

УДК 551.465(262.81)

## ВОЗДЕЙСТВИЕ НА СРЕДУ И БИОТУ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ В НОЯБРЕ 2007 г.

© 2013 г. Г. Г. Матишов\*, \*\*, Ю. И. Инжебейкин\*\*, Р. М. Савицкий\*, \*\*

\*Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

183010 Мурманск, ул. Владимирская, 17

\*\*Южный научный центр РАН

344006 Ростов-на-Дону, просп. Чехова, 41

E-mail: uinzheb@mail.ru

Поступила в редакцию 18.11.2010 г.

Проанализирована степень воздействия на компоненты среды и биоты южной части Азовского моря аварийного разлива нефти в Керченском прол. в ноябре 2007 г. на основе материалов комплексных экспедиционных исследований, выполненных Южным научным центром РАН до и после аварии судов, а также последующего в течение года мониторинга.

*Ключевые слова:* Керченский пролив, шторм, аварии судов, загрязнение нефтепродуктами

DOI: 10.7868/S0321059613020041

В ноябре 2007 г. в Керченском прол. в результате штормовых явлений произошли кораблекрушения и загрязнение акватории нефтепродуктами (НП) и серой, что вызвало огромный резонанс в России и за рубежом. Такой интерес обусловлен тем, что Керченский прол. – водоем высшей рыбохозяйственной категории, здесь проходят пути сезонных миграций рыб между Азовским и Черным морями, в том числе многих видов, включенных в Красные книги России и Международного союза охраны природы. Кроме того, пролив и прилегающие акватории являются местами отдыха и зимовки перелетных водоплавающих и околоводных птиц. При этом рассматриваемая акватория относится к импактным районам из-за интенсивного судоходства, деятельности портов “Кавказ” и “Крым”, а также расположенного в южной части рейдового перегрузочного комплекса.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки воздействия на среду и биоту Керченского прол. и южной части Азовского моря аварийного разлива НП использованы материалы комплексных экспедиционных исследований Южного научного центра (ЮНЦ) РАН, выполненных после аварии и последующего в течение года мониторинга (рис. 1). Отбор проб проводили по методике ИСО 5667-9, а консервацию проб и

определение нефтяных углеводородов – в соответствии с [6]. Соленость воды определяли аргентометрическим методом, а для быстрой оценки распределения водных масс в экспедиционных условиях – рефрактометрическим методом.

Для анализа погодных условий в период шторма и расчетов течений использовались поля приземного атмосферного давления [23], данные о погоде ближайших к району аварий метеостанций, спутниковые снимки [22] и гидродинамическая модель [21]. Модель является двухслойной, в которой верхний слой описывается уравнениями мелкой воды, а нижний – трехмерными уравнениями движения вязкой жидкости. Движение верхнего слоя инициируется действием ветра, а нижнего – как движением верхнего слоя, так и перепадами давления. Задача решается конечно-разностными методами на равномерной прямоугольной сетке с шагом 60 м по горизонтали и 1 м по вертикали.

Для определения траектории перемещения мазута на основе описанной выше математической модели были рассчитаны течения в Керченском прол. с 10 по 25 ноября 2007 г. на каждый час [11]. Были сформированы 360 полей скоростей и направлений течений (в рассмотрение принимали течения только в поверхностном слое) и введены в созданную для оценки воздействия на окружающую среду аварийных сбросов НП – ГИС

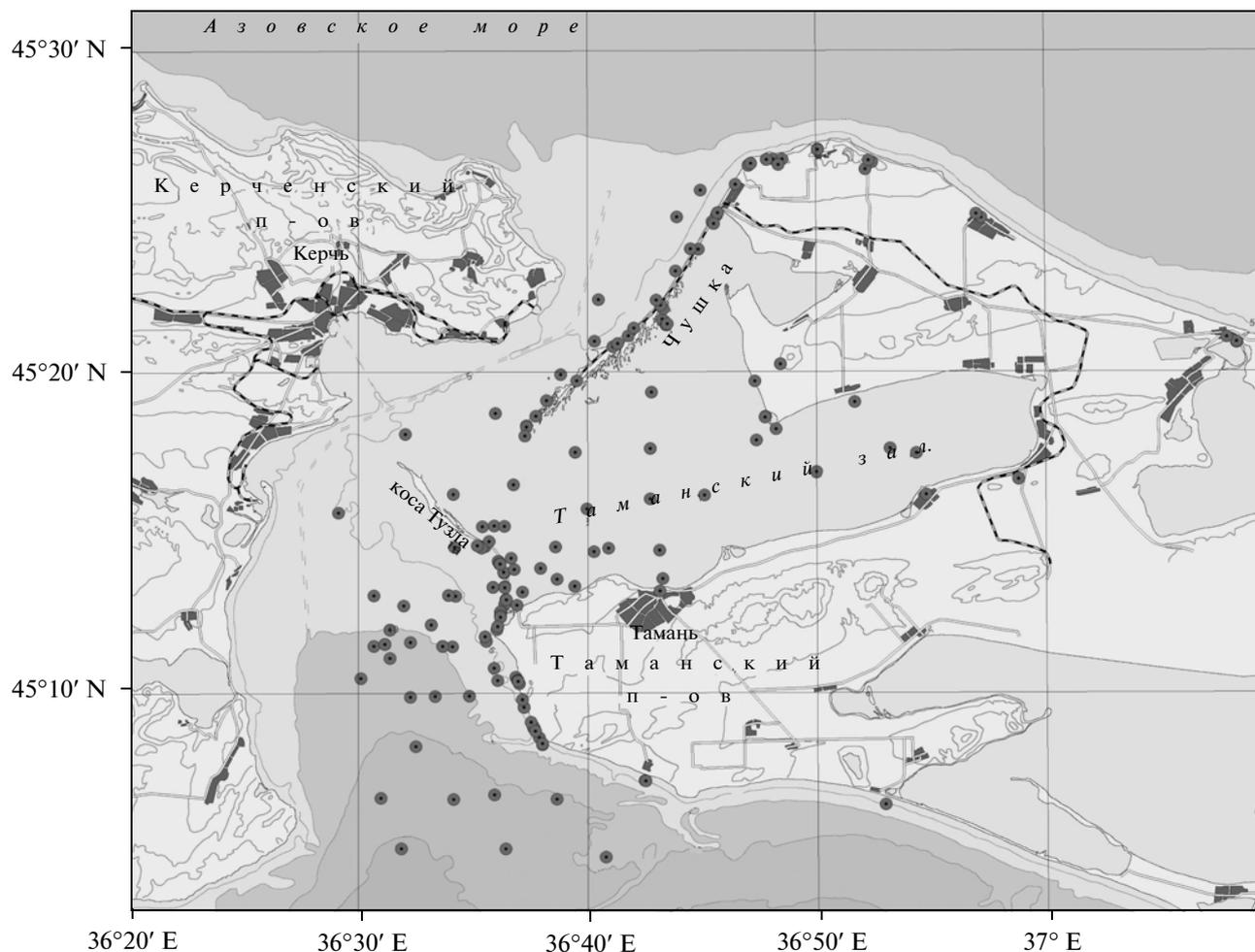
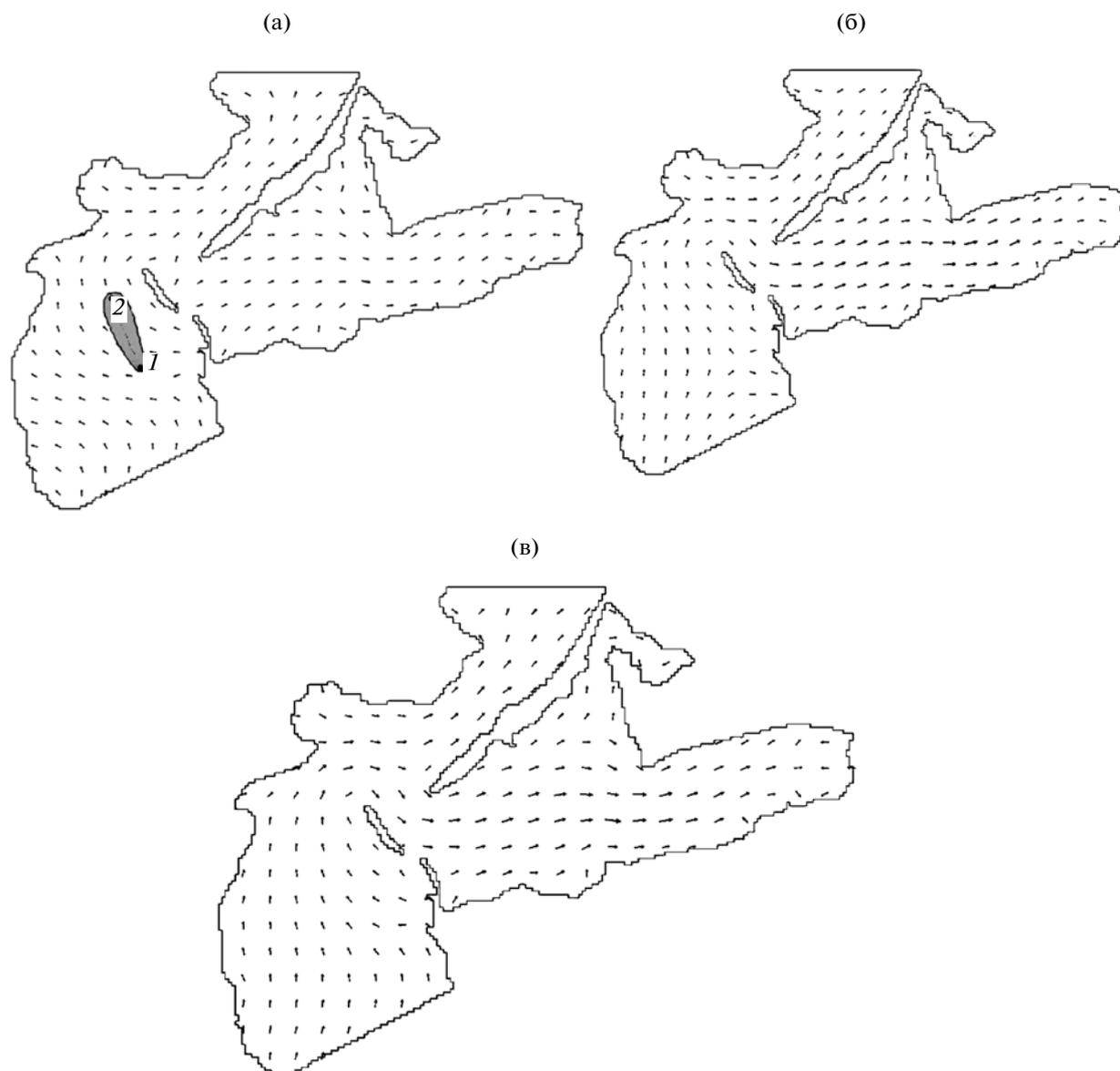


