

# СЕЗОННЫЕ И МЕЖДЕСЯТИЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ МАССАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

А.Б. Полонский, С.В. Свищев

Морской гидрофизический институт  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: apolonsky5@mail.ru,  
sergsvischev09@rambler.ru

На основании архивных данных с 1923 по 2013 гг. анализируются сезонные и междесятилетние изменения концентрации кислорода в поверхностном слое вод Черного моря. Показано, что междесятилетние изменения концентрации кислорода в поверхностных водных массах северо-западного шельфа и центральной части моря выделяются для обоих экстремальных сезонов: с января по март/апрель (кислородный максимум) и с июля по сентябрь (кислородный минимум). В зимний период эти изменения в основном обусловлены температурными вариациями. В летний – важны и другие факторы, в частности, эвтрофикация вод северо-западного шельфа.

**Введение.** Для решения ряда важных фундаментальных и прикладных задач региональной океанографии и охраны окружающей среды необходимо детальное изучение гидрохимического режима вод. Одним из наиболее важных гидрохимических показателей является концентрация растворенного кислорода, которая в значительной степени определяет состояние морской экосистемы.

Пространственно-временная изменчивость концентрации растворенного в водах Черного моря кислорода характеризуется рядом особенностей. Сезонные изменения содержания кислорода в водах Черного моря исследованы во многих работах [1 – 4]. В них показано, что внутригодовые колебания содержания растворенного кислорода характеризуются максимумом в январе – марте (апреле) и минимумом в июле – сентябре. Причем содержание кислорода в северо-западной части Черного моря существенно выше (особенно в зимний период) по сравнению с открытыми частями моря. Междесятилетние изменения концентрации растворенного кислорода проанализированы для отдельных районов моря: центральной его части [2 – 4], акватории северо-западного шельфа [5, 6],

а также для отдельных изопикнических поверхностей [7]. В работе [4] показано, что концентрация растворенного в верхнем слое глубоководной части Черного моря кислорода характеризуется квазипериодическими колебаниями с типичным времененным масштабом в несколько десятков лет. Они особенно хорошо выражены в зимний период и связаны, главным образом, с изменчивостью термического режима моря.

В настоящей работе проанализирована временная изменчивость концентрации растворенного в верхнем слое вод Черного моря кислорода для двух поверхностных водных масс: прибрежной и верхней черноморской водных масс. Осреднение измеренных величин по каждой водной массе позволяет уменьшить погрешность полученных оценок временной изменчивости, возникающих за счет влияния пространственной изменчивости поля кислорода и неоднородности массива архивных гидрохимических данных. Анализируемые водные массы относятся к числу основных черноморских водных масс и характеризуют условия северо-западного шельфа и глубоководной части моря [8].

**Материалы и методика.** В работе используется массив данных по концентрации растворенного кислорода банка данных МГИ, содержащий измерения с 1923 по 2013 гг. [9] и прошедший оценку качества [10].

Для исследования сезонных изменений используется климатический массив гидрохимических данных с 1923 по 2013 гг., междесятилетних изменений – данные за десятилетние периоды с пятилетним сдвигом с 1955 по 2004 гг. для двух экстремальных сезонов: с января по март (кислородный максимум) и с июля по сентябрь (кислородный минимум). Для расчета сезонных изменений содержания кислорода используется 17,5 тыс. измерений на акватории шельфа и 12 тыс. измерений в центральной части моря, ограниченной изобатой 1000 м. Для анализа сезонных изменений концентрации растворенного кислорода расчеты проводились для горизонтов 0, 10, 20 и 30 м.

В качестве границы исследуемого района северо-западного шельфа выбраны: 43°30' с.ш. (м.Калиакра), 34° в.д. и изобата 100 м. Акватория района составляет 16 % от акватории всего моря. В качестве границы центрального глубоководного района выбрана акватория,

ограниченная 1000 м изобатой, составляющая около 61 % общей площади моря (рис. 1). Для анализа междесятилетних изменений в летний период используется 7,4 тыс. измерений на акватории шельфа и 2,4 тыс. измерений в центральной части моря. Для соответст-

вующего анализа в зимний период (январь – март) используется 0,8 тыс. измерений на акватории шельфа и 0,2 тыс. измерений в центральной части моря. Междесятилетняя изменчивость анализировалась для слоя 0 – 10 м (рис. 2).

