ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКРАШЕННОГО РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ЕГО СВЯЗИ С ПОЛЕМ СОЛЕННОСТИ В ДНЕПРОВСКО-БУГСКОМ ЛИМАНЕ

П.Д. Ломакин^{1,2}

¹Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
РФ, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

²Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: p_lomakin@mail.ru

На основе экспедиционных исследований, проведенных 23, 24 августа 2012 г., проанализированы особенности структуры полей солёности и концентрации окрашенного растворенного органического вещества, а также корреляционная связь между этими величинами в Днепроовско-Бугском лимане. Результат сопоставлен с известными аналогичными исследованиями для прибрежных, распресненных материковым стоком акваторий океанов и морей. Выявлено, что при сходной структуре халинного поля, структура полей содержания окрашенного растворенного органического вещества в водах Днепроовско-Бугского лимана и распресненных прибрежных водах океанов и морей, а также характер статистической связи между этими величинами качественно различны. Показано, что обнаруженное различие обусловлено присутствием антропогенной составляющей в поле концентрации окрашенного растворенного органического вещества в Днепроовско-Бугском лимане.

Ключевые слова: солёность, окрашенное растворенное органическое вещество, загрязнение, Днепроовско-Бугский лиман.

Поступила в редакцию: 06.04.2021. После доработки: 13.04.2021.

Введение. Днепроовско-Бугский лиман – один из немногих регионов Азово-Черноморского бассейна, где проводятся регулярные наблюдения за растворенным органическим веществом (РОВ). На базе этих наблюдений выполнены детальные исследования тесноты корреляционной зависимости содержания РОВ от солёности в различных областях лимана в разное время, результат которых изложен в статье [1].

К сожалению, в этой работе, как и в доступной литературе, нет сведений о структуре поля концентрации РОВ в Днепроовско-Бугском лимане, которое остается недостаточно изученным.

В предлагаемой статье проанализированы фактические поля солёности и содержания окрашенного РОВ (флуоресцирующей составляющей концентрации этого вещества – fDOM) в Днепроовско-Бугском лимане. Выявлены акватории с антропогенной составляющей в

поле концентрации окрашенного РОВ и характерные признаки структуры поля содержания данного вещества. Оценена теснота корреляционной зависимости концентрации рассматриваемой величины от солёности. Полученный результат сопоставлен с результатами аналогичных исследований для распресненной прибрежной зоны океанов и морей, которые заимствованы из литературных источников.

Днепроовско-Бугский лиман расположен между устьем Днепра и Черным морем. С морем лиман сообщается через Кинбурнский пролив (шириною 2 мили между Очаковским мысом и Кинбурнской косой). Главный порт на лимане – Очаков. Основные физико-географические ориентиры исследуемой акватории [2], сведения о которых используются в тексте настоящей статьи, представлены на рис. 1, а.

Рис. 1. Основные физико-географические ориентиры Днепровско-Бугского лимана: 1 – Днепровский лиман; 2 – Бугский лиман; 3 – Кинбурнская коса; 4 – устье р. Днепр [2] (а) и схема станций океанологической съемки (б)

Fig. 1. The main physical and geographical landmarks of the Dnieper-Bug estuary: 1 - Dnieper estuary, 2 - Bug estuary, 3 - Kinburnskaya spit, 4 - the mouth of the river Dnieper [2] (a) and diagram of oceanographic survey stations (b)

Исходные данные и методы исследования. В качестве исходных данных использован материал экспедиции, которая была проведена 23, 24 августа 2012 г. сотрудниками МГИ НАНУ (г. Севастополь) и Черноморского биосферного заповедника НАНУ (г. Голая Пристань).

Съемка Днепровско-Бугского лимана выполнена по схеме станций, показанной на рис. 1, б, которая охватывает основные физико-географические регионы исследуемой акватории. Эта схема традиционно используется Черноморским биосферным заповедником при комплексных экспедиционных исследованиях Днепровско-Бугского лимана.

Работы проведены с борта маломерного экспедиционного судна на 20 дрейфовых станциях, координаты которых определялись при помощи навигатора GPS. Временные затраты на каждую станцию – около 15 мин. Диапазон глубин на полигоне от 1,0 до 8,9 м.

