

## Нефтяной причал на мысе Манганари (Севастополь) как источник антропогенной взвеси и растворенных нефтепродуктов на основе численного моделирования и данных экспедиционных исследований

П. Д. Ломакин <sup>✉</sup>, Ю. Н. Рябцев, А. И. Чепыженко

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*  
<sup>✉</sup> p\_lomakin@mail.ru

Поступила в редакцию 23.09.2025; одобрена после рецензирования 01.11.2025;  
принята к публикации 16.03.2026.

### *Аннотация*

*Цель.* Выявить закономерности распространения антропогенной взвеси и растворенных нефтепродуктов, обусловленные факторами, связанными с эксплуатацией нефтяного причала, который находится на м. Манганари в районе Севастополя; оценить линейный масштаб влияния этого объекта на окружающее водное пространство; определить участки акватории, испытывающие максимальную антропогенную нагрузку, – цель настоящей работы.

*Методы и результаты.* На основе методов численного моделирования (обобщенная на случай учета рэлеевского трения трехмерная баротропная линейная модель Фельзенбаума) раскрыты закономерности распространения антропогенной взвеси ветровыми течениями из участка, где расположен нефтяной причал. Установлено, что в зависимости от направления ветра поток взвеси от оголовка нефтяного причала распространяется в открытое море, проникает в расположенные рядом бухты. По данным экспедиций, проведенных в смежные бухты Казачья, Камышовая, Абрамова, рассмотрена структура полей концентрации взвеси и растворенных нефтепродуктов как косвенного показателя распространения этих веществ. Определены наиболее загрязненные участки исследуемой акватории. Оценен радиус влияния причала на окружающее водное пространство.

*Выводы.* Результат моделирования подтвержден данными экспедиционных исследований. Согласно выполненным модельным расчетам и анализу наблюдений, радиус влияния причала на окружающее водное пространство оценивается в 0,5–1,0 мили, а максимальная антропогенная нагрузка приходится на северную часть Казачьей и Камышовой бухт. В условиях северо-восточного и северного ветра антропогенная взвесь и нефтепродукты накапливаются в северной части Казачьей бухты. При западном и северо-западном ветре эти загрязнители проникают в Камышовую бухту, при юго-западном ветре они достигают акватории б. Абрамова.

**Ключевые слова:** моделирование, ветер, общее взвешенное вещество, нефтепродукты, нефтяной причал, севастопольские бухты, Черное море

**Благодарности:** работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0016.

**Для цитирования:** Ломакин П. Д., Рябцев Ю. Н., Чепыженко А. И. Нефтяной причал на мысе Манганари (Севастополь) как источник антропогенной взвеси и растворенных нефтепродуктов на основе численного моделирования и данных экспедиционных исследований // Морской гидрофизический журнал. 2026. Т. 42, № 3. С. 422–435. EDN PZFTSC.

## Oil Pier at Cape Manganari (Sevastopol) as a Source of Anthropogenic Suspension and Dissolved Oil Products Based on Numerical Modeling and Expedition Data

P. D. Lomakin ✉, Yu. N. Ryabtsev, A. I. Chepyzhenko

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia  
✉ p\_lomakin@mail.ru

### Abstract

**Purpose.** The purpose of the study is to identify the patterns of propagation of anthropogenic suspended matter and dissolved oil products conditioned by operation of the oil pier located at Cape Manganari in the Sevastopol region, to assess the linear scale of its impact on the surrounding water environment, as well as to determine the parts of water area which are subjected to maximum anthropogenic load.

**Methods and Results.** Application of the numerical modeling methods, namely the Felzenbaum three-dimensional barotropic linear model generalized for the case of Rayleigh friction, made it possible to reveal the patterns of anthropogenic suspended matter distribution by wind currents from the area where the oil pier was located. It is established that depending on the wind direction, the suspended matter flow spreads from the head of oil pier to the open sea and penetrates into the neighboring bays. The data obtained during the expeditions in the adjacent Kazachya, Kamyshovaya and Abramov bays permitted to examine the structure of concentration fields of suspended matter and dissolved oil products as an indirect indicator of distribution of these substances. The most polluted areas of the region under study were revealed. The radius of the oil pier impact upon the surrounding water area was assessed.

**Conclusions.** The modeling results are confirmed by the expedition research data. According to the performed model calculations and the analysis of observational data, the radius of pier impact upon the surrounding water environment is estimated to be 0.5–1.0 mile, and the maximum anthropogenic load falls on the northern halves of the Kazachya and Kamyshovaya bays. At the north-eastern and northern winds, the anthropogenic suspended matter and oil products are accumulated in the northern part of Kazachya Bay, at the western and north-western winds, these pollutants penetrate into Kamyshovaya Bay, and when the wind is south western – into Abramov Bay.

**Keywords:** modeling, wind, total suspended matter, oil products, oil pier, Sevastopol bays, Black Sea

**Acknowledgments:** The study was carried out within the framework of state assignment of FSBSI FRC MHI FNNN-2024-0016.

**For citation:** Lomakin, P.D., Ryabtsev, Yu.N. and Chepyzhenko, A.I., 2026. Oil Pier at Cape Manganari (Sevastopol) as a Source of Anthropogenic Suspension and Dissolved Oil Products Based on Numerical Modeling and Expedition Data. *Physical Oceanography*, 33(3), pp. 458-470.

### Введение

История активных комплексных исследований загрязнения вод сева­стопольских бухт и открытых участков взморья насчитывает более трех десяти­летий. Эти исследования велись и ведутся как на эмпирическом (контактном и спутниковом), так и на модельном уровне [1–5].