Рис. 1. Карта-схема Керченского прол. и расположения станций отбора проб ● ЮНЦ РАН (2007–2008 гг.) в районе после аварии.

“Керченский пролив”, включающую в себя математические подмодели для расчета траекторий перемещения мазута. В качестве основного инструмента применен программный комплекс ArcGIS Desktop 9.3 (компания ESRI, США). Модель реализована на языке Visual Basic for Applications, встроена в ArcMap в виде модуля, и в ней использована регулярная сетка с размером ячеек  $240 \text{ м} \times 240 \text{ м}$ . В модели принято допущение, что НП перемещаются под действием трех основных факторов: течений, ветра и волнового воздействия вблизи береговой линии с соответствующими коэффициентами влияния для каждого из этих факторов. Процессы испарения, растворения и биodeградации нефти не учитывались. При расчетах использован следующий алгоритм: 1) сразу после разлива начинается растекание и перемещение нефти по акватории водоема; 2) при достижении заданной толщины пленки пятно случайным образом делится на  $N$  частей, каждая из которых обладает определенной массой и в

дальнейшем считается элементарной частицей; 3) для каждой из таких частиц определяются коэффициенты влияния течений, ветра, волнового воздействия и начинается итерационный процесс расчета траектории ее перемещения до момента достижения ею берега или выхода за границы расчетной области. Использовался следующий сценарий: был произведен ряд залповых сбросов мазута из разломившегося на две части танкера (из носовой и кормовой частей с учетом траектории дрейфа последней). За первые 3 ч после аварии была сброшена основная (9/10) часть всего вылившегося объема мазута, и в результате растекания ее по акватории пролива было сформировано генерализованное пятно (рис. 2а). Оставшаяся часть равномерно сбрасывалась из затонувшей на месте аварии носовой части в течение 4 сут после аварии.

При исследовании загрязнения береговой зоны учитывались типы и строение берегов, состав пляжевых отложений и коренных пород. Побере-



**Рис. 2.** Рассчитанные характеристики течений в Керченском прол. в период шторма и генерализованное пятно мазута. Рассчитанные поля течений в поверхностном слое в момент аварии (а), через 1.5 (б) и 2.5 ч (в) после аварии танкера «Волgoneфть-139». 1 – место разлома танкера и затонувшего носа; 2 – место затонувшей кормы.

жье Таманского п-ова было разделено на семь участков по типу береговой зоны и степени загрязнения. Описание загрязнения берега делалось по стандартной форме [24]. Для интегральной оценки степени загрязнения побережья использовались ширина загрязненного участка и характер распределения мазута, на основе чего была введена 4-балльная система загрязнения побережья: сильное (4); умеренное (3); слабое (2) и незначительное (1 балл).

Пробы фитопланктона объемом 1.5 л фиксировали кислым раствором Люголя, в лабораторных

условиях концентрировали осадочным методом [13, 20] до конечного объема 50–100 мл. Исследования таксономического состава планктонных водорослей проводили при помощи светового микроскопа МИКМЕД-5. Таксономическую принадлежность некоторых мелких форм водорослей предварительно определяли в водных препаратах, диатомовых водорослей – в постоянных препаратах (смола Эляшева) с использованием иммерсионного объектива ( $\times 100$ ). Для количественного учета фитопланктона сконцентрированные пробы просматривали в камере Ножотта (0.1 мл) при

увеличении  $\times 400$ . Крупные формы микроводорослей (более 50 мкм) учитывали во всей камере Ножотта в двух—трех повторных наполнениях, прочие виды считали в нескольких полосах камеры (до 400 клеток). Для подсчета численности микроводорослей использовали стандартные формулы [1], расчет биомассы проводили по фактическим размерам клеток, высчитывая объем клетки по методу геометрического подобия.

Состояние зоопланктонного сообщества изучалось в соответствии с методиками, изложенными в [3]. Анализировалась также сопряженность видового и количественного состава мезо-планктона с концентрацией НП в поверхностном слое воды.

При исследовании состояния бентосных сообществ пробы макрозообентоса отбирались дночерпателями Петерсена и Ванн-Винна площадью захвата соответственно 0.01 и 0.1 м<sup>2</sup>. На каждой станции бралось по две пробы, отмечалось наполнение дночерпателя и проводилось описание грунта. Животные отмывались от грунта методом флотации и процеживания через систему сит, нижнее из которых (газ—сито) имело размер ячеек в 0.5 мм. Крупные моллюски, полихеты и ракообразные отделялись от грунта пинцетом. Фиксация проб проведена 4%-м раствором формалина. После первичной разборки качественные пробы фиксировали 70%-м раствором этанола с первичной фиксацией формалином для полихет и с горячей фиксацией для личинок насекомых [18]. В лаборатории собранные бентосные пробы отмывались от формалина. Зообентос разбирали по систематическим группам, определяли по возможности до вида [15—17], подсчитывали численность и биомассу каждого вида. Количественные и весовые данные по каждой станции пересчитывали на 1 м<sup>2</sup> дна.

Сбор ихтиологического материала проведен спустя месяц после аварии в декабре 2007 г. с помощью пяти ставных сетей с размерами ячеек от 14 до 30 мм и длиной 60 м каждая. Сети выставляли в районе косы Тузла на расстоянии 0.5 км от берега и в Таманском зал. напротив пос. Приморского на расстоянии 1 км от берега по одной для каждого размера ячеек. Также для сбора ихтиологического материала в районе косы Тузла выполняли траления 2-метровым бимтралом. Изучен видовой и количественный состав уловов.

Для оценки последствий аварий для орнитофауны ЮНЦ РАН провел за первые три месяца после аварии 5 экспедиций на Таманском п-ове. Автомобильным, маршрутным и точечным способами выполнен учет численности птиц на аква-

тории пролива и прилегающих территориях, а также учет погибших от загрязнения мазутом птиц на побережье. Смертность птиц оценена по общему количеству погибших особей на побережье и на прибрежной акватории.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В период рассматриваемых катастрофических событий погодные условия характеризовались наличием центра пониженного давления в западной части Черного моря, который смещался в северо-восточном направлении. К 00 ч 11 декабря вся восточная часть Черного моря находилась в теплом секторе этого циклона, в котором ЮВ и Ю ветры силой 10—15 (местами до 20) м/с вызвали сильное волнение в северо-восточной части Черного моря. При выходе на мелководье с плавным уклоном дна эти волны, трансформируясь, сформировали в северо-восточной прибрежной зоне Черного моря и Керченском прол. очень короткие и крутые волны, самые значительные из которых имели высоту на южной границе пролива 7 м и более [9, 11]. С 03 ч 11 ноября ветер усилился, достигнув к 09 ч 20—25 (в порывах до 32) м/с, и сменил направление с ЮВ и Ю на ЮЗ. Эти волны в совокупности с сильными течениями и ветром привели к тому, что в проливе потерпели крушение и затонули два танкера и три сухогруза, вследствие чего в море пролилось приблизительно 2000 т мазута, 45 т горюче-смазочных материалов и 6800 т серы.

