

Особенности пространственного распределения кислорода в водах приустьевоего взморья Дуная в 1997 – 2010 годах

Представлены результаты анализа пространственного распределения кислорода в водах приустьевоего района Дуная, выполненного по данным экспедиционных исследований, проведенных Морским гидрофизическим институтом НАН Украины в 1997 – 2010 гг. Показано, что области поверхностных вод с соленостью менее 16,5‰, независимо от гидрологического сезона, более насыщены кислородом, чем воды с более высокой соленостью. Области пониженного содержания кислорода в придонных слоях возникают в устойчиво стратифицированных водах, когда одновременно присутствуют термоклин и галоклин. Апвеллинг придонных вод в этом районе может вызвать значительное уменьшение насыщения кислородом поверхностных вод.

Ключевые слова: приустьевоего район Дуная, гидрологические особенности, кислородный режим, гипоксия, натурные данные 1997 – 2010 гг.

Введение. Приустьевоего взморье Дуная является, возможно, одним из самых сложных для исследования районов Черного моря. Он подвержен влиянию не только стока Дуная, собирающего отходы промышленности и жизнедеятельности десяти государств Европы, но также стоков Днепра и Днестра, и поэтому испытывает самую сильную в Черном море антропогенную нагрузку. Поступление значительного количества биогенных элементов с пресноводным стоком обеспечивает в этом районе обильную кормовую базу для фитопланктона в течение всего года.

В весенне-осенний период в приустьевом взморье Дуная в поверхностном слое вод идет активное образование кислорода в процессе фотосинтеза, а в придонном – кислород активно расходуется на окисление осевшего взвешенного органического вещества. Процесс фотосинтеза в придонном слое практически прекращается вследствие высокой концентрации аллохтонной взвеси в поверхностных водах, снижающей прозрачность воды и препятствующей проникновению солнечного света.

Устойчивое распреснение поверхностного слоя приводит к высокой стратификации вод, подавляющей вертикальный турбулентный обмен кислородом. А в придонном слое в результате интенсивного развития процессов деструкции органического вещества происходит активное потребление кислорода. Таким образом, в летнее время в приустьевом взморье Дуная существуют эти обе причины возникновения анаэробных условий в морских экосистемах. Вследствие этого становится возможным такое опасное для экологии явление, как гипоксия в придонных водах, которое в последнее время ре-

гулярно наблюдалось в приустьевом районе Дуная и неоднократно обсуждалось в литературе [1 – 9].

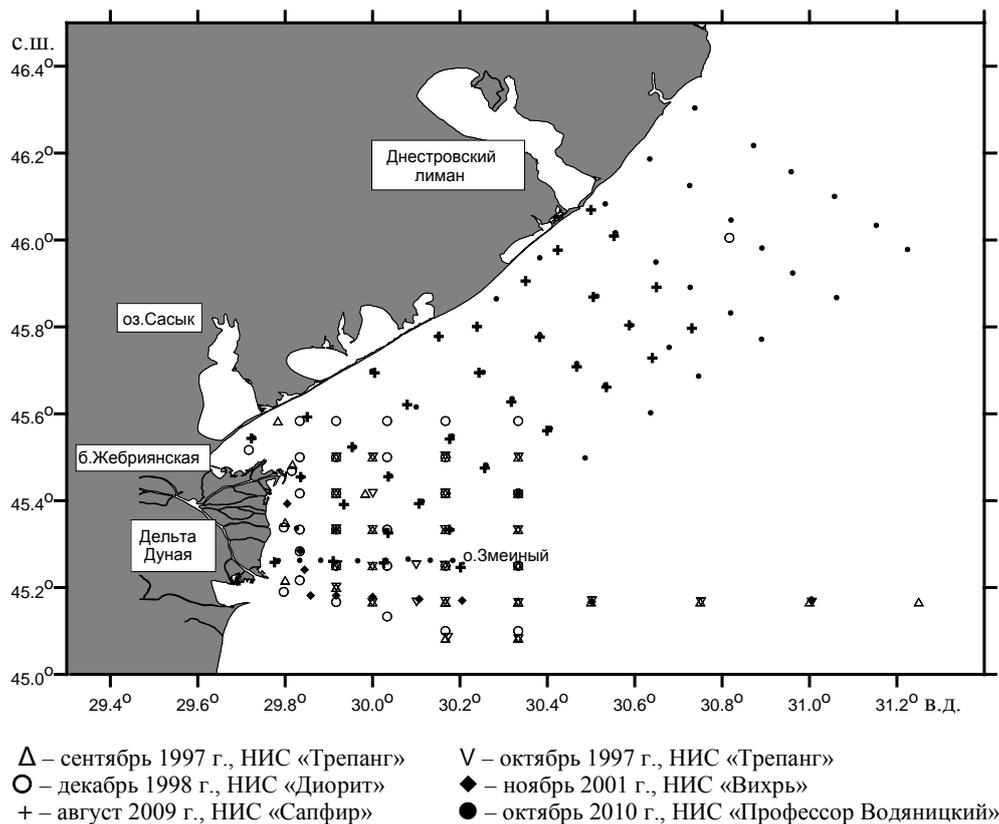
Динамика вод в этом районе, и особенно в прибрежной зоне, определяется ветровыми течениями, которые очень быстро изменяют направление, приспособившись к изменениям поля ветра. Гидрохимия вод здесь относительно проста лишь в зимний период, когда струя Основного Черноморского течения захватывает весь северо-западный шельф и «вентилирует» его, отводя воды стока Дуная на юг. Во все остальные сезоны биогенные элементы, поступающие в значительных количествах со стоком Дуная, остаются в районе приустьевого взморья и прилегающей к нему акватории [10].

Следствием всех этих особенностей является чрезвычайно сложный кислородный режим этого района, ранее отмеченный в 1980-х годах и подтвержденный исследованиями 1990-х, с диапазоном от почти трехкратного переизбытка кислородом (170 – 280% насыщения по данным статьи [5]) поверхностных вод до гипоксии в придонных.

Распределение растворенного кислорода в водах – основной гидрохимический параметр, характеризующий экологическое состояние системы. Ранее нами было исследовано пространственное распределение кислорода в приустьевом взморье Дуная в ситуациях, вызванных сгонными и нагонными ветрами осенью 1997 г. [11]. На фоне этих результатов в данной работе рассматриваются особенности пространственного распределения кислорода по материалам натурных измерений, проведенных Морским гидрофизическим институтом НАН Украины в 1997 – 2010 гг.

Материалы и методы. Исследования состояния вод в приустьевом районе Дуная проводились Морским гидрофизическим институтом НАН Украины: в сентябре (102) и октябре (58) 1997 г. на НИС «Трепанг», в декабре 1998 г. (98) на НИС «Диорит», в ноябре 2001 г. (41) на НИС «Вихрь», в августе 2009 г. (154) на НИС «Сапфир» и октябре 2010 г. (112) на НИС «Профессор Водяницкий». После каждого периода исследований в скобках приведено количество выполненных определений концентрации кислорода методом Винклера. Гидрохимические наблюдения были проведены по сетке станций, представленной на рис. 1. Более подробная схема станций для отдельных рейсов приводится на рисунках, демонстрирующих пространственное распределение кислорода.

