

Поле концентрации растворенных нефтепродуктов в водах Севастопольской бухты (Черное море)

П. Д. Ломакин*, А. И. Чепыженко

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**E-mail: p_lomakin@mail.ru*

Поступила в редакцию 11.02.2019 г., после доработки – 11.11.2019 г.

Цель. Выявить закономерности структуры поля содержания растворенных нефтепродуктов и формирующие ее факторы на акватории Севастопольской бухты, сопоставить полученный результат со сложившимися представлениями о крупномасштабном распределении показателей качества вод на исследуемой акватории, оценить современную тенденцию состояния поля растворенных нефтепродуктов, рассмотреть взаимосвязь полей концентрации растворенных нефтепродуктов, общего взвешенного и растворенного органического вещества – цель настоящей работы.

Методы и результаты. На основе данных серии океанологических экспедиций, проведенных Морским гидрофизическим институтом и Институтом природно-технических систем в 1999–2018 гг., рассмотрены структура поля содержания растворенных нефтепродуктов на акватории Севастопольской бухты (Черное море) и формирующие ее факторы. Полученный результат сопоставлен с известными закономерностями структуры полей гидрохимических элементов. Оценена тенденция состояния поля концентрации растворенных нефтепродуктов. Рассмотрена взаимосвязь полей концентрации растворенных нефтепродуктов, общего взвешенного и растворенного органического вещества.

Выводы. Показано, что структура поля содержания нефтепродуктов определяется взаимодействием загрязненных вод кутовой части Севастопольской бухты, где в районе Нефтяной гавани был выявлен масштабный максимум концентрации этого вещества, с чистыми черноморскими водами ее западной области. Характерный структурный элемент исследуемого поля – хорошо выраженный меридионально ориентированный фронтальный раздел, наблюдаемый на траверзе Южной бухты. В поле содержания растворенных нефтепродуктов также обнаружены значимые локальные максимумы, зафиксированные в бухтах Килен, Корабельной, Артиллерийской и Северной. Фронтальный раздел в поле концентрации растворенных нефтепродуктов совпал с границей раздела в полях гидрохимических элементов, которая была обнаружена ранее в ходе исследований загрязнения вод в Севастопольской бухте. Отмечены тенденция понижения концентрации растворенных нефтепродуктов в водах Южной бухты и качественное различие в структуре этого вещества по сравнению с полями содержания общего взвешенного и растворенного органического вещества.

Ключевые слова: растворенные нефтепродукты, общее взвешенное вещество, растворенное органическое вещество, Севастопольская бухта, Черное море.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей». Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-45-920068.

Для цитирования: 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. doi:10.22449/0233-7584-2020-2-156-165

© Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., 2020

Field of the Dissolved Oil Products Concentration in the Sevastopol Bay Waters (the Black Sea)

P. D. Lomakin*, A. I. Chepyzhenko

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

**e-mail: p_lomakin@mail.ru*

Purpose. The aim of the work is to identify the patterns of the dissolved oil (DO) field structure in the Sevastopol Bay waters and the factors conditioning its state, to compare the obtained result with the available ideas on large-scale distribution of the water quality indicators on the area under study, to evaluate the current trend of the dissolved oil field state, to consider the relationship between the fields of the dissolved oil concentration, the total suspended matter (TSM) and the dissolved organic matter (DOM).

Methods and Results. Based on the data of a series of the oceanological expeditions carried out by Marine Hydrophysical Institute and Institute of Natural and Technical Systems in 1999–2018, the structure of the dissolved oil content field in the Sevastopol Bay (the Black Sea) and the forming it factors are considered. The obtained result is compared with the known structural regularities of the hydrochemical elements' fields. A tendency of the state of the dissolved oil concentration field is assessed. The relationship between the fields of the dissolved oil concentration, total suspended matter and the dissolved organic matter is considered.