Согласно модельным расчетам, к моменту аварии судов (около 05 ч 11 ноября 2007 г. — время разлома танкера “Волгонепфть-139”) течения в проливе в поверхностном слое имели направление С, а в месте крушения — ССЗ с максимальными скоростями от 0.4—0.5 (момент аварии) до 0.7 м/с (когда затонула корма); средняя скорость течения в верхнем 5-метровом слое в районе аварии танкера составила 0.25 — 0.30 м/с с генеральным ССЗ направлением (рис. 2а, 2б). Основная часть мазута, попавшего в Керченский прол., находилась на танкере “Волгонепфть-139”. Во время шторма судно разломилось на две части и корма начала дрейфовать по течению. Образовавшееся пятно мазута начало дрейфовать на С и ССЗ вдоль косы Тузла. При этом произошло загрязнение вод и берегов внешней (юго-западной) стороны косы; небольшая часть пятна попала через пролив между о. Тузла и косой Тузла в Таманский зал., значительная часть попала в этот залив через пролив между о. Тузла и косой Чушка при последующем повороте ветра с ЮЮЗ на ЮЗ и ЗЮЗ и при

соответствующих им течениях (рис. 2б, 3а). Таким образом, следует отметить, что при сформировавшихся гидрометеорологических условиях и отсутствии дамбы вдоль косы Тузла, согласно модельным расчетам, основная часть пятна НП попала бы в Таманский зал. (рис. 4) и могла бы привести к экологической катастрофе в заливе в силу относительно небольшого объема вод в нем и их низкой обновляемости. Поворот ветра на ЮЗ и ЗЮЗ через 1.5 ч после разлома танкера также привел к повороту течений на юго-востоке пролива на В и ВЮВ (рис. 2б) и, таким образом, к попаданию части мазутного пятна в прибрежные воды от м. Тузла до м. Панагия и в последующем – к загрязнению вод и берегов. Тем не менее, преобладающая часть пятна мазута переносилась течениями далее на С и СВ вдоль северного побережья косы Чушка, загрязняя его и прилегающую акваторию (рис. 2в). Через 12 ч часть мазутного пятна достигла северо-восточного побережья Керченского п-ова на участке между мысами Еникале и Фонарь (рис. 3а, 3б), примерно через 30 ч – северной границы Керченского прол. и начала выноситься в Азовское море вдоль северного побережья Таманского п-ова. При ослаблении ветра примерно через 20 ч после аварии восстановилось квазипостоянное течение, направленное из Азовского моря в Черное вдоль побережья Керченского п-ова, которое понесло часть мазутного пятна с генеральным направлением на ЮЗ с северной мелководной части пролива, что привело к загрязнению вод и берегов уже в районе г. Керчи до бух. Камыш-Бурун включительно. Усиление ЮЗ ветра через 30 ч после аварии способствовало переносу пятен нефти как в Таманском зал. (рис. 3в), так и в Азовском море на восток и, соответственно, загрязнению северо-восточного берега залива и северного побережья Таманского п-ова до м. Пеклы. Последующий поворот ветра на З и СЗ в сочетании с волнами привел к прижатию разрозненных пятен мазута к побережью Таманского п-ова от м. Пеклы до оконечности косы Чушка и к южному берегу Таманского зал., а также к повторному загрязнению юго-западного побережья п-ова от м. Тузла до м. Панагия. Динамика рассчитанного переноса мазутного пятна, включая вынос его на побережье и за пределы Керченского прол., представлена в табл. 1, а его содержание в воде – на рис. 5. Так, через сутки после аварии основная часть разлившегося пятна мазута (более 80%) была разнесена по акватории Керченского прол. и оставалась в основном в северном мелководном районе пролива и в Таманском зал. Через 2 сут только 1/3 разлившегося пятна мазута осталась на акватории Керченского прол., более 1/2 была вы-

Таблица 1. Параметры распределения мазута

Время после аварии, ч	Акватория	Береговая линия	Вынос в Азовское море
12	98	2	0
24	83	16	0
36	49	41	9
48	34	52	13
60	20	66	13
72	15	71	13
240	4	72	23

несена волнами на береговую линию и почти 15% – в Азовское море вдоль северного побережья Таманского п-ова. Через 3 сут после аварии 2/3 вылившихся НП оказались вынесенными на береговую линию, и лишь 15% мазута оставались на акватории Керченского прол. При этом почти 30% приняла на себя внешняя (по отношению к Таманскому зал.) часть косы Чушка, около 7% – ее внутренняя часть; более 20% вынесено на побережье Таманского зал. от Тамани до пос. Приморского, чуть более – в Азовское море вдоль береговой линии от м. Ахиллеон до м. Пеклы; около 7% попало на украинское побережье Керченского прол.

По данным анализа проб, отобранных из поверхностного горизонта в месте катастрофы 13 ноября 2007 г., концентрация НП достигала 2.5 мг/л, составляя 50 ПДК, что в 8 раз выше среднего содержания НП в водах пролива в 1985–1988 гг. [4]. Концентрация НП в воде в районах аварийных разливов меняется в довольно широком диапазоне и в зависимости от типа НП. Согласно [14], при разливе нескольких тысяч тонн мазута в районе Клайпеды его концентрация на отдельных участках достигала 1.3–2.5 мг/л при фоновом уровне 0.05–0.10 мг/л. Полученный в настоящем исследовании результат довольно близок к этим данным. В подповерхностном слое воды концентрация оказалась существенно меньше – 0.22 мг/л, что свидетельствует о значительной неоднородности поля загрязнения. Спустя неделю после аварии наиболее высокая концентрация НП (0.94 мг/л) была обнаружена в придонном слое севернее порта “Кавказ” вблизи отмеченного ранее наблюдателями пятна разлившегося мазута, осевшего на дно (рис. 5). В поверхностном слое на этой же станции содержание НП оказалось в 5 раз ниже и составило 0.20 мг/л. Высокая концентрация (0.41 мг/л) зарегистрирована также в Таманском зал. (рис. 5). По акватории залива отмечена сильная пятнистость поля загрязнения, так как наряду с высо-

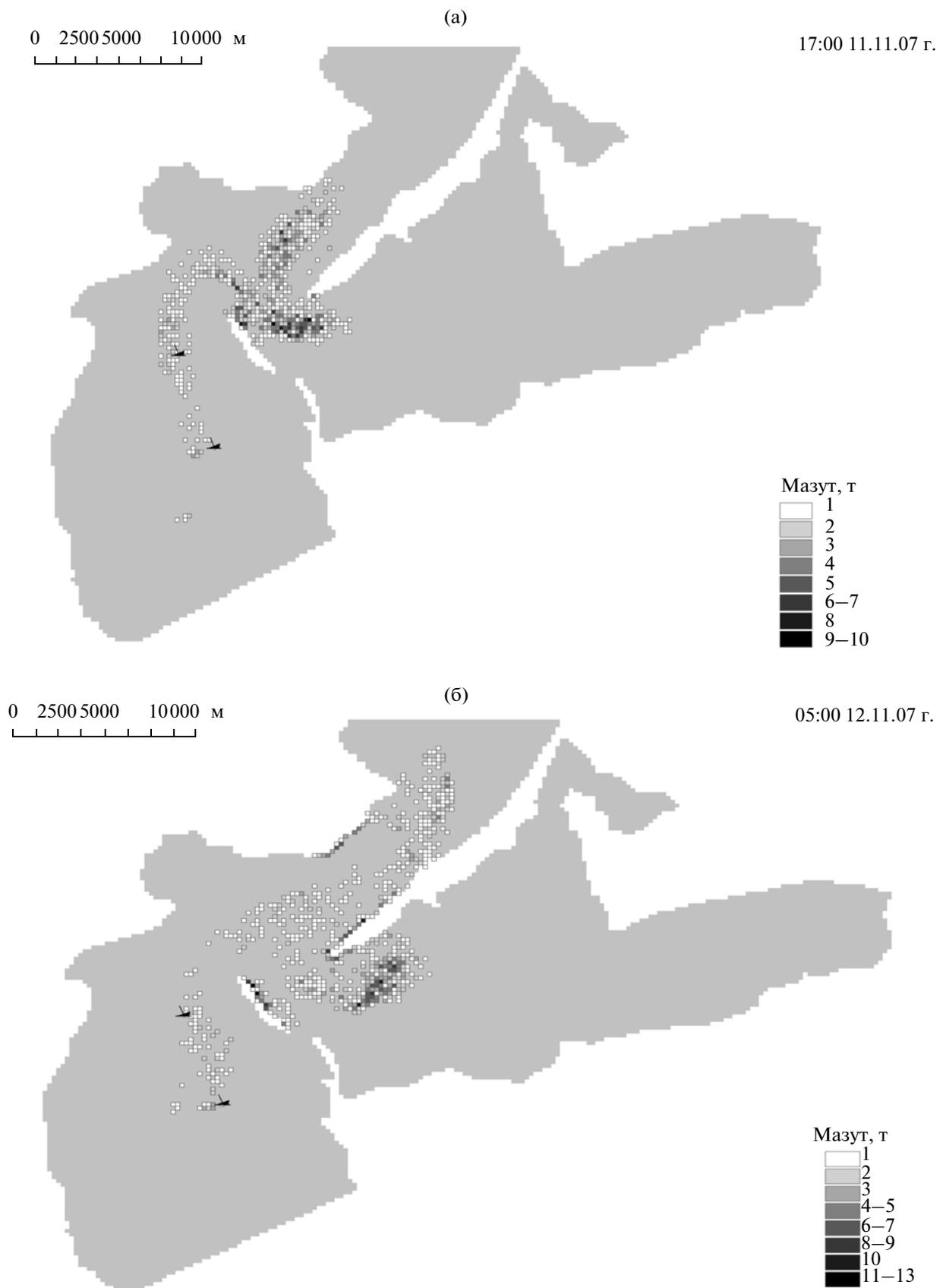


Рис. 3. Рассчитанная картина переноса пятна мазута через 12 (а), 24 (б), 36 ч (в) после аварии танкера.

