анализ схем распределения исследуемых характеристик (рис. 1) свидетельствует о том, что как на поверхности моря, так и у дна обнаружены три максимума их концентрации, обусловленные тремя источниками загрязнения. Это крайний северо-восточный участок открытой области исследуемой акватории.

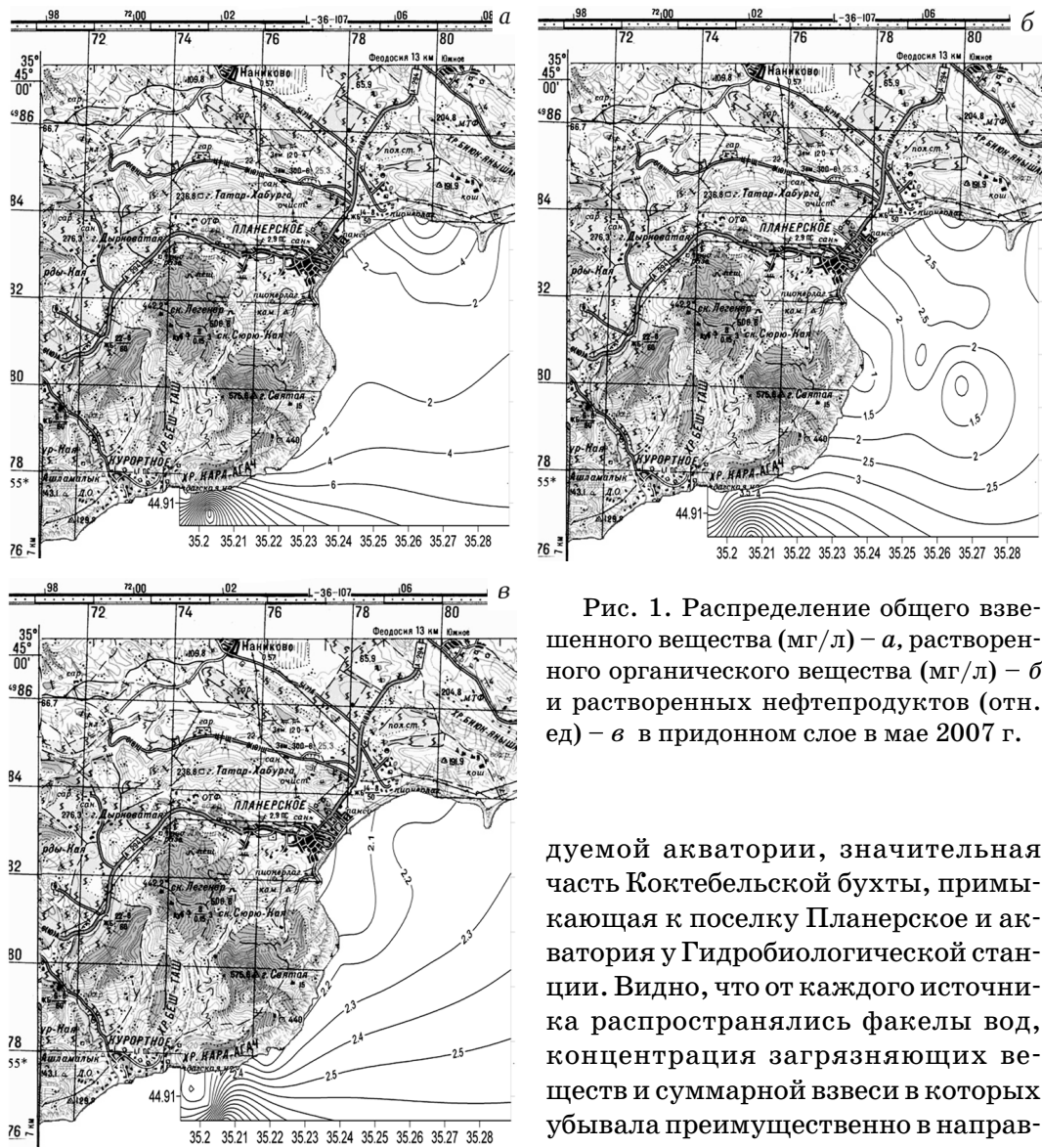


Рис. 1. Распределение общего взвешенного вещества (мг/л) – а, растворенного органического вещества (мг/л) – б и растворенных нефтепродуктов (отн. ед) – в в придонном слое в мае 2007 г.

