

**Н.А. БЕРЛИНСКИЙ**<sup>1</sup> д.геогр. н, профессор, **Ю.И. ПОПОВ**<sup>2</sup> к.геогр.н., начальник океанографической партии  
<sup>1</sup>Одесский государственный экологический университет, г. Одесса ул. Львовская, 15, Одесса, 65016. Украина  
[nberlinsky@ukr.net](mailto:nberlinsky@ukr.net)

<sup>2</sup>Филиал ГП «Одесский район Госгидрографии», Одесса. Маячный пер. 5, Одесса 65016, Украина

## ФОРМИРОВАНИЕ ПРИДОННОЙ ГИПОКСИИ И СЕРОВОДОРОДА НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

**Цель.** Оценка современного состояния экосистемы северо-западного шельфа Черного моря. **Методы.** Выполнена выборка среднесуточных измерений температуры и солености поверхностного слоя морской воды, уровня моря и ветрового режима за 2007, 2012 и 2017гг. Произведен анализ данных съемки прямых наблюдений в центральной части северо-западного шельфа Черного моря и спутниковых снимков NASA. **Результаты.** За последние 50 лет в речных водах Дуная, Днепра и Днестра резко увеличилось количество биогенных веществ, тяжелых металлов и нефтепродуктов, что способствовало их накоплению в морской экосистеме. За счет избытка поступления биогенных веществ, в море, в весенне-летний период развивалось антропогенное эвтрофирование, а в летнее – осенний период, в придонном слое формировался дефицит кислорода – гипоксия. В последние годы сокращение стока биогенных веществ с площади водосбора рек обеспечило увеличение прозрачности вод в результате уменьшения взвешенных веществ органического и минерального происхождения в воде. Однако, отсутствие мониторинга морской среды не давало возможность дать полную оценку современного состояния водной экосистемы. В сентябре 2017г. произведена съемка северной части шельфа Черного моря. Результатами исследований было установлено развитие гипоксии в придонном слое. Значения растворенного кислорода на относительном глубоководье шельфа (глубины более 20 м) были ниже 2,0 мг·л<sup>-1</sup>. Этот процесс обусловлен высоким уровнем эвтрофирования в весенне – летний период 2017г., что подтверждается данными спутниковых наблюдений NASA и результатами наблюдений за апвеллингом водных масс в прибрежной части моря в теплый период 2007, 2012 и 2017гг. **Выводы.** По данным прямых наблюдений установлено продолжающееся антропогенное эвтрофирование, формирование дефицита кислорода и сероводорода в придонном слое моря на украинской части шельфа Черного моря. Пространственные масштабы деструктивных участков соизмеримы с размерами площадей придонной гипоксии 70-х годов прошлого столетия.

**Ключевые слова:** антропогенное эвтрофирование, придонная гипоксия, сероводород, апвеллинг, шельф Черного моря.

**Berlinsky N.A.<sup>1</sup>, Popov Yu.I.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Odessa State Ecological University, Odessa

<sup>2</sup>The Branch of state enterprise “Odessa region Statehydrography”

### **The near bottom hypoxia and hydrogen sulphide formation on the Black Sea shelf**

**Purpose.** Estimation of the Northwestern part of the Black Sea Shelf in modern period. **Methods.** The sample of average daily measurements of the temperature, salinity on the surface, level, wind velocity and direction during 2007, 2012 and 2017 had been done. The analyses of the cruise investigation parameters and NASA satellite photos had been done in this region as well. **Results.** Increasing of nutrient, heavy metals, oil concentration in the Danube, Dnieper and Dniester of water runoff was fixed during the last 50 years. It was the reason of its permanent accumulation in marine ecosystem. Also it was the reason of anthropogenic eutrophication development in the sea water in spring and at the beginning of summer time. Later, at the end of summer and in autumn the dissolved oxygen is decreasing in the bottom layers because of destruction of organic matter. In the last years, decreasing of nutrient from the rivers input was marked. It provided the increasing the transparency in the sea column and made the water condition more positive. But for assessment of the whole ecosystem state the complexes monitoring is absolutely necessary. In September of 2017 the special investigation cruise was done. The result shown the deficit of the dissolved oxygen – hypoxia in the near bottom layer is spreading in the center of the shelf ecosystem (the depths are more than 20 m). The oxygen concentrations were less than 2,0 ml·l<sup>-1</sup>. The reason of this negative phenomena was provided by NASA satellite photos of eutrophication process in summer and marking of upwelling at the shallow waters during the warm period in 2007, 2012 and 2017. **Conclusions.** Anthropogenic eutrophication development in the sea water was fixed as well as the near bottom hypoxia and hydrogen sulphide formation in the ukrainian part of the Northwestern shelf of the Black sea in the modern period. Spatial scale of this phenomena is comparable with the scales from 70's of last century.

