

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

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

**ТИПИЗАЦИЯ И РАЙОНИРОВАНИЕ АКВАТОРИИ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА
ПО ХАРАКТЕРНЫМ ПРИЗНАКАМ СТРАТИФИКАЦИИ
ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОБЩЕГО ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА**

На основе океанографических данных, полученных в серии экспедиций, проведенных в 2001 – 2014 гг., выполнена типизация вертикальной структуры поля концентрации общего взвешенного вещества (ОВВ) и предложена схема районирования акватории Керченского пролива по заданному набору качественных и количественных признаков. Выделены три типа вертикальной структуры поля исследуемой величины, которые различаются формой профиля $ОВВ(z)$ и собственной концентрацией взвеси. Это Азовский и Черноморский типы, свойственные природным водам Азовского и Черного морей, и тип структуры, идентифицируемый как трансформированные загрязненные воды (ТЗВ), обусловленные влиянием локальных источников загрязнения, известных и картированных по работам сотрудников Южного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии. Показано, что Азовский и Черноморский типы стратификации разделены халинным фронтом. Участки пролива с ТЗВ на горизонтальных распределениях выделяются в виде локальных максимумов содержания ОВВ с выраженными границами. Для каждого из типов рассчитаны статистические показатели концентрации ОВВ. Приведены сведения о наиболее значимых пятнах (линзах) ТЗВ, проявляющиеся в поле ОВВ на акватории Керченского пролива и связанных с ними источниках.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *общее взвешенное вещество, районирование, типы стратификации, халинный фронт, Керченский пролив*

doi: 10.22449/2413-5577-2019-2-94-102

Введение. До начала текущего столетия в Керченском проливе специалистами Южного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии проводились единичные наблюдения за содержанием общего взвешенного вещества (ОВВ) на поверхности воды и у дна. Концентрация этого вещества определялась недостаточно точным весовым методом. Полученные данные использовались в инженерных расчетах при решении задач, связанных с заносимостью судоходных каналов и портовых акваторий. С 1973 по 2001 г. всего было выполнено 286 измерений концентрации ОВВ.

С 2001 г. в практику экспедиционных исследований пролива сотрудниками Морского гидрофизического института были внедрены оптические методы оперативного определения содержания ОВВ *in situ*, реализованные в оптическом зонде «Кондор» [1], что способствовало быстрому набору информации о данном элементе водной среды. В течение нескольких последующих лет, когда ее количество существенно увеличилось и перешло в качество, мы получили возможность по результатам каждой океанографической съемки иметь представление о трехмерной структуре поля концентра-

© П. Д. Ломакин, А. И. Чепыженко, А. А. Чепыженко, 2019

Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. вып.2. С.94-102.

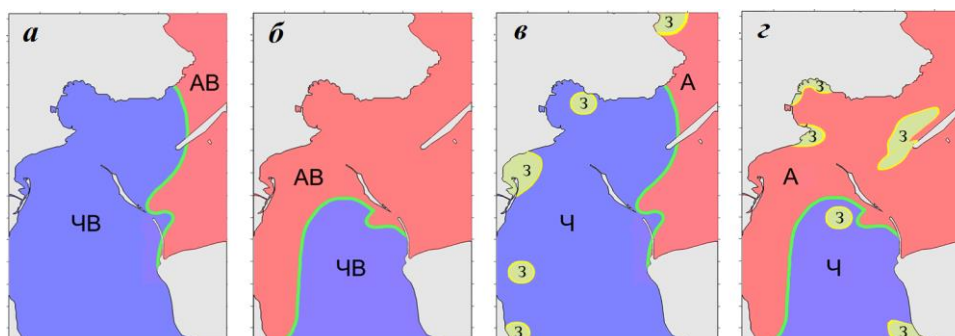
ции этого вещества и начать его исследование на базе известных подходов классической океанографии.

Задача выделения типов вертикальной стратификации в полях элементов водной среды и районирования акваторий океанов и морей по заданным признакам или их набору – обязательный этап океанологического исследования любой акватории. Это связано, например, с тем, что одни и те же процессы по-разному проявляются в водах, отличающихся вертикальной стратификацией, и не вызывают качественно различных изменений на акваториях с относительно стабильной вертикальной структурой вод. Особый интерес представляют границы типов, которые могут быть как условными, так и природными (фронтальные зоны, фронты, морфометрические структуры).