Conclusions. It is shown that the structure of the dissolved oil content field is conditioned by interaction of the polluted waters in the Sevastopol Bay apex (spacious maximum of the substance concentration was revealed in the region of the Neftyanaya Harbor) with the pure Black Sea waters in its western region. The characteristic structural element of the field under investigation is a well-pronounced meridian frontal section observed on the Southern Bay traverse. Significant local maximum values in the dissolved oil field were observed also in the bays Kilen, Korabel'naya, Artilleriyskaya and Severnaya. The frontal section in the dissolved oil concentration field coincided with the boundary section in the hydrochemical elements' fields, which was earlier revealed in course of studying water pollution in the Sevastopol Bay. Noted are the tendency to decrease of the dissolved oil products' concentration in the Southern Bay waters and the qualitative difference of this substance structure being compared to the fields of the total suspended matter and the dissolved organic matter concentrations.

Keywords: dissolved oil, dissolved organic matter (DOM), total suspended matter (TSM), Sevastopol Bay, Black Sea.

Acknowledgments: the study was carried out within the framework of the state task on theme No. 0827-2019-0004 "Complex interdisciplinary investigations of the oceanologic processes conditioning functioning and evolution of the Black and Azov seas' coastal zones". The study was performed at financial support of RFBR and Sevastopol within the framework of scientific project No. 18-45-920068.

For citation: Lomakin, P.D. and Chepyzhenko, A.I., 2020. Field of the Dissolved Oil Products Concentration in the Sevastopol Bay Waters (the Black Sea). *Physical Oceanography*, [e-journal] 27(2), pp. 142-151. doi:10.22449/1573-160X-2020-2-142-151

Введение

Нефтепродукты (НП) относятся к числу распространенных и опасных веществ, загрязняющих воды океанов и морей. Нефть и продукты ее переработки – чрезвычайно сложная, изменчивая и разнообразная смесь веществ. Состояние НП с момента поступления в водную среду обусловлено их свойствами, в частности растворимостью, которая, как правило, на начальной стадии контакта с водной средой незначительна. Однако в условиях повышения температуры и увеличения продолжительности контакта с водой, а также

наличия метильных и метиленовых групп углеводов, которые входят в состав бензина, растворимость НП увеличивается. Их концентрация может достигать 34 мг/л [1].

Растворенная фракция НП адсорбируется на взвеси, она отличается стойкостью и острой токсичностью для морских организмов. К наиболее токсичным антропогенным компонентам растворенных в воде НП, которые обладают канцерогенными свойствами и оказывают серьезное воздействие на окружающую среду, относят ароматические углеводороды и полициклические ароматические углеводороды. Эти вещества накапливаются в тканях рыб и представляют собой реальную угрозу для здоровья человека. Поэтому контроль полей концентрации растворенных НП является первоочередной задачей в рамках экологического мониторинга прибрежных вод [1].

Химическая стабильность и пространственная устойчивость находящихся в водной среде растворенных НП позволяет определять источники их поступления в водную среду, траектории распространения и места накопления по результатам полигонных экспедиционных исследований [1].

В настоящее время имеется ряд публикаций [2–6], где рассмотрены вопросы, касающиеся источников, особенностей распространения, временных вариаций концентрации растворенных НП, а также их взаимосвязи с рядом биохимических параметров в прибрежных водах Бразилии, Испании, Туниса, Индии, Балтики. Подобные исследования для Азово-Черноморского бассейна нам не известны.

Цель настоящей работы заключается в следующем: выявить закономерности структуры поля концентрации растворенных НП и определяющие ее факторы на акватории Севастопольской бухты; сравнить полученный результат с известными представлениями о распределении показателей качества вод исследуемой акватории; оценить современную тенденцию состояния поля концентрации данной величины; проанализировать взаимосвязь полей концентрации растворенных НП с другими показателями состояния водной среды – содержанием общего взвешенного вещества (ОВВ) и растворенного органического вещества (РОВ).

Объект исследования – расположенная на юго-западе Крыма Севастопольская бухта. Она зонально ориентирована и вдается в сушу на расстояние 4,12 мили при максимальной ширине 0,83 мили, ее средняя глубина 12 м. Восточная оконечность бухты представляет собой эстуарий р. Черная, ее мористая западная часть ограждена от моря молом. По периметру Севастопольская бухта окружена многочисленными менее масштабными бухтами. На ее берегах находится г. Севастополь.