**Key words:** anthropogenic eutrophication, near bottom hypoxia, hydrogen sulphide, upwelling, the Black Sea shelf.

**Берлінський М.А.<sup>1</sup>, Попов Ю.І.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Одесський державний екологічний університет, м. Одеса

<sup>2</sup>Філіал ДП «Одеський район Держгідрографії»

### **Формування придонної гіпоксії і сірководню на шельфі Чорного моря**

**Мета.** Оцінка сучасного стану екосистеми північно-західного шельфу Чорного моря. **Методи.** Виконана вибірка середньодобових вимірювань температури і солоності поверхневого шару морської води, рівня моря і вітрового режиму за 2007, 2012 і 2017гг. Зроблено аналіз даних зйомки прямих спостережень в центральній частині північно-західного шельфу Чорного моря і супутникових знімків NASA. **Результати.** За останні 50 років в річкових водах Дунаю, Дніпра і Дністра різко збільшилася кількість біогенних речовин, важких металів і нафтопродуктів, що сприяло їх накопичення в морській екосистемі. За рахунок надлишку надходження біогенних речовин, в море, в весняно-літній період розвивалося антропогенна евтрофікація, а в літній – осінній період, в придонному шарі формувалася дефіцит кисню – гіпоксія. В останні роки скорочення стоку біогенних речовин з площі водозбору річок забезпечило збільшення прозорості вод в

результаті зменшення зважених речовин органічного і мінерального походження в воді. Однак, відсутність моніторингу морського середовища не давало можливість дати повну оцінку сучасного стану водної екосистеми. У вересні 2017р. проведена зйомка північної частини шельфу Чорного моря. Результатами досліджень було встановлено розвиток гіпоксії в придонному шарі. Значення розчиненого кисню на відносно глибоких частинах шельфу (глибини більше 20 м) були нижче 2,0 мг·л<sup>-1</sup>. Цей процес обумовлений високим рівнем евтрофікації у весняно – літній період 2017р., що підтверджується даними супутникових спостережень NASA і результатами спостережень за апвелінгу водних мас в прибережній частині моря в теплий період 2007, 2012 і 2017гг. **Висновки.** За даними прямих спостережень встановлена триваюча антропогенне евтрофування, формування дефіциту кисню і сірководню в придонному шарі моря на українській частині шельфу Чорного моря. Просторові масштаби деструктивних ділянок порівнянні з розмірами площ гіпоксії 70-х років минулого століття.

**Ключові слова:** антропогенне евтрофування, придонна гіпоксія, сірководень, апвелінг, шельф Чорного моря.

## **Введение**

Во второй половине XX века, основным негативным антропогенным фактором влияния на черноморскую экосистему шельфа, было эвтрофирование морских вод из-за избыточного поступления биогенных веществ с речным стоком. В результате, на обширных участках моря отмечался дефицит кислорода, обусловленный минерализацией органического вещества в придонном слое.

Причины формирования дефицита кислорода в морях бывают природные и антропогенные. Одной из особенностей Черного моря является отсутствие растворенного в воде кислорода ниже 200 метровой глубины. Отсутствие растворенного в воде кислорода ниже 200 метровой глубины относится к природной составляющей кислородного баланса и обусловлено поступлением более плотной, по сравнению с черноморской, водной массой, опускающейся в глубинные слои. Из-за отсутствия шельфа в Прибосфорском районе, происходит каскадинг, т.е. вертикальное перемещение водой массы вдоль континентального склона. Ограниченный вертикальный обмен сопутствует устойчивой вертикальной стратификации слоев.