Графики вертикального распределения кислорода были получены с использованием информации датчика, позволяющего определять содержание кислорода через каждые 0,5 м по вертикали. Датчик кислорода ПКЭ-101 располагался на шельфовом измерительном комплексе, оснащенный также измерительными каналами температуры, электропроводности и давления [12].



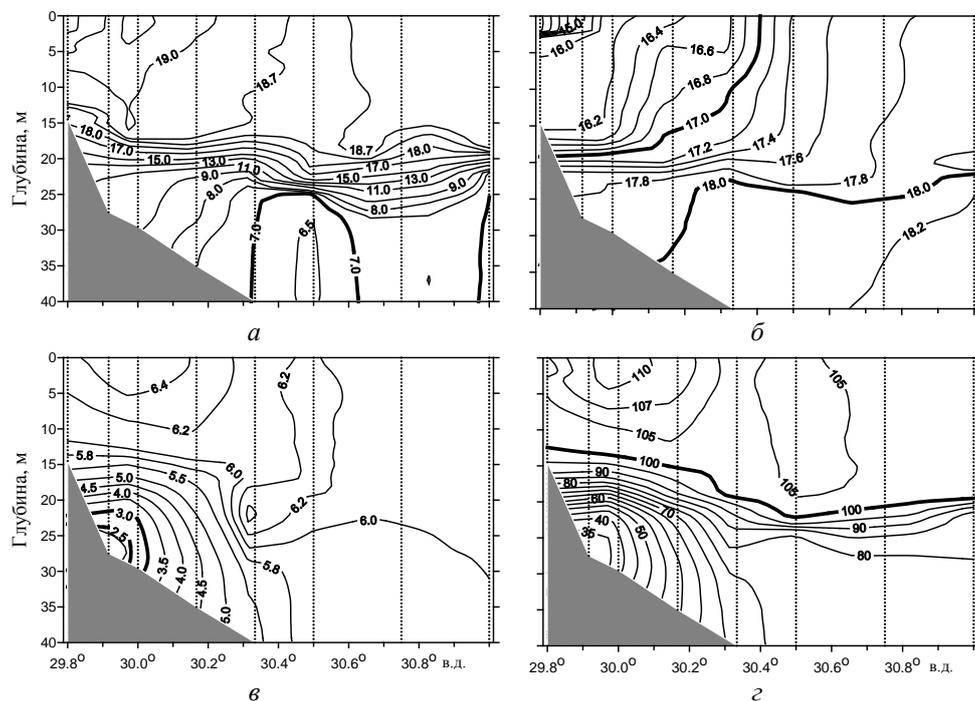
Р и с. 1. Схема станций, выполненных МГИ НАН Украины в водах приустьевом взморья Дуная

Результаты и обсуждение. В Черном море расположение изогалины 16‰ принято считать контуром зоны трансформированных речных вод в поверхностном слое северо-западной части [13]. Причем участки моря, оконтуренные изогалинами 14 – 16‰, в весенне-летний период характеризуются в поверхностном слое наибольшими концентрациями кислорода и величинами рН, что позволяет отнести эти участки к зонам наиболее активного фотосинтеза на северо-западном шельфе [14]. На основе полученных данных рассмотрим, как величина солености в приустьевом районе Дуная сказывается на насыщении вод кислородом.

Сентябрь 1997 г. Особенности распределения кислорода в поверхностных и придонных водах взморья Дуная в сентябре и октябре 1997 г. подробно изложены в статье [11]. В предлагаемой работе обсуждаются только наиболее значимые результаты наблюдений, в частности, вертикальное распределение температуры, солености и кислорода на разрезе по 45°10' с. ш. (рис. 2, а – г).

В поверхностных водах шельфа область повышенного (более чем 105%) насыщения вод кислородом проходила примерно по изогалине 16,5‰, тогда как изолиния 100%-ного насыщения располагалась ниже над пикноклином (почти горизонтально на глубинах 15 – 20 м). Эти же особенности были от-

мечены и на других разрезах, следовательно, активный по сравнению с фоновым фотосинтез кислорода, ведущий к повышенному насыщению вод кислородом, был характерен только для областей, занятых трансформированными водами стока Дуная с соленостью не более 16,5‰.



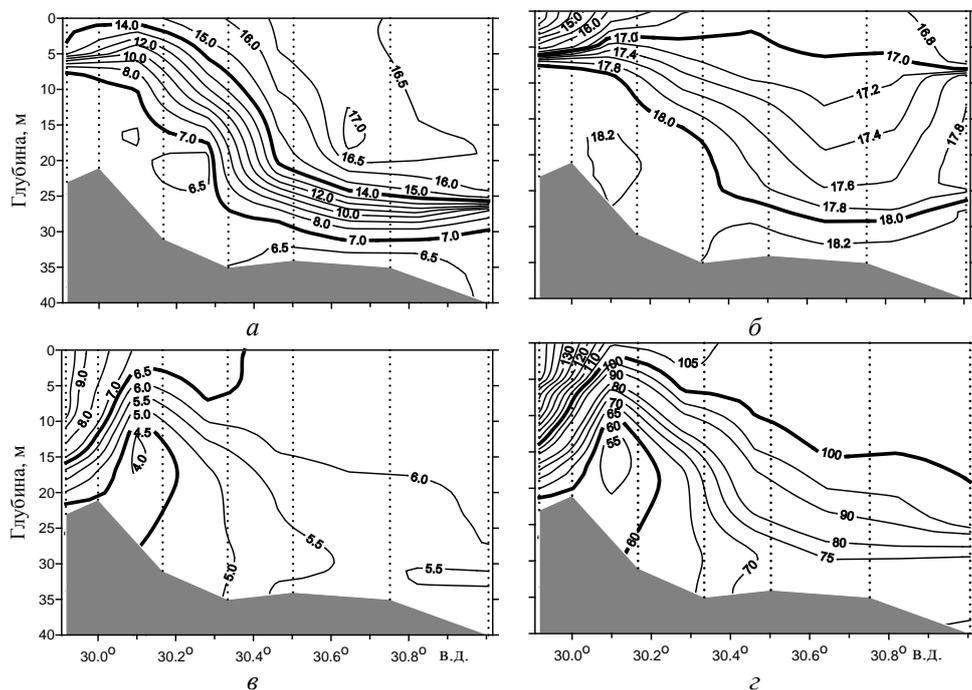
Р и с. 2. Вертикальное распределение температуры, °С (а), солености, ‰ (б), содержания кислорода, мл/л (в) и насыщения вод кислородом, % (г) на разрезе 45°10' с. ш. в сентябре 1997 г.

В сентябре в прилегающей к берегу акватории до меридиана 30,4° в.д. на глубинах 15 – 25 м наблюдались мощный термоклин с уменьшением температуры от 18,5 до 7,5°С и галоклин с повышением солености от 16,2 до 17,8‰ (рис. 2, а, б). Как раз под этой областью, где происходило «наложение» галоклина и термоклина, располагался район пониженного (менее 70%) насыщения кислородом придонных вод на глубинах от 20 до 40 м (рис. 2, в, г). Далее при продвижении к востоку термоклин не изменялся, а галоклин ослабевал, что привело к увеличению степени насыщения придонных вод кислородом до 80%.

Можно предположить, что именно одновременное присутствие термоклина и галоклина привело к образованию слоя придонной гипоксии толщиной 1 – 2 м с насыщением кислородом менее 30% на глубине 25 – 30 м в западной части разреза.