В настоящей статье показаны результаты районирования нетрадиционного для океанологии поля концентрации ОВВ на акватории Керченского пролива по заданному набору качественных и количественных признаков. Проанализированы типы вертикальной структуры, свойственные взаимодействующим в проливе азовским и черноморским водам, а также водам, имеющим существенное отличие от природных по критериям их оценки – как по концентрации, так и по текстурным признакам, позволившими нам связать эти особенности распределения ОВВ с наличием известных локальных техногенных источников. Рассмотрены границы, которые разделяют воды с типовой вертикальной стратификацией. Приведены сведения о наиболее значимых пятнах (линзах) загрязненных антропогенной взвесью вод, которые наблюдались нами в ходе многочисленных экспедиционных исследований в Керченский пролив.

Исходные данные и методы исследования. В качестве исходной информации использованы материалы 31 экспедиции в Керченский пролив, которые были реализованы с июня 2001 г. по июль 2014 г. при непосредственном участии авторов. Выборка данных фактических синхронных наблюдений (*in situ*) в зондирующем режиме за температурой, соленостью, общим взвешенным веществом и растворенным органическим веществом (РОВ) включила 1443 зондирования. Все наблюдения проведены при помощи оптического зонда «Кондор» с шагом по глубине 0,1 м [1]. Интерпретация структуры полей содержания ОВВ проведена с привлечением сведений о термохалинной структуре и структуре поля концентрации растворенного органического вещества, которые синхронно фиксировались в ходе каждого зондирования четырьмя каналами зонда. Отметим, что содержание РОВ, характеризующее антропогенное, в том числе и бактериальное, загрязнение, относят к одному из лучших показателей качества вод прибрежных морских и океанских акваторий [2, 3]. Диапазон исследованных глубин 0,5 – 50 м.

Обсуждение результатов. В Керченском проливе взаимодействуют воды Азовского и Черного морей с хорошо изученными собственными термохалинными свойствами. Здесь выделяют два типа вод: азовский, характеризуемый низкой (10 – 12 ЕПС) соленостью, и черноморский с соленостью 16 – 18 ЕПС. Граница раздела этих вод – отчетливо выраженный в течение всего года халинный фронтальный раздел. Термический фронт в Керченском проливе менее стабилен. В переходные сезоны он размывается и изменяет знак горизонтального градиента от теплого сезона к холодному [4].



Р и с . 1 . Схемы районирования акватории Керченского пролива по термохалинным признакам (*а, б*) и признакам вертикальной структуры поля содержания ОВВ (*в, з*) при крайних положениях халинного фронта. Обозначения описан в тексте.

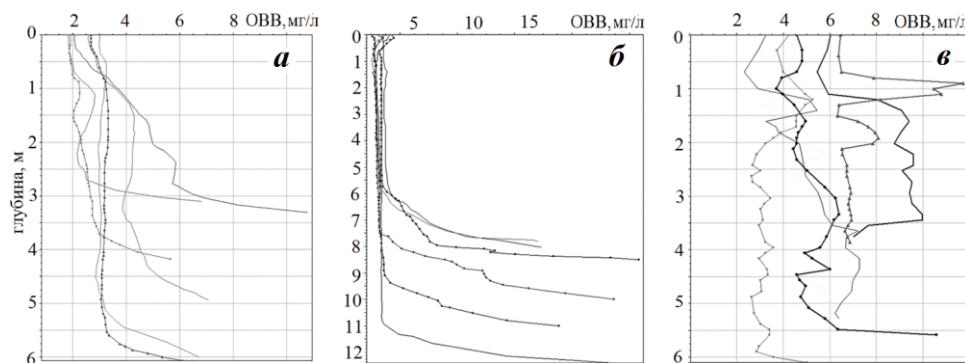
Схема районирования исследуемой акватории по типовым признакам термохалинной структуры представлена на рис.1, *а, б*. Видно, что граница между типами (халинный фронт) испытывала существенные меридиональные смещения, что связано с ветровой деятельностью и интенсивностью меридионального переноса вод через Керченский пролив. В течение времени с 2001 по 2014 гг. зафиксированы ее крайние положения, от северной узкости пролива до расположенного в черноморском предпроливье мыса Такиль.

Ширина основного фронтального раздела в поле солёности, как на поверхности воды, так и у дна – около 3 миль. Фронт располагался между изохалинами 12 и 16 ЕПС. В южной глубоководной (10 – 20 м) части пролива он имел наклон в сторону Черного моря. В северной мелководной (4 – 5 м) области фронтальный раздел был вертикальным.