Иная причина, формирования дефицита кислорода, появление и распространение сероводорода, сугубо антропогенная и приурочена к шельфовой экосистеме. Важно отметить, что практически весь черноморский шельф расположен в украинских водах, что содержит большие преимущества для Украины и, одновременно, ответственность за качественное состояние морской среды. Однако, факторы, ответственные за качество морской среды, зачастую имеют трансграничный характер. К такого рода факторам относится сток крупных рек Дуная, Днестра и Днепра, площадь водосбора которых выходит за пределы Украины. Сток этих рек составляет около 70% от общего стока, поступающего в Черное море и не всегда состав стока удовлетворительного качества. За последние 50 лет в речных водах резко увеличилось количество биогенных веществ, тяжелых металлов и нефтепродуктов, что способствовало их накоплению в морской экосистеме, как приемнике поллютантов. За счет избытка поступления биогенных веществ, в море, в теплый период года развивалось антропогенное эвтрофирование.

Несмотря на то, что в настоящее время, происходит восстановление шельфовой экосистемы, в частности, ценного филофорного поля Зернова, расположенного в центре шельфа, что обусловлено сокращением стока биогенных веществ с площади водосбора рек, увеличением прозрачности вод в результате сокращения взвешенных веществ органического и минерального происхождения в воде и прекращения донного траления и, следовало бы ожидать повышения качества вод и донных осадков, вопрос остается открытым. Для решения вопроса необходимы данные прямых измерений *in situ*, на основании которых можно с определенной долей уверенности судить о современном состоянии шельфовой экосистемы.

В настоящей работе рассматриваются причинно-следственные факторы регулярного формирования сероводорода в прибрежной области шельфа Черного моря, на основании измерений по доступным данным.

## **Фактический материал и методы исследований**

В качестве данных измерений в Одесском заливе использованы наблюдения, регулярно выполняемые гидрофизической лабораторией Одесского государственного экологического университета, а именно: среднесуточные измерения температуры поверхностного слоя морской воды и воздуха, солёности поверхностного слоя морской воды, уровня моря, скорости и направления ветра, наличие сероводорода отмечалось органолептически. Произведена выборка доступных данных по периодам наблюдений с мая по сентябрь включительно за 2007, 2012 и 2017 гг. в соответствии с периодом развития придонной гипоксии и формирования сероводорода в теплый период времени. Используются методы графической и статистической обработки для выделения частоты и длительности апвеллига (*upwelling*) под действием сгонного ветра. Произведена оценка пространственного масштаба придонной гипоксии по результатам съемки инструментальных наблюдений в сентябре 2017г. на базе экспедиционных исследований Государственной гидрографии Украины.

## **Результаты исследований и их обсуждение**

Известно, что к главной проблеме прибрежных и шельфовых экосистем относится процесс формирования придонной гипоксии и массовой гибели донных организмов. Это обусловлено крупномасштабным эвтрофированием вод Черного моря

начиная с 70-х годов XX века. В ряде публикаций детально описан процесс развития эвтрофирования и установлена зависимость придонной гипоксии от степени трофности вод и гидрометеорологических условий [1-6].

В весенний период, в начале половодья, активизируется процесс фотосинтеза и начинает бурно развиваться первичная продукция фитопланктона. Колебания температуры поверхностного слоя на взморье носят четко выраженный сезонный характер – от 2°C в январе до 22°C в августе. При этом минимальные значения зимой могут быть отрицательными – 0,4 °C, а максимальные в июле превышают 27°C. Суточный ход температуры на взморье при умеренном ветре и штиле может достигать 6°C. Вертикальная структура поля температуры закономерно меняется в течение года. Перед весенним прогревом вся толща имеет ту же температуру, что и поверхность. К маю формируется прогретый слой и хорошо выраженный термоклин на глубине до 5 м с градиентом до 1°C м<sup>-1</sup>. К августу в результате прогрева и ветрового перемешивания термоклин опускается до 15–20 м, а максимальные градиенты могут достигать 3–5°C·м<sup>-1</sup>. На меньших глубинах прогретая водная масса захватывает всю толщу. К ноябрю термопотери с поверхности и зимняя вертикальная циркуляция выравнивают температуру от поверхности до дна. В это время она составляет около 10°C, а течение зимы к началу весеннего прогрева постепенно понижается до 2–4°C во всей толще. В летний период в придонном слое взморья отмечена закономерность образования дефицита кислорода по мере заглубления сезонного термоклина. Процесс начинается на малых (8–15 м) глубинах в июне и заканчивается в июле, когда термоклин достигает дна и за счет вертикальной однородности улучшается аэрация придонного слоя. На глубинах свыше 15м нижняя граница термоклина следует топографии морского дна. Придонный слой формируется изолированной водной массой, где в результате окисления и отсутствия источников поступления кислорода возникает придонная гипоксия. Редкие адвективные токи могут временно улучшить кислородный режим, но в целом развитие придонной гипоксии устойчиво и продолжается до середины осеннего периода. Общее восстановление происходит зимой, в результате осенне-зимней вертикальной конвекции [5, 7-9].

