

# **ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ВОДАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ**

**C.B. Свищев**

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
*E-mail: sergsvischev09@rambler.ru*

*В статье рассмотрены закономерности внутригодовых изменений концентрации кислорода и степени насыщения кислородом вод северо-западного шельфа Черного моря. Использованы результаты натурных наблюдений с 1923 по 2007 гг. Выявлены пространственные особенности сезонных изменений распределения кислорода в водах северо-западного шельфа.*

**Введение.** Для решения ряда важных фундаментальных и прикладных задач региональной океанографии необходимо детальное изучение гидрохимического режима вод. Одним из наиболее важных гидрохимических показателей является содержание растворенного кислорода.

Для анализа бюджета растворенного кислорода вод, необходим предварительный анализ пространственно-временных изменений концентрации кислорода и режимных характеристик факторов, влияющих на концентрацию кислорода.

В данной работе рассматривается гидрохимический режим вод северо-западного шельфа Черного моря, представляющего собой эстуарно-шельфовый бассейн [1], и обладающий ярко выраженным отличительными чертами гидрологической структуры, связанными с мелководностью этого района и влиянием речного стока [2].

**Анализ данных.** Используя данные натурных наблюдений из банка гидрохимических данных МГИ НАНУ с 1923 по 2007 гг., в работе был произведен анализ распределения кислорода в водах северо-западного шельфа Черного моря (рис. 1, 2).

Граница между водами северо-западного шельфа Черного моря и зоной действия ОЧТ проведена по изобате 200 м. Здесь, на внешней границе материковой отмели происходит конвергенция вод с различными гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими характеристиками и разделение прибрежной и открытой экосистем Черного моря [3].

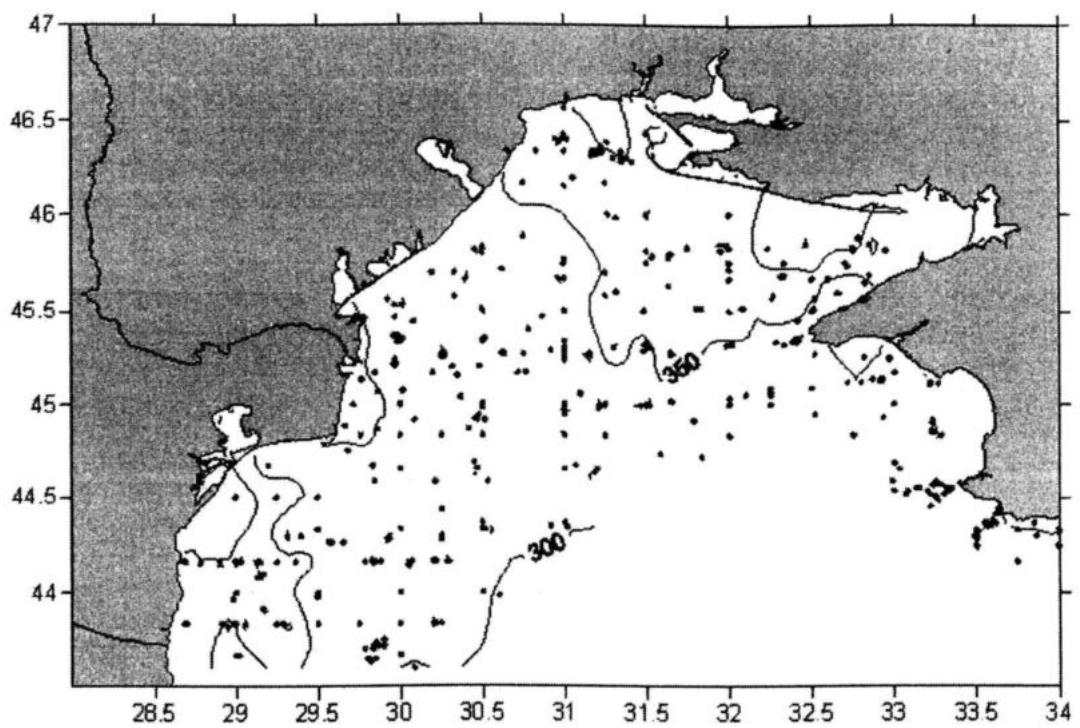
Граница между северо-западным и юго-западным шельфом, проведена по ярко выраженной фронтальной зоне от м. Калиакра до м. Тарханкут, разделяющей акватории с различным динамическим режимом, что устойчиво проявляется в поле температуры и солености во все сезоны года (в поле температуры особо усиливающейся в зимний сезон) [4]. К тому же экологические условия функционирования фитопланктонного сообщества на северо-западном шельфе во многом определяются пространственно-временными изменениями речного стока, интенсивное воздействие которого распространяется на юго-запад с водами прибрежных течений приблизительно до мыса Калиакра ( $43^{\circ} 30'$  с.ш.) [5, 6].