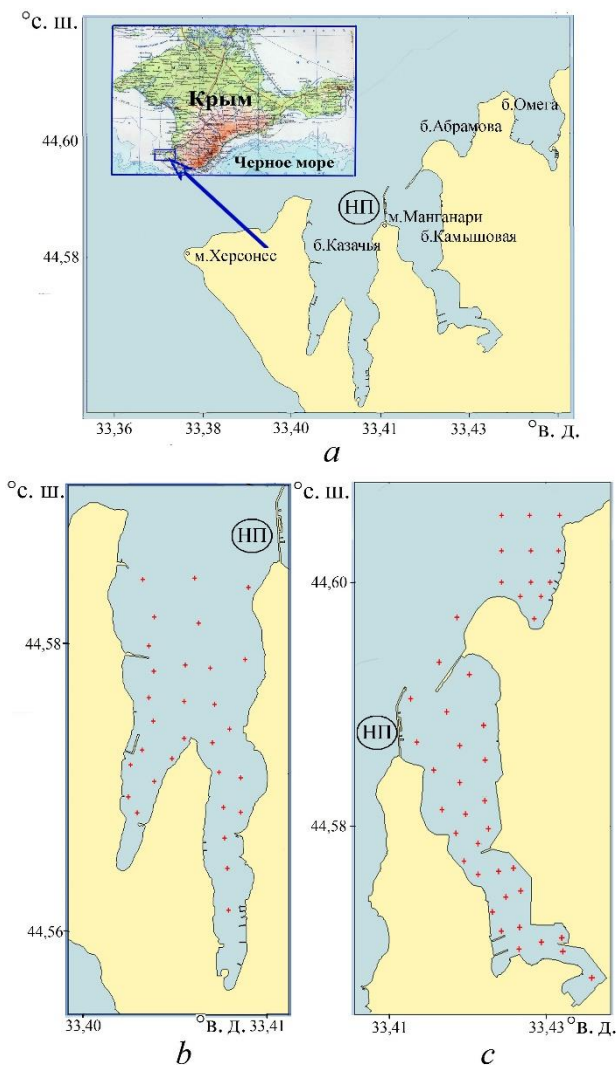
В настоящее время сложились представления: об основных источниках и химическом составе загрязняющих веществ; распространении, накоплении, рассеянии загрязнителей; степени загрязнения отдельных участков изучаемой акватории.

Результат многолетнего исследования источников загрязнения вод сева­стопольского региона, полученный на базе преимущественно гидрохимиче­ских методов, обобщен и изложен в работе [5]. По мнению авторов, им удалось

выявить далеко не все из существующих объекты, загрязняющие водное пространство у берегов Севастополя.

В ходе экспедиций, проведенных в 2004–2019 гг. с участием авторов настоящей работы, в районе северо-западной части Гераклеийского п-ова, мористее м. Манганари, и в акватории смежных бухт (Казачья, Камышовая, Абрамова) в поле содержания общего взвешенного вещества (ОВВ) постоянно фиксировались локальные максимумы антропогенного происхождения. Также здесь были обнаружены растворенные нефтепродукты (РН) [6–8].

Наличие загрязняющих веществ в этой акватории, вероятно, связано с нефтяным причалом, расположенным на м. Манганари, который разделяет Казачью и Камышовую бухты (рис. 1).



**Рис. 1.** Исследуемая акватория (а) и схемы станций океанологических съемок в бухтах Казачья (b), Камышовая и Абрамова (с). НП – нефтяной причал

**Fig. 1.** Studied area (a) and schemes of the oceanographic survey stations in the Kazachya (b), Kamyshevaya and Abramov bays (c). OP – oil pier

В работе [5] данный объект не исследовался и не обозначен в качестве источника, загрязняющего воды севавтопольского региона. Хотя известно [9–11], что весомые источники загрязнения прибрежных вод обусловлены факторами, связанными с эксплуатацией флота, функционированием портов и береговых погрузочно-разгрузочных комплексов.

Цель настоящей работы – на основе численных модельных экспериментов рассмотреть закономерности распространения антропогенной взвеси ветровыми течениями из прилегающего к нефтяному причалу участка в открытую акваторию взморья и смежные бухты; оценить линейный масштаб влияния причала на окружающее водное пространство; сопоставить результат моделирования с данными экспедиционных исследований; выявить участки акватории, которые испытывают максимальную антропогенную нагрузку.

Отметим, что ОВВ относят к ряду наиболее эффективных показателей загрязнения прибрежных акваторий океанов, морей и пресноводных водоемов [12].

### Исходные данные и методы исследования

Рассматриваемый причал представляет собой меридионально ориентированный сплошной бетонный пирс длиной ~ 450 м, который сооружен на м. Манганари. По сути, это искусственно созданный мыс, и, как любой мыс, данный объект концентрирует волновую энергию [13], формируя локальный очаг интенсивного взмучивания водной толщи в прибрежной зоне моря (рис. 1).

Антропогенная взвесь и другие загрязнители попадают в воду также при эксплуатации причала флотом – вследствие движения судов, швартовых и погрузочно-разгрузочных операций – и с ливневым стоком. Для выявления особенностей распространения антропогенной взвеси из обозначенного источника использованы методы численного моделирования.

Вследствие мелководности рассматриваемой области и однородности водной толщи течения в основном определяются рельефом дна, а также направлением и силой ветра. Будем считать, что перенос примеси осуществляется установившимися течениями, так как для установления дрейфового течения достаточно трех часов, а время развития градиентного течения для мелководья не превышает 10–12 ч. Для течений принята обобщенная на случай учета рэлеевского трения трехмерная баротропная линейная модель Фельзенбаума [14].

На поверхности моря, представляющей собой поверхность тока, касательное напряжение ветра уравнивается турбулентным трением в воде. На дне принимается условие прилипания. На твердых боковых границах бассейна ставится смягченное условие непротекания (равенство нулю нормальной составляющей полного потока). На открытых жидких границах ставится условие свободного протекания. Подробности алгоритма изложены в работе [14].

Баротропная модель удовлетворительно описывает динамику вод не только зимой, но и весной, когда вертикальные градиенты еще малы, а также осенью, когда слой скачка плотности опускается ниже средней глубины района. Бароклинные эффекты существенны только в летний период.