дуемой акватории, значительная часть Коктебельской бухты, примыкающая к поселку Планерское и акватория у Гидробиологической станции. Видно, что от каждого источника распространялись факелы вод, концентрация загрязняющих веществ и суммарной взвеси в которых убывала преимущественно в направлении на юг.

Отметим, что район Коктебельской бухты, а также район у Гидробиологической станции давно известны как наиболее мощные продуценты загрязняющих веществ исследуемой акватории [1]. Источник загрязнения заповедной зоны, находящийся в открытых водах, обнаружен впервые.

Распределение на поверхности общего взвешенного вещества имело четко выраженный максимум 30,6 мг/л, который наблюдался в зоне волнового обрушения в районе выпуска хозяйственно-бытовых вод у Гидробиологической станции. Локальные максимумы концентрации общей взвеси наблюдались также у берега, в пляжной зоне у поселка Планерское (Коктебельская бухта), – 2,3 мг/л и на северо-восточном участке полигона – 1,5 мг/л.

В придонном горизонте локальные максимумы суммарной взвеси отмечены в тех же местах, что и на поверхности моря. Однако здесь они оказались более значимыми: 40,6 мг/л (в 203 раза выше нормы) у Гидробиологи-

ческой станции; 10,79 мг/л (в 50 раз выше нормы) у берега в Коктебельской бухте; 1,59 мг/л (в 8 раз выше нормы) на северо-востоке полигона (рис. 1а). Наименьшая концентрация на поверхности моря (0,97 мг/л) и у дна (1,16 мг/л), что в 5–6 раз выше нормы, зафиксирована на траверзе мыса Мальчин (южный мыс Коктебельской бухты) (рис. 1а).

На поверхности максимум концентрации растворенного органического вещества искусственного происхождения 2,79 мг/л (~1,4 раза выше нормы) наблюдался у берега поселка Планерское. Два других локальных максимума (до 2,64 мг/л и 2,74 мг/л) были обнаружены соответственно у Гидробиологической станции и в северо-восточной части полигона.

Локальные максимумы концентрации растворенного органического вещества в придонном слое расположены в трех указанных выше районах и отчетливо видны на схеме (рис. 1б). Абсолютный максимум 9,85 мг/л, в 5 раз превосходящий норму, зафиксирован у Гидробиологической станции.

Минимальное содержание растворенного органического вещества искусственного происхождения 0,75 мг/л (чистая по данному параметру вода) также наблюдалось на траверзе мыса Мальчин (рис. 1б).

Распределение содержания растворенных нефтепродуктов на поверхности моря аналогично распределению рассмотренных выше характеристик водной среды. Абсолютный максимум (2,31 отн. ед), т.е. в два с лишним раза выше нормы, наблюдался на северо-востоке полигона.

У дна в поле растворенных нефтепродуктов обнаружен лишь один максимум с концентрацией 3,54 отн. ед., в 3,5 раза превышающий норму.

Самые чистые воды с минимальной концентрацией растворенных нефтепродуктов 1,82 отн. ед. на поверхности и 1,87 отн. ед. у дна выявлены на траверзе мыса Мальчин (рис. 1в).

**Результат июльской съемки 2009 г.** Вертикальная стратификация термохалинного поля во время выполнения съемки 21, 22 июля 2009 г. была качественно аналогичной стратификации, наблюдавшейся в мае 2007 г. Верхний квазиоднородный слой с температурой 20,0–24,5 °С и соленостью 17,1–17,4 ‰ имел толщину от 4–5 м у берега до 8–10 м в мористой части полигона. Глубже слоя скачка температура уменьшалась, а соленость увеличивалась с глубиной соответственно до 12,5–8,9 °С и 18,7–17,4 ‰ у дна.