Вся анализируемая информация получена при помощи оптического биофизического комплекса «Кондор» [3]. На каждой станции температура, соленость, концентрация общего взвешенного и окрашенного растворенного органического веществ синхронно фиксировались *in-situ* в зондирующем режиме с шагом по глубине 0,1 м.

Содержание РОВ оценивалось по концентрации растворенного органического углерода, измеряемой флуоресцентным методом (fDOM) с калибровкой в стандартах *quinine sulfate equivalents* (QSE) и пересчетом в весовые единицы в соответствии с рекомендациями компании *Yellow Springs Instrument Company* и массива данных результатов сличения с прямым методом высокотемпературного каталитического сжигания ($r^2 = 0,97$) [4]. Эти коэффициенты использовались для обработки первичных данных.

Обсуждение результатов. Общие закономерности структуры полей солености и концентрации РОВ в лиманах, эстуариях, дельтах рек и других участках морского побережья, которые подвержены влиянию речного стока, относительно хорошо изучены. В частности, известно, что речной сток – основной источник РОВ в прибрежных водах океанов и морей, а наибольшая концентрация этого вещества наблюдается в речных устьях, где поле солености представлено фронтальной зоной. Также известно, что фронтальное распределение, но с противоположно направленным вектором горизонтального градиента относительно вектора градиента в поле солености, свойственно полю концентрации РОВ. Между соленостью и содержанием РОВ на распресненных материковым стоком прибрежных акваториях существует тес-

ная обратная (с коэффициентом от -0,68 до -0,95) линейная корреляционная связь [5–8].

По результатам анализируемой съемки (рис. 2) поле солености на исследуемой акватории характеризовалось всеми структурными признаками, типичными для эстуарийных зон. Западная мористая часть лимана отличалась высокой соленостью вод, 5,0-8,3 ЕСП на поверхности, 7,0-11,7 ЕСП у дна. Распресненные стоком р. Днепр восточные области имели низкую соленость 0,2 – 2,5 ЕСП на поверхности и 0,3 – 3,5 ЕСП у дна. В крайней западной части Днепровско-Бугского лимана в придонном слое располагался отчетливо выраженный меридионально ориентированный халинный фронт, разделявший морские и трансформированные речные воды.

Рис.2. Распределение солености, ЕПС в верхнем (а) и придонном (б) слоях вод Днепровско-Бугского лимана 23, 24 августа .2012 г.

Fig. 2. Salinity distribution, PSU in the upper (a) and bottom (b) layers of the Dnieper-Bug estuary on August 23, 24, 2012.

В Бугском лимане наблюдалась линза повышенной солености, – характерный локальный признак структуры халинного поля в

исследуемом регионе, который связывают с притоком воды повышенной солености из Днепровского лимана в устьевую область Буга

вследствие зарегулирования стока этой реки [9] (рис. 2).

В Днепровско-Бугском лимане взаимодействуют речные и морские воды с содержанием РОВ, которое различается в десятки раз. Так, согласно [10], концентрация РОВ в пресноводных природных водоемах колеблется в интервале 20 – 50 мг/л; в Черном море, по результатам [11], характерная концентрация данного вещества ~ 2 мг/л.

Исходя из этих сведений, можно представить следующую качественную схему распределения окрашенного РОВ (fDOM) на исследуемой акватории. Западные области Днепровско-Бугского лимана, воды которых свободно сообщаются через Кинбурнский пролив с открытой черноморской акваторией, должны отличаться низким содержанием fDOM. Тогда как восточные участки, подверженные влиянию стока р. Днепр (сток Буга зарегулирован), должны быть насыщенными этим веществом, а его

концентрация убывать от устья Днепра в направлении на запад.

Описанная выше схема соответствует известной классической закономерности горизонтальной структуры поля концентрации РОВ (fDOM), свойственной прибрежным примыкающим к устьям рек акваториям океанов и морей, которая достаточно широко отражена в литературе [5–8].

Как показал анализ материалов съемки (рис. 3), структура фактического поля концентрации fDOM в Днепровско-Бугском лимане качественно отличалась от классического представления. Содержание этого вещества, в общем, увеличивалось в западном направлении, от устья Днепра к мористой границе рассматриваемой акватории. Это стало следствием антропогенной нагрузки, которая существенно искажила природное поле содержания fDOM в исследуемом регионе.