Процесс распространения взвеси, обусловленный течениями и турбулентной диффузией, описан уравнением в дивергентной форме [15]:

$$C_t + (uC - \mu C_x)_x + (vC - \mu C_y)_y + ((w + w_c)C - \kappa C_z)_z = 0,$$

где  $C$  – концентрация примеси;  $\mu$  – горизонтальный,  $\kappa$  – вертикальный коэффициенты турбулентной диффузии;  $w_c$  – собственная скорость взвеси;  $u, v, w$  – составляющие скорости течения вдоль осей координат. Вброс взвеси происходит в заданной точке  $x_1, y_1; z = 0, C = C_0$ . На боковых границах и на дне принимаются условия отсутствия потоков взвеси. В начальный момент времени концентрация взвеси равна нулю.

Источник взвеси находится на северной оконечности пирса. Концентрация примеси в источнике принималась равной 100 усл. ед. Нас интересуют не абсолютные величины в особенностях распределений, а динамика трансформации этих распределений.

Напряжение ветра считаем равномерным, так как характерный масштаб изменения ветра значительно больше масштаба рассматриваемой области. Численные эксперименты проведены для ветров 8 основных румбов. Полагаем  $\tau = 1$  дин/см<sup>2</sup> (что соответствует скорости ветра  $\sim 6-9$  м/с). Расчеты проведены на двое суток.

Отметим, что аналогичные используемой нами модели как отечественных, так и зарубежных авторов [4, 16–18] нашли широкое применение в задачах исследования динамики вод и взвешенного вещества в прибрежных регионах океанов и морей.

Известно [19], что растворенная фракция нефтепродуктов сорбируется на взвеси и переносится вместе с этим веществом в толще вод. Данное свойство позволило нам отследить пути распространения РН на основе результатов моделирования распространения взвешенного вещества.

Процессы распространения и накопления в исследуемой акватории загрязняющих веществ также рассмотрены путем анализа структуры фактических полей концентрации ОВВ и РН по материалам трех экспедиций. Две из них были проведены Морским гидрофизическим институтом и Институтом биологии южных морей в Казачью бухту в августе 2004 г. и в сентябре 2018 г.; третья экспедиция проведена Морским гидрофизическим институтом совместно с Институтом природно-технических систем в акваторию бухт Абрамова и Камышовой в ноябре 2019 г. (рис. 1).

В экспедициях фиксация содержания ОВВ *in situ* выполнена при помощи оптического зондирующего комплекса «Кондор» (URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor>). Дискретность каждого зондирования по глубине 0,1 м, точность определения концентрации ОВВ  $\pm 0,2$  мг/л.

Существует простой метод определения загрязненных участков в прибрежных акваториях океанов и морей, а также в пресных водоемах, который широко используется в мировой практике. В поле концентрации изучаемых веществ такие участки выделяются в виде локальных максимумов неприродных образований [20]. Под термином «загрязнение» авторы указанной работы подразумевают два вида загрязнения водной среды – *contamination* и *pollution*.

Используя термин «загрязнение», мы придерживаемся определения *contamination* – это присутствие вещества там, где его не должно быть: или оно не предусмотрено природой, или его концентрация выше фона. *Pollution* – также загрязнение, которое приводит или может привести к неблагоприятным биологическим последствиям для местных сообществ.

В анализируемых ситуациях ОВВ антропогенной природы выделялось в полях горизонтального распределения концентрации этой величины по локальным максимумам. Степень антропогенного воздействия на тот или иной участок изучаемой акватории оценивалась отношением максимальной концентрации к концентрации ОВВ с минимальной антропогенной составляющей, которая условно названа нами природной нормой. Природная норма концентрации ОВВ в прибрежных водах севавтопольского региона равна 0,8 мг/л [21].

Концентрация РН определялась в отобранных с поверхности моря пробах воды в лабораторных условиях при помощи традиционного флуоресцентного метода (*UV-fluorescence method*) [22]. Данная величина представлена в относительных единицах (отн. ед.) и показывает, во сколько раз измеренное содержание РН превосходит их концентрацию в открытых водах центральной части Черного моря, которая принята за единицу. Точность определения концентрации РН  $\pm 0,005$  отн. ед.

Все экспедиции проводились с борта маломерных судов. Диапазон исследованных глубин 1–27 м.