Площадь рассматриваемого района оценивается в 64,13 тыс.  $\text{km}^2$ , что составляет 15,16 % от суммарной площади акватории Черного моря [7].

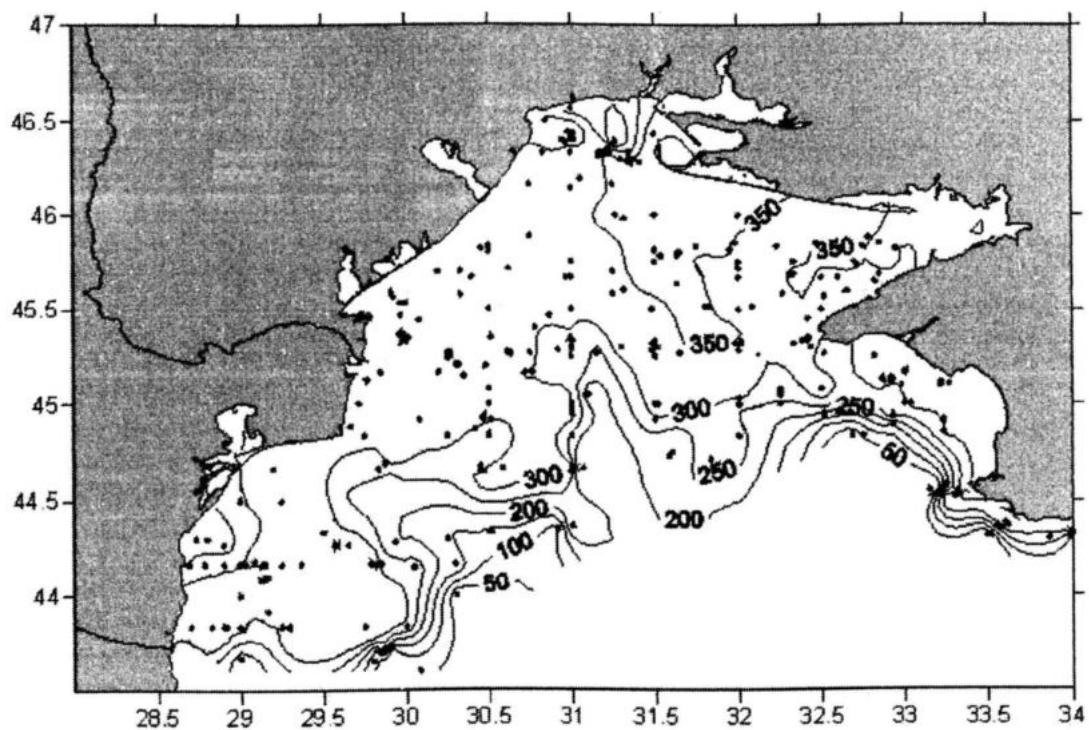
В пределах северо-западного шельфа Черного моря можно выделить три района – мелководный шельф (с глубинами до 60 м), открытый шельф (с глубинами 60 – 200 м) и придонный шельф (границы которого хорошо прослеживаются по картам распределения поверхностного хлорофилла [8]).

Для оценки среднего годового и средних абсолютных концентраций растворенного кислорода в поверхностном и придонном слоях вод северо-западного шельфа Черного моря были рассмотрены различные сезоны 1955 – 2007 гг., наиболее обеспеченные данными.