Рис. 3. Распределение концентрации fDOM, мг/л в верхнем (а) и придонном (б) слоях вод Днепровско-Бугского лимана 23, 24 августа 2012 г.

Fig. 3. Distribution of colored dissolved organic matter concentration, mg / l in the upper (a) and bottom (b) layers of the Dnieper-Bug estuary 23, 24 August 2012

Западная и центральная части Днепро-Бугского лимана, как на поверхности, так и в придонном слое, характеризовались максимальным содержанием fDOM, до 4,4 – 4,8 мг/л.

Здесь в структуре анализируемого поля отчетливо прослеживался ряд локальных максимумов концентрации этого вещества, которые совпадали с расположенными на побережье населенными пунктами, что свидетельствует об антропогенной природе наблюдавшихся экстремумов.

Абсолютный максимум содержания fDOM зафиксирован на западе и северо-западе Днепро-Бугского лимана, в районе города и порта Очаков, – наиболее значимого объекта антропогенного воздействия на водную среду в рассматриваемом регионе. Локальные максимумы отмечены вдоль густонаселенного серо-западного берега лимана, вблизи сел Куцуруб, Дмитровка, Солончаки, Тарутино. У юго-западного побережья Днепро-Бугского лимана локальные максимумы концентрации fDOM наблюдались на участках, которые примыкали к селам Покровское, Васильевка, Геройское.

Второй по значимости, ярко выраженный локальный максимум концентрации fDOM, зафиксирован на юго-востоке исследуемой акватории, у сел Рыбальче и Забарино (рис. 3).

Отметим, что подобная закономерность свойственна участкам крымского побережья, где в прибрежных водах в поле концентрации fDOM вблизи населенных пунктов, и даже отдельных санаторных корпусов, под влиянием сточных вод формируются линзы с высоким антропогенным содержанием растворенной органики [12].

Восточная область Днепро-Бугского лимана, на большей части побережья которой нет населенных пунктов, за исключением выше упомянутого участка у сел Рыбальче и Забарино, характеризовалась низким содержанием fDOM, 3,0 – 3,5 мг/л и однородностью поля данной величины (рис. 3).

Примерно на траверзе Бугского лимана в поле концентрации рассматриваемого вещества в придонном слое

наблюдался отчетливо выраженный фронт, который разделял воды западной части исследуемой акватории с высоким содержанием fDOM от вод восточной части с пониженной концентрацией этого вещества (рис. 3).

Халинный фронт был расположен намного западнее относительно фронта в поле концентрации fDOM, а сами анализируемые поля имели качественно различные структурные признаки (рис. 2, 3).

Это свидетельствует об аномальной структуре поля концентрации fDOM, которая обусловлена антропогенной составляющей этой величины, наиболее значимой в западной части Днепро-Бугского лимана.

Аномальные свойства поля содержания fDOM также хорошо иллюстрируют его вертикальные профили. Большинство профилей fDOM(z) из всей совокупности кривых оказались немонотонными. Свойственные им локальные максимумы свидетельствуют о наличии в водной толще слоев и прослоек с повышенным содержанием fDOM, которые могут быть следствием интрузий вод антропогенной природы.

В прибрежных водах Черного и Азовского морей (слой 0–20 м), которые не испытывают антропогенной нагрузки, вертикальная стратификация поля содержания fDOM качественно отличается от стратификации поля этой величины в Днепро-Бугском лимане. Она слабо выражена или вовсе отсутствует, а характерная концентрация данного вещества в верхнем слое вод – около 2 мг/л [5, 12].

Аномальной в водах исследуемого региона оказалась корреляционная связь между соленостью и содержанием fDOM. Как следует из рис. 4, а, в анализируемой ситуации между рассматриваемыми величинами наблюдалась положительная корреляционная зависимость с коэффициентом $R = 0,59$.

В работе [1] по материалам многолетних (1981–2007 гг.) экспедиционных мониторинговых исследований рассчитаны и проанализированы коэффициенты корреляционной зависимости между элементами полей солености и содержа-

нием РОВ в Днепроовско-Бугском лимане. Итог этого исследования, – наиболее тесная отрицательная статистическая связь концентрации РОВ с соленостью, с коэффициентом $R = -0,60$, определена в восточном регионе Днепроовско-Бугского лимана, который в анализируемой ситуации выделяется минимальным присутствием антропогенной составляющей в поле содержания fDOM. Слабая корреляционная связь между рассматриваемыми

величинами, согласно [1], характерна для центральной области Днепроовского лимана, где антропогенная составляющая в поле концентрации fDOM максимальна (рис. 3).