Октябрь 1997 г. В октябре 1997 г. продолжительный северо-западный ветер привел к распространению поверхностных вод на восток и вызвал мощный вдольбереговой апвеллинг (более подробно см. работу [15]). Вследствие этого поверхностные воды всего исследованного полигона представля-

ли собой не полностью трансформированные воды стока Дуная с температурой выше 14°C и соленостью менее 17‰, тогда как придонный горизонт был занят черноморскими водами с температурой 7°C и соленостью более 18‰ (рис. 3, а, б).



Р и с. 3. Вертикальное распределение температуры, °С (а), солености, ‰ (б), содержания кислорода, мл/л (в) и насыщения вод кислородом, % (г) на разрезе 45°10' с. ш. в октябре 1997 г.

Вследствие апвеллинга изогалина 18‰, изотерма 7°C (и приблизительно соответствующая им изопикна относительной плотности $\sigma_t = 14,2 \text{ кг/м}^3$), в сентябре наблюдавшиеся только к востоку от 30,4° в.д. (рис. 2, а, б), в октябре располагались в придонных водах всего полигона. На востоке они остались на глубинах около 25 – 30 м, а в западной части разреза (расстояние около 6,5 мили от устья Дуная) поднялись до глубины 8 м, при этом толщина слоя придонных черноморских вод в западной части разреза достигала 10 – 15 м.

Результатом изменений в вертикальной структуре вод было образование на акватории от устья Дуная до меридиана 30,3° в.д. тонкого (5-метрового) поверхностного слоя вод с соленостью менее 16,5‰, содержащего значительно больше кислорода (более 6,5 мл/л), чем окружающие его воды, степень насыщения превышала 105% (рис. 3, в, г). Тогда как насыщение кислородом поверхностных вод открытой части моря было на уровне 101 – 102%, изолиния 100%-ного насыщения вод кислородом пролегла примерно по изогалине 17,2‰ и изотерме 15°C.

Более важные изменения произошли в придонных водах. Апвеллинг переместил к поверхности обедненные кислородом придонные воды, и содер-

жание кислорода в придонных водах в районе около 29,9° в. д. в октябре поднялось до 4,5 мл/л, а степень насыщения повысилась до 60% (рис. 2, в, з). Однако такое перемещение к поверхности близких к состоянию гипоксии придонных вод заметно понизило насыщение кислородом поверхностного слоя вод, в частности, изолиния 100%-ного насыщения, располагавшаяся в сентябре на глубине около 15 м, в октябре поднялась почти на поверхность. Толщина слоя поверхностных вод, насыщенных кислородом на 100% и более, стала составлять в районе 30,1° в. д. всего около 3 – 4 м.

В результате подъема придонных вод в поверхностном слое произошло не только понижение насыщения кислородом, но и увеличение содержания биогенных элементов [15], а также, без сомнения, повышение концентраций других продуктов минерализации осевшего органического вещества. Подобные изменения гидрохимического состава поверхностных вод могли крайне негативно повлиять на состояние экосистемы: будь, например, в сентябре придонные воды в районе 29,9° в. д. в состоянии гипоксии, произошедший в октябре апвеллинг вполне мог вызвать замор. Следовательно, можно заключить, что апвеллинг, приносящий в поверхностный слой биогенные элементы и в «чистых» участках шельфа только благоприятствующий развитию процессов фотосинтеза, в таком сложном по гидрохимии районе, как приустьевое взморье Дуная, может вызвать крайне негативные последствия для экосистемы.

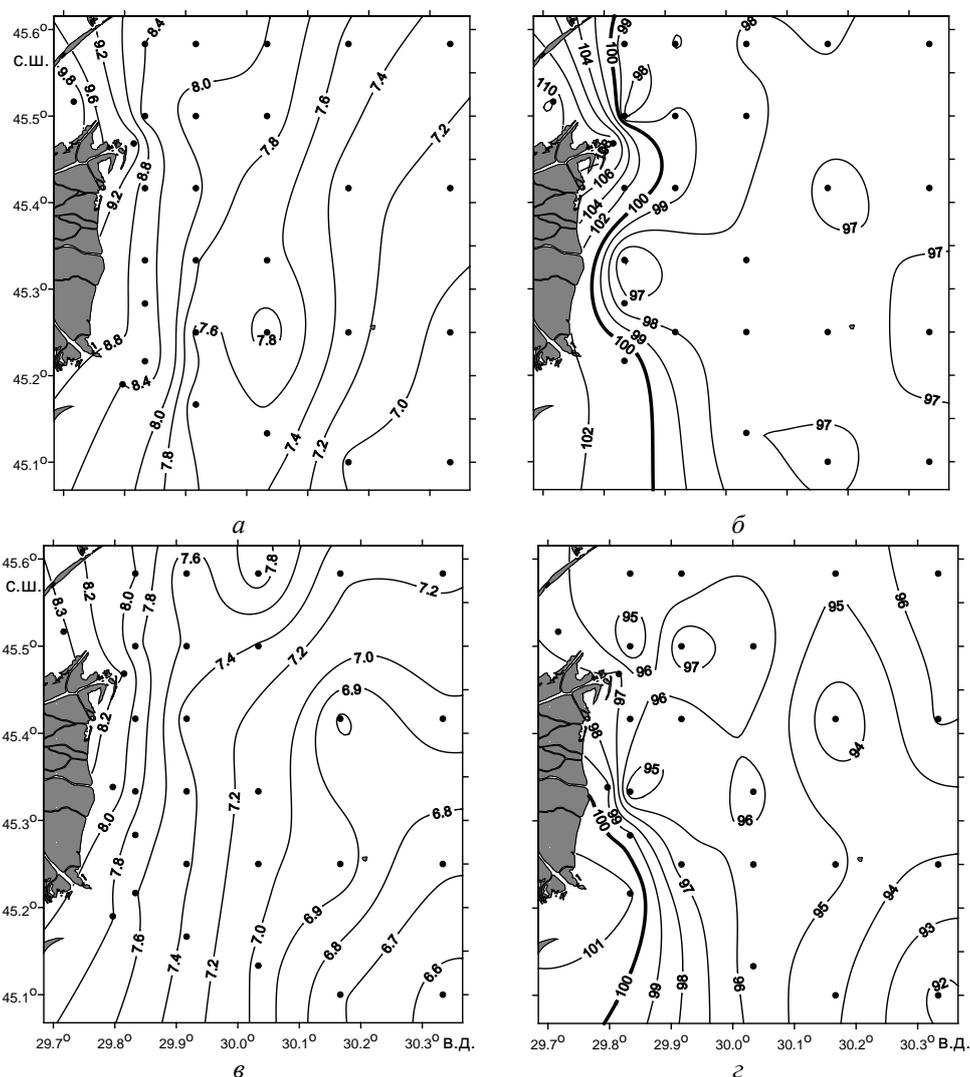
По данным обеих съемок 1997 г. было сложно оценить, какой из параметров – термоклин или галоклин – оказывает более заметное влияние на вертикальный обмен кислородом и вследствие этого на степень насыщения придонных вод кислородом. Высокий градиент насыщения вод кислородом возникал на тех глубинах, где начинали «работать» вместе градиенты температуры и солености, а они наблюдались примерно на одних и тех же горизонтах, что, вообще говоря, и должно наблюдаться в приустьевом районе, в который поступает большой объем пресных вод.