Исходные данные и методы исследования

В качестве исходных данных для анализа использованы материалы 6 комплексных экспедиций, проведенных Морским гидрофизическим институтом и Институтом природно-технических систем (г. Севастополь) за временной интервал 1999–2018 гг. На всей акватории Севастопольской бухты в теплое полугодие было выполнено 5 съемок (август и октябрь 2000 г., июль 2001 г., сентябрь 2005 г., июнь 2011 г.). Каждая съемка, что важно для рассматриваемой задачи, была реализована по одной и той же схеме расположе-

ния станций (рис. 1), принятой в конце прошлого столетия для комплексных исследований Севастопольской бухты. В декабре 2018 г. была проведена съемка, которая частично охватывала центральную часть Севастопольской бухты и в основном касалась Южной и Корабельной бухт.



Р и с. 1. Географическое положение Севастопольской бухты; схема океанологических станций, расположение выпусков сточных вод [7] и локальных максимумов концентрации растворенных нефтепродуктов

F i g. 1. Geographical location of the Sevastopol Bay; scheme of the oceanological stations, location of the sewage releases [7] and the local maximums of the dissolved oil products' concentrations

Наряду с полем концентрации растворенных в воде нефтепродуктов при интерпретации результатов рассмотрены поля содержания ОВВ и РОВ. Содержание этих веществ определялось на основе оптических методов [8, 9], реализованных в оптическом биофизическом зондирующем комплексе «Кондор» (комплекс гидробиофизический мультипараметрический погружной автономный, URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor>). При помощи данного прибора были накоплены и проанализированы массивы синхронных измерений (*in situ*) содержания ОВВ и РОВ в зондирующем режиме с дискретностью по глубине 0,1 м. Отметим, что РОВ, характеризующее антропогенное, в том числе и бактериальное, загрязнение, относят к одному из лучших показателей качества вод прибрежных морских и океанских акваторий [10–12].

Концентрация растворенных в морской воде нефтепродуктов определялась в отобранных с поверхности моря пробах воды в лабораторных условиях

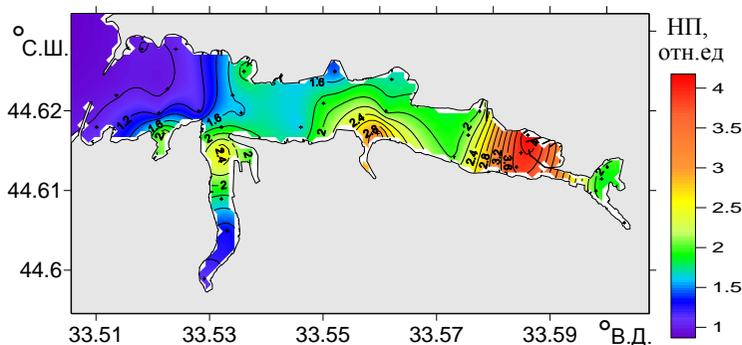
традиционным флуоресцентным методом (*UV-fluorescence method*) [13]. Данная величина, представленная в относительных единицах (отн. ед.), показывает, во сколько раз измеренное содержание НП превосходит их концентрацию в незагрязненных водах центральной части Черного моря, которая принята за единицу.

Эпизодически в наиболее загрязненных местах с причальных стенок и пирсов при помощи батометра с поверхности и с придонного горизонта отбирались пробы воды на определение концентрации исследуемого вещества.

Обсуждение результатов

Анализ материалов каждой съемки выявил ряд общих закономерностей в характере распределения концентрации анализируемого загрязнителя по акватории Севастопольской бухты. Конкретные фактические поля не имели качественных различий и отражали основные закономерности структуры поля содержания растворенных НП. В каждом из них был отмечен основной наиболее масштабный максимум концентрации НП, а также ряд менее значимых локальных максимумов, зафиксированных в одних и тех же участках исследуемой акватории. Данные образования формировали крупномасштабную структуру поля исследуемого элемента на всей акватории Севастопольской бухты.