В целом по результатам [1], для акватории Днепроовско-Бугского лимана характерна слабая корреляционная зависимость между соленостью и содержанием РОВ или ее отсутствие.

Рис. 4. Графики линейной корреляции между соленостью и содержанием fDOM в Днепроовско-Бугском лимане (a); у шведского берега Балтийского моря (b) [6]

Fig. 4. Graphs of linear correlation between salinity and colored dissolved organic matter content in the Dnieper-Bug estuary; off the Swedish coast of the Baltic Sea (b) [6]

Для сравнения на рис. 4, b показан график корреляционной зависимости fDOM(S), рассчитанной авторами статьи [6] для шведского побережья Балтийского моря. Здесь проиллюстрирована статистическая связь fDOM(S), примерно в том же диапазоне солености и характере ее распределения, что наблюдались в Днепроовско-Бугском лимане. В отличие от ситуации на рис. 4, a, – это достаточно тесная обратная корреляционная за-

висимость между соленостью и концентрацией fDOM с коэффициентом $R = -0,68$.

Наличие тесной обратной корреляционной связи fDOM(S) и РОВ(S) в прибрежных водах океанов и морей также подтверждают результаты других известных исследований [5–8]. Так, в ходе совместных российско-американских экспедиций в Восточносибирском море в приустьевых зонах рек Лена, Колыма,

Индирикка, Алазея [7] была выявлена устойчивая отрицательная корреляция между соленостью и РОВ ($R = -0,9$ $R = -0,95$ и $R = -0,93$ для 2003, 2004 и 2008 гг. соответственно). Авторы этой работы также выделяют одно из характерных свойств поля концентрации РОВ, – его консервативность.

Исследования поля содержания fDOM(S), которые ведутся МГИ и ИПТС в Азово-Черноморском бассейне, подтверждают это свойство. В верхнем слое вод рассматриваемое поле сохраняет свои основные признаки во времени, а закономерности его структуры, которые выявлены по данным анализируемой съемки (рис. 3), можно считать типичными для вод Днепровско-Бугского лимана.

Обнаруженные значимые максимумы концентрации fDOM, обусловленные постоянно действующими антропогенными источниками (сточные воды населенных пунктов и порта Очаков) свидетельствуют об устойчивом присутствии на исследуемой акватории загрязняющих веществ. Согласно [13], подобные эффекты, вызванные хроническим воздействием даже относительно низких концентраций, крайне неблагоприятны для человека и гидробиологических сообществ. Они влияют на репродукцию, иммунологию, канцерогенность.

Отсутствие в Днепровско-Бугском лимане тесной обратной корреляционной зависимости между полями солености и концентрации fDOM, которая характерна для распресненных речным стоком незагрязненных прибрежных морских акваторий, можно считать одним из показателей наличия антропогенной нагрузки на водную среду исследуемого региона.

Данный признак представляется универсальным. В незагрязненных органическим веществом прибрежных водах океанов и морей, которые распреснены материковым стоком, структуре полей солености и концентрации РОВ (fDOM) свойственны фронтальные признаки с различным направлением вектора градиента в горизонтальной плоскости. Эти величины связаны тесной обратной корреляционной зависимостью.

На загрязненных прибрежных акваториях, вследствие присутствия антропогенной составляющей РОВ, структура поля концентрации этого вещества деформируется, и, соответственно, нарушается (исчезает) отрицательная корреляционная связь между соленостью и концентрацией РОВ(fDOM).

Заключение. На основе данных экспедиции, проведенной в августе 2012 г., проанализированы особенности структуры полей солености и концентрации fDOM, а также корреляционной связи между этими величинами в Днепровско-Бугском лимане.

Показано что поле солености в Днепровско-Бугском лимане характеризовалось всеми структурными признаками, типичными для распресненных речным стоком прибрежных морских акваторий, тогда как поле концентрации fDOM обладало аномальными свойствами, обусловленными наличием антропогенной составляющей этой величины.