Анализ формы профилей ОВВ(*z*) показал, что для вертикальной стратификации поля содержания ОВВ на акватории Керченского пролива присущи три качественно различных типа (рис.1, *в, з*), в отличие от двух, характерных для термохалинного поля (рис.1, *а, б*). Это тип А, который свойственен чистым не подверженным антропогенному воздействию азовским водам; тип Ч, характеризующий чистые также не испытывающие антропогенного влияния черноморские воды; тип 3 (тип ТЗВ), который идентифицирует структуру трансформированных вод, подверженных антропогенному влиянию локальных источников загрязнения, независимо от их происхождения (азовоморское или черноморское).

Тип А – чистые азовоморские воды с немонотонным гладким распределением концентрации ОВВ(*z*). Поток взвешенного вещества, переносимый из Азовского моря, отличается неоднородностью. В нем содержатся отдельные, насыщенные взвесью линзы, которые чередуются с линзами вод с низким содержанием ОВВ. У дна, как правило, наблюдается тонкий слой (~ 0,2 – 1,0 м) с максимальным на фоне всей толщи вод содержанием (10 – 25 мг/л) ОВВ (рис.2, *а*). Данный тип расположен к северу от халинного фронта Керченского пролива и соответствует азовоморскому термохалинному типу (рис.1; 2, *а*).

Тип Ч – чистые черноморские воды, которые характеризуются монотонным гладким распределением концентрации ОВВ(*z*). Проникающие в пролив воды Черного моря однородны по вертикали. Концентрация ОВВ(*z*) здесь – не-



Р и с . 2 . Примеры профилей ОВВ(z) типичные для незагрязненных азовоморских вод (*а*), незагрязненных черноморских вод (*б*) и трансформированных вод (*в*) в Керченском проливе.

значительно возрастающая функция глубины, которая скачкообразно увеличивается в тонком придонном слое, характеристики которого примерно такие же, как и в типе А. Этот тип расположен к югу от халинного фронта Керченского пролива и соответствует черноморскому термохалинному типу (рис.1; 2, *б*).

Тип 3 – тип ТЗВ, который отражает свойства трансформированных вод Керченского пролива с учетом антропогенного влияния локальных источников загрязнения на пространственную структуру ОВВ, при этом количественные и качественные его структурные признаки содержат информацию о присутствии на рассматриваемой акватории вод антропогенной природы. В местах ТЗВ профиль ОВВ(z) качественно отличается от профилей, типичных для природных вод. ОВВ(z) здесь – немонотонная функция глубины с характерной изрезанной формой, указывающей на наличие интрузий с повышенным содержанием взвеси. В толще вод отмечаются отдельные слои и прослойки, в которых концентрация ОВВ резко увеличена. Эти структурные признаки свидетельствуют об антропогенных взвешенных в воде веществах, загрязняющих соответствующие участки исследуемой акватории (рис.2, *в*).

На схемах горизонтального распределения содержания ОВВ структуры этого типа обнаружены по всей акватории Керченского пролива и выделяются в виде локальных максимумов (пятен, линз), внутри которых концентрация этого вещества существенно превышает фоновые значения. Линзы имеют достаточно выраженные границы. Им также свойственна повышенная концентрация РОВ.

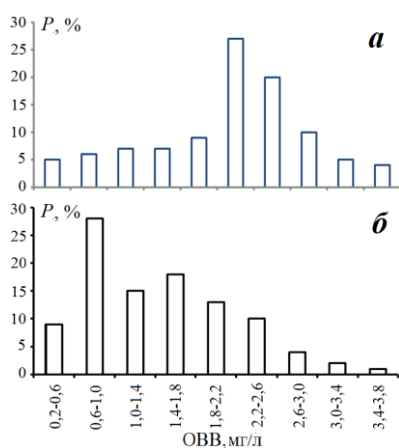
По расположению линз ТЗВ воды на акватории пролива легко определяются возможные источники загрязнения: порты, верфи, грузовые терминалы, зоны дампинга, пункты рейдовой перегрузки (рис.1, *в*, *г*).

Тип 3, в отличие от двух предыдущих, не имеет аналога в термохалинном поле. То есть ТЗВ, идентифицируемые по структурным признакам поля содержания ОВВ, не проявляются в полях температуры и солености, а обнаруженные признаки структуры поля концентрации ОВВ могут быть хорошим косвенным показателем локальных участков загрязнения в Керченском проливе.