Декабрь 1998 г. В декабре 1998 г. соленость поверхностных вод постепенно возрастала по мере распространения от устья на восток от 3 – 4 до 17‰, а температура повышалась от 2°C возле береговой черты до 7,5°C на востоке полигона (30,3° в. д.). Такое распределение солености и температуры привело к монотонному уменьшению содержания растворенного кислорода по мере удаления от берега от 9,2 до 7,0 мл/л (рис. 4, а).

Степень насыщения поверхностных вод кислородом на большей части полигона составляла 97 – 98% (рис. 4, б), что характерно для вод открытой части шельфа в зимний период. К западу от меридиана 30,0° в. д., по которому проходили изолиния фонового 97 – 98%-ного насыщения (эту степень насыщения, видимо, следует считать типичной для поверхностных шельфовых вод в зимний период) и изогалина 16‰, степень насыщения поверхностных вод кислородом была выше фонового, постепенно возрастала до 100% на расстоянии 2 – 3 миль от берега и достигала 102% у береговой черты.

В придонных водах полигона по мере удаления от берега температура и соленость возрастали от 4 до 9°C и от 14 до 17,5‰ соответственно, а содержание растворенного кислорода уменьшалось от 8,2 до 6,9 мл/л (рис. 4, в).

Причина такого понижения содержания кислорода была определенно связана с гидрологическими (повышением температуры воды), а не биохимическими процессами, поскольку насыщение придонных вод кислородом на большей части полигона было весьма однородно — 95–97% (рис. 4, з).



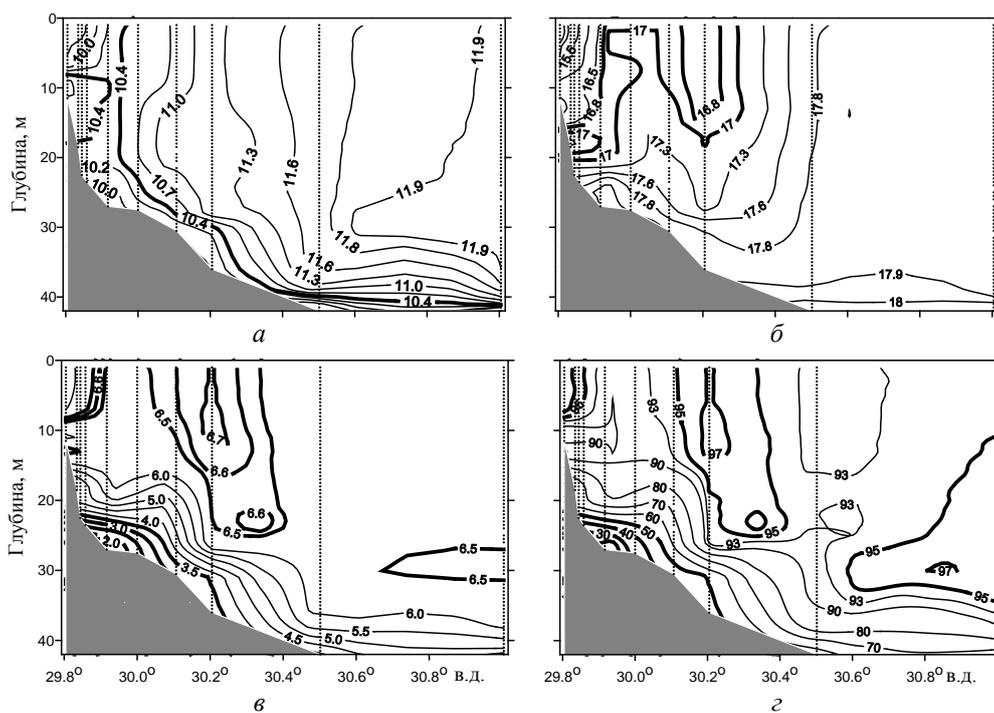
Р и с. 4. Распределение содержания кислорода, мл/л (а, в) и насыщения вод кислородом, % (б, з) на горизонте 1 м (а, б) и в придонном слое (в, з) в приустьевом районе Дуная в декабре 1998 г. (точки – схема станций)

Область с насыщением кислородом более чем 100% выделялась только в узкой мелководной вдольбереговой полосе на юго-западе, где соленость придонных вод не превышала 16,5‰. То есть и в этом случае более высокое по сравнению с фоновым содержание кислорода наблюдалось в водах с соленостью менее 16–16,5‰.

Рассмотренная выше ситуация в приустьевом районе Дуная, когда насыщение кислородом поверхностных и придонных вод примерно одинаково, возможна, наверное, только в зимний период, когда вследствие низкой температуры вод ослаблены как процессы фотосинтеза в поверхностных водах, так и процессы минерализации в придонных.

Отдельно следует рассмотреть распределение кислорода в мелководной (глубины до 10 м) Жебриянской бухте. При том, что температура поверхностных вод в этой бухте была всего 1,5 – 3,5°C, процессы фотосинтеза при столь низких температурах не прекратились и обеспечили пересыщение вод кислородом, достигавшее 110%. Изолиния 100%-ного насыщения кислородом в этом районе проходила примерно по изогалине 15‰, а изолиния фоновая 98%-ного насыщения кислородом – по изогалине 16,5‰. Таким образом, в Жебриянской бухте и прилегающей к ней акватории в поверхностных водах наблюдался особый гидрохимический режим, что ранее было отмечено в работе [16].

Ноябрь 2001 г. Съемке по разрезу 45°10' с. ш. в ноябре 2001 г. предшествовал апвеллинг, возникший в результате длительного северо-западного ветра [17]. Вследствие этого охлажденные распресненные воды с температурой менее 11,3°C и соленостью менее 17‰ заняли западную часть разреза и распространились в 20-метровой толще вод примерно до меридиана 30,3° в. д. (рис. 5, а, б).



Р и с. 5. Вертикальное распределение температуры, °С (а), солености, ‰ (б), содержания кислорода, мл/л (в) и насыщения вод кислородом, % (з) на разрезе 45°10' с. ш. 22 ноября 2001 г.

Анализируя вертикальное положение изотермы 10,4°C до глубины 20 м и ее дальнейшее расположение в придонных водах до восточной границы съемки, можно было бы предположить, что в данном случае мы наблюдаем процесс опускания и распространения по придонному горизонту охлажденных прибрежных вод, т. е. начальную фазу формирования холодного промежуточного слоя.

Подобное предположение, однако, приходится отвергнуть, так как данные о вертикальном распределении плотности (рисунок не приводится) показывают, что плотность распресненных вод у берега, не превышавшая величину относительной плотности $\sigma_t = 13,0 \text{ кг/м}^3$, недостаточна для осуществления такого процесса, на что ранее было указано в статье [6].