Стабильность во времени основных структурных признаков в поле содержания рассматриваемого элемента водной среды в Севастопольской бухте подтверждает мнение [1] о консервативности в целом полей концентрации растворенных НП в водах океанов и морей. Поэтому для иллюстрации ситуации экстремального загрязнения исследуемой акватории была рассчитана схема максимальной концентрации растворенных НП, для чего в каждом узле сетки выбраны наибольшие из наблюдавшихся значения. Полученное таким образом распределение показано на рис. 2.



Р и с. 2. Максимальная концентрация растворенных нефтепродуктов в верхнем слое вод Севастопольской бухты

F i g. 2. Maximum concentration of the dissolved oil products in the Sevastopol Bay water upper layer

Видно, что на различных участках акватории Севастопольской бухты максимальное содержание растворенных НП изменялось в пределах 1,0–4,2 отн. ед. Крупномасштабная (в границах региона) структура поля содержа-

ния этого вещества определялась взаимодействием загрязненных вод кутовой части бухты с чистыми черноморскими водами ее западной области.

В кутовой части бухты наблюдался основной максимум концентрации НП, 4,2 отн. ед. Его горизонтальный масштаб оценивается примерно в 1 милью. Этот экстремум в основном определяет фоновую структуру поля концентрации растворенных НП на большей части рассматриваемой акватории. Его влияние прослеживается на значительной акватории от эстуария р. Черной до траверза Южной бухты (~2 мили, рис. 2).

Эту особенность поля содержания НП подтверждает результат исследования загрязнения углеводородами расположенной в Графской бухте Нефтяной гавани и смежных с нею участков [14]. Согласно данному исследованию, гавань, которая эксплуатируется с 1903 г., стала основным источником нефтяного загрязнения Севастопольской бухты. К началу текущего столетия степень загрязнения вод и донных отложений в районе Нефтяной гавани оценивается как хроническая, а осевшие на дно НП мигрируют в сторону моря, загрязняя мелководье. Этот результат позволяет полагать, что донные отложения в восточной части Севастопольской бухты представляют собой мощный вторичный источник растворенной фракции НП.

Наименьшая концентрация НП с показателями открытых черноморских вод свойственна западной области Севастопольской бухты – акватории, которая сообщается с морем и простирается от головного мола примерно до траверза Южной бухты. Здесь фоновое содержание растворенных НП изменялось в пределах 1,0–1,1 отн. ед. (рис. 2).

Важный элемент структуры поля содержания рассматриваемого вещества – меридионально ориентированный фронтальный раздел, который расположен в Севастопольской бухте на траверзе мористой области б. Южная. Зональные смещения этого образования вызывают существенную динамику концентрации растворенных НП в расположенных рядом бухтах Южная, Корабельная и Северная (рис. 2).

В [15] предложена схема районирования Севастопольской бухты по уровню и специфике антропогенной нагрузки, где западная область бухты выделена, как и в нашем случае, в зону слабого загрязнения. К тому же восточная граница этой зоны совпадает с выявленным нами фронтальным разделом в поле содержания растворенных НП. То есть структура рассматриваемого поля подтверждает сложившиеся представления о крупномасштабном распределении показателей качества вод на акватории Севастопольской бухты.

Значимые локальные максимумы содержания растворенных НП 3,2 и 2,5 отн. ед. были зафиксированы на подходах к небольшим по акватории бухтам Килен и Корабельная. Следующие по значимости локальные максимумы в акватории Севастопольской бухты с концентрацией растворенных НП 2,0 и 1,7 отн. ед. на поверхности, 2,9 и 2,2 отн. ед. – у дна (по наблюдениям с берега) отмечены нами в бухтах Артиллерийская и Северная (рис. 1, 2).