Для количественных оценок антропогенной нагрузки на акваторию по информативному признаку ОВВ необходимо знать природные concentra-

ции ОВВ взаимодействующих в Керченском проливе водах Черного и Азовского морей. Эти характеристики рассчитаны следующим образом. Из всего исходного массива были исключены мелководные станции (глубина менее 2 м). Затем подготовлены две выборки концентрации ОВВ на поверхности моря, которые характеризовали природные концентрации азовской и черноморской воды.

Выборка данных, касавшаяся азовской воды, сформирована следующим образом: отобраны станции, которые располагались к северу от северной границы халинного фронта (изохалина 12 ЕПС). Из этого массива удалены станции, относящиеся к типу 3. По остаточному массиву, состоявшему из 362 наблюдений, рассчитана диаграмма повторяемости (рис.3, а).



Р и с . 3 . Гистограммы повторяемости концентрации ОВВ, мг/л, для природных азовоморских (а) и черноморских вод (б).

Видно, что в природной (незагрязненной) азовской воде концентрация ОВВ изменялась от 0,1 до 4,3 мг/л. Наиболее часто, с повторяемостью 27 %, наблюдались значения в интервале 2,2 – 2,6 мг/л.

Поэтому количественными показателями поступающих в Керченский пролив природных азовских вод (тип А) могут быть приняты его концентрация на поверхности, равная 2,4 мг/л, которую мы условно называем природной нормой, и предельная концентрация, не превышающая 4,3 мг/л.

Выборка данных, соответствующая незагрязненной (природной) черноморской воде, была организована аналогично выборке для незагрязненной азовской воды. Отобраны станции, располагавшиеся к югу от южной границы халинного фронта

(изохалина 16 ЕПС). Из этого массива удалены станции, относящиеся к типу 3. По остаточному массиву, состоявшему из 192 наблюдений, рассчитана диаграмма повторяемости (рис.3, б).

В результате выявлено, что на поверхности в чистых черноморских водах (тип Ч) содержание ОВВ изменялось от 0,2 до 3,8 мг/л; наиболее часто, с повторяемостью 28 %, встречались значения в интервале 0,6 – 1,0 мг/л (рис.3, б). Поэтому количественные критерии, по которым в Керченском проливе можно отличать воды черноморского происхождения, не содержащие антропогенную добавку ОВВ, – наиболее часто повторяемая концентрация этого вещества 0,8 мг/л (природная норма) и его предельное содержание не более 3,8 мг/л.

Для сравнения в незагрязненных поверхностных водах в центральной части Черного моря содержание ОВВ, согласно [5], равно 0,2 мг/л. За счет влияния берегов, дна и интенсивной системы течений этот показатель, полученный нами для черноморских вод в Керченском проливе, оказался в 4 раза выше и представляется достоверным.

До настоящего времени нет сведений о поле содержания ОВВ и характерной концентрации этого вещества в Азовском море. Поэтому рассчитан-

ную нами концентрацию ОВВ, присущую для незагрязненных азовоморских вод в Керченском проливе и равную 2,4 мг/л, сопоставить не с чем.

Оценить достоверность этого результата можно, сравнив известные сведения о прозрачности взаимодействующих в Керченском проливе азовоморских и черноморских вод. Водам Азовского моря свойственна небольшая (до полуметра) относительная прозрачность, тогда как относительная прозрачность черноморских вод в проливе около 3 м [6]. Поэтому концентрация ОВВ как обратная величина прозрачности в азовских водах должна быть выше концентрации этого вещества по сравнению с черноморскими водами пролива, с учетом нелинейной зависимости, примерно, в 5 – 6 раз. Полученные нами концентрации ОВВ соотносятся, как 3/1. Учитывая качественный характер использованной методики, данные соотношения можно считать сходными, а содержание ОВВ, равное 2,4 мг/л, типичным для незагрязненной азовской воды в Керченском проливе.

Исходя из предельных значений концентрации ОВВ, которые характерны природным водам (4,3 мг/л для типа А и 3,8 мг/л для типа Ч) (рис.3), можно считать, что количественный показатель вод с учетом антропогенной составляющей (тип 3) – концентрация ОВВ на поверхности, превышающая 4 – 5 мг/л.

Ниже представлена краткая информация об участках Керченского пролива с наибольшей антропогенной нагрузкой и связанных с ними источниках, по критерию распределения ОВВ, которые были обнаружены нами в течение всего времени экспедиционных исследований с 2001 по 2014 гг. Рассмотрены основные, наиболее обширные (с горизонтальным масштабом 1 – 5 миль) пятна (тип 3). На рис.4 они картированы и пронумерованы.