Присутствие fDOM антропогенного происхождения наиболее значимо в западной части Днепровского лимана и связано с влиянием города и порта Очаков. Здесь отмечено максимальное содержание данного вещества, что обусловило аномальное, возрастающее от устья Днепра к открытым черноморским водам, горизонтальное распределение его концентрации.

Загрязненные участки исследованной акватории, которые примыкали к населенным пунктам и занимали преобладающую часть площади водного зеркала Днепровско-Бугского лимана, отличались повышенным содержанием fDOM и интрузионными признаками вертикальной структуры поля концентрации этого вещества.

Выявлено, что в Днепровско-Бугском лимане отсутствует обратная корреляционная зависимость между полями солености и концентрации fDOM, которая типична для распресненных речным стоком незагрязненных прибрежных морских акваторий. Подобная аномалия – показатель загрязнения прибрежных вод органическим веществом.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам: (1) № 0827-2020-0004 «Комплексные «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей», (2) «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия» (№ госрегистрации АААА-А19-119031490078-9). Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-45920068.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Н.Г., Степкова В.В. Оценка закономерностей распределения органического вещества в Днепровско-Бугском лимане с использованием корреляционного анализа // Научный вісник Херсонської державної морської академії. 2012. № 1 (6). С. 158–185.
2. URL: http://rybalka-info.in/index.php?option=com_content&view=article&id=869:: (дата обращения: 26.02.2021).
3. URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (дата обращения: 26.02.2021).
4. Saraceno J.F., Pellerin B.A., Downing B.D., Boss E., Bachand P.A.M., Bergamaschi B.A. High-frequency in situ optical measurements during a storm event: Assessing relationships between dissolved organic matter, sediment concentrations, and hydrologic processes // Journal of geophysical research, 2009. Vol. 114, G00F09. doi:10.1029/2009JG000989
5. Lomakin P.D., Chepyzhenko A.I., Chepyzhenko A.A. Field of the Colored Dissolved Organic Matter Concentration in the Sea of Azov and the Kerch Strait Waters Based on Optical Observations // Physical oceanography. 2016. №5. P. 71–83. DOI: 10.22449/1573-160X-2016-5-71-83
6. Merkouriadi I., Walve J., Kratzer S. Development of under-ice stratification in Himmerfjärden bay, North-Western Baltic proper, and their effect on the phytoplankton spring bloom // Journal of marine Systems. 2018. № 186. P. 85–95. URL: https://www.researchgate.net/publication/325901747_Development_of_ (дата обращения: 26.02.2021).
7. Пугач С.П., Пупко И.И., Динамика растворенного окрашенного органического вещества на шельфе Восточно-сибирского моря // Доклады академии наук. 2012. Т. 447. № 6. С. 671–674.
8. Sasaki H., Gomi Y., Asai T. et al. Remote sensing of salinity from satellite-derived CDOM in the Changjiang River dominated East China Sea // Journal of the Japan Society for Marine Surveys and Technology. 2013. Vol. 25. Issue 2. P. 2_13–2_18. doi:10.11306/jsmst.25.2_13
9. https://ru.wikipedia.org/wiki/Днепр_о-Бугский_лиман (дата обращения: 26.02.2021).
10. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды / О.М. Горшкова, С.В. Пацаева, Е.В. Федосеева [и др.] // Вода: химия и экология. 2009. № 11. С. 31–37.
11. Хайлов К.М. Экологический метаболизм в море. Киев: Наукова Думка, 1971. 250 с.
12. Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А. Оценка концентрации полей суммарной взвеси и растворенного органического вещества в бухтах крымского побережья на основе данных оптических измерений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа: сборник научных трудов. 2007. Вып. 15. С. 168–176.
13. Ducrotoy Jean-Paul (2020): Coastal pollution and impacts. Available from http://www.coastalwiki.org/wiki/Coastal_pollution_and_impacts (дата обращения: 28.02.2021).