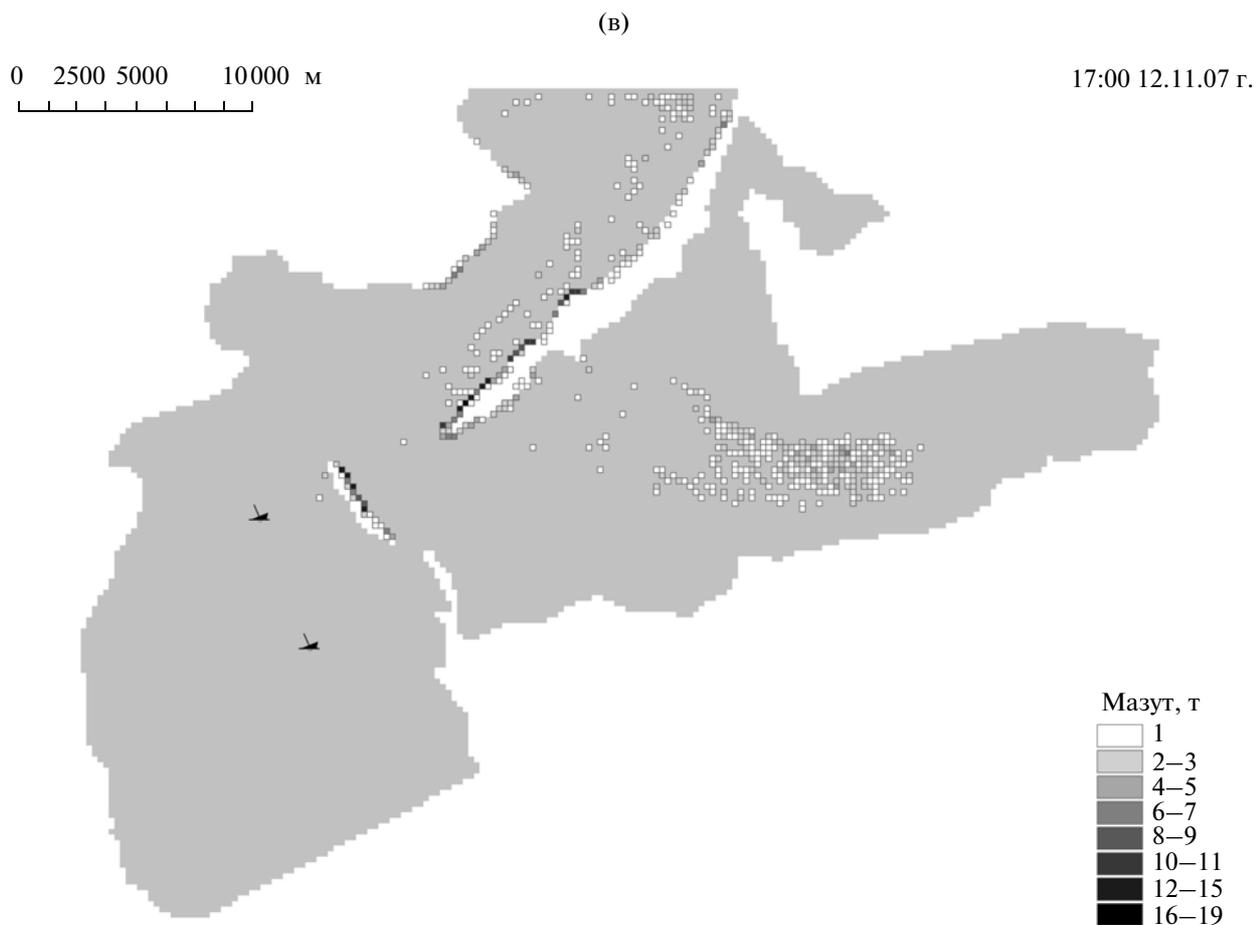
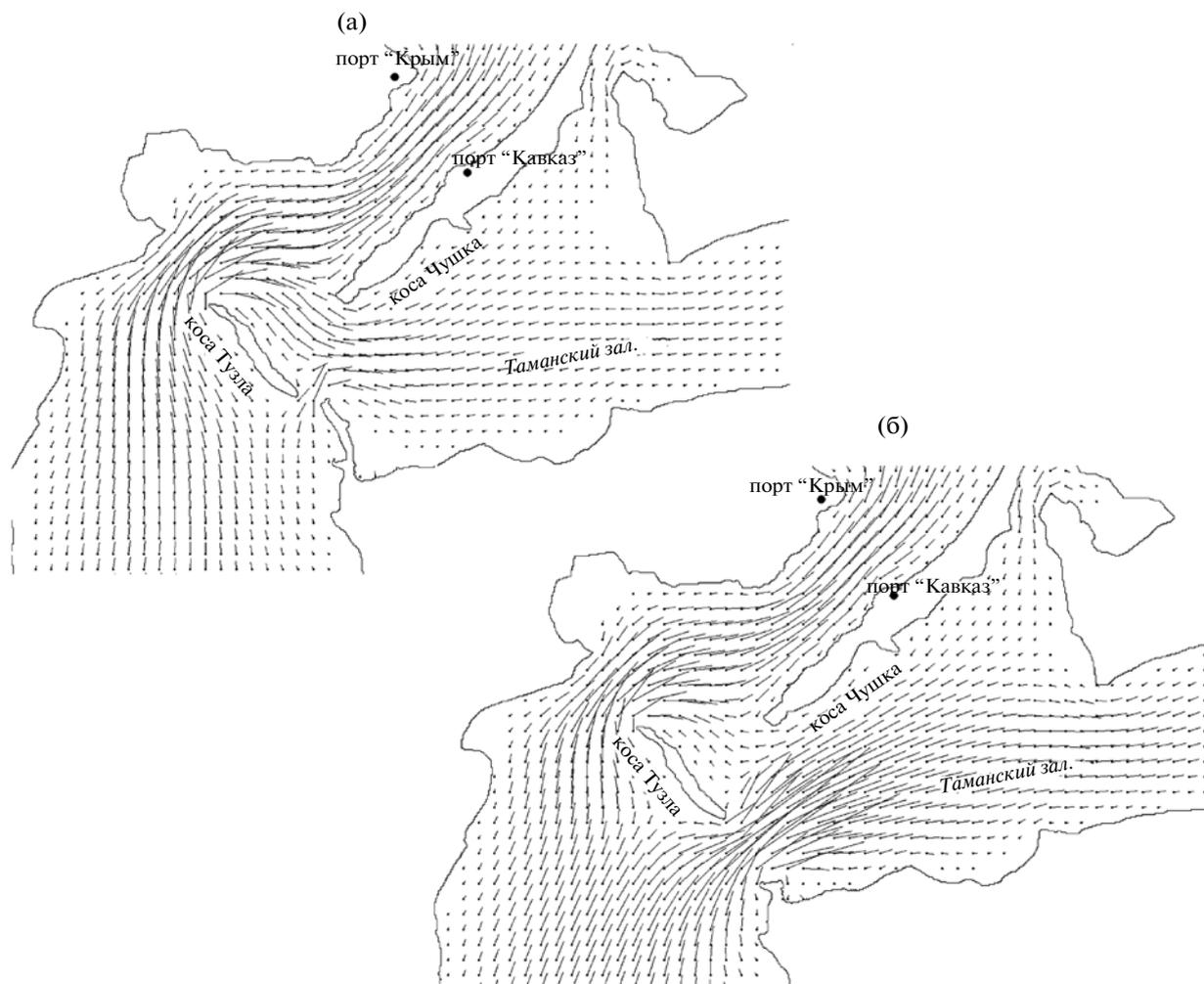


Рис. 3. Окончание.

кими концентрациями отмечены и довольно низкие, характерные для незагрязненных вод. В целом по состоянию на 17 ноября 2007 г. более чем на половине станций в проливе, включая Таманский зал., выявлено загрязнение вод мазутом вследствие аварийного разлива. При этом средняя концентрация НП по учтенным станциям наблюдения составила 0.20 мг/л при вариациях от 0.03 до 0.94 мг/л. Обнаружение высоких концентраций нефтяных углеводородов в придонном горизонте в период наблюдений 16–18 ноября 2007 г. свидетельствует о существенной загрязненности донных отложений мазутом, вытекшим из потерпевшего крушение танкера. Действительно, при отборе проб донных отложений мазут был обнаружен на дне в проливе между о. Тузла и косой Тузла, а также на оконечности косы Чушка. Часть мазута осела на дно в районе затонувшего носа танкера “Волгонефть-139” и по маршруту дрейфа кормы. На украинской стороне Керченского прол. на глубинах более 5 м содержание нефтеуглеводородов в донных осадках не превышало 128 мг/кг,

при этом на половине станций они отмечены в следовых количествах, что позволяет отнести их к уровню загрязнения I–II [2]. Содержание растворенного в воде кислорода, являющегося косвенным показателем загрязнения вод органическими веществами (включая НП), на всех станциях было в пределах нормы, составляя через четыре и пять дней после аварии (при слабом ветре) соответственно 87.5 и 84%, а через неделю – 108%. При этом от поверхности до дна содержание растворенного в воде кислорода практически не менялось. Значения pH варьировали от 8.2 в Таманском зал. до 8.7 в Керченском прол. и также не изменялись от поверхности до дна.

Попавшая в воду наряду с НП пластическая сера (в объеме более 6 тыс. т) нерастворима в воде и не образует с компонентами морской воды каких-либо опасных соединений. При отборе проб воды сера не обнаружена, а в донных отложениях она была обнаружена только однократно, и массового покрытия донного грунта серой не зарегистрировано.



**Рис. 4.** Поле скоростей течений в поверхностном слое в Керченском прол. при наличии (а) и отсутствии (б) дамбы вдоль косы Тузла. Вектор течения из-за значительного количества узлов в расчетной области изображен в виде черточки, направленной из узла в сторону направления течений, длина черточки соответствует скорости.