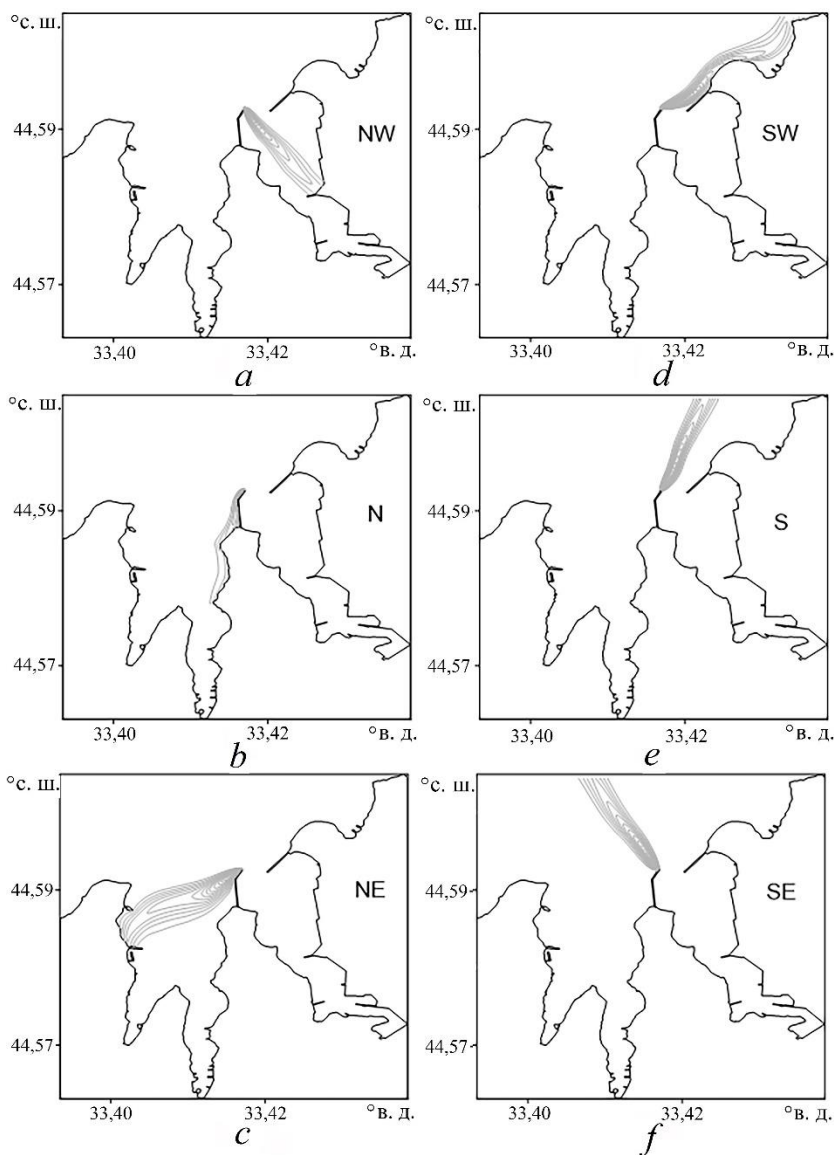
### Обсуждение результатов

Рассмотрим результаты численного моделирования – каждый из ситуативных вариантов для 8 румбов ветра, которые показаны на рис. 2 для меридиональных ветров, на рис. 3 – для зональных. Здесь распределение взвеси изображено в изолиниях концентрации с шагом 1 % от максимального значения в анализируемом источнике. Такой способ позволяет показать ареал распространения антропогенной взвеси независимо от мощности источника (величины, которую возможно только предполагать).

Можно полагать, что взвесь со временем, вероятнее всего, будет накапливаться в местах максимальной концентрации, выявленных в численных экспериментах. Особо интересны ситуации, когда моделируемые потоки достигают берега или проникают в бухты, где также наиболее вероятно аккумуляция антропогенного взвешенного вещества.

Отметим следующее общее свойство моделируемых потоков. Независимо от направления ветра поток взвеси направлен по ветру с небольшим отклонением вправо, а основное количество взвешенного вещества (~ 60–70 % от его содержания в источнике) распространяется в акватории радиусом ~ 300–400 м от оголовка причала. Потоки, ориентированные в открытые воды, достигают расстояния около одной мили от источника взвеси (рис. 2, 3).

Обладающие максимальным разгоном ветры северной четверти генерируют интенсивные потоки взвешенного вещества, которое из района расположения причала распространяется в акватории Казачьей и Камышовой бухт. При северо-западном ветре поток взвешенного вещества проникает в Камышовую бухту, достигая ее восточного берега (рис. 2, *a*). При северном ветре поток взвеси направлен в Казачью бухту и обтекает берег ее восточного рукава, где расположена пляжная зона (рис. 2, *b*). Северо-восточный ветер способствует формированию развитого потока взвешенного вещества юго-западного направления, который проникает в северную часть Казачьей бухты до берега ее западного рукава (рис. 2, *c*).



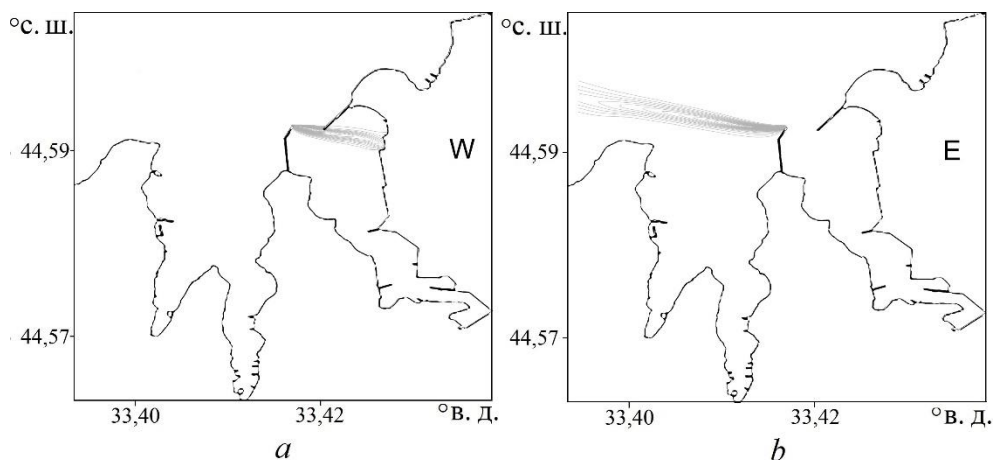
**Рис. 2.** Распределение взвеси в поверхностном слое вод под влиянием меридиональных ветров северной (NW, N, NE) (*a, b, c*) и южной (SW, S, SE) (*d, e, f*) четверти

**Fig. 2.** Suspended matter distribution in the water surface layer under the impact of meridional winds of the northern (NW, N, NE) (*a, b, c*) and southern (SW, S, SE) (*d, e, f*) quarters

При ветрах южной четверти взвесь из района расположения исследуемого источника не проникает в Казачью и Камышовую бухты (рис. 2). Юго-западный ветер вызывает ориентированный на востоко-северо-восток вдольбереговой поток взвешенного вещества, который омывает береговую линию между бухтами Абрамова и Камышовой и распространяется на всю акваторию б. Абрамова, где расположен городской пляж «Адмиральская лагуна» (рис. 2, *d*).

Южный и юго-восточный ветры способствуют оттоку взвеси от береговой линии и выносу в открытые воды на расстояние до одной мили (рис. 2, *e, f*).