По сравнению с первой съемкой структура полей всех трех рассматриваемых параметров среды не претерпела явных качественных изменений. Вместе с тем, на количественном уровне были обнаружены существенные различия.

Как и ранее, выявлены известные постоянно действующие источники, связанные с береговым стоком в Коктебельской бухте и в районе Гидробиологической станции, а также внешний источник в открытых водах моря, на северо-восточном участке полигона (рис. 2), что указывает на не случайность его обнаружения в 2007 г. и, вероятно, значимую роль в процессе загрязнения прибрежных вод в районе Карадага.

Как и в ситуации, зафиксированной в майской съемке 2007 г., содержание загрязняющих веществ в верхнем слое было ниже, чем в придонном. Практически повсеместно в 1,5–2 раза увеличилась концентрация всех рассматриваемых загрязнителей водной среды. Наиболее заметный

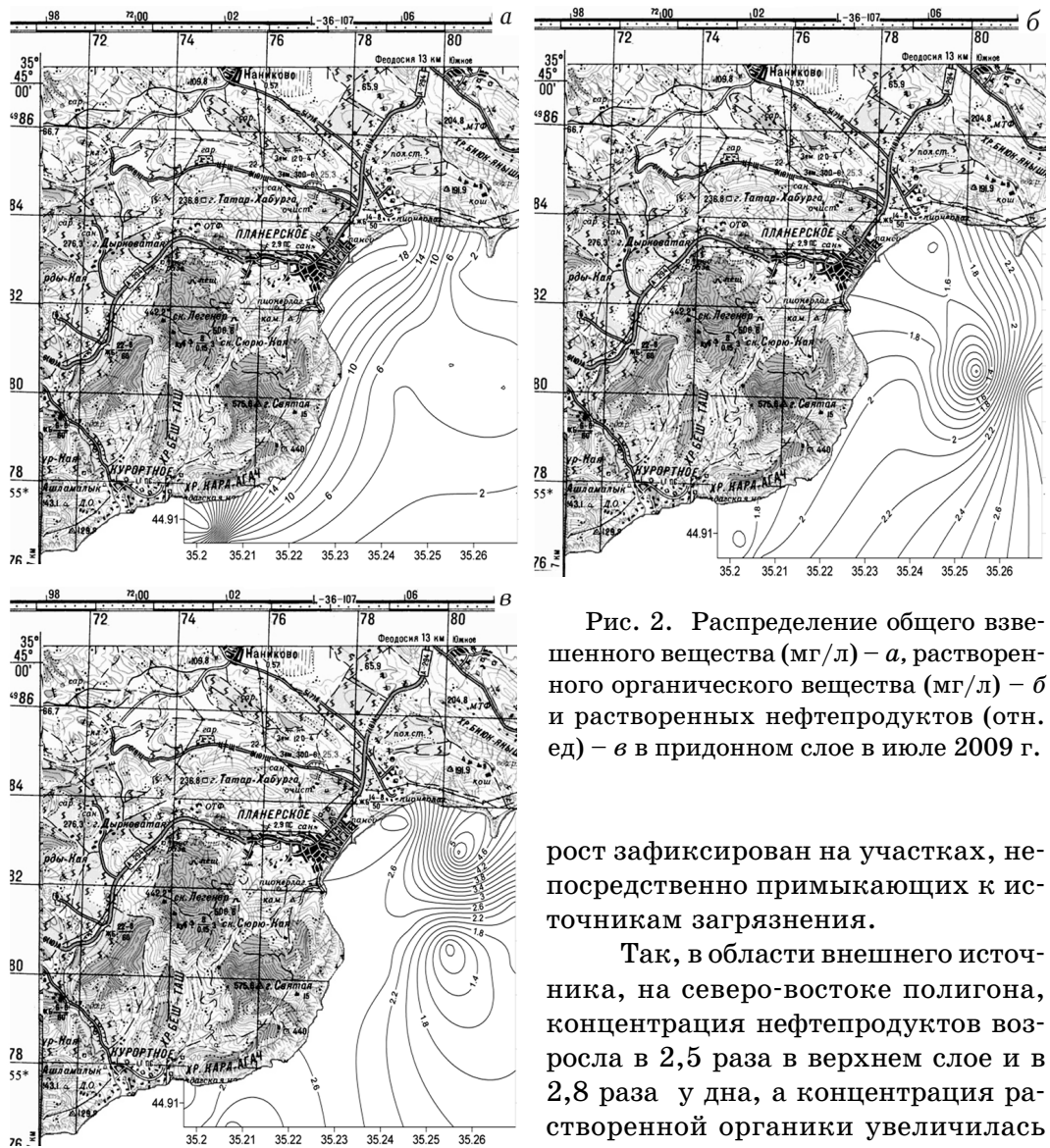


Рис. 2. Распределение общего взвешенного вещества (мг/л) – а, растворенного органического вещества (мг/л) – б и растворенных нефтепродуктов (отн. ед) – в в придонном слое в июле 2009 г.

рост зафиксирован на участках, непосредственно примыкающих к источникам загрязнения.

Так, в области внешнего источника, на северо-востоке полигона, концентрация нефтепродуктов возросла в 2,5 раза в верхнем слое и в 2,8 раза у дна, а концентрация растворенной органики увеличилась соответственно в 1,8 и 2,2 раза. У восточной границы полигона в придонном слое область с максимальным содержанием загрязнителей, попадающих в пределы анализируемой акватории от внешнего источника, существенно увеличилась (рис. 2).

В Коктебельской бухте содержание суммарной взвеси и нефтепродуктов возросло соответственно в 1,7 и 2 раза. В то же время отмечена более низкая (примерно, на 20 %) по сравнению с предыдущей съемкой концентрация растворенного органического вещества.