Отсутствие регулярных наблюдений в море – мониторинга, вынуждает обращаться к косвенным данным, которые могут быть показателями состояния морской среды, в частности, условий в придонном слое - наличие или отсутствие кислорода и сероводорода.

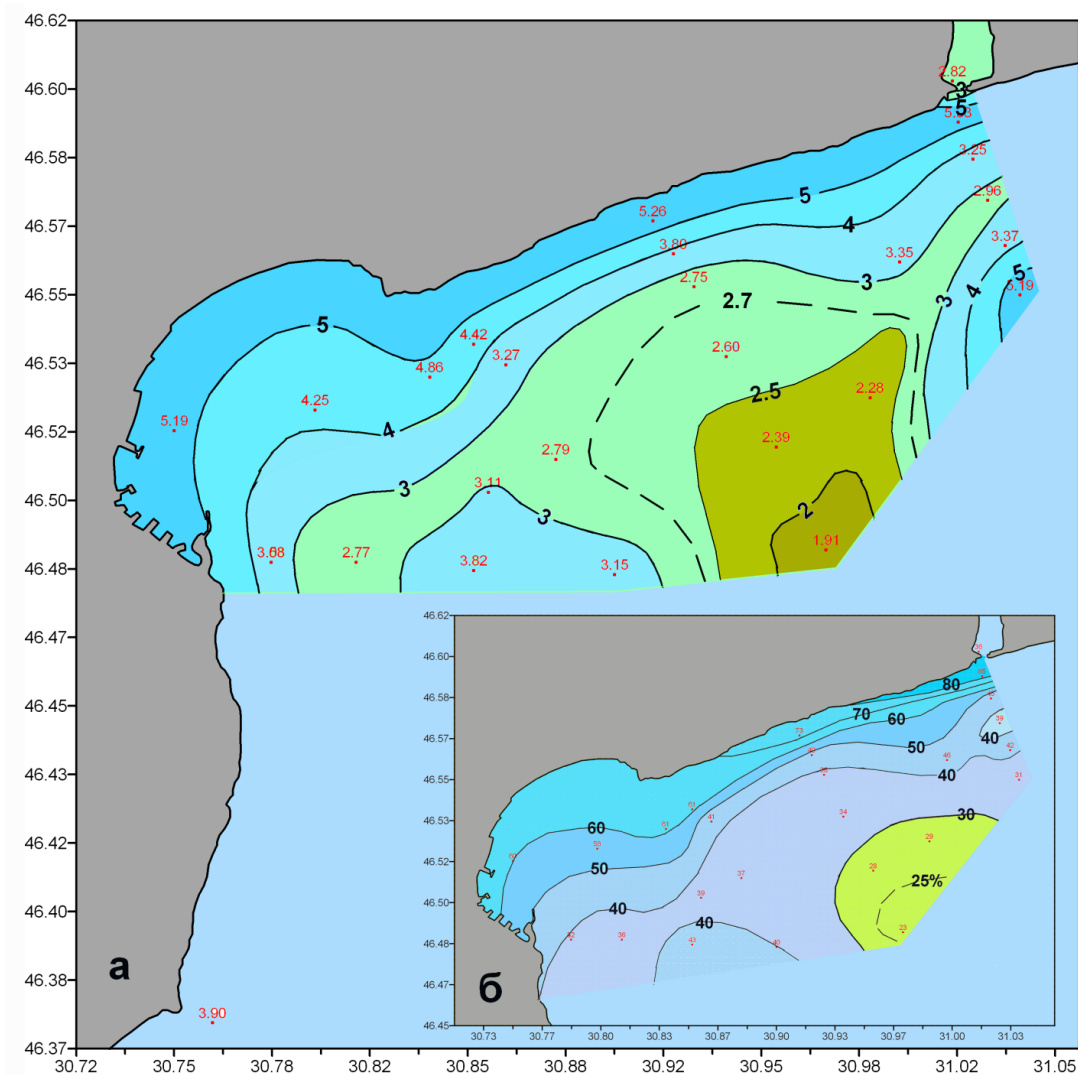
Рассмотрим влияние адвективных токов а придонном слое, как показателей современного состояния открытого моря в пределах украинского шельфа. К причине, вызывающей адвективные токи, относится деятельность ветра над поверхностью моря, обуславливающий квази-однонаправленное течение на поверхности моря и наклон уровня моря. При этом за счет гравитационной составляющей баланса сил, начинает происходить выравнивание уровня, а в придонном слое возникает компенсационное течение обратного направления. При условии сгонного ветра, со стороны берега по направлению в открытое море, формируется течение в море практически того же направления, уровень понижается и, за счет компенсационного течения в придонном слое придонная водная масса начинает перемещаться по направлению к берегу, сохраняя при этом все присущие ей свойства. К этим свойствам относятся, в первую очередь, температура, соленость и наличие или отсутствие растворенного кислорода либо сероводорода. При этом, непосредственно у береговой черты четко проявляется явление апвеллинга (*upwelling*), т.е. выход на поверхность водной массы с иными значениями температуры и солености в отличии от фоновых, характерных для теплого периода года на черноморском шельфе. По значениям пониженной температуры и повышенной солености можно судить об интенсивности апвеллинга, или сгона, а также определить вертикальную скорость в море зная месторасположение изотерм и изгалин в придонном слое и органолептически отметить наличие сероводорода в воде.