Западный и восточный ветры вызывают зональный перенос взвешенного вещества (рис. 3). При западном ветре основной поток взвешенного вещества направлен на востоко-юго-восток. Он проникает в северную часть Камышовой бухты и достигает ее восточного берега (рис. 3, *a*). Восточный ветер генерирует поток взвеси из района причала, который направлен на западо-северо-запад в открытое море на расстояние около одной мили (рис. 3, *b*).



**Р и с. 3.** Распределение взвеси в поверхностном слое вод под влиянием зональных западного (W) (*a*) и восточного (E) (*b*) ветров

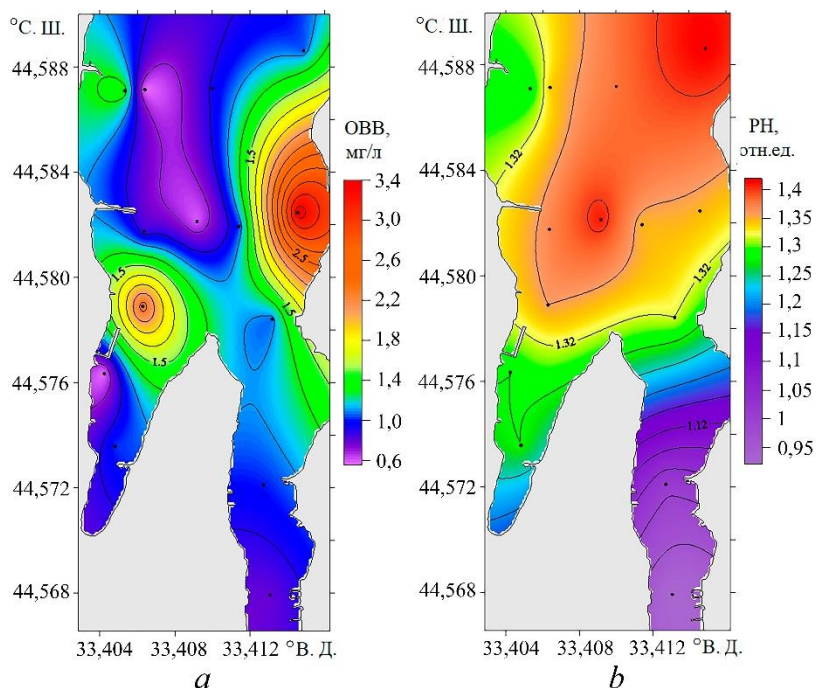
**F i g. 3.** Suspended matter distribution in the water surface layer under the impact of the zonal western (W) (*a*) and eastern (E) (*b*) winds

По материалам всех проведенных в исследуемый регион экспедиций в структуре полей океанологических величин были выявлены признаки антропогенного воздействия нефтяного причала на водную среду. Наиболее показательными в этом плане оказались поля концентрации ОВВ и РН.

Мы не располагаем наблюдениями за содержанием этих веществ непосредственно у причальных стенок, но в открытых водах и в смежных бухтах на расстоянии 0,1–1,2 мили от данного объекта в ходе экспедиций обнаруживались антропогенная взвесь и растворенные нефтепродукты, происхождение которых, наиболее вероятно, связано с его эксплуатацией [6–8].

По материалам двух съемок, проведенных в Казачьей бухте, нами было установлено, что воды северной части бухты содержали антропогенную взвесь и растворенные нефтепродукты (рис. 4, 5). Съемки были выполнены в конце теплого периода года и сопровождалась умеренным северо-восточным ветром.

В ходе съемки в августе 2004 г. наблюдения велись только в поверхностном слое моря. По результатам анализа полученных данных в верхнем слое вод северной части Казачьей бухты отмечены два пятна с концентрацией ОВВ 2,2–3,4 мг/л, что в 3–4 раза выше природной нормы. Их центры располагались вдоль вектора направления ветра (рис. 4, *a*). Пятно растворенных нефтепродуктов также было вытянуто по ветру в направлении от северо-востока (где расположен причал) на юго-запад (рис. 4, *b*), что согласуется с результатом моделирования для северо-восточного ветра (рис. 2, *c*).



**Р и с. 4.** Концентрация ОБВ (*a*) и РН (*b*) в поверхностном слое вод Казачьей бухты в августе 2004 г.

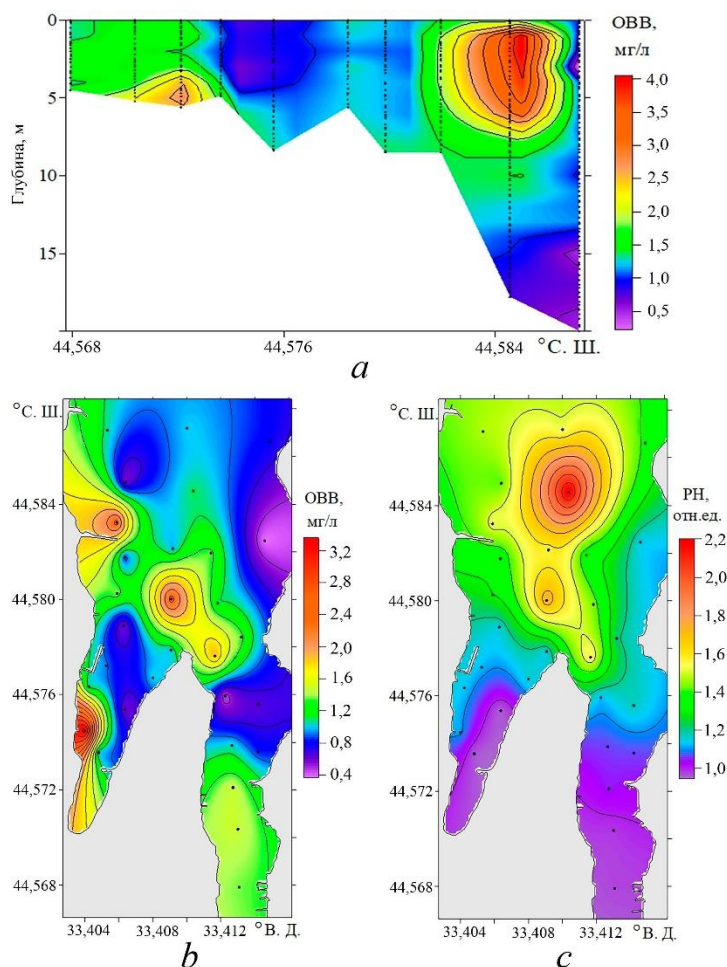
**F i g. 4.** TSM (*a*) and DO (*b*) concentrations in the water surface layer of Kazachya Bay, August 2004