В узкой прибрежной полосе у Гидробиологической станции содержание суммарного взвешенного вещества, растворенного органического вещества и нефтепродуктов достигло соответственно 45,11 мг/л (в 226 раз выше условной нормы), 20,22 мг/л (в 10 раз выше нормы), 4,56 усл. ед. (в 4,6 раза выше нормы). Абсолютный максимум концентрации нефтепродуктов, как и в мае 2007 г., был зафиксирован на северо-востоке полигона, где в придон-

ном слое его содержание достигло 6,11 усл. ед., что в 6,1 раза превосходит условную норму (рис. 2).

В ситуации 2009г. в полях рассматриваемых элементов не выявлено явных признаков источника субмаринной разгрузки, обнаруженного на траверзе мыса Мальчин по данным съемки в мае 2007 г. Это может быть связано со свойствами самого источника, в частности, с временными вариациями его расхода, также с возросшим уровнем загрязнения всей рассматриваемой акватории.

**Природа источников загрязнения прибрежной акватории у Карадагского заповедника.** Вероятно, что внешний источник, идентифицированный нами по локальному максимуму концентрации загрязнителей в северо-восточной части полигона, связан с адвекцией вод Азовского моря в системе Основного черноморского течения (ОЧТ). Так, присутствие на данном участке азовоморских вод подтверждено обеими съемками по пониженной солености и повышенной концентрации силикатов и нитратов.

В генеральном переносе на запад омывающие восточное побережье Крыма воды ОЧТ в районе Керченского пролива пополняются водами Азовского моря. Последние отличаются значительно более высокими концентрациями суммарного взвешенного вещества и загрязнителей по сравнению с черноморскими водами. Так, например, по оценкам [9] в Керченском проливе в азовоморских водах концентрация суммарной взвеси, растворенного органического вещества, растворенных нефтепродуктов почти на порядок выше соответствующих показателей для вод Черного моря. Далее, вдоль восточного побережья Крыма, поток ОЧТ подпитывается сточными водами, мощный источник которых сосредоточен в Феодосийском заливе. Экспериментальные исследования, проведенные нами здесь в декабре 2006 и январе 2007 г. выявили высокие концентрации рассматриваемых параметров среды – до 9,8 мг/л суммарной взвеси, 17,3 мг/л растворенной органики и 8,7 отн. ед. растворенных нефтепродуктов.