стрировано. Плотность серы –  $2.07 \text{ г/см}^3$ , что несколько больше, чем плотность донного ила в проливе, и со временем сера переместится в нижние слои донных отложений. С другой стороны, в таком мелководном и динамически активном районе, как Керченский прол., можно ожидать также перераспределения серы на большей площади дна с постепенным захоронением в донных отложениях. Явных признаков отрицательного воздействия пластической серы на экосистему пролива не зарегистрировано.

Как указывалось выше, при исследовании загрязнения береговой зоны все побережье Таманского п-ова было разделено на семь участков по типу береговой зоны и степени загрязнения (рис. 5) [10]. На участках 1 (от пос. Янтарный до м. Пана-

гия) и 4 (от косы Тузла до начала косы Чушка – побережье Таманского и Динского заливов) загрязнение углеводородами в период наблюдений не обнаружено (рис. 5), что для последнего участка отчасти можно объяснить оседанием на дно попавшей в залив части мазута. На участке 7 (от м. Пеклы до пос. Пересыпь) лишь в районе пос. Кучугуры в пляжевых отложениях встречались отдельные пятна замазученных водорослей (1 балл). Участок 2 (м. Панагия–м. Тузла) характеризовался умеренным (3 балла) загрязнением. Берег на участках 3 (от м. Тузла до оконечности косы Тузла), 5 (от оконечности косы Чушка до пос. Ильич) и 6 (от пос. Ильич до м. Пеклы) подвергся сильному загрязнению (4 балла). На участке 5 полоса загрязнения в основном располага-

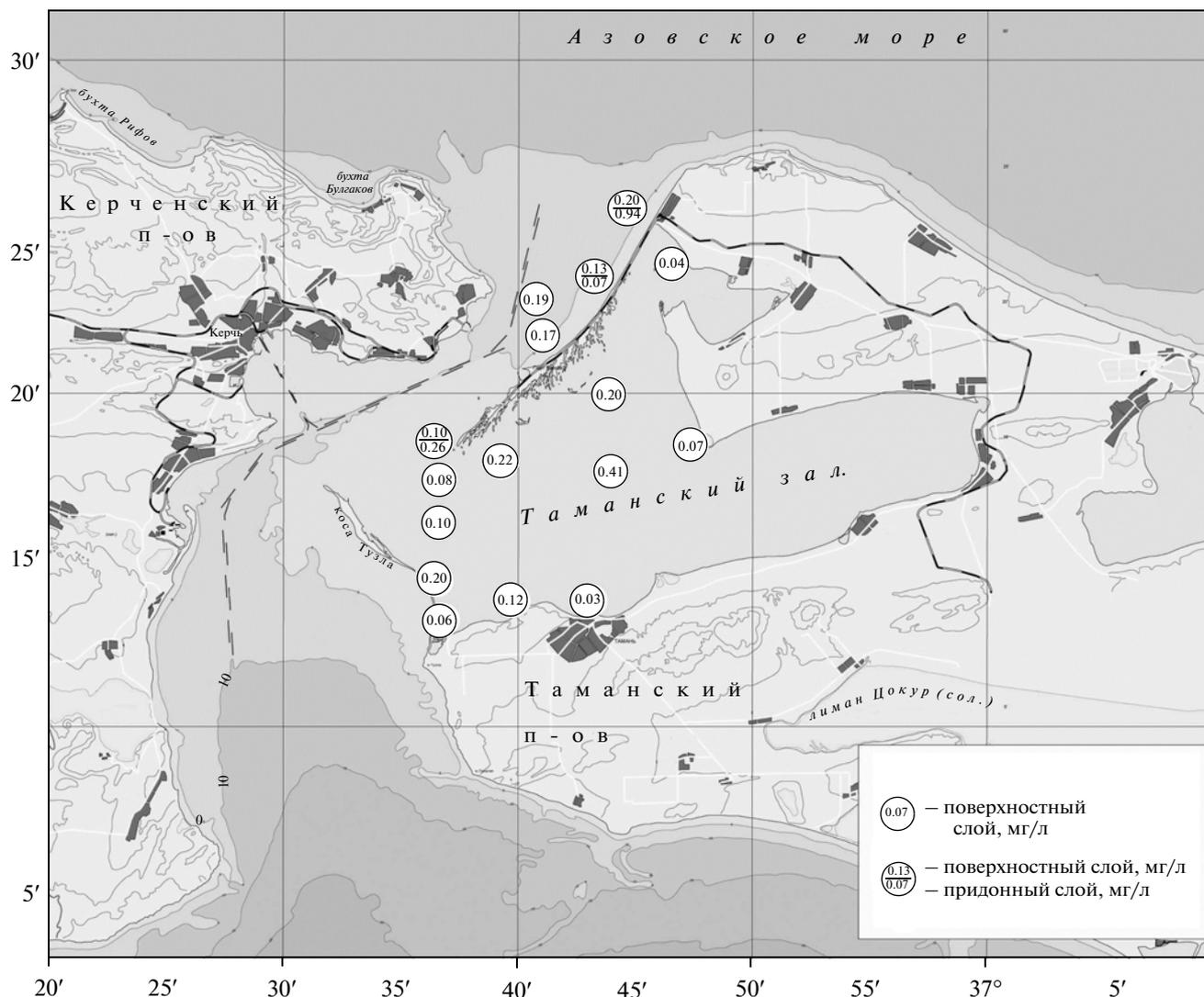


Рис. 5. Распределение содержания нефтяных углеводородов (мг/л) в водах Керченского прол. (по данным экспедиционного обследования 16–18 ноября 2007 г.).

лась по азовскому побережью косы Чушка и ее оконечности, на которой полоса из мазута и морских трав достигала ширины нескольких десятков метров [10]. Однако сразу же после кораблекрушений и выброса мазута на берег на данных участках стали вестись очистные работы подразделениями МЧС РФ и другими ведомствами. В результате уже в первой половине декабря степень загрязнения на этих участках удалось снизить до умеренной (3 балла), и лишь от порта “Кавказ” до оконечности косы Чушка она оставалась сильной (4 балла). На участке 6, как и на косе Чушка, в конце ноября – начале декабря отмечался продолжающийся вынос замазученных водорослей на берег. Такой вынос, по-видимому, отчасти был обусловлен транспортом мазутных пятен черноморским течением со всей восточной

половины Керченского прол. Таким образом, протяженность загрязнения береговой зоны Таманского п-ова составила около 55 км. К середине декабря 2007 г. из четырех участков на северном побережье Таманского п-ова, подвергшихся загрязнению, три можно было охарактеризовать как умеренно (3 балла) и один – как сильно (4 балла) загрязненные (рис. 5). По данным МЧС, из береговой зоны Таманского п-ова вывезено 46858 т, а Керченского п-ова – 5400 т загрязненной НП смеси грунта, водорослей, трав, мусора. Собрано 332.1 т водонефтяной эмульсии, путем выжигания было утилизировано 2160 т нефтесодержащих отходов. Основной объем вывезенной загрязненной смеси пришелся на узкую косу Чушка.

**Таблица 2.** Численность и биомасса зоо- и фитопланктона в Керченском прол. до и после аварийных разливов НП (числитель – минимальное–максимальное, знаменатель – среднее значения)

Время наблюдений	Зоопланктон	Фитопланктон	
	биомасса, г/м <sup>3</sup>	численность, млн кл/ м <sup>3</sup>	биомасса, г/м <sup>3</sup>
Октябрь 2007 г.		$\frac{65.8-498.7}{220.0}$	$\frac{0.4-15.1}{4.5}$
Ноябрь 2007 г.	4.9–257.9	$\frac{20.2-986.5}{365.0}$	$\frac{0.2-23.0}{5.8}$
Декабрь 2007 г.	0.2–30.0	250.0	1.5
Апрель 2008 г.	10.0–86.0	405.0	0.2
Июнь 2008 г.	15.0–160.0	145.0	0.4
Август 2008 г.		205.0	1.2

Среднее содержание НП в декабре составило 0.10 мг/л при диапазоне 0.05–0.24 мг/л. Наиболее высокие концентрации зарегистрированы в точке, находящейся на траверзе м. Тузла посередине пролива как в поверхностном (0.24 мг/л), так и в придонном (0.19 мг/л) слоях (в придонном слое – вблизи точки, где затонула корма (0.22 мг/л), и в поверхностном – в 4 км севернее от места аварии (0.13 мг/л)) – т.е. непосредственно в зоне влияния аварии танкера “Волгонефть-139”. В районе косы Чушка, где в ноябре через неделю после аварии были отмечены наиболее высокие концентрации НП, в декабре они составили 0.05–0.07 мг/л. Таким образом, судя по средним концентрациям НП, загрязненность вод пролива после аварии в течение одного месяца снизилась примерно в 2 раза, а величины максимальных концентраций снизились в 10 раз. В декабре 2007 г. содержание растворенного в воде кислорода на всех станциях, как в поверхностном, так и в придонном слоях, было в пределах нормы (не ниже 80% насыщения). Приведенные данные свидетельствуют о том, что благодаря высокой проточности произошло достаточно быстрое очищение вод пролива. В очистке акватории от НП сыграла также положительную роль водная растительность – макрофиты выполнили функцию естественного сорбента.