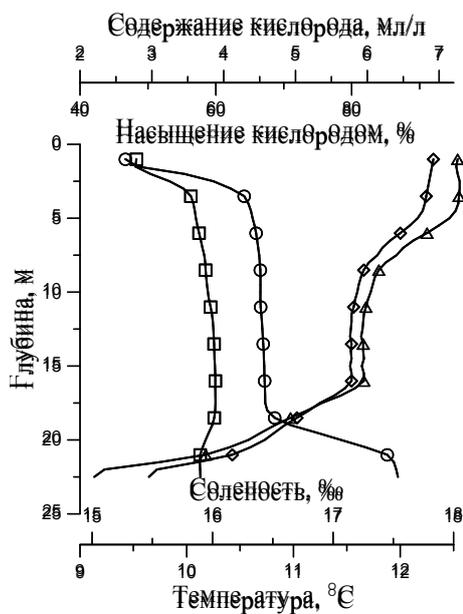
В вертикальном распределении кислорода на разрезе в верхней 20-метровой толще вод наблюдалась относительная однородность с концентрацией кислорода 6,5 мл/л и степенью насыщения около 93 – 95% (рис. 5, в, з). В центре разреза на 30,2° в. д. возникла линза вод с чуть более высоким содержанием (> 6,5 мл/л) и степенью насыщения кислородом (> 95%), контуры которой приблизительно совпадали с изогалиной 17,4‰. Самое высокое содержание кислорода более 6,7 мл/л и степень насыщения вод кислородом более 97% наблюдались в ядре этой линзы, контуры которой проходили по изогалине 16,6‰.

Следует также отметить, что степень насыщения поверхностных вод кислородом впервые на всем полигоне оказалась менее 100%.

В придонных водах на значительной части северо-западного шельфа 3 – 5-метровый слой, независимо от глубины места, был насыщен кислородом не более чем на 50% (рис. 5, з), что подтверждает результаты наблюдений из работы [9]. Более того, на меридиане 29,9° в.д. на глубине 26 – 28 м существовала небольшая зона гипоксии с насыщением кислородом менее 30% (образовавшаяся, видимо, в летний период), над которой не было обнаружено значительных градиентов солености или температуры, сравнимых с рассмотренными ранее.

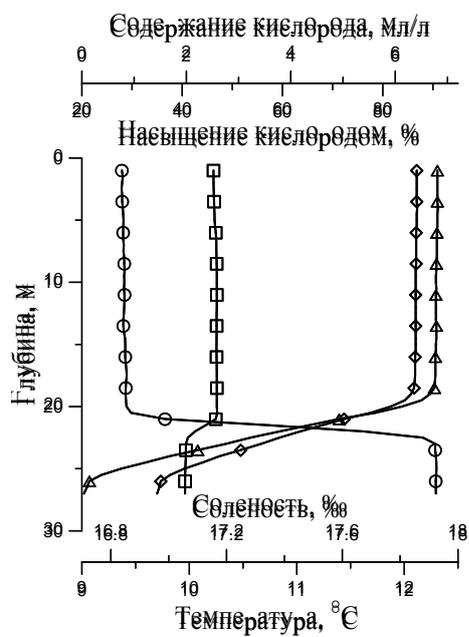
Тем не менее анализ вертикальных профилей солености, температуры и концентрации кислорода показал, что градиент содержания кислорода на всех станциях возникает на глубинах, на которых изменяются величины солености и температуры (рис. 6), тогда как в поверхностном слое с постоянными температурой и соленостью содержание кислорода оставалось также постоянным. Отсюда следует заключить, что в осенний период охлаждения вод и разрушения термоклина гипоксия в придонных водах северо-западного шельфа сохраняется при условии стратификации по температуре и солености, хотя очень высокие градиенты необязательны.

Происхождение 3 – 5-метрового слоя придонных вод с пониженным содержанием кислорода может быть объяснено не только процессами минерализации органического вещества, но также и проникновением на шельф обедненных кислородом вод глубоководной части моря [6, 7, 18], что, собственно, и наблюдалось ранее в октябре 1997 г. (см. выше).