Отмеченное резкое повышение концентрации растворенных нефтепродуктов на мористых участках полигона может быть вероятным следствием техногенной катастрофы, случившейся в Керченском проливе в ноябре 2007 г., когда в результате гибели судов в воду попало огромное количество нефтепродуктов и серы.

Представленные выше сведения дают основание полагать, что воды Азовского моря, переносимые в системе ОЧТ в генеральном направлении на запад вдоль крымского побережья, кроме природных гидрофизических и гидрохимических признаков имеют собственные антропогенные трассеры. В частности им свойственны повышенные на фоне черноморских вод концентрации растворенного органического вещества и нефтепродуктов.

Источник загрязнения в Коктебельской бухте связан со сточными водами поселка Планерское.

Источник в районе Гидробиологической станции обусловлен сточными водами двух дельфинариев, самой станции, поселка Курортное и расположенного на берегу санатория. Коллектор этих вод выведен в море вблизи уреза воды. Основным источником суммарной взвеси здесь служит сток речки Отузка, вдоль берегов которой ведется интенсивное строительство.

По свидетельству очевидцев, эпизодически в устье реки Отузка наблюдаются обширные пятна мутной воды, что сопровождается соответствующим запахом.

Наиболее чистые воды, отмеченные нами у мыса Мальчин, также отличались по своему химическому составу. Концентрация растворенного кислорода здесь убывала с глубиной, что сопровождалось ростом концентрации фосфатов и кремнекислоты. Аналогичная ситуация на данном участке также была зафиксирована по результатам гидрохимической съемки исследуемой акватории в сентябре 2004 г. Это послужило основанием авторам [10] предположить существование в районе мыса Мальчин источника подземных пресных вод. Очевидно, что описанные в настоящей статье особенности структуры полей загрязняющих веществ по данным майской съемки 2007 г. подтверждают наличие источника субмаринной разгрузки, обнаруженного авторами цитируемой работы.

Отметим еще одну интересную особенность распределения загрязняющих веществ у Карадагского заповедника. На всех исследованных нами ранее участках крымского побережья концентрации рассматриваемых загрязнителей у дна была гораздо меньше, чем на поверхности [6–8]. В районе Карадага зафиксировано обратное соотношение концентраций загрязняющих веществ в придонном и верхнем слоях моря. Это также подтверждают сведения профессиональных водолазов и любителей, согласно которым у дна и в промежуточном слое у Карадагского заповедника зачастую наблюдаются объемные линзы крайне мутных вод с характерными хлопьями белого и серого цвета. Как известно, накопление загрязняющих веществ у дна способствует формированию вторичных источников загрязнения.

По трем рассмотренным параметрам среды в течение последних 5 лет наблюдений на различных участках крымского побережья, ситуация с загрязнением вод у Карадагского заповедника на данный момент представляется более сложной по сравнению, например, с такими изолированными и интенсивно эксплуатируемыми бухтами, как Большая Севастопольская, Казачья, Балаклавская [6–8].

Резкая негативная трансформация, наблюдаемая за последние годы в экосистеме водного пространства у Карадага, сопровождающаяся массовой гибелью мидии, по-видимому, напрямую связана с выявленными и описанными в настоящей статье изменениями состояния среды. Избыточная взвесь абсорбирует всевозможные, в том числе токсические, вещества, которые поступают на заповедную акваторию как от береговых источников, так и в системе ОЧТ. Она активно осаждается, заиливая и отравляя донные биоценозы.

**Выводы.** На основе анализа данных оптических наблюдений в рамках двух комплексных океанографических экспериментов, проведенных 22, 23 мая 2007 г. и 21, 22 июля 2009 г. у Карадагского заповедника, получены численные оценки по загрязнению рассматриваемой акватории растворенным органическим веществом искусственного происхождения и растворенными нефтепродуктами. Определены концентрации суммарной взвеси и загрязняющих веществ, отслежена их временная динамика, а также источники и пути распространения.