Как отмечалось выше, в начале 90-х годов, в период экономического кризиса, было отмечено некоторое сокращение поступлений загрязняющих и биогенных веществ с речным стоком. Однако предположения о восстановлении морской шельфовой экосистемы не оправдались. Значительный пробел в мониторинговых исследованиях с 2000 г. по настоящее время не позволяет адекватно оценить современные условия, в частности на относительном глубоководье – на глубинах свыше 20 м, где развитие гипоксии наиболее устойчиво и продолжительно. Кроме того, условия гипоксии и значительные запасы биогенных веществ могут депонировать в донные отложения, которые при определенных условиях провоцируют развитие гипоксии. За почти 50 - летний период эвтрофирования на шельфе, такие запасы могут быть весьма значительными.

Несмотря на сокращение поступлений биогенных веществ в море, современные данные наблюдений свидетельствуют – «...о внезапном и самом интенсивном, как минимум за последние 5 лет цветении Чёрного моря, которое началось уже в мае и достигло невиданного размаха в июне 2017 г. (спутниковые снимки NASA весной 2017 года) [10]. На снимках отмечена исключительно высокая концентрация планктона у северного и западного побережий Чёрного моря, от дельты Дуная и до устья Днепра. Подтверждением и результатом цветения служит последующий дефицит растворенного кислорода в придонном слое на черноморском шельфе в сентябре 2017г., когда опустившиеся скопления органики на морское дно утилизировали растворенный кислород в придонном слое в процессе минерализации. Распределение растворенного кислорода в придонном слое представлено на (рис. 1), по данным, полученным прямыми измерениями в сентябре 2017г. при выполнении океанографической съемки.

Так, наименьшие концентрации, менее 2,0 – 2,5 мл·л<sup>-1</sup> отмечаются на глубинах свыше 20м, а такие низкие значения соответствуют явно выраженной гипоксии. Обычно исследователи считают критерием начала гипоксии при значениях

растворенного кислорода в воде – менее 3 мл·л<sup>-1</sup>. По сути, во временной динамике и пространственном отображении отражено классическое состояние морской шельфовой экосистемы периода 70-х годов прошлого столетия, когда отмечались фрагментарные области поражения донных биценозов и гибели бентоса. Следовательно, морская экосистема далека от восстановления и актуальность исследований более чем основательная. Судя по изолиниям область распространения гипоксии очень велика и составляет около 200 км<sup>2</sup>.