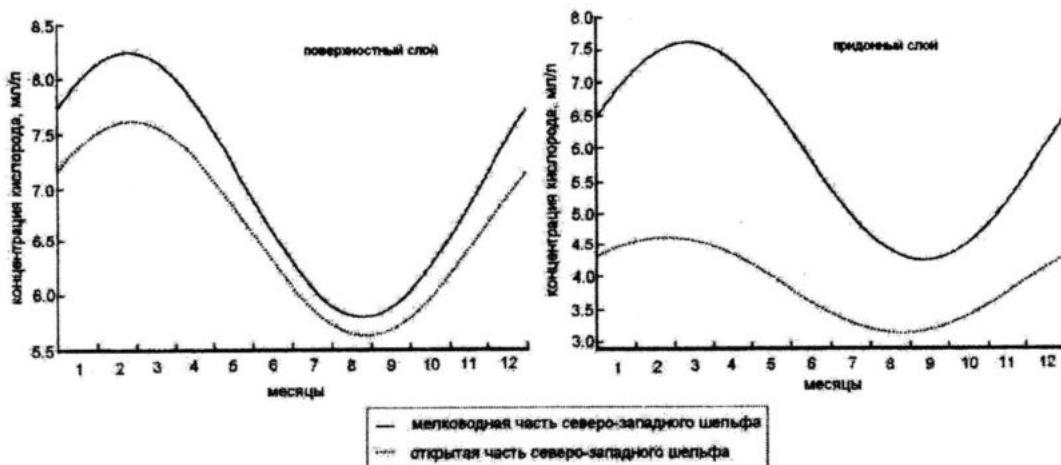
Показано, что величины концентрации растворенного кислорода в поверхностном слое мелководной части шельфа изменились в пределах от 5,8 до 8,2 мл/л (рис. 3). Для поверхностного слоя открытой части шельфа характерны изменения концентрации в диапазоне от 5,6 до 7,6 мл/л (рис. 3).



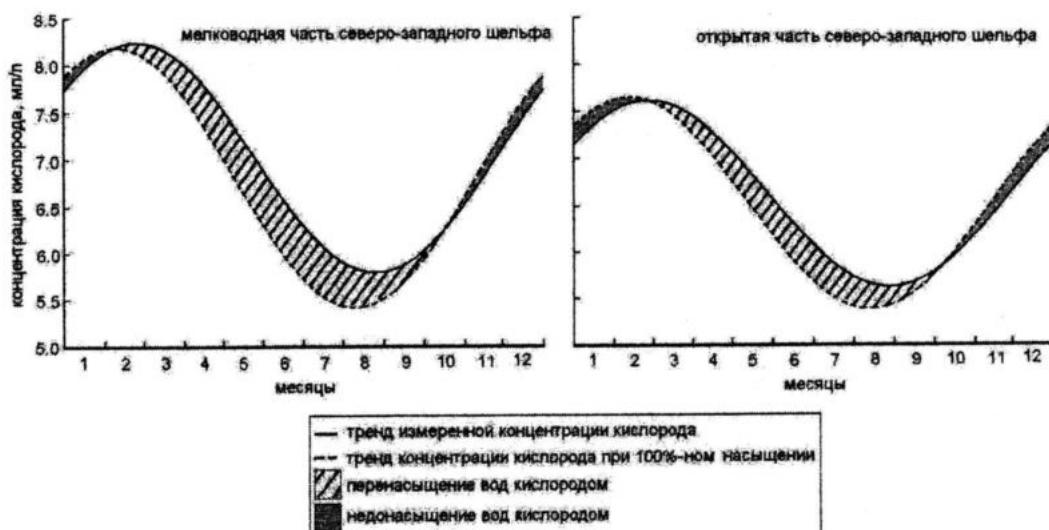
Р и с. 1. Распределение концентрации кислорода ( $\mu\text{M}$ ) в поверхностном слое вод северо-западного шельфа в зимний период (точками отмечены станции отбора проб)



Р и с. 2. Распределение концентрации кислорода ( $\mu\text{M}$ ) в придонном слое вод северо-западного шельфа в зимний период (точками отмечены станции отбора проб)



Р и с. 3. Внутригодовые изменения средних величин концентрации кислорода в поверхностном и придонном слоях вод мелководной и открытой частей северо-западного шельфа Черного моря



Р и с. 4. Внутригодовые изменения средней концентрации кислорода в поверхностном слое вод мелководной и открытой частей северо-западного шельфа (по данным наблюдений и в предположении 100%-ного насыщения вод кислородом)

Содержание растворенного кислорода в поверхностных водах шельфа существенно зависит от гидрологических (имеет место обратная зависимость с ходом изменений температуры и солености) и гидробиологических факторов (продукции кислорода в ходе фотосинтеза).