INVESTIGATION OF THE FIELD OF COLORED DISSOLVED ORGANIC MATTER
CONCENTRATION AND ITS RELATIONSHIP WITH THE SALINITY FIELD IN DNIEPER-
BUG ESTUARY

P.D. Lomakin^{1,2}

¹Marine Hydrophysical Institute of RAS, RF, Sevastopol, Kapitanskaya St., 2

²Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

On the basis of the archival expeditionary data carried on August 23, 24, 2012, the features of the structure of the fields of salinity and concentration of colored dissolved organic matter, as well as the correlation between these values in the Dnieper-Bug estuary, are analyzed. The result is compared with known similar studies for coastal areas of oceans and seas freshened by continental runoff. It is revealed that with a similar structure of the halin field, the structure of the fields of the content of colored dissolved organic matter in the waters of the Dnieper-Bug estuary and freshened coastal waters of the oceans and seas, as well as the nature of the statistical relationship between these quantities, are qualitatively different. It is shown that the detected difference is due to the presence of an anthropogenic component in the concentration field of colored dissolved organic matter in the Dnieper-Bug estuary.

Keywords: salinity, colored dissolved organic matter, pollution, Dnieper-Bug estuary.

REFERENCES

1. Aleksandrova N.G., Stepkova V.V. Ocenka zakonomernostej raspredelenija organicheskogo veshhestva v Dneprovsko-Bugskom limane s ispol'zovaniem korrelyacionnogo analiza, *Naukovij visnik Hersons'koï derzhavnoï mors'koï akademii*, 2012. No 1 (6). pp. 158–185.
2. URL: http://rybalka-info.in/index.php?option=com_content&view=article&id=869:: (February 26, 2021).
3. URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (February 26, 2021).
4. Saraceno J.F., Pellerin B.A., Downing B.D., Boss E., Bachand P.A.M., Bergamaschi B.A. High-frequency in situ optical measurements during a storm event: Assessing relationships between dissolved organic matter, sediment concentrations, and hydrologic processes, *Journal of geophysical research*, 2009. Vol. 114, G00F09. doi:10.1029/2009JG000989.
5. Lomakin P.D., Chepyzhenko A.I., Chepyzhenko A.A. Field of the Colored Dissolved Organic Matter Concentration in the Sea of Azov and the Kerch Strait Waters Based on Optical Observations, *Physical oceanography*, 2016, No 5. pp. 71–83. DOI: 10.22449/1573-160X-2016-5-71-83.
6. Merkouriadi I., Walve J., Kratzer S. Development of under-ice stratification in Himmerfjärden bay, North-Western Baltic proper, and their effect on the phytoplankton spring bloom, *Journal of marine Systems*, 2018, No 186, pp. 85–95.
URL: https://www.researchgate.net/publication/325901747_Development_of (February 26, 2021).
7. Pugach S.P., Pipko I.I. Dinamika rastvorennogo okrashennogo organicheskogo veshhestva na shel'fe Vostochnosibirskogo morja, *Doklady akademii nauk*, 2012, Vol. 447, No 6, pp. 671–674.
8. Sasaki H., Gomi Y., Asai T. et al. Remote sensing of salinity from satellite-derived CDOM in the Changjiang River dominated East China Sea, *Journal of the Japan Society for Marine Surveys and Technology*, 2013, Vol. 25, Issue 2, pp. 213–218. doi:10.11306/jsmst.25.2_13.
9. https://ru.wikipedia.org/wiki/Днепро-Бугский_лиман (February 26, 2021).
10. O.M. Gorshkova, S.V. Pacaeva, E.V. Fedoseeva [i dr.], *Fluorescenciya rastvorennogo organicheskogo veshhestva prirodnoj vody, Voda: himija i jekologija*, 2009, No 11, pp. 31–37.
11. Hajlov K.M. *Jekologicheskij metabolizm v more*, Kiev, Naukova Dumka, 1971, 250 p.
12. Lomakin P.D., Chepyzhenko A.I., Chepyzhenko A.A. Ocenka koncentracii polej summarnoj vzvesi i rastvorennogo organicheskogo veshhestva v buhtah krymskogo poberezh'ja na osnove dannyh opticheskikh izmerenij, *Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnye issledovaniya resursov shel'fa*, sbornik nauchnyh trudov, 2007, Vyp. 15. pp. 168–176.
13. Ducrotot Jean-Paul (2020): Coastal pollution and impacts. Available from http://www.coastalwiki.org/wiki/Coastal_pollution_and_impacts.