**Рис. 1.** Распределение растворенного кислорода (а – [мл·л<sup>-1</sup>], б – % насыщения) в придонном слое на северо-западном шельфе Черного моря

В конце летнего – начале осеннего периода при сопутствующих условиях, на относительном глубоководье (глубины свыше 20 м) под сезонным термоклином уже четко выражен дефицит кислорода. Однако, по данным наблюдений можно определить развитие процесса дефицита кислорода, по мере развития (заглубления) термоклина в прибрежном слое начиная с конца мая месяца. Этому способствуют данные наблюдений за сгонным ветром и реакцией морской среды, что проявляется в резких колебаниях температуры и солёности на поверхности моря. Так, за сроки наблюдений в 2017г. явных пиков пониженной температуры и повышенной солёности было 8 (рис. 2). Во время апвеллинга, на протяжении теплого времени года отмечалось наличие сероводорода в прибрежной зоне моря. Таким образом, установлен процесс развития деструкции органического вещества в придонном слое на протяжении всего летнего периода. Этот важный факт, свидетельствует о продолжающемся процессе эвтрофирования черноморских вод и, как следствие, сокращения растворенного кислорода в придонном слое и формировании здесь сероводорода в теплый период года.

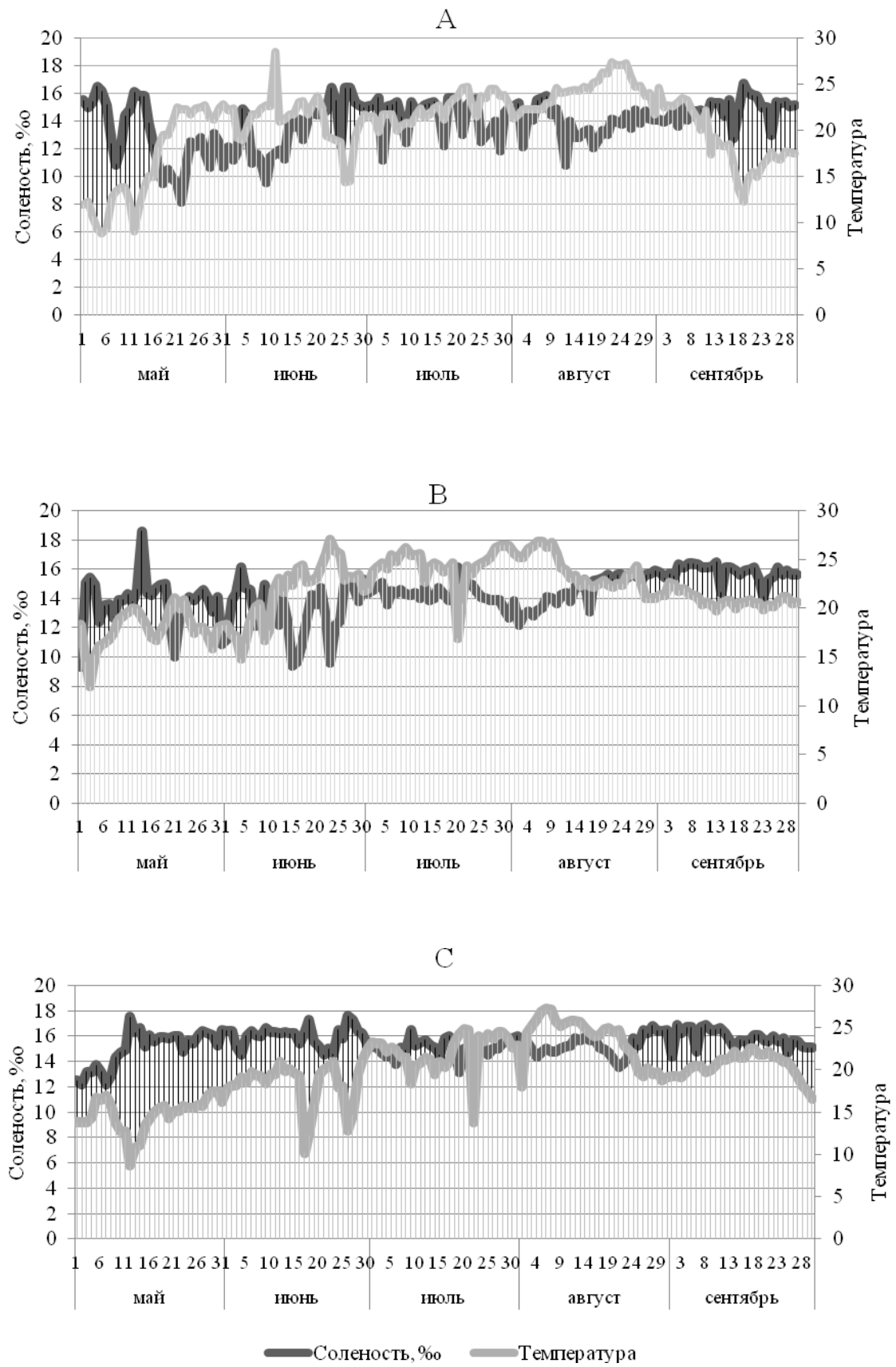


Рис. 2. Среднесуточные значения температуры и солености на поверхности моря (А - май - сентябрь, 2007; В - май - сентябрь, 2012; С - май - сентябрь, 2017).