Показано, что воды заповедной зоны загрязнены растворенным органическим веществом искусственного происхождения и растворенными нефтепродуктами, а также содержат высокую концентрацию суммарного взвешенного вещества. В течение двух последних лет концентрация всех трех указанных параметров среды возросла в 1,5-2 раза. Она существенно выше у дна по сравнению с верхним слоем и в местах максимального загрязнения соответственно в десятки и сотни раз превосходит условную норму (содержание этих веществ в открытых водах Черного моря).

Выявлены три источника загрязнения:

- внешний источник, связанный с адвекцией в пределы исследованной акватории загрязненных вод в системе Основного черноморского течения из промышленных районов восточного Крыма, влияние которого усилилось после техногенной катастрофы в Керченском проливе;
- сточные воды поселка Планерское и санатория;
- коллектор сточных вод вблизи Гидробиологической станции.

Подтверждено существование подводного источника пресных вод в районе мыса Мальчин.

Показано, что воды Азовского моря, переносимые в системе ОЧТ в генеральном направлении на запад вдоль крымского побережья, кроме известных природных гидрофизических и гидрохимических признаков имеют собственные антропогенные трассеры. В частности им свойственны повышенные на фоне черноморских вод концентрации растворенного органического вещества и нефтепродуктов.

1. *Смирнова Ю.Д.* Результаты многолетних исследований узкой прибрежной зоны территории Карадагского природного заповедника (гидрохимия, гидробиология) // В сб. научных трудов «Карадаг – 2009», Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика – 2009, С. 462–473.
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*, Robert J. Frouin, Yell Yuan, Hiroshi Kawamura, Editors, Proceedings of SPIE Vol. 4892 (2003) (24-26 October 2002, Hangzhou, China) 2003. – P 482–488.
3. *G.S.Fargion, J.L.Mueller*, Ocean Optics Protocols For Satellite Ocean Color Sensor Validation. // San Diego, California, NASA, Goddard Space Flight Space Center, Greenbelt, Maryland 20771, August 2000.
4. *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.
5. *Хайлов К.М.* Экологический метаболизм в море // Киев: Наукова Думка. – 1971. – 250 с.
6. *Кондратьев С.И., Лисиченко А.Д., Лемешко С.В.* Гидролого-гидрохимические и гидрооптические характеристики вод Голубого залива (пос. Кацивели, сентябрь, 2002 г.) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – Вып. №8. – С. 119–132.
7. *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.



8. Чепыженко А.И., Попов М.А., Еремин И.Ю. Оценка источников загрязнения вод Балаклавской бухты гидрооптическими методами в осенний период. // В сб. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, Севастополь: ЭкоСи-Гидрофизика, 2005.– Вып. №12.– С. 202–207.
9. 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.
10. Ковригина Н.П., Бобко Н.И., Губанов В.И. Особенности распределения гидрохимических показателей на территории Карадагского заповедника сенью 2004 года // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В.Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск „Гідроєкологія”.– 2005.– №4(27). – С. 117–118.

*На основі аналізу даних оптичних спостережень у рамках комплексних океанографічних експедицій, проведених співробітниками ІнБЮМ НАНУ та МГІ НАНУ 22, 23 травня 2007 р. та 21, 22 липня 2009 р. у прибережних водах Чорного моря біля Карадазького заповідника, виконано оцінки забруднення розглянутої акваторії розчиненою органічною речовиною штучного походження та розчиненими нафтопродуктами. Визначено концентрації, джерела та шляхи поширення сумарної зваженої речовини та забруднюючих речовин. Зафіксовано зростання ступеню забруднення заповідної акваторії протягом двох останніх років.*

*On the base of analysis of optical observations' data within the framework of complex oceanographic expeditions, undertaken by employees of IBSS and MHI of National academy of sciences of Ukraine on 22, 23 May 2007 and 21, July 22 2009 in the coastal waters of the Black sea beside the Karadag reserve, estimations of water-borne contaminations with dissolved organic material by man-made birth and dissolved oil are executed. The concentrations, sources and the ways of the total suspended matter and polluting material spreading are defined. Increase in pollution percentage in waters of the reserve is fixed for two last years.*

Поступила 25.03.2011 г.