Азовское предпроливье и северная узкость Керченского пролива. Здесь выявлены линзы загрязненных вод, связанные с постоянно действующими ис-

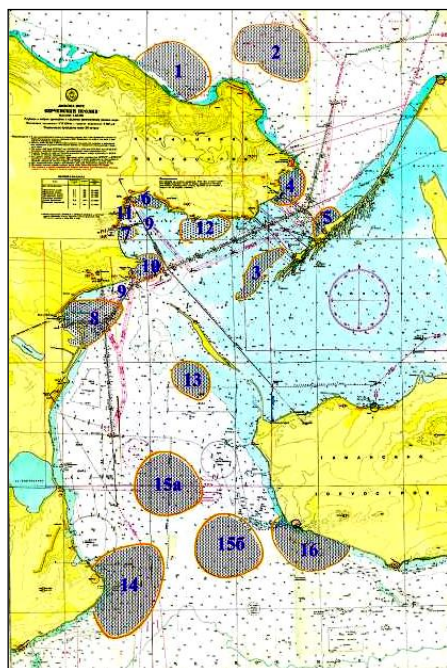


Рис. 4. Схема расположения основных участков пролива с антропогенной нагрузкой, выявленных по данным распределения ОВВ в ходе экспедиционных исследований в 2001 – 2014 гг.: г.Керчь (1), грунтовые свалки (2, 3), п.Крым (4), п.Кавказ (5), п.Торговый (6), п.Рыбный (7), п.Железорудного комбината (8), подходы к портам (9), нефтяной (10) и содовый (11) терминалы, пятно загрязненных азовоморских вод (12), грунтовые свалки (13, 14), пункт рейдовой перевалки грузов (15а, 15б), п.Тамань (16).

точниками загрязнения: коллектор хозяйственно-бытовых сточных вод г. Керчь (1), две грунтовые свалки (2, 3), портовые пункты Крым (4) и Кавказ (5).

Керченская и Камыш-Бурунская бухты, где линзы трансформированных вод с антропогенной составляющей наблюдались в портах (Торговый (6), Рыбный (7), порт Железородного комбината (8)), на подходах к ним (9), у нефтяного (10) и содового (11) терминалов. На акватории Керченской бухты в мае 2005 г было обнаружено обширное пятно загрязненных вод (12), вынесенных из Азовского моря [7].

Южная часть пролива. Здесь расположены следующие объекты хозяйственной деятельности с наблюдавшимися в их окрестности линзами загрязненной воды: грунтовые свалки (13, 14), пункт рейдовой перевалки грузов (15а – стоянка № 471; 15б – стоянка № 451), порт Тамань на Таманском п-ове (16). Вблизи этих объектов в придонном слое содержание ОВВ достигало 30 – 60 мг/л, здесь же отмечены признаки нефтяного загрязнения и повышенная концентрация РОВ. В районе пункта рейдовой перегрузки (15а) постоянно фиксировалась загрязненная линза вод, радиусом, примерно, в 1 милю в условиях маловетренной погоды. При умеренном ветре она вытягивалась до 5 – 7 миль.



Рис. 5. Спутниковый снимок акватории у порта Тамань.

Мы не располагаем контактными данными наблюдений в районе порта Тамань (16). Вместе с тем, анализ спутниковых снимков выявил постоянное присутствие здесь линзы мутной воды, которая при меридиональных ветрах вытягивалась вдоль береговой линии полуострова (рис.5).

В ходе экспедиции в октябре 2013 г. в районе дамбы и Тузлинской промоины было отмечено пятно с повышенным содержанием РОВ, источник которого мы связываем с портом Тамань.

Заключение. На базе материалов серии экспедиций, проведенных в 2001 – 2014 гг., выполнена типизация вертикальной структуры поля концентрации общего взвешенного вещества и предложена схема районирования акватории Керченского пролива по заданному набору качественных и количественных признаков.

Выделены три типа вертикальной структуры поля исследуемой величины, которые различаются формой профиля ОВВ(z) и собственной концентрацией на поверхности:

- азовский тип, характеризуемый немонотонным гладким распределением ОВВ(z) и количественными показателями: наиболее часто повторяемая концентрация 2,4 мг/л и предельная концентрация 4,3 мг/л;
- черноморский тип со свойственным ему монотонным распределением ОВВ(z), наиболее часто повторяемой концентрацией 0,8 мг/л и предельной концентрацией 3,8 мг/л;
- тип структуры, идентифицирующий воды загрязненных участков и

выпусков техногенных сточных вод, который отличается немонотонным с интрузионными признаками профилем ОБВ(z) и концентрацией более 4 – 5 мг/л.