Однако с увеличением глубины рассматриваемого горизонта влияние изменений температуры вод и интенсивности процессов фотосинтеза ослабевает, преобладающими факторами становятся вертикальное перемешивание вод и био-

химическое потребление кислорода на окисление органического вещества.

Расчеты внутригодовых изменений средних величин концентрации кислорода показали, что средние минимальные и средние максимальные концентрации кислорода для различных районов шельфа достигаются в различное время года (рис. 3).

Для абсолютных концентраций растворенного кислорода в придонном слое характерными являются следующие значения: средняя годовая концентрация – 5,9 мл/л для мелководного шельфа и

3,9 мл/л для открытого шельфа. Средняя минимальная концентрация – 4,2 мл/л для мелководного шельфа и 3,1 мл/л для открытого шельфа, средняя максимальная – 7,6 и 4,6 мл/л (рис. 3).

Начиная с 1972 по 1984 гг. в придонном слое северо-западного шельфа участились наблюдения аномальных концентраций растворенного кислорода, что соответствует периоду повышения интенсивности эвтрофикации. В отдельные годы содержание растворенного кислорода снижалось до 1,0 – 2,0 мл/л (15 – 30 % полного насыщения), а сам «замор» занимал от 20 до 70 % площади северо-западного района.

**Обсуждение.** Развитие антропогенного эвтрофирования северо-западного шельфа Черного моря за счет поступления аллохтонных веществ и интенсивного образования в пелагиали автохтонных веществ, способствовало накоплению органического вещества как в придонном слое, так и в донных отложениях. Это привело к увеличению расхода кислорода на деструкцию органических веществ в придонном слое. В летний период, при развитии стратификации водных масс, в СЗЧМ придонная гипоксия расширялась [9]. Наиболее обширные поля гипоксии отмечали в междуречье Дунай – Днестр, в Приднепровском районе, в Каркинитском, заливах Джарылгач и Тендра.

Однако с середины 1990-х годов площади «заморов» стали сокращаться, что связано с упадком сельскохозяйственного производства в республиках бывшего СССР и, соответственно, уменьшением поступления биогенных элементов со стоком рек

В работе [10] рассматриваются причины, вызывающие дефицит кислорода и заморные явления. Гипоксия возникает как временное, до некоторой степени случайное явление, но по мере возрастания первичной продукции прибрежных экосистем и поступления органического вещества с суши она наступает регулярно в определенные сезоны, а потом становится постоянной. При этом возможно полное исчезновение бентоса, а общая продукция (прирост биомассы) животных может заметно снижаться. При этом доля энергии, достающаяся бактериям,

всё время повышается, а достающаяся хищникам снижается. Случаи улучшения ситуации довольны редки. Но северо-западная часть Черного моря является ярким тому примером.

В придонном слое вод мелководного шельфа концентрация кислорода достигает тех же значений, что и в поверхностном слое, за счет интенсивного перемешивания, осуществляемого зимними штормами.

Степень насыщения поверхностных вод кислородом близка к 95 % в зимний период (минимум приходится на середину января) и превышает 110 % в летний (максимум приходится на середину июня). Максимум насыщения наблюдается на глубине 11 м, соответствующей максимуму фотосинтетической активности [11, 12].

Пространственно максимум насыщенности воды кислородом в мае соответствует минимальным значениям солености (менее 16 ‰). С другой стороны, на период с максимальным значением суммарного речного стока приходится максимум насыщенности вод кислородом (больше 110 %).

В летние месяцы при условии протекания процессов фотосинтеза степень насыщения растворенного кислорода в поверхностном слое увеличивается, а в придонном уменьшается. Что обусловлено продукцией кислорода фитопланктоном в фотическом слое, и потреблением кислорода на окисление органического вещества по всей толще вод.