Анализ данных детальной съемки акватории Казачьей бухты, выполненной в зондирующем режиме в сентябре 2018 г., позволил получить представление о трехмерной структуре антропогенных неоднородностей в поле концентрации ОБВ и подтвердить их происхождение.

В частности, в северной части бухты были обнаружены 4 линзы вод, насыщенные антропогенным ОБВ с концентрацией 2,2–4,1 мг/л, что в 3–5 раз выше природной нормы. Эти образования наблюдались в слое 0–10 м и не были связаны с дном и берегами бухты (рис. 5, *a, b*). Они распространялись адвективными потоками из участка расположения причала в системе ветрового течения, вызванного северо-восточным ветром.

Горизонтальная структура поля концентрации РН поверхностного слоя моря в северной части Казачьей бухты оказалась аналогичной структуре поля содержания ОБВ (рис. 5, *b, c*). То есть поля обеих величин формировались под влиянием сходных факторов, а источник анализируемых загрязнителей – под влиянием нефтяного причала на м. Манганари.

Анализ данных наблюдений (рис. 4, 5) подтверждает результат модельного эксперимента (рис. 2, *c*) и позволяет утверждать, что в условиях северо-восточного ветра ОБВ антропогенной природы и РН из участка расположения нефтяного причала проникают в Казачью бухту на расстояние 0,5–0,8 мили, достигая ее западного берега, и распространяются в северной открытой части. Эта часть Казачьей бухты и особенно мелководные участки у ее западного берега представляются вероятным ареалом накопления и осаждения антропогенной взвеси и других загрязняющих веществ.



**Р и с. 5.** Концентрация источников загрязнения в Казачьей бухте в сентябре 2018 г.: общего взвешенного вещества – в плоскости осевого разреза через бухту (*a*) и в поверхностном слое вод (*b*); растворенных нефтепродуктов (*c*)

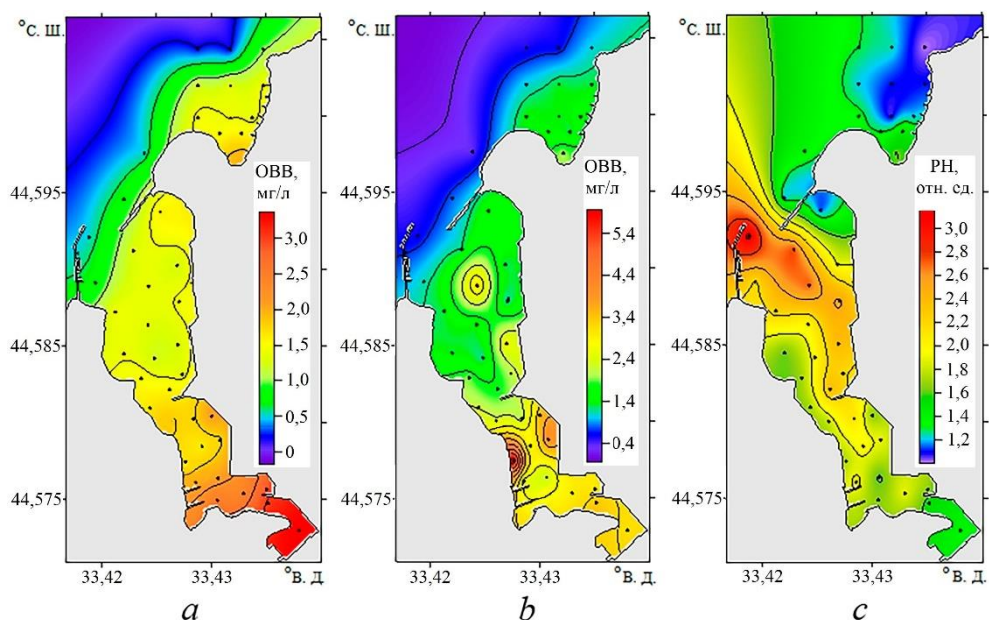
**F i g. 5.** Concentration of pollution sources in Kazachya Bay in September, 2018: total suspended matter – in the plane of axial section through the bay (*a*) and in the water surface layer (*b*); dissolved oil products (*c*)

Согласно модельному эксперименту, антропогенная взвесь от причала также проникает в Казачью бухту и распространяется вдоль ее северо-восточного берега при действии северного ветра (рис. 2, *b*).

Время проведения экспедиции в район бухт Абрамова и Камышовой пришлось на начало периода осенне-зимнего выхолаживания поверхности моря и развития конвективного перемешивания. В течение первых двух декад ноября 2019 г. погода над Черным морем определялась влиянием юго-западной периферии Сибирского антициклона. В севастопольском регионе отмечались штили и маловетренная погода. Наблюдались слабые переменные ветры южной четверти. На этом фоне выделялся временной интервал (1–7 ноября), когда преобладал устойчивый юго-западный ветер. Средняя суточная температура воздуха понижалась от 13 до 3 °С.

В открытых прибрежных водах и в исследуемых бухтах под влиянием конвективных токов исчезла стратификация полей гидрофизических величин. В результате активного осаднения взвеси их прозрачность заметно увеличилась.