В ноябре 2007 г. в районе катастрофы было идентифицировано 42 вида микроводорослей из семи отделов с наибольшим видовым разнообразием для отдела Bacillariophyta (диатомовые водоросли). Если к этому добавить динамику во времени численности и биомассы фитопланктона (табл. 2), то можно заметить, что эти показатели соответствовали обычному сезонному ходу; таким образом, на качественные и количественные

характеристики развития фитопланктона Керченского прол. разлив НП сильно не сказался. Что касается пространственного распределения численности фитопланктона в проливе после аварии, то оно было очень неравномерным, но не было связано с содержанием в воде НП. Наибольшие численность и биомасса отмечены в центральной и северной частях Керченского прол., где сильнее сказывается сток богатых биогенными веществами вод из Азовского моря. Преобладание в пробах морских диатомовых (*Pseudosolenia calcar-avis*, *Cerataulina pelagica*, *Pseudonitzschia* sp.) и динофитовых водорослей (*Gyrodinium lachrymal*, *Prorocentrum cordatum*, *Prorocentrum micans*) косвенно указывает на то, что в момент отбора проб происходил заток воды из Черного моря. Попадая в Керченский прол. из менее насыщенных биогенными веществами черноморских вод, эти виды часто формируют здесь большую численность [5]. Именно развитие представителей отдела Bacillariophyta (диатомовые водоросли) обусловило в ноябре 2007 г. высокие показатели биомассы (до 23 г/м<sup>3</sup>) фитопланктона в Керченском прол., а также в Азовском море (район ст. Голубицкой – 5712.4 мг/м<sup>3</sup>). На станциях в других частях пролива численность фитопланктона была очень низкой (42.5–130 млн кл/м<sup>3</sup>) и формировалась преимущественно за счет развития мелких жгутиковых эвгленовых (Euglenophyta) и криптофитовых (Cryptophyta) водорослей. В Таманском зал. в составе фитопланктона присутствовали бентосные и планкто-бентосные формы диатомовых водорослей (*Diploneis smithii*, *Pleurosigma elongatum*, *Surirella ovalis*, *Rhoicosphenia curvata*, *Pinnularia* sp., *Nitzschia* sp., *Navicula* sp.), что связано с небольшими глубинами залива и длительным штормом, смывающим прикрепленные формы.

В ноябре 2007 г. при температуре воды 7.2–11.1 °С в сообществе мезозоопланктона наблюдалась ситуация, характерная для окончания летне-осеннего пика развития мезопланктона (табл. 3) [12]. В связи с понижением температуры в пробах было отмечено резкое снижение количества кладоцер по сравнению с октябрём 2007 г. Единственный отмеченный вид кладоцер – *Pseudoevadne tergestina* был встречен в количестве 200–240 экз/м<sup>3</sup> в районе оконечности косы Чушка в водах с концентрацией НП, превышающей ПДК в 1.5–4.5 раза. Из организмов голопланктона доминировали копеподы р. Acartia. В структуре популяции акарции присутствовали все возрастные стадии, что говорило о продолжающемся процессе размножения данных организмов. Субдоми-

нантными таксонами голопланктона на отдельных изученных участках были копеподы Cyclopoidea и Harpacticoida. На украинской стороне Керченского прол. доминировали также копеподы р. Acartia и личинки Cirripedia [2]. Такая структура при наличии относительно высокой доли мертвой фракции в планктоне характерна для сильно загрязненных районов, к которым можно отнести и Керченский прол., но связано это с авариями судов или с хроническим загрязнением акватории пролива — не выяснено.

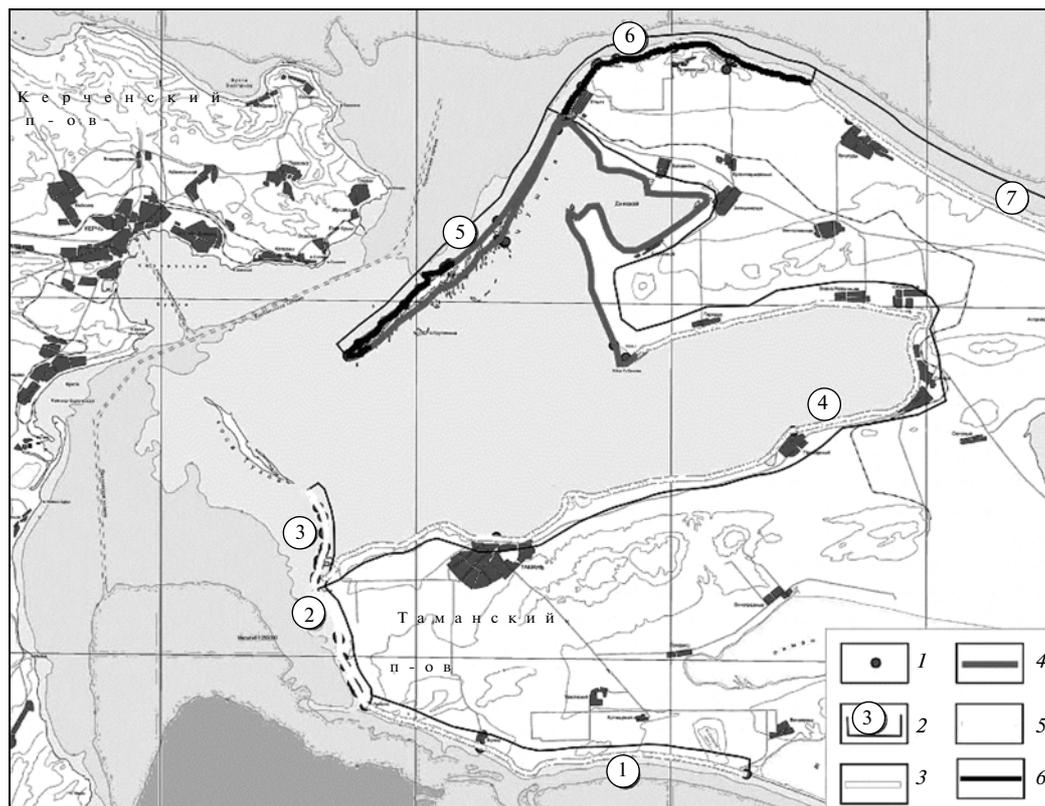
Наибольший вклад в биомассу сообщества меропланктона на большинстве станций вносили науплиусы и циприсовидные личинки. Субдоминантными группами меропланктона являлись велигеры двустворчатых и брюхоногих моллюсков, а также нектохеты полихеты *Polydora ciliate* [10]. Распределение по акватории пролива общей биомассы зоопланктона определялось гидрологическими особенностями района: в черноморской части пролива и Таманском зал. наблюдались пониженные значения биомассы мезозоопланктона ( $4\text{--}15\text{ мг/м}^3$ ), увеличение биомассы зоопланктона было зарегистрировано в азовоморской части пролива ( $50\text{--}140\text{ мг/м}^3$ ), а также в районе оконечности косы Чушка ( $257\text{ мг/м}^3$ ), что, вероятнее всего, связано с локальной концентрацией планктонных организмов под действием течений. Достоверной связи между общей биомассой зоопланктона и содержанием НП в воде не выявлено. В декабре зоопланктонное сообщество развивалось в условиях низкой температуры воды, характерной для зимнего периода (не более  $5.5^\circ\text{C}$  на большей части Керченского прол., за исключением черноморской с температурой около  $9^\circ\text{C}$ ). На большинстве станций в пробах преобладали старшие копеподиты *Acartia clausi* и *A. tonsa*, а также науплии *Balanus improvisus*. На мелководных участках в азовоморской части пролива и в Таманском зал. в пробах отмечались коловратки *Synchaeta* sp., массово развивающееся в конце зимы повсеместно. Общая биомасса сетного планктона в районе по сравнению с их значениями в ноябре повсеместно снизилась (табл. 2), что объясняется окончанием массового размножения копепод и бентосных организмов, имеющих планктонную личинку. Пространственное распределение биомассы сетного планктона в декабре 2007 г. в целом отражало общие закономерности, выявленные ранее: воды Таманского зал. и черноморской части Керченского прол. оказались менее богаты зоопланктоном ( $0.2\text{--}4.3\text{ мг/м}^3$ ), чем воды азовоморской части пролива ( $15\text{--}30\text{ мг/м}^3$ ). В прибрежной части косы Тузла наблюдалась повышенная концентра-

**Таблица 3.** Численность птиц, погибших от аварийных разливов НП в ноябре 2007—феврале 2008 г., количество особей

Отряд	Ноябрь	Декабрь	Февраль
Поганкообразные <i>Podicipediformes</i>	5904	1696	150
Веслоногие <i>Pelecaniformes</i>	900	134	185
Гусеобразные <i>Anseriformes</i>	84	48	72
Журавлеобразные <i>Gruiformes</i>	5088	95	41
Другие	24	29	53

ция организмов зоопланктона ( $14\text{--}22\text{ мг/м}^3$ ), что, по-видимому, объясняется повышенной гидродинамической активностью в этом районе. В непосредственной близости от носовой части затонувшего танкера “Волгонефть-139” также наблюдалось некоторое повышение общей биомассы зоопланктона ( $2\text{--}4\text{ мг/м}^3$ ) по сравнению с близлежащими станциями ( $0.3\text{--}0.8\text{ мг/м}^3$ ). В целом выявленная ситуация в планктонном сообществе района характерна для начала мягкой зимы.