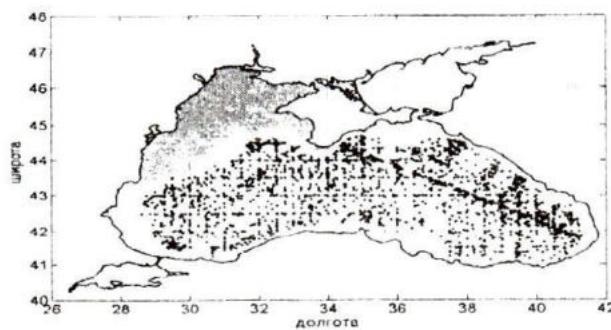


Рис. 1. Пространственное распределение гидрохимических станций, выполненных в северо-западной (светлые точки) и глубоководной частях моря (темные точки) за период 1955 – 2004 гг.

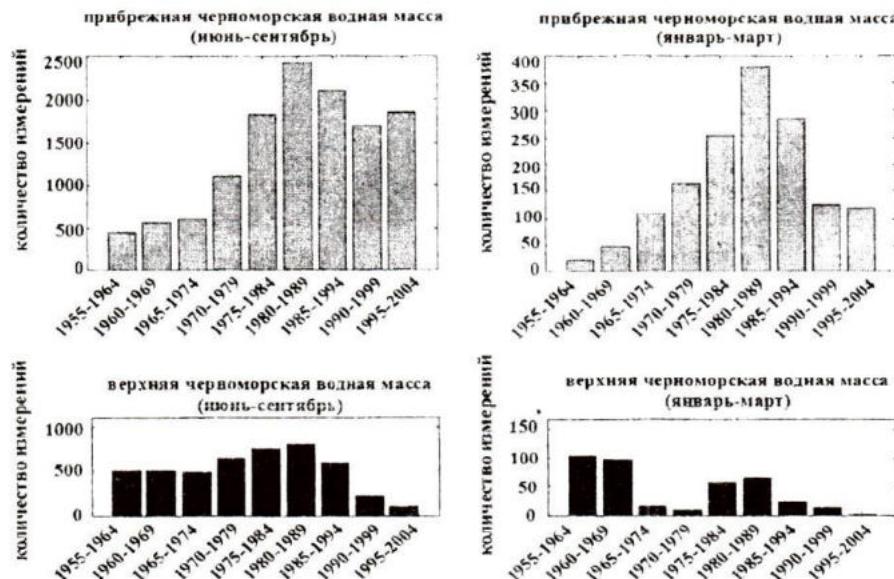


Рис. 2. Распределение количества гидрохимических измерений содержания растворенного кислорода, выполненных в поверхностном слое прибрежной черноморской (показано светлым) и верхней черноморской (показано темным) водных масс за период 1955 – 2004 гг. по десятилетним периодам со сдвигом 5 лет в летний (слева) и зимний (справа) сезоны

**Анализ результатов.** В пространственной структуре поля концентрации растворенного кислорода отмечается значительная изменчивость [1, 2]. Она определяется следующими факторами: речным стоком, характером циркуляции вод, величиной прогрева поверхности моря и вертикальной стратификацией, биотическими факторами. Географическое положение северо-западного шельфа, его мелководность, интенсивное выхолаживание зимой и прогрев летом, сток рек и другие факторы определяют количественные отличия годового хода

концентрации кислорода на шельфе и в центральной части моря.

На поверхности максимальные среднесезонные значения концентрации кислорода имеют место в январе – марте (на шельфе) и январе – апреле (в глубоководной части моря), минимальные – в июле – сентябре. Это обусловлено, в первую очередь, температурными изменениями в поверхностном слое вод.

Амплитуда внутригодовых колебаний концентрации кислорода на поверхности в шельфовой зоне на 50 