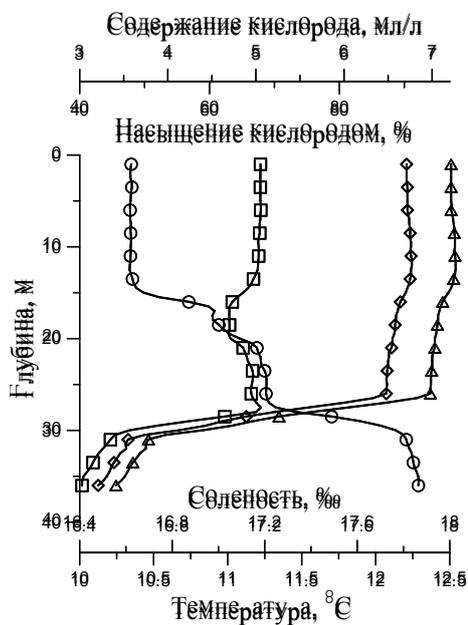
4.5 мили

a



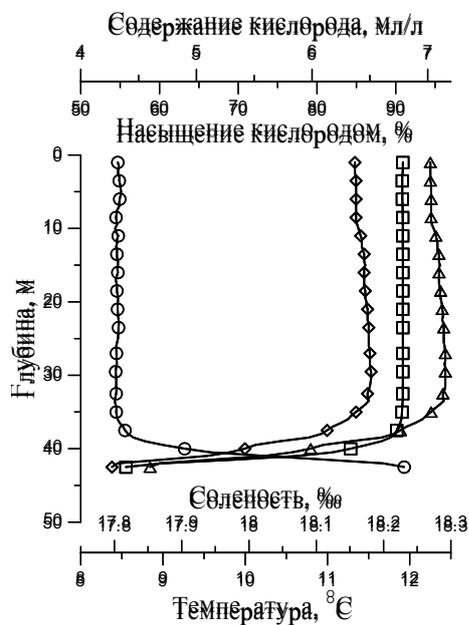
7.5 мили

б



20 миль

в

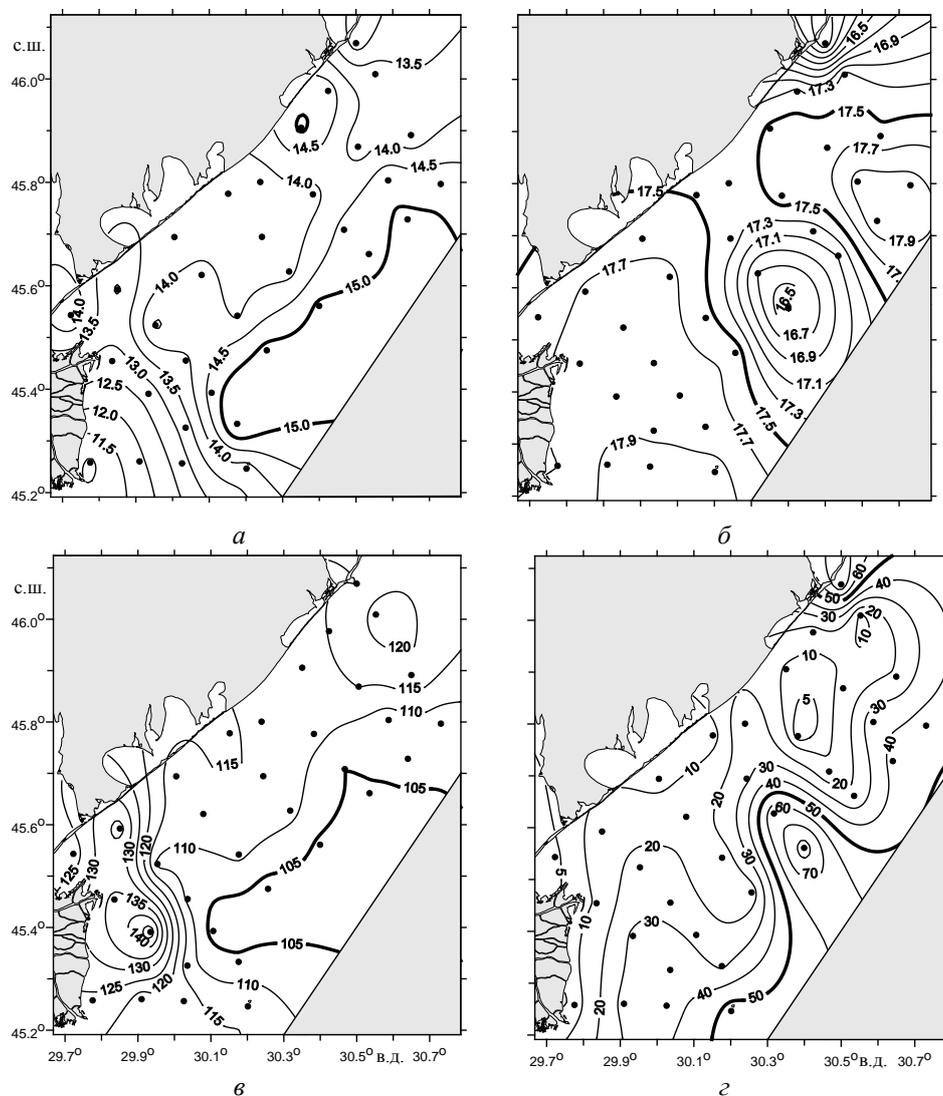


50 миль

г

Р и с. 6. Вертикальные распределения температуры, °C (□), солёности, ‰ (○), содержания кислорода, мл/л (◇) и насыщения вод кислородом, % (△) 22 ноября 2001 г. на разрезе 45°10' с. ш. на расстояниях от берега: *a* – 4,5 мили; *б* – 7,5 мили; *в* – 20 миль, *г* – 50 миль

Август 2009 г. В августе 2009 г. соленость поверхностных вод всей исследованной акватории приустьевого района Дуная не превышала 15‰ (рис. 7, а), а температура находилась в пределах 23 – 25°C. При этом, судя по расположению изогалин возле устья, основной поток пресных вод поступал по Стамбульскому гирлу, а не по Очаковскому, что совпадает с данными по изменению стока в гирлах Дуная в последнее время [19].



Р и с. 7. Распределение солености, ‰ на поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах и насыщения вод кислородом, % на поверхностном (в) и придонном (г) горизонтах в августе 2009 г. (точки – схема станций)

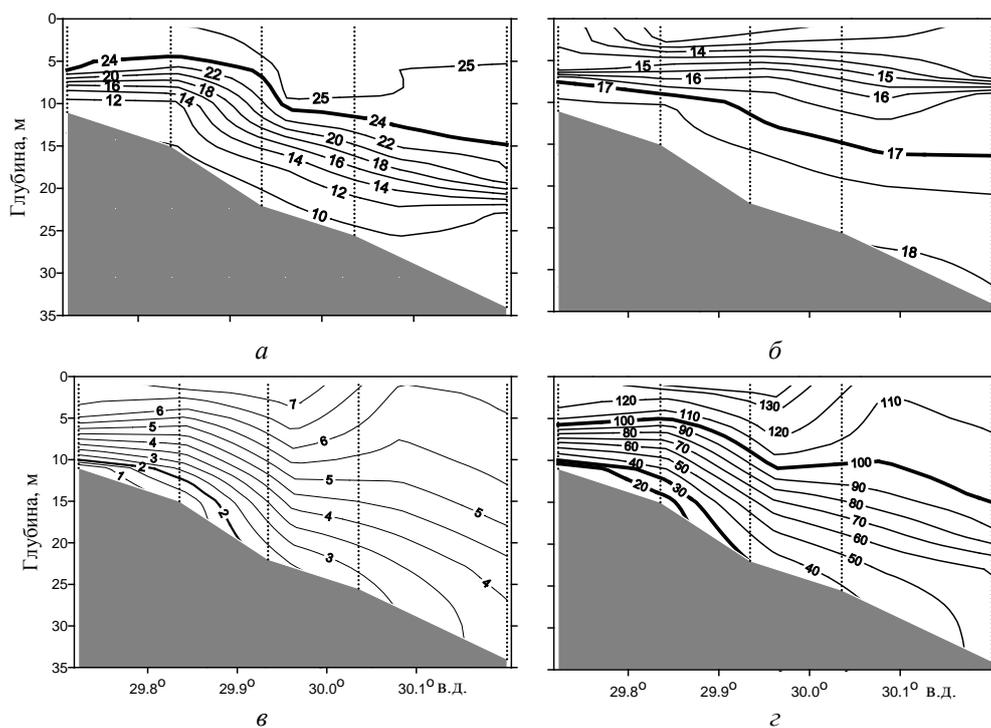
Такое высокое распреснение теплых поверхностных вод привело к тому, что на всем полигоне степень насыщения вод кислородом была в пределах

105 – 148% (рис. 7, в). Подчеркнем, что в это же самое время в экологически чистом районе к югу от м.Херсонес в поверхностном 20-метровом слое шельфовых вод примерно той же температуры наблюдалось насыщение кислородом 103 – 104%.

Область максимального насыщения (до 148%) располагалась напротив устья Дуная на расстоянии 8 миль от берега, другая область с насыщением вод кислородом выше 120% наблюдалась напротив Днестровского лимана и возникла, вероятнее всего, как результат фотосинтеза, обусловленного поступлением биогенных элементов со стоком Днестра.

Придонные воды исследованной акватории в августе 2009 г. представляли собой несколько трансформированные воды открытой части шельфа с соленостью выше 17,5‰ (рис. 7, б) и температурой 9 – 12°C. Только на возвышении (глубины менее 20 м) в восточной части полигона имела линза распресненных вод с соленостью 16,7‰ и температурой 20°C у дна.

На этом возвышении степень насыщения кислородом придонных вод достигала 70 – 80%, тогда как на остальной акватории она не превышала 50%, монотонно уменьшаясь по мере приближения к берегу и достигая минимума 5% в Жебриянской бухте (рис. 7, з). Таким образом, практически на всей вдольбереговой части акватории в придонных водах на глубинах 5 – 15 м наблюдалось состояние гипоксии.



Р и с. 8. Вертикальное распределение температуры, °С (а), солености, ‰ (б), содержания кислорода, мл/л (в) и насыщения вод кислородом, % (г) на разрезе от оз. Сасык до о. Змеиный

На всем протяжении разреза от оз. Сасык до о. Змеиный отмечалась четкая стратификация водной толщи по температуре и солености (рис. 8, а, б), что в итоге привело и к стратификации по содержанию и насыщению вод кислородом (рис. 8, в, г). Изогалине 17‰ соответствовала изолиния примерно 90%-ного насыщения кислородом, тогда как изолиния 100%-ного насыщения была расположена выше и соответствовала примерно изогалине 16,5‰. Приблизительно такое же соответствие степени распреснения вод и насыщения их кислородом наблюдалось и на других разрезах перпендикулярно берегу.