Виды макрозообентоса района исследований делятся на несколько типов по отношению к типу грунта: 1) псаммофилы — оксифильные виды, обитающие на песчаных грунтах на гидродинамически активных участках и в зоне заплеска, наиболее чувствительны к загрязнению нефтепродуктами; 2) зарывающиеся пелофилы — виды, обитающие в толще глинистых илов различной фракции (алевритовой, пелитовой), обитают на менее гидродинамических участках пролива, как правило, являются детритофагами и фильтраторами; 3) прикрепленные сестонофаги. Непосредственно после аварии судов в исследуемом районе псаммофильная фауна была богато представлена на мелководьях западного побережья Чушки до глубины 3 м [12]. Основные донные сообщества образовывали двустворчатые моллюски *Lentidium mediterraneum*, численность которых достигала более  $150\text{ экз/м}^2$ . Субдоминирующими были двустворки *Cerastoderma glaucum*, численность которых достигала  $300\text{ экз/м}^2$ , и *Moegella tenuis*, доминанты 2-го порядка — раки-бокоплавы *Ampelisca diadema* и *Cumacea*. В зоне заплеска доминантами выступали *Gammarus*. На участках с глубинами 6.0–8.5 м донные сообщества были представлены пелофильными видами, в которых доминировало сообщество *Nephtys hombergii* численностью до  $500\text{ экз/м}^2$ . На двух станциях было обнаружено сообщество мидии *Mytilus gal-*



**Рис. 6.** Загрязнение побережья Таманского п-ова по состоянию на середину декабря 2007 г. 1 – точки наблюдения; 2 – участки обследования побережья и их номер; 3 – загрязнение побережья мазутом отсутствует; 4 – незначительное загрязнение (1 балл); 5 – умеренное загрязнение (3 балла); 6 – сильное загрязнение (4 балла).

*lorprovincialis*, численность которой достигала более 1000 экз/м<sup>2</sup>. Субдоминантом выступал рак-бокоплав *Dickerogammarus*. Доминант 2-го порядка – *Abra ossitanica* численностью до 20 экз/м<sup>2</sup>. В Таманском зал. донные сообщества были образованы видами, связанными с макрофитами. Доминирующими видами выступали *Amphipoda* – *Pontogammarus* и *Isopoda* – *Idotea baltica*; субдоминирующим – двустворка *Abra ossitanica*, обитающая в песчанисто-пелитовых отложениях в корнях *Zostera*. В юго-западной части Таманского лимана преобладали друзовые сообщества *Mytilus galloprovincialis*, численность половозрелых особей которых достигала 50 экз/м<sup>2</sup>, а молоди – более 500 экз/м<sup>2</sup> [12]. В пробе макрозообентоса, отобранной на оконечности косы Тузла (восточное побережье, глубина 2.5 м), в донных осадках оказался мазут. Макрозообентос на этой станции представлен неполовозрелой молодью мидий *Mytilus galloprovincialis*, прикрепленных к zostере, и полихетами *Nephtys hombergii*. Все полихеты (численность 4 экз/0.01 м<sup>2</sup>) были мертвые, моллюски – живые, сифональная система и пищеварительный тракт не забиты мазутом. В пробах, отобранных на остальных станциях, мазут не был обнаружен; все орга-

низмы, включая индикаторные оксифильные виды (*Gammaridae*, *Cumacea*, *Lentidium*, *Moerella*), были живые, образуя высокую численность и биомассу [12].

В декабре бентос в районе Керченского прол. был распространен неравномерно. Северная оконечность (вдоль косы Чушка) традиционно была представлена псаммобионтными биоценозами с явным доминированием двустворчатых моллюсков *Lentidium mediterraneum*, *Cerastoderma glaucum* и *Moerella tenuis*. На южной части (к югу от косы Тузла, включая места затонувших кораблей), характеризующейся песчаными грунтами (каменистый грунт – лишь у берега к югу от косы Тузла), пробы визуально были пустые (только на одной станции в пробах отмечены *Rapana* и рак-отшельник). Это контрастирует с ноябрьской съемкой, во время которой были отмечены богатые по численности биоценозы. Для Таманского зал. характерны илы пелитовой фракции. На большей части станций пробы визуально были пустыми, однако в контрольных качественных пробах отмечены *Polychaeta*, *Amphipoda*, *Gastropoda*. Северо-восточная часть Таманского зал. характеризовалась высоким содержанием растительного

детрита, в пробе отмечены многочисленные представители Caprellidae. Северо-западная часть залива (в районе косы Рубанова) представлена мидиевыми биоценозами с присущей им богатой фауной. Доминантом выступал *Mytilus galloprovincialis*, субдоминантом — *Balanus improvisus*. Вдоль южного края косы Чушка отмечено большое количество личинок Chironomidae. В целом на большей части акватории катастрофа не вызвала глобальной смены и вымирания фауны, включая оксифильные псаммобионтные сообщества, чувствительные к загрязнению НП. Однако на отдельных станциях непосредственно в зоне катастрофы численность псаммобионтов была значительно снижена. Наиболее пострадали организмы перифитона в связи с адсорбирующей реакцией макрофитов и последующей уборкой замазученной zostеры, обширные зарослевые биоценозы на дистали косы Чушка временно прекратили свое существование. Также резко снизилась численность обитателей прибрежных биоценозов, в основном Gammaridae. На глубинах от зоны заплеска до 30 см сообщества Gammarus и Ampelisca отсутствовали, а Lentidium был представлен только в виде мертвых раковин. Заметное влияние нефтяное загрязнение оказало на сообщество обрастателей *Mytilus galloprovincialis* в основании косы Тузла; здесь мидии в зоне заплеска полностью погибли, в сифонах и кишечном тракте найдены следы мазута. Однако общий спад численности связан в первую очередь с сезонными снижениями численности бентоса.

В результате исследований отмечены крайне низкие численность и видовое разнообразие ихтиофауны. Так, улов двух ставных сетей с размером ячей 14 и 30 мм, выставленных в районе косы Тузла на расстоянии 0.5 км от берега, за одни сутки составил всего одну особь бычка-рыжика *Neogobius eurycerphalus*, а при многократных попытках тралений 2-метровым бимтралом по обе стороны от косы Тузла рыба в уловах отсутствовала [12]. В выставленных в Таманском зал. сетях улов рыбы за трое суток составил 5 особей бычка-мартовика *Mesogobius batrachosephalus* и 2 особи бычка-кругляка *Neogobius melanostomus*. Такие низкие численность и видовое разнообразие ихтиофауны могли быть связаны с осенне-зимним снижением температуры воды ниже 5–11°C, когда большинство черноморских рыб отходят с прибрежных мелководий на глубину и завершаются осенние миграции рыб из Азовского моря; и могли быть следствием массовой утечки НП, вызвавшей уход рыбы из загрязненного района. В конце ноября в Керченском прол. наблюдается нерест холодолюбивых видов рыб, что подтверждается наличием икры на

разных этапах развития, а также личинок со смешанным типом питания [2]. Обнаруженные значительная доля мертвой икры с аномалиями на последних этапах развития и низкая численность личинок указывают на неблагоприятные условия их выживания, возможно, обусловленные загрязнением района НП. Вскрытие рыб не выявило наличия НП в желудочно-кишечном тракте, дыхательной системе. Морфологических аномалий у взрослых рыб, обусловленных воздействием НП, также не отмечено [2].

За весь период мониторинга после аварии не обнаружено погибших от загрязнения мазутом дельфинов. Найдены погибшие особи афалин *Tursiops truncatus* на черноморском побережье и азовской свиньи *Phocoena phocoena relicta* на побережье Темрюкского зал., однако гибель их произошла до аварии судов [10].

Керченский прол., заливы и лиманы Таманского п-ова — традиционное место зимовки многих видов птиц [7, 8]. Первые зимующие особи появляются в ноябре, а к середине декабря их численность достигает максимума. В теплые зимы количество зимующих особей составляет 5–7 тысяч, а в суровые зимы, в периоды замерзания Азовского моря, здесь встречается до 50 тыс. особей. В зависимости от погодных условий видовой состав птиц меняется и количество зимующих видов здесь колеблется от 17 до 35. Всего на зимовках на акваториях Керченского прол., Таманского зал. и прилегающей территории в 2007–2008 гг. отмечено 42 вида водоплавающих и околоводных видов птиц. Основная причина гибели птиц в первые дни после аварии — перегрев тела из-за загрязнения и полного склеивания оперения. У птиц также отмечено повреждение глаз (из-за перегрева тела — разрыв кровеносных сосудов в сосудистой оболочке глаза, выраженный покраснением глаз) и пищеварительного тракта (отечность слизистых оболочек). Водоплавающие и околоводные виды птиц пострадали в наибольшей степени от аварийных разливов НП, так как сроки аварии пришлось на пик массового пролета этих видов: поганок, уток, лебедей и лысух. В наибольшей степени в результате аварии пострадали лысуха *Fulica atra*, большая поганка *Podiceps cristatus*, серошекая поганка *P. grisegena*, черношейная поганка *P. nigricollis*, малая поганка *P. ruficollis* и большой баклан *Phalacrocorax carbo* [19]. К концу зимы (февраль 2008 г.) бакланы составляли основную группу зимующих птиц, поэтому возросла их доля в общей смертности птиц. Зафиксирована гибель от мазута других видов птиц, которые в этот период обитали на акватории пролива и прилегающих территориях, но их численность была невелика: хохла-

тый баклан *Phalacrocorax aristotelis*, лебедь-шипун *Cygnus olor*, кряква *Anas platyrhynchos*, чирок-свистунок *Anas strepera*, красноголовая чернеть *Aythya ferina*, хохотунья *Larus cachinnans*, фазан *Phasianus colchicus* и сизый голубь *Columba livia*.