Съемка бухт Абрамова и Камышовой (рис. 1) была выполнена в штилевую погоду. В обеих бухтах полностью отсутствовало волнение. Поэтому данные анализируемой экспедиции позволяют оценить степень и пространственный масштаб антропогенного воздействия нефтяного причала на окружающее водное пространство в ситуации минимальной динамической активности.



**Рис. 6.** Концентрация источников загрязнения в районе бухт Абрамова и Камышовой в ноябре 2019 г.: ОВВ – в поверхностном слое (а) и у дна (б); РН – в поверхностном слое (с)  
**Fig. 6.** Concentration of pollution sources in the region of the Abramov and Kamyshevaya bays in November, 2019: TSM – in the surface layer (a) and by the bottom (b); DO – in the surface layer (c)

Структура поля концентрации ОВВ в период осенне-зимнего выхолаживания характеризовалась относительной однородностью (рис. 6, а, б). Яркие выраженные, насыщенные антропогенной взвесью обособленные линзы вод, которые фиксировались в теплое время года (рис. 5, а, б), не наблюдались.

В районе причала и в открытых водах рассматриваемого участка в поверхностном слое моря концентрация ОВВ была минимальной (0,3–0,8 мг/л) и соответствовала природной норме. В северной (ближней к причалу) части Камышовой бухты концентрация ОВВ 1,2–1,5 мг/л в поверхностном слое и 1,5–2,5 мг/л у дна превышала природную норму в 2–3 раза (рис. 6, а, б).

Максимальное содержание РН, 2,5–3,1 отн. ед., наблюдалось непосредственно у нефтяного причала и в северной части Камышовой бухты. В эту часть Камышовой бухты ОВВ антропогенного происхождения и РН проникали на расстояние 0,5–0,6 мили от источника (рис. 6). Загрязнение акватории южной части этой бухты антропогенной взвесью и РН связано с другими источниками и детально рассмотрено в работе [7].

В акватории б. Абрамова в условиях штилевой погоды также были зафиксированы ОБВ антропогенной природы и РН с концентрацией  $\sim 1,5$  мг/л и  $\sim 1,2$  отн. ед. соответственно (рис. 6). Скорее всего, эти загрязнители поступили в бухту из участка расположения причала в системе ветрового течения, вызванного устойчивым юго-западным ветром в первую неделю ноября. При этом ветре как по данным наблюдений, так и согласно модельному эксперименту поток взвеси от источника (причала) распространяется к северо-востоку на расстояние около одной мили, достигая восточного берега б. Абрамова. Таким образом, результат моделирования распространения взвеси при юго-западном ветре (рис. 2, *d*) подтверждается экспедиционными данными (рис. 6).

В работе [23] показано, что наиболее мощные источники растворенных нефтепродуктов в северо-западном регионе расположены в бухтах Графская, Килен, Южная, Корабельная, Северная, где нами была зафиксирована их максимальная концентрация 2,5–4,2 отн. ед.

Поэтому причал на м. Манганари, в районе которого содержание РН достигает 2,5–3,1 отн. ед., можно отнести к ряду основных источников, загрязняющих нефтепродуктами прибрежные воды Севастополя.

### Заключение

На основе методов численного моделирования выявлены закономерности распространения антропогенной взвеси ветровыми течениями из участка у м. Манганари, где расположен нефтяной причал. Результат численных экспериментов сопоставлен с данными экспедиционных исследований. Оценен радиус влияния причала на окружающее водное пространство.

На модельном уровне показано, что в зависимости от направления ветра поток взвеси от оголовка нефтяного причала распространяется в открытое море, проникает в расположенные рядом бухты (Казачья, Камышовая, Абрамова), омывает береговую линию открытых участков.

Южный, юго-восточный и восточный ветры способствуют выносу взвеси в открытое море. Северный и северо-восточный ветры генерируют поток взвешенного вещества, который проникает в Казачью бухту. При западном и северо-западном ветре взвесь распространяется в Камышовую бухту. В условиях юго-западного ветра поток взвеси омывает восточный берег рассматриваемого района и достигает акватории б. Абрамова.

На базе экспедиционных данных рассмотрены особенности структуры полей концентрации ОБВ и РН в условиях умеренного северо-восточного и слабого юго-западного ветра и в штилевую погоду. Показано, что при действии северо-восточного ветра эти загрязнители из участка расположения нефтяного причала проникают в северную часть Казачьей бухты и накапливаются у берегов. В результате влияния юго-западного ветра ОБВ и РН достигают акватории б. Абрамова. В штилевую погоду взвешенное вещество антропогенной природы и РН высокой концентрации наблюдались в северной части Камышовой бухты.

Для северо-восточного и юго-западного ветров отмечено хорошее сходство результата модельного эксперимента и анализа данных наблюдений.

Согласно выполненным модельным расчетам и анализу данных наблюдений, радиус влияния причала на окружающее водное пространство (в поле концентрации взвеси) оценивается в 0,5–1,0 мили, а максимальная антропогенная нагрузка приходится на северную часть Казачьей и Камышовой бухт.