Таким образом, активный фотосинтез, вызвавший пересыщение вод кислородом в приустьевом районе в августе 2009 г. происходил только в поверхностном слое вод, распресненных стоком Дуная до солености 16 – 16,5‰.

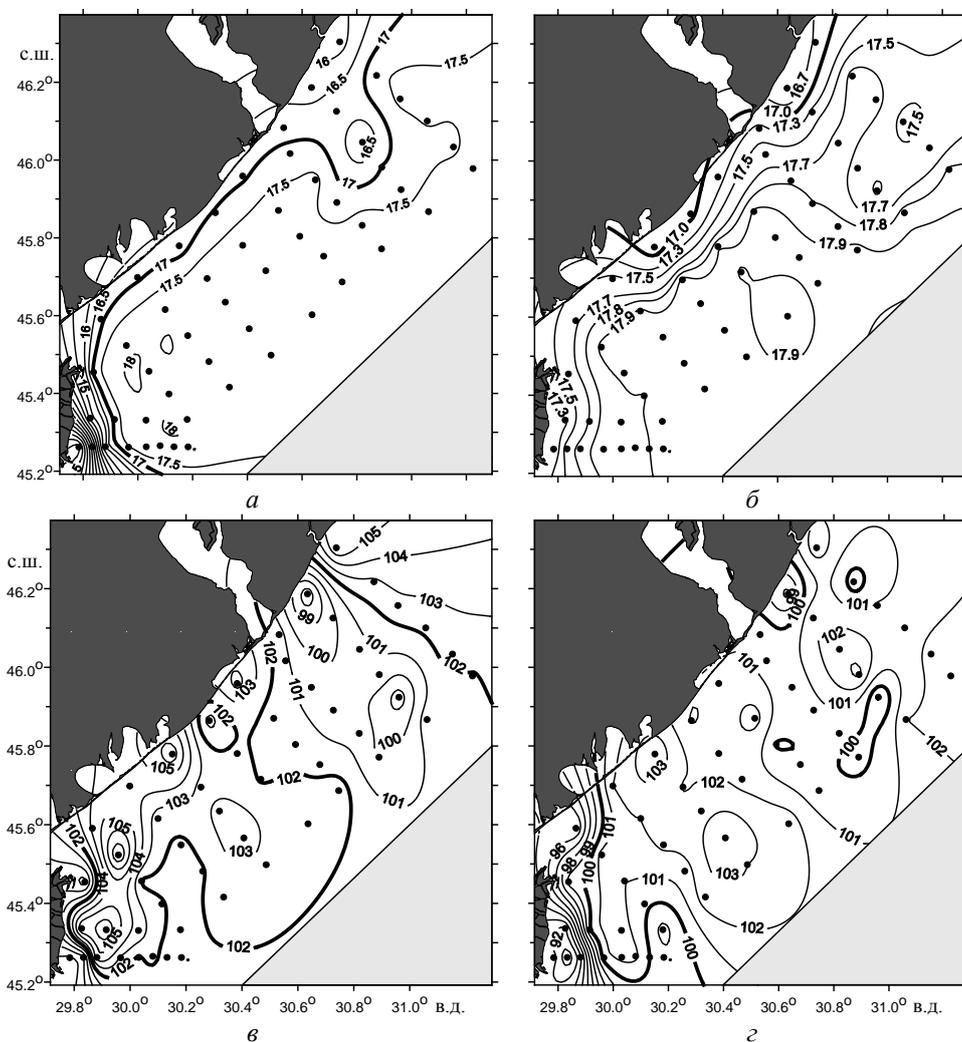
В придонных водах с более высокой соленостью и низкой температурой неизменно наблюдался дефицит кислорода, который в прибрежной зоне приводил к гипоксии, распространявшейся примерно на 8 – 10 миль от береговой черты.

Октябрь 2010 г. В октябре 2010 г. почти весь полигон по всей толще был заполнен шельфовыми водами с относительно высокой соленостью (более 17‰) (рис. 9, а, б), что привело к очень похожим распределениям степени насыщения кислородом в поверхностных и придонных водах (рис. 9, в, г). Различия в этих распределениях наблюдались только в прибрежных районах, где в верхнем 5-метровом слое ощущалось влияние речного стока [20].

Именно для вдольбереговых областей, в водах которых присутствовал трансформированный речной сток, насыщение кислородом поверхностных вод было несколько выше (105 – 106%), а придонных – несколько ниже (менее 100%), чем насыщение на большей части полигона (100 – 102%). При этом температура пересыщенных кислородом распресненных вод, получивших с речным стоком значительное количество биогенных элементов, оказалась на 3 – 4°C ниже, чем в мористой части полигона. Следовательно, на интенсивность процессов фотосинтеза большее влияние оказывает присутствие биогенных элементов, а не температура воды. Ранее такой же вывод был сделан при наблюдении пересыщения поверхностных вод кислородом в Жебрианской бухте в декабре 1998 г.

Следует также отметить редкую для взморья Дуная ситуацию, когда насыщение кислородом придонных вод почти всего полигона превышало 100%, причем изолиния 100%-ного насыщения располагалась всего в 2 милях от устья. Возникла такая ситуация вследствие совместного действия течений, одно из которых узким потоком шло вдоль берега на юго-запад и не позволяло распресненным водам распространяться на север, тогда как генеральный поток восточнее меридиана 30° в. д. следовал на северо-запад и принес на полигон воды открытой части шельфа.

Такая «вентиляция» всей толщи вод приустьевых района привела к тому, что на вековом разрезе по $45^{\circ}10'$ с. ш. с учащенной (через 1,5 – 2 мили) сеткой станций не было выявлено ожидавшихся областей с явным дефицитом кислорода, отмеченных выше (рис. 2, *з*; 5, *з*; 8, *з*). Насыщение придонных вод кислородом на разрезе в самой «критической» точке на 20-метровой глубине в районе $29,8 - 29,9^{\circ}$ в. д. было выше 90%.



Р и с. 9. Распределение солёности, ‰ на поверхностном (*а*) и придонном (*б*) горизонтах и насыщения вод кислородом, ‰ на поверхностном (*в*) и придонном (*г*) горизонтах в октябре 2010 г. (точки – схема станций)

На расстоянии 8 – 10 миль от берега на разрезе на глубинах 5 – 15 м наблюдалась область с повышенным (более 103%) насыщением кислородом. Восточная граница этой области проходила примерно по меридиану 30° в. д.,

т. е. область располагалась в водах с соленостью выше 17‰, а не 16 – 16,5‰, как отмечалось ранее. Подобная ситуация возникла, вероятнее всего, вследствие того, что на разрезе по 45°10' с. ш. располагалась пришедшая с севера линза трансформированного стока Днестра или вод Днепро-Бугского лимана.

Если не принимать во внимание сезонность, то картины распределения солености и концентрации кислорода в августе 2009 г. и октябре 2010 г. контрастно дополняют друг друга. В августе весь полигон заполнен распресненными водами – и наблюдается пересыщение кислородом на поверхности и гипоксия на дне, в октябре вся толща заполнена водами шельфа – и отмечается однородное распределение по вертикали солености, температуры и растворенного кислорода.

Выводы.