Показано, что граница между азовским и черноморским типами стратификации представлена халинным фронтом. Участки пролива с антропогенной нагрузкой на горизонтальных распределениях выделяются в виде локальных максимумов содержания ОБВ с достаточно выраженными границами.

Полученные наиболее часто повторяемые концентрации ОБВ для незагрязненной азовской воды в 2,4 и 0,8 мг/л для незагрязненной черноморской воды могут быть принятыми в качестве природной нормы содержания этого вещества в водах Керченского пролива.

На основе текстурных признаков распределения ОБВ приведены сведения о наиболее значимых пятнах (линзах) антропогенного загрязнения акватории Керченского пролива и связанных с ними источниках. Это пятна с горизонтальным масштабом 1 – 5 миль, которые были зафиксированы в окрестности портов, портовых пунктов, коллектора сточных вод г.Керчь, грузовых терминалов, свалок изъятых при дноуглублении грунта, площадок рейдовых перегрузок, а также линзы загрязненных вод, попавшие в пролив из Азовского моря. В целом, пространственное распределение антропогенной нагрузки на акваторию пролива, полученное авторами по данным распределения ОБВ, соответствует распределению основных источников антропогенного воздействия на экосистему Керченского пролива по данным многолетних исследований ЮгНИРО с применением стандартных методов исследования.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственных заданий по темам 0827-2014-0011 «Исследования закономерностей изменений состояния морской среды на основе оперативных наблюдений и данных системы диагноза, прогноза и реанализа состояния морских акваторий» (шифр «Оперативная океанография») и 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Комплекс гидробиофизический мультитипараметрический погружной автономный «Кондор».* [Электронный ресурс].– URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (дата обращения 15.04.2019).
2. *Boss E., Pegau W.S., Zaneveld J.R.V. et al.* Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf // *J. Geophys. Res.*– 2001.– v.106, C5.– P.9499-9507.
3. *Tedetti M., Longhitano R., Garcia N., Guigue C., Ferretto N., Goux M.* Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France) // *Environmental Chemistry.* – 2012.– v.9, № 5.– P.438-449.
4. *Ильин Ю.П., Фомин В.В., Дьяков Н.Н. и др.* Гидрометеорологические условия морей Украины. Т.1. Азовское море.– Севастополь, 2009.– 400 с.
5. *Хайлов К.М.* Экологический метаболизм в море.– Киев: Наукова думка, 1971.– 250 с.

6. *Ломакин П.Д., Спиридонова Е.О.* Природные и антропогенные изменения в полях важнейших абиотических элементов экологического комплекса Керченского пролива в течение двух последних десятилетий.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010.– 118 с.
7. *Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Панов Б.Н., Боровская Р.В.* Гидрологические условия и характеристика загрязнения вод Керченского пролива в мае 2005 года по данным контактных измерений и спутниковых наблюдений // Исследования Земли из космоса.– 2006.– № 4.– С.27-33.
8. *Природоохранные исследования ЮгНИРО.* Презентация. [Электронный ресурс].– URL: <http://www.myshared.ru/slide/642219/> (дата обращения 24.04.2019).

Материал поступил в редакцию 28.03.2019 г.

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

TYPIFICATION AND ZONING OF THE KERCH STRAIT WATERS ACCORDING TO SPECIFIC STRATIFICATION OF TOTAL SUSPENDED MATTER CONCENTRATION

On the basis of oceanographic data of set of cruises carried out in 2001 – 2014, the vertical structure of the total suspended matter concentration field was typified and a scheme of zoning of the Kerch Strait water area by a given set of qualitative and quantitative indications was proposed. Three types of the vertical structure of the field of the investigated value are distinguished, which differ in the profile shape TSM(z) and its own concentration of suspension. These are the Azov and Black seas types peculiar to the natural waters of the Sea of Azov and the Black Sea and the type of structure identified as transformed and influenced by local sources of pollution (TPW), known and mapped by the scientists of the Southern Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography. It is shown that the Azov and Black Sea stratification types are separated by salinity front. Contaminated areas of the strait on horizontal distributions are identified as local maxima of TSM content with clear borders. For each of the calculated statistical indicators of the concentration of TSM. The most significant spots (lenses) of the TPW, manifested in the field of total suspended matter as well as their sources are revealed in the Kerch Strait waters.

KEYWORDS: total suspended matter, zoning, stratification types, haline front, the Kerch Strait