Высокое содержание растворенных НП на обозначенных участках, вероятнее всего, обусловлено их попаданием в водную среду в ходе различных видов эксплуатации флота, что соответствует основным положениям исследования, изложенным в монографии [1]. В рассматриваемой ситуации это грузовые и пассажирские перевозки, погрузочно-разгрузочные и швартовые

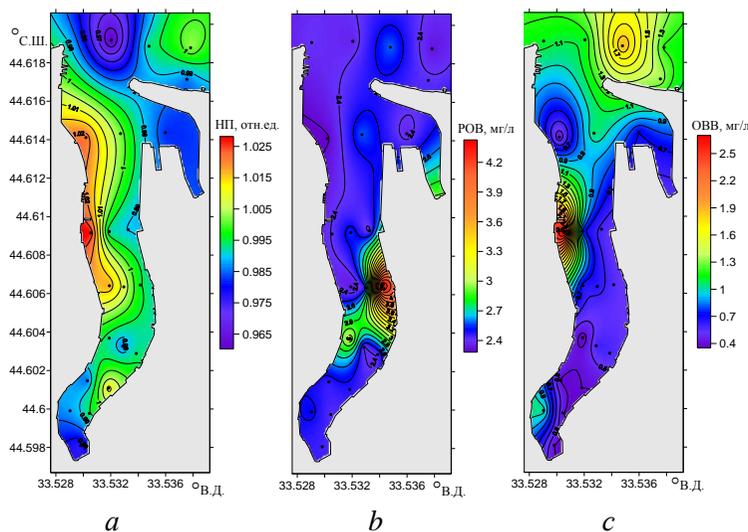
операции, судоремонт. Согласно данным проведенных нами наблюдений, локальные стоки хозяйственно-бытовых и ливневых вод не поставляют растворенные НП в море.

К самым загрязненным участкам Севастопольской бухты по ряду гидрохимических параметров среды традиционно относят б. Южная [7, 15]. Эта бухта – составная морфометрическая часть Севастопольской бухты – расположена в центре городской застройки. Она ориентирована по меридиану и между мысами Николаевским и Павловским свободно сообщается с Севастопольской бухтой. По площади водного зеркала Южная бухта – вторая после Севастопольской. Она вдается в сушу на расстояние 1,1 мили, ширина ее устьевой области – 0,2 мили. Глубина ее мористой части доходит до 18–22 м. На северо-востоке в Южную бухту вдается небольшая Корабельная бухта (рис. 1).

Наблюдения за содержанием растворенных НП в ходе экспедиционных исследований Севастопольской бухты, которые проводились в Южной бухте на осевом разрезе, также фиксировали ситуации явного загрязнения ее вод с концентрацией рассматриваемого элемента до 2,5 отн. ед. (рис. 2).

В декабре 2018 г. в Южной бухте была впервые выполнена комплексная съемка по детальной схеме станций. Согласно результатам этой съемки, воды бухты практически не содержали растворенных НП.

Отмечаемое в последние годы снижение содержания растворенных НП в водах Южной и Корабельной бухт в значительной мере связано со снижением техногенной нагрузки на акваторию этих бухт и Севастопольскую бухту в целом. По результатам последней съемки (декабрь 2018 г.) показано, что в настоящее время в этих бухтах нет более или менее значимых источников загрязнения вод растворенными НП (рис. 3, *a*).



Р и с. 3. Содержание растворенных нефтепродуктов – *a*, концентрация растворенного органического вещества – *b*, концентрация общего взвешенного вещества – *c* на поверхности в бухтах Южная и Корабельная в декабре 2018 г.

Fig. 3. Content of the dissolved oil products – *a*, concentration of the dissolved organic matter – *b*, concentration of the total suspended matter – *c* on the surface of the Yuzhnaya and Korabel'naya bays in December, 2018

На большей части акватории бухт Южная и Корабельная в декабре 2018 г. концентрация рассматриваемой фазы НП соответствовала их содержанию в открытых водах Черного моря. Известные [7] многочисленные локальные выпуски сточных вод (рис. 1) в поле растворенных НП практически не проявлялись. Также незначительная концентрация растворенных НП наблюдалась у причальных стенок. Содержание исследуемого элемента в непосредственной близости к ним (30–50 м) не более чем на 2–3% превышало содержание растворенных НП в открытых водах Черного моря (рис. 3, *a*).