Птицы, обитающие в районе аварии, отличались степенью загрязнения оперения. Полностью испачканные мазутом особи погибали от перегрева в результате нарушения теплообмена. Если птицы были загрязнены частично, то причинами их гибели стало, во-первых, отравление НП при очистке оперения, во-вторых, — переохлаждение, так как у загрязненного оперения нарушена теплоизоляционная функция. Всего в период с ноября 2007 г. по февраль 2008 г. погибло около 15 тыс. особей водоплавающих и околоводных видов птиц (табл. 3).

### ВЫВОДЫ

Выполненные комплексные исследования воздействия на среду и биоту Керченского прол. аварийного разлива нефти в ноябре 2007 г. позволяют заключить следующее. Основная часть загрязнения НП (почти 30%) пришлось на косу Чушка и прилегающую к ней акваторию, почти четверть — вынесена в Азовское море вдоль северного побережья Таманского п-ова, пятая часть попала в Таманский зал. и менее десятой части (7%) — на украинский берег пролива. В сложившихся в период аварии гидрометеорологических условиях при отсутствии дамбы вдоль косы Тузла основная часть пятна НП попала бы в Таманский зал., что привело бы к экологической катастрофе в заливе в силу относительно небольшого объема вод в нем и их низкой обновляемости.

Поле загрязнения НП отличалось высокой неоднородностью как по горизонтали, так и по вертикали. Максимальная концентрация НП, обнаруженная через 2 сут после аварии на месте катастрофы, достигала 2.5 мг/л, составляя 50 ПДК, что в 8 раз выше среднего содержания НП в водах пролива. В течение месяца максимальные значения содержания НП упали в 5–10 раз, а средние — в два раза; содержание растворенного в воде кислорода, являющегося косвенным показателем загрязнения вод органическими веществами, уже через 4–5 сут после аварии от поверхности до дна было в пределах нормы. Этому способствовала, главным образом, высокая гидродинамическая активность вод пролива.

Загрязнение береговой полосы наблюдалось в виде отдельных пятен мазута и замазученных водорослей различных размеров, как лежащих на

береговых отложениях, так и захороненных в них на глубину первых десятков сантиметров; при этом процесс загрязнения был не залповым, а растянутым во времени и продолжался более месяца. Протяженность загрязненной береговой зоны Таманского п-ова составила около 55 км, при этом через месяц после аварии на трех участках береговой зоны из четырех, подвергшихся загрязнению, оно характеризовалось как умеренное, а на одном (на северном побережье Таманского п-ова) — как сильное. Из вывезенных с береговой зоны Таманского п-ова почти 47 тыс. т загрязненной НП смеси грунта, водорослей, трав и мусора наибольшая часть приходится на прибрежную зону вдоль северо-западного берега узкой косы Чушка. В условиях перехвата северным молом порта “Кавказ” наносов, поступающих в Керченский прол. из Азовского моря, такой большой объем изъятия грунтов в волноприбойной зоне без соответствующих компенсационных мероприятий может создать угрозу разрушения железной дороги и порта “Кавказ” действиями волн и привести к ускоренной деградации южной части косы Чушка.

Из всех биотических компонент экосистемы Керченского прол. загрязнение береговой зоны мазутом оказало наиболее сильное негативное воздействие на орнитофауну, в частности на зимующих здесь птиц; при этом самыми уязвимыми оказались водоплавающие и околоводные зимующие виды птиц. Количество погибших птиц составило около 12000 особей, общее количество птиц, пострадавших в результате аварии — около 15000. Массовые виды, погибшие во время аварии, за один сезон гнездования восполняют свою численность, а для восстановления редких и уязвимых популяций необходимо в гнездовой период провести ряд биотехнических мероприятий на Таманском п-ове.

Из гидробионтов аварийный разлив НП оказал минимальное негативное воздействие на сообщество планктонных микроводорослей (восстановление фитопланктонного сообщества произошло достаточно быстро благодаря высокой скорости генерации последнего), не вызвал значительных изменений бентосной фауны (включая оксифильные псаммобионтные сообщества, чувствительные к загрязнению НП), оказал негативное влияние на сообщество обрастателей *Mytilus galloprovincialis* в основании косы Тузла (здесь мидии в зоне заплеска полностью погибли, в их сифонах и кишечном тракте найдены следы мазута), наиболее пострадали организмы перифитона — в связи с адсорбирующей реакцией макрофитов и последующей уборкой замазучен-

ной зоостеры; снизилась численность обитателей прибрежных биоценозов.

Крайне низкие численность и видовое разнообразие ихтиофауны в декабре 2007 г. связаны, главным образом, с отходом рыб с прибрежных мелководий на глубину и завершением осенней миграции рыб из Азовского моря из-за осенне-зимнего снижения температуры воды. В желудочно-кишечном тракте и дыхательной системе рыб НП не выявлены, морфологических аномалий, обусловленных воздействием НП, у взрослых рыб также не отмечено.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водоросли. Справочник / Под ред. Вассер С.П., Кондратьевой Р.В., Масюк Р.П. и др. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
2. *Еремеев В.Н., Болтачев А.Р.* Предварительная оценка последствия аварий судов 11 ноября 2007 г. на среду и биоту Керченского пролива // Матер. междунар. науч. конф. "Современные проблемы морской инженерной экологии". Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2008. С. 88–92.
3. *Киселев И.А.* Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука, 1969. Т. 1; 1980. Т. 2.
4. *Кленкин А.А., Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В., Корпакова И.Г.* Характеристика нефтяного загрязнения Азовского моря и закономерности его динамики // Вод. ресурсы. 2007. Т. 34. № 6. С. 731–736.
5. *Ковалева Г.В.* Фитопланктон Азовского моря и прилегающих водоемов // Азовское море в конце XX – начале XXI веков: геоморфология, осадконакопление, пелагические сообщества. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. Т. X. С. 134–223.
6. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и сточных водах методом ИКС. ПНД Ф 14.1:2.5-95. М.: М-во природ. ресурсов РФ, 2004. 17 с.
7. *Лебедева Н.В., Савицкий Р.М., Маркитан Л.В., Денисова Т.В.* Зимующие птицы лиманов Причерноморья // Кавказский орнитол. вестн. Вып. 13. Ставрополь: СГУ, 2001. С. 79–85.
8. *Лебедева Н.В., Савицкий Р.М., Сорокина Т.В. и др.* Зимняя авифауна черноморского побережья Краснодарского края // Биоразнообразие полуострова Абрау. Сб. науч. тр. М.: Изд-во МГУ, 2002. С. 99–105.
9. *Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Чернышева Е.С., Колесов А.М.* О шторме на Черном море. М.: Рос. реч. рег., 2009. 37 с.
10. *Матишов Г.Г., Бердников С.В., Савицкий Р.М.* Экосистемный мониторинг и оценка воздействия разливов нефтепродуктов в Керченском проливе. Аварии судов в ноябре 2007 г. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. 80 с.
11. *Матишов Г.Г., Савицкий Р.М., Инжебейкин Ю.И.* Условия и последствия аварий судов в Керченском проливе во время шторма 11 ноября 2007 г. // Вестн. ЮНЦ РАН. 2008. Т. 4. № 3. С. 54–63.
12. *Матишов Г.Г., Савицкий Р.М., Лужняк В.А. и др.* Экосистемный мониторинг Керченского пролива после аварийных разливов нефтепродуктов в ноябре 2007 г. // Тез. докл. междунар. конф. "Современные проблемы морской инженерной экологии". Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2008. С. 175–178.
13. Методические рекомендации по анализу количественных и функциональных характеристик морских биоценозов Северных морей // Фитопланктон, зоопланктон, взвешенное органическое вещество / Составители Макаревич П.Р., Дружков Н.В. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1989. Ч. I. 30 с.
14. *Немировская И.А.* Нефтяные углеводороды в океане // Природа. 2008. № 3. С. 17–27.
15. Определитель фауны Черного и Азовского морей / Под ред. Мордухай-Болтовского Ф.Д. Киев: Наук. думка, 1968. Т. 1. 437 с.
16. Определитель фауны Черного и Азовского морей в 3 томах / Под ред. Мордухай-Болтовского Ф.Д. Киев: Наук. думка, 1969. Т. 2. 535 с.
17. Определитель фауны Черного и Азовского морей / Под ред. Мордухай-Болтовского Ф.Д. Киев: Наук. думка, 1972. Т. 3. 339 с.
18. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 239 с.
19. *Савицкий Р.М.* Влияние аварийных разливов нефтепродуктов в Керченском проливе на большого баклана // Бранта: сб. науч. тр. Азово-Черноморской орнитол. ст. Мелитополь, 2008. Вып. 11. С. 246–248.
20. *Федоров В.Д.* О методах изучения фитопланктона и его активности // М.: Изд-во МГУ, 1979. 166 с.
21. *Чикин А.Л.* Об одном из методов расчета параметров течений в водоемах с большой неоднородностью глубин // Вод. ресурсы. 2005. Т. 32. № 1. С. 55–60.
22. <http://earthobservatory.nasa.gov>
23. <http://meteo.infospace.ru>
24. National Oceanic and Atmospheric Administration. Shoreline countermeasures manual. Temperate coastal environments. Hazardous Materials Response and Assessment Division. Seattle: NOAA, 1992. 95 p.