Значительный дефицит кислорода в поверхностном слое в период с сентября по февраль объясняется увеличением растворимости кислорода при охлаждении вод и потреблением кислорода на окисление органического вещества. Перенасыщение вод кислородом в десятки процентов в период с февраля по сентябрь (рис. 4) объясняется влиянием процесса фотосинтеза.

Согласно количественным оценкам балансовых расчетов, в период перенасыщения вод кислородом воды мелководной части северо-западного шельфа выделяют около 0,35 тыс. т кислорода/км<sup>2</sup> за весь период. В период недонасыщения вод (с ноября по январь) воды мелководной части поглощают около 0,11 тыс. т кислорода/км<sup>2</sup> за весь период.

Следует отметить, что период перенасыщения кислородом поверхностного слоя вод мелководной части северо-западного шельфа Черного моря длится на один месяц дольше, чем аналогичный для открытой части шельфа. Интенсивность перенасыщения в мелководной части также выше в 1,6 раз.

Период дефицита кислорода в поверхностном слое вод открытой части северо-западного шельфа Черного моря длится на один месяц дольше, чем аналогичный для мелководной части шельфа. Интенсивность дефицита в открытой части шельфа вдвое выше, по сравнению с мелководной.

**Заключение.** Рассмотрены закономерности внутригодовых изменений концентрации кислорода и степени насыщения кислородом вод северо-западного шельфа с 1956 по 2007 гг. Выявлены пространственные особенности сезонных изменений распределения кислорода в поверхностном и придонном слоях вод. В годовом ходе содержания кислорода в поверхностном слое вод во всех районах можно выделить два периода: перенасыщения (с марта по сентябрь) и недонасыщения (с октября по февраль). В придонном слое вод наблюдается недонасыщение вод кислородом в течение всего года.

Полученные значения хорошо согласуются с результатами, приведенными в работах [3, 9, 10] и дополняют их.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А., Косарев А.Н., Тужикин В.С. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 239 с.
2. Шокурова И.Г., Пластун Т.В., Белокопытов В.Н., Халиуллин А.Х. Сравнительный анализ изменчивости гидрологических характеристик вод северо-западного шельфа и центральной части Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сборник научных трудов. – Севастополь, 2004. – С. 17 – 26.
3. Сапожников В.В. Исследование гидрохимии континентального шельфа Черного моря // Изменчивость экосистемы Черного моря: естественные и антропогенные факторы. – М.: Наука, 1991. – С. 46 – 53.
4. Дивизинюк М.М. Акустические поля в черноморских фронтах и постоянных течениях / Серия: Акустические поля Черного моря. Книга третья. – Севастополь: СНИГ, 1997. – 75 с.
5. Виноградов М.Е., Сапожников В.В., Шушкина Э.А. Экосистема Черного моря. – М.: Наука, 1992. – 112 с.
6. Ильин Ю.П. Гидрологический режим распространения речных вод в северо-западной части Черного моря // Научные труды УкрНИГМИ. – Севастополь, 2006. Вып. 255. – С. 242 – 251.
7. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 192 с.
8. NASA. Ocean color from space. CZCS images prepared by G.C. Feldman with text by J.A. Lewis, P.A. Blenchard by NSF/NASA. Woods Hole Oceanogr. Inst. with contributions from the Goddard Space Flight Center. Univ. of Miami and the Univ. of Rhode Inst., 1989.
9. Зайцев Ю.П., Гаркавая Г.П., Макаров Ю.Н. и др. Экосистема северо-западной части Черного моря в условиях антропогенного эвтрофирования // Мат. III Всес. симп. по антропогенному эвтрофированию природных вод (сентябрь, 1983). – Черноголовка, 1985. – С. 49 – 72.
10. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. – С.Пб: Гидрометеоиздат, 1992. – Т. 4: Черное море, вып.2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. / Под ред. Симонова А.И., Альтмана Э.Н. – 219 с.
11. Finenko, Z.Z., Churilova T.Ya., Lee R.I. Dynamics of the Vertical Distributions of Chlorophyll and Phytoplankton Biomass in the Black Sea // Oceanology – 2005. – 45, Suppl. 1. – Р. 112 – 126.
12. Ковалёва И.В. Связь первичной продукции с интенсивностью солнечной радиации // Экология моря, 2006. – вып.72. – С. 77 – 86.