В настоящее время степень и динамика пространственного распределения растворенных НП в Южной и Корабельной бухтах в основном определяются положением фронтального раздела в поле содержания рассматриваемого элемента водной среды, который расположен в Севастопольской бухте и рассмотрен выше. Судя по разности концентрации на границах этого фронтального раздела (рис. 2), вероятный интервал изменчивости содержания растворенных НП в бухтах Южная и Корабельная в современных условиях за счет зональных перемещений фронта оценивается в 1,0–1,5 отн. ед.

В отличие от результата анализа поля содержания растворенных НП анализ поля содержания РОВ по данным за декабрь 2018 г. не выявил более или менее явных признаков понижения антропогенной нагрузки на водную среду Южной и Корабельной бухт. Здесь на всей акватории концентрация РОВ, изменявшаяся в интервале 2,3–4,5 мг/л, превышала природную норму, которая, согласно [16], равна 2 мг/л. Локальные максимумы содержания этого вещества отмечены в кутовой части Южной бухты и у выпусков сточных вод, расположенных у ее восточного берега (рис. 3, *b*).

Высокую степень загрязнения Южной бухты на современном этапе также подтверждают сведения о поле содержания ОБВ. В декабре 2018 г. воды бухты были насыщены взвесью до 1,1–2,7 мг/л. У западного и восточного берегов Южной бухты в поле концентрации ОБВ, на участках выпуска сточных вод, отчетливо выделялись локальные максимумы 2,5–2,7 мг/л на поверхности и 1,0–1,6 мг/л – у дна (рис. 3, *c*). Для сравнения: в центральной части Черного моря содержание ОБВ на порядок ниже и, согласно [16], равно 0,2 мг/л.

Структура полей содержания ОБВ и РОВ в Южной бухте качественно отличалась от структуры поля концентрации НП (рис. 3), что свидетельствует о различных факторах, которые формируют эти поля. По состоянию полей концентрации ОБВ и РОВ на декабрь 2018 г. явных признаков снижения антропогенной нагрузки в водах Южной бухты не выявлено. Сохраняющееся здесь высокое содержание этих элементов соответствует результату исследования [15], проведенного в начале текущего столетия, согласно которому б. Южная наиболее загрязнена по сравнению с другими бухтами Севастополя.

Заключение

На основе анализа данных серии океанологических экспедиций (1999–2018 гг.) рассмотрены закономерности структуры поля содержания растворенных нефтепродуктов и формирующие ее факторы на акватории Севастопольской бухты. Полученный результат сопоставлен с известными представлениями о крупномасштабном распределении показателей качества вод на

этой акватории. Оценена тенденция состояния поля растворенных НП. Проанализирована взаимосвязь полей концентрации растворенных НП, ОВВ и РОВ.

Показано, что крупномасштабная (в границах рассматриваемого региона) структура поля содержания НП определяется взаимодействием загрязненных вод кутовой части Севастопольской бухты, где в районе Нефтяной гавани был выявлен масштабный максимум концентрации этого вещества, с чистыми черноморскими водами ее западной области. Характерный структурный элемент исследуемого поля – хорошо выраженный меридионально ориентированный фронтальный раздел, наблюдаемый на траверзе Южной бухты. Зональные смещения этого образования вызывают существенную изменчивость содержания растворенных НП в водах, расположенных поблизости бухт Южная, Корабельная, Северная. К значимым элементам структуры поля содержания растворенных НП следует отнести локальные максимумы, зафиксированные в бухтах Килен, Корабельная, Артиллерийская и Северная, которые мы связываем с эксплуатацией флота.

Обнаруженный нами в поле концентрации растворенных НП фронтальный раздел совпал с границей раздела в полях гидрохимических элементов, определенной в ходе исследований загрязнения вод в Севастопольской бухте, которые проводились Морским гидрофизическим институтом в начале текущего столетия.