В силу высокой концентрации РН, обнаруженной в ходе экспедиционных исследований, причал на м. Манганари можно отнести к ряду основных источников, загрязняющих нефтепродуктами прибрежные воды Севастополя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / В. А. Иванов [и др.]. Севастополь, 2006. 90 с. (Препринт/МГИ). EDN YRIOUU.
2. Алёмов С. В. Оценка экологического качества портовых акваторий региона Севастополя по характеристикам сообществ макрозообентоса // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2009. № 18. С. 19–29. EDN YMJFVB.
3. Дулов В. А., Юровская М. В., Козлов И. Е. Прибрежная зона Севастополя на спутниковых снимках высокого разрешения // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 6. С. 43–60. EDN VHEWWN. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2015-6-43-60>
4. Белокопытов В. Н., Кубряков А. И., Пыхина С. Ф. Моделирование распространения загрязняющей примеси в Севастопольской бухте // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 1. С. 5–15. EDN VVXROK. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2019-1-5-15>
5. Источники загрязнения прибрежных вод севастопольского района / В. М. Грузинов [и др.] // Океанология. 2019. Т. 59, № 4. С. 579–590. EDN VEOVBB. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590>
6. Ломакин П. Д., Чепыженко А. А. Гидрофизические условия и характеристика загрязнения вод бухты Казачья (Крым) в сентябре 2018 года // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 1. С. 48–54. EDN ZDRMSD. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2019-1-48-54>
7. Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Гребнева Е. А. Структура полей океанологических величин в Камышовой бухте (Крым) в ноябре 2019 года // Системы контроля окружающей среды. 2020. № 2. С. 29–35. EDN KMOYJG. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2020-2-29-35>
8. Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Гребнева Е. А. Поля океанологических характеристик в Абрамовой бухте (Севастополь) в ноябре 2019 года // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 2. С. 68–79. EDN KQNKZR. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-2-68-79>
9. Zhang C., Yang J.-q. Prevention and control of ship-source pollution in the Arctic shipping routes: challenges and countermeasures // Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31. P. 40436–40444. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30817-w>
10. Fan L., Yang H., Zhang X. Targeting the Effectiveness Assessment of the Emission Control Policies on the Shipping Industry // Sustainability. 2024. Vol. 16, iss. 6. 2465. EDN HXHRTW. <https://doi.org/10.3390/su16062465>
11. Dredging and Mining Operations, Management, and Environmental Impacts / H. A. Aziz [et al.] // Industrial Waste Engineering. Handbook of Environmental Engineering. Eds. L. K. Wang, M. H. S. Wang, Y. T. Hung. Springer International Publishing, 2024. P. 333–396. (HEE series ; vol. 28). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-46747-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-031-46747-9_8)
12. Eisma D. Suspended Matter in the Aquatic Environment. Berlin, Heidelberg : Springer, 1993. 315 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-77722-6>
13. Ocean Renewable Energy: 2015–2050: An analysis of ocean energy in Australia. Technical Report // S. Behrens [et al.]. North Ryde : CSIRO, 2012. 212 p. <https://doi.org/10.4225/08/584af1865b172>

14. *Шапиро Н. Б.* Моделирование течений на севавтопольском взморье // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2006. № 14. С. 119–134. EDN ZBOAEP.
15. *Михайлова Э. Н., Шапиро Н. Б., Юценко С. А.* Моделирование распространения пассивной примеси в севавтопольских бухтах // Морской гидрофизический журнал. 1999. № 3. С. 29–42.
16. *Burchard H., Rennau H.* Comparative quantification of physically and numerically induced mixing in ocean models // Ocean Modelling. 2008. Vol. 20, iss. 3. P. 293–311. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2007.10.003>
17. *Hofmeister R., Beckers J.-M., Burchard H.* Realistic modeling of the exceptional inflows into the central Baltic Sea in 2003 using terrain-following coordinates // Ocean Modelling. 2011. Vol. 39, iss. 3–4. P. 233–247. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2011.04.007>
18. Plume spreading test case for coastal ocean models / V. Fofonova [et al.] // Geoscientific Model Development. 2021. Vol. 14, iss. 11. P. 6945–6975. EDN EIFZSM. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-6945-2021>
19. Oil in the sea III: Inputs, Fates, and Effects. Washington, D. C. : The National Academies Press, 2003. 277 p. <https://doi.org/10.17226/10388>
20. *Chapman P. M., Hayward A., Faithful J.* Total Suspended Solids Effects on Freshwater Lake Biota Other than Fish // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2017. Vol. 99, iss. 4. P. 423–427. EDN ECEAFP. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2154-y>
21. *Ломакин П. Д., Чепыженко А. И.* Природное и антропогенное общее взвешенное вещество в прибрежных водах Гераклеийского полуострова (Черное море) // Системы контроля окружающей среды. 2025. № 1. С 61–70. EDN DYERDT. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2025-1-61-70>
22. Continuous Multi-Spectral Fluorescence and Absorption for Petroleum Hydrocarbon Detection in Near-Surface Ocean Waters: ZoNeC05 Survey, Fairway Basin area, Lord Howe Rise / D. Holdway [et al.]. Canberra : Australian Geological Survey Organization, 2000. Record 2000/35. 57 p. URL: [https://d28rz98at9flks.cloudfront.net/34232/Rec2000\\_035.pdf](https://d28rz98at9flks.cloudfront.net/34232/Rec2000_035.pdf) (date of access: 3.02.2026).
23. *Ломакин П. Д., Чепыженко А. И.* Поле концентрации растворенных нефтепродуктов в водах Севастопольской бухты (Черное море) // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 2. С. 156–165. EDN DZRRHN. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-2-156-165>

*Об авторах:*

**Ломакин Павел Демьянович**, ведущий научный сотрудник, отдел океанографии, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, профессор, **ResearcherID: V-7761-2017**, **Scopus Author ID: 6701439810**, **SPIN-код: 5419-9884**, [p\\_lomakin@mail.ru](mailto:p_lomakin@mail.ru)

**Рябцев Юрий Николаевич**, научный сотрудник, отдел гидрофизики шельфа, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0002-9682-9969**, **ResearcherID: ABE-4315-2022**, **Scopus Author ID: 6506665265**, **SPIN-код: 7853-4597**, [ruab@mail.ru](mailto:ruab@mail.ru)

**Чепыженко Алексей Ильич**, старший научный сотрудник, отдел гидрофизики шельфа, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, старший научный сотрудник, **ORCID ID: 0000-0002-6763-7140**, **WOSResearcherID: AAG-7929-2020**, **Scopus Author ID: 6504344211**, **SPIN-код: 3599-9653**, [ecodevice@yandex.ru](mailto:ecodevice@yandex.ru)