1. Оценивая насыщение кислородом поверхностного слоя вод в приустьевом районе Дуная в различные гидрологические сезоны, можно отметить, что в весенне-летний период (по октябрь) его насыщение значительно более 100%, т. е. море отдает кислород в атмосферу. В осенне-зимний период (начиная с ноября) насыщенность поверхностного слоя вод кислородом менее 100%, и море поглощает кислород из атмосферы. Однако в отдельных частях приустьевого взморья (в частности в Жебриянской бухте) даже при очень низкой температуре 1,5 – 3,5°C поверхностные воды могут быть источником кислорода.

2. Распресненные прибрежные воды с соленостью менее 16 – 16,5‰, независимо от гидрологического сезона, более насыщены кислородом по сравнению с водами открытого моря.

3. Области пониженного содержания кислорода в придонных слоях возникают в стратифицированных водах, когда одновременно наблюдаются вертикальные градиенты температуры и солености. Наличие только одного градиента – температуры или солености – не всегда ведет к резкому уменьшению содержания кислорода.

4. В результате апвеллинга в таком сложном по гидрохимии районе, как приустьевое взморье Дуная, возможно резкое понижение насыщения кислородом поверхностных вод, что может негативно повлиять на состояние гидробионтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tolmazin D.* Changing coastal oceanography of the Black Sea. I: Northwestern Shelf // *Progr. Oceanogr.* – 1985. – 15. – P. 217 – 276.
2. *Фесюнов О.Е., Назаренко М.Ф.* Геоморфологические и экологические особенности зоны гипоксии северо-западного шельфа Черного моря // *Экология моря.* – 1991. – Вып. 37. – С. 20 – 26.

3. *Aubrey D., Moncheva S., Demirov E. et al.* Environmental changes in the western Black Sea related to anthropogenic and natural conditions // *J. Mar. Syst.* – 1996. – 7. – P. 411 – 425.
4. *Украинский В.В., Попов Ю.И., Орлова И.Г. и др.* Изменчивость кислородного режима и гидрологической структуры вод северо-западного шельфа Черного моря в летне-осенний период 1998 года // *Метеорологія, кліматологія та гідрологія.* – 2001. – Вып. 43. – С. 211 – 221.
5. *Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Берлинский Н.А.* Формирование гидрохимических условий на устьевом взморье Дуная // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.* – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2000. – С. 133 – 141.
6. *Еремеев В.Н., Латун В.С., Совга Е.Е.* Влияние антропогенных загрязнителей и путей их переноса на экологическую обстановку в северо-западном районе Черного моря // *Морской гидрофизический журнал.* – 2001. – № 5. – С. 41 – 55.
7. *Friedrich J., Dinkel Ch., Friedl G. et al.* Benthic nutrient cycling and diagenetic pathways in the north-western Black Sea // *Estuar., Coast. Shelf Sci.* – 2002. – 54, № 3. – P. 369 – 383.
8. *Берлинский Н.А., Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И.* Проблемы антропогенного эвтрофирования и развития гипоксии в северо-западной части Черного моря // *Экология моря.* – 2003. – Вып. 6. – С. 17 – 22.
9. *Северо-западная часть Черного моря: биология и экология /* Под ред. Ю.П. Зайцева, Б.Г. Александрова, Г.Г. Миничева. – Киев: Наукова думка, 2006. – 58 с.
10. *Kourafalou V.H., Stanev E.V.* Modeling the impact of atmospheric and terrestrial inputs on the Black Sea coastal dynamics // *Annal. Geophys.* – 2001. – 19. – P. 245 – 256.
11. *Кондратьев С.И., Внуков Ю.Л.* Структура вертикального распределения кислорода в водах приустьевых взморья Дуная в осенний период 1997 г. // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.* – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1999. – С. 125 – 137.
12. *Моисеев Ю.Г., Перов А.А., Сорокина Н.А. и др.* Некоторые результаты испытания гидролого-оптического комплекса ОГХ // *Морское и экологическое приборостроение.* – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1994. – С. 95 – 103.
13. *Большаков В.С.* Трансформация речных вод в Черном море. – Киев: Наукова думка, 1970. – 328 с.
14. *Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Берлинский Н.А. и др.* Районирование Украинского сектора северо-западной части Черного моря // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.* – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2000. – С. 9 – 25.
15. *Кондратьев С.И., Еремеева Л.В., Геворгиз Н.С.* Влияние апвеллинга на гидрохимический режим // *Природные условия взморья реки Дунай и острова Змеиный /* Под ред. В.А. Иванова. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1999. – С. 160 – 173.
16. *Воробьева Л.В., Гаркавая Г.П., Нестерова Д.А. и др.* Жебриянская бухта как модель экологических процессов в импактных зонах северо-западной части Черного моря // *Исследования шельфовой зоны Северо-Черноморского бассейна.* – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1995. – С. 44 – 54.
17. *Kondratyev S.I., Lemeshko E.M.* The extremely late bottom hypoxia on the north-western shelf of the Black Sea at the end of November 2001 // *Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea /* Ed. Aysen Yilmaz. – Turkey, TÜBİTAK, 2003. – P. 457 – 461.
18. *Кондратьев С.И., Романов А.С., Внуков Ю.Л.* Особенности распределения гидрохимических характеристик в районе материкового склона северо-западной части Черного моря // *Морской гидрофизический журнал.* – 2007. – № 5. – С. 96 – 106.

19. *Шуїський Ю.Д.* Гидролого-морфологические черты формирования современной Килийской дельты Дуная // Вестник Одесского национального университета. – 2003. – 8, вып. 11. – С. 4 – 17.
20. *Отчет* о работах в 67-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» // Научные фонды МГИ НАН Украины. – Севастополь, 2010. – 244 с.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь
E-mail: skondratt@mail.ru

Материал поступил
в редакцию 08.02.13
После доработки 20.06.13

АНОТАЦІЯ Представлені результати аналізу просторового розподілу кисню у водах пригирлового району Дунаю, виконаного за даними експедиційних досліджень, проведених Морським гідрофізичним інститутом НАН України у 1997 – 2010 рр. Показано, що області поверхневих вод із солоністю менше 16,5‰, незалежно від гідрологічного сезону, більш насичені киснем, ніж води з вищою солоністю. Області пониженого вмісту кисню в придонних шарах виникають в стійко стратифікованих водах, коли одночасно присутні термоклін і галоклін. Апвелінг придонних вод в цьому районі може викликати значне зменшення насичення киснем поверхневих вод.

Ключові слова: пригирловий район Дунаю, гідрологічні особливості, кисневий режим, гіпоксія, натурні дані 1997 – 2010 рр.

ABSTRACT Results of analysis of oxygen spatial distribution in the Danube region coastal waters obtained in expeditionary studies carried out by Marine Hydrophysical Institute NAS of Ukraine in 1997 – 2010 are represented. It is shown that regardless of a hydrological season, the areas of surface waters whose salinity is less than 16.5‰ are more saturated with oxygen than the waters with higher salinity. The areas where the oxygen content is lower arise in the benthic layers when the waters are steadily stratified, and thermocline and halocline are present simultaneously. Upwelling of the near-bottom waters in this area can result in significant decrease of oxygen saturation of surface waters.

Keywords: coastal waters of the Danube region, hydrological features, oxygen saturation, hypoxia, expeditionary data of 1997 – 2010.