Если в начале теплого периода года процессы деструкции на мелководье у дна достаточно непродолжительны, то на глубинах свыше 20 м эти процессы устойчивы во времени и приводят к масштабной гибели бентоса по всей области развития процесса гипоксии. На прибрежном мелководье, в начале теплого периода времени, на глубинах от 10 до 15 м, происходит временное развитие термоклина, который лимитирует вертикальный водообмен и, соответственно, поступление кислорода в нижние слои. По мере развития термоклина, который нижней своей границей следует рельефу дна, прибрежное мелководье начинает вновь аэрироваться после смещения термоклина на большие глубины и установления на мелководье гомотермии. За этот короткий период, до 2-х недель, бентосное сообщество организмов, как правило выживает, а на относительном глубоководье, свыше 20 – 25 м, где гипоксия формируется на достаточно длительный период, до 3 – месяцев, с августа по ноябрь, гибель его неизбежна.

Отмеченные выше колебания температуры и солености в поверхностном слое воды у побережья обусловлены горизонтальной адвекцией или перемещением холодной, с повышенной соленостью водной массой придонного слоя и, как отмечено, с пониженным содержанием кислорода и наличием сероводорода. При этом происходит негативное влияние на донные биоценозы, но, как видно из рис. 2, продолжительность этого воздействия невелика, от 2 -3 суток до недели, после чего начинается интенсивный прогрев морской воды и выравнивание значений характеристик. Гораздо серьезней негативный эффект проявляется при сгонах в августе – сентябре, когда интенсивность инсоляции сокращается и вероятность прогрева нижних слоев и выравнивания значений характеристик уменьшается (рис. 2).

На рис. 2 также представлены аналогичные характеристики для теплого периода 2007 и 2012 гг. Так, в 2007 г. и в 2012гг. явных проявлений апвеллинга было – 4, при характерном для шельфовой экосистемы за длительный период наблюдений значении – 5. Следует отметить, что статистические характеристики рассмотренных лет довольно разнятся по средним значениям. Температура в 2007 и 2012 гг. была на 1 – 2 градуса выше, чем в 2017г., (20,7; 21,7 и; 19,8°С соответственно), соленость – ниже (13,9; 14,3 и 15,4 ‰ соответственно). Важно отметить, что гидрологические факторы относятся к необходимым, но недостаточным при формировании придонной гипоксии и сероводорода, доминирующим фактором остается процесс антропогенного эвтрофирования и деструкции органического вещества. Однако, в пространственно локальном масштабе, в прибрежной зоне, практически полностью рекреационной, структура и перестройка гидрофизических полей оказывает решающее значение на продолжительность и распространение негативного влияния дефицита кислорода и сероводорода на бентосные организмы.

### **Выводы**

По данным прямых наблюдений установлено продолжающееся антропогенное эвтрофирование, формирование дефицита кислорода и сероводорода в придонном слое моря на украинской части шельфа Черного моря на современном этапе. Выполненная оценка свидетельствует о негативном состоянии морской среды. С учетом рекреационной ценности побережья, сохранения и восстановления биологических ресурсов шельфа необходимо возобновление регулярных комплексных наблюдений за состоянием морской экосистемы для получения оценки пространственно-временных масштабов негативного воздействия на морскую среду.