Выявлены тенденция понижения концентрации растворенных НП в водах Южной бухты и качественное различие в структуре этого вещества по сравнению с полями содержания ОВВ и РОВ.

Сохраняющееся в Южной бухте высокое содержание ОВВ и РОВ соответствует сложившемуся мнению, согласно которому эта бухта наиболее загрязнена по сравнению с другими севастопольскими бухтами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Oil in the sea III: Inputs, Fates, and Effects. Washington : The National Academies Press, 2003. 265 p.
2. Monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in a produced water disposal area in the Potiguar Basin, Brazilian equatorial margin / R. A. Lourenço [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. 2016. Vol. 23, iss. 17. P. 17113–17122. doi:10.1007/s11356-016-6903-y
3. Spatial and temporal distribution of dissolved/dispersed aromatic hydrocarbons in seawater in the area affected by the *Prestige* oil spill / J. J. González [et al.] // Marine Pollution Bulletin. 2006. Vol. 53, iss. 5–7. P. 250–259. doi:10.1016/j.marpolbul.2005.09.039
4. Sources and spatial distribution of dissolved aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface coastal waters of the Gulf of Gabès (Tunisia, Southern Mediterranean Sea) / R. Fourati [et al.] // Progress in Oceanography. 2018. Vol. 163. P. 232–247. doi:10.1016/j.pocean.2017.02.001
5. Sundaraarajan S., Karthikeyan R., Khadanga M. K. Spatial Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Ennore Estuary and Coastal Waters, Chennai, India // Asian Journal of Chemistry. 2016. Vol. 28, no. 1. P. 35–38. doi:10.14233/ajchem.2016.19160
6. Pikkarainen A-L., Lemponen P. Petroleum hydrocarbon concentrations in Baltic Sea subsurface water // Boreal Environment Research. 2005. Vol. 10, no. 2. P. 125–134. URL: <http://www.borenv.net/BER/pdfs/ber10/ber10-125.pdf> (date of access: 13.02.2020).

7. О перспективах и возможностях оценки самоочистительной способности акватории Севастопольской бухты / Е. Е. Совга [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. Вып. 28. С. 153–164.
8. Chepyzhenko A. A., Chepyzhenko A. I. Methods and device for in situ total suspended matter (TSM) monitoring in natural waters' environment // Proceedings SPIE, 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. SPIE, 2017. Vol. 10466. 104663G. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2287127>
9. Chepyzhenko A. I., Chepyzhenko A. A. Methods and device for in situ dissolved organic matter (DOM) monitoring in natural waters' environment // Proceedings SPIE, 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. SPIE, 2017. Vol. 10466. 104663S. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2287797>
10. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf / E. Boss [et al.] // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2001. Vol. 106, iss. C5. P. 9499–9507. doi:10.1029/2000JC900008
11. Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France) / M. Tedetti [et al.] // Environmental Chemistry. 2012. Vol. 9, no. 5. P. 438–449. doi:10.1071/EN12081
12. Direct effects of organic pollutants on the growth and gene expression of the Baltic Sea model bacterium *Rheinheimera* sp. BAL341/ C. M. G. Karlsson [et al.] // Microbial Biotechnology. 2019. Vol. 12, iss. 5. P. 892–906. doi:10.1111/1751-7915.13441
13. 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 (date of access: 13.02.2020).
14. Алёмов С. В. Оценка экологического качества портовых акваторий региона Севастополя по характеристикам сообществ макрозообентоса // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. Вып. 18. С.19–29.
15. 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). URL: http://mhi-ras.ru/assets/files/gidrologo-gidrohimicheskij_rezhim_sevastopolskoj_buhty_2006.pdf (дата обращения: 01.02.2019).
16. Хайлов К. М. Экологический метаболизм в море. Киев : Наукова думка, 1971. 252 с.

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**, p_lomakin@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, **SPIN-код: 3599-9653**, **Scopus Author ID: 6504344211**, ecodevice@yandex.ru