### **Литература**

1. Зайцев Ю.П. Северо-западная часть Черного моря, как объект современных гидробиологических исследований // Биология моря. 1977. Вып. 43. С. 3–6.
2. Толмазин Д.М., Острогин А.С., Кудрянь Ф.П., Балашов А.И., Буланая З.Т. Анализ гидрологических и гидрохимических факторов формирования гипоксии в междуречье Дунай – Днестр // Биология моря. 1977. Вып. 43. С. 7–11.
3. Толмазин Д.М. Гидролого-гидрохимическая структура вод в районах гипоксии и заморов в северо-западной части Черного моря // Биология моря. 1977. Вып. 43. С. 12–17.
4. Берлинский Н. А. Механизм формирования придонной гипоксии в шельфовых экосистемах / Н.А. Берлинский // Водные ресурсы. Москва, 1989. №4. С. 112–121.
5. Берлинский Н.А. Динамика техногенного воздействия на природные комплексы устьевой области Дуная [монография] Одесса: Астропринт, 2012. 252 с.
6. Берлинский Н.А. Актуальные проблемы украинского участка Черного моря / Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. 2016. Т. 21, вип. 2. С. 11–23.
7. Берлинский Н.А. Устьевые области как особый географический объект. Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. 2015. Т. 20, вип. 1. С. 41–55.
8. Berlinskyi N, Safranov T. Spatial and temporal variability of pollutants in the bottom sediments in the northwestern part of the Black Sea. Environmental problems. 2016. V.1, N 1. С. 69–73.
9. Берлінський М.А. Екологічні аспекти гідрології північно-західній частині Чорного моря // «Стан та якість природного середовища прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я» за ред. Т.А. Сафранова, А.В. Чугай. Чугуєв: Панов А.М. 2017. 300с.

10. <http://www.neogeography.ru/rus/item/774-tsvetenie-chjornogo-morya-ili-kontsy-v-vodu.html> (электронный ресурс)

#### References

1. Zaytsev Yu.P. (1977). Severo-zapadnaya chast Chernogo morya, kak obekt sovremennykh gidrobiologicheskikh issledovaniy. [North-western part of the Black Sea, as an object of modern hydrobiological research]. *Biology of the sea*, 77, 4, 3-6. [In Russian]
2. Tolmazin D.M., Ostrogin A.S., Kudryan A.P., Balashov A.I., Bulanaya Z.T. (1977). Analiz gidrologicheskikh i gidrokhimicheskikh faktorov formirovaniya gipoksii v mezhdureche Dunay – Dnestr [Analysis of hydrological and hydrochemical factors of hypoxia formation in the Danube-Dniester interfluvium]. *Biology of the sea*, 43, 7–11. [In Russian]
3. Tolmazin D.M. (1977). Gidrologo-gidrokhimicheskaya struktura vod v rayonakh gipoksii i zamorov v severo-zapadnoy chasti Chernogo moray [Hydrological-hydrochemical structure of waters in areas of hypoxia and frosts in the northwestern part of the Black Sea]. *Biology of the sea*, 43, 12–17. [In Russian]
4. Berlinskiy N.A. (1989). Mekhanizm formirovaniya pridonnoy gipoksii v shelfovykh ekosistemakh. [The mechanism of formation of bottom hypoxia in shelf ecosystems]. *Water resources*, Moscow, 4, 112–121. [In Russian]
5. Berlinskiy N.A. (2012). Dinamika tekhnogenogo vozdeystviya na prirodnye komplekсы ustevoy oblasti Dunaya [Dynamics of technogenic impact on natural complexes of the estuary of the Danube]. Odessa : Astroprint, 252s. [In Russian]
6. Berlinskiy N.A. (2016). Aktualnye problemy ukrainskogo uchastka Chernogo moray. [Actual problems of the Ukrainian section of the Black Sea]. *Visnyk ONU. Ser. Geographical and geological science*, 21(2), 11–23. [In Russian]
7. Berlinskij N.A. (2015). Ust'evye oblasti kak osobyj geograficheskij ob'ekt. *Visnik ONU. Ser.: Geografichni ta geologichni nauki*, 20(1), 41–55. [In Russian]
8. Berlinskiy N, Safranov T. (2016). Spatial and temporal variability of pollutants in the bottom sediments in the northwestern part of the Black Sea. *Environmental problems*, 1(1), 69–73.
9. Berlinskiy N.A. (2017). Ekologichni aspekti gidrologii pivnichno-zahidnij chastini Chornogo morja // Stan ta yakist' prirodnogo seredovishha priberezhnoi zoni Pivnichno-Zahidnogo Prichornomor'ja. za red. T.A. Safranova, A.V. Chugaj. Chuguev: Panov A.M., 300s. [In Ukrainian]
10. <http://www.neogeography.ru/rus/item/774-tsvetenie-chjornogo-morya-ili-kontsy-v-vdu.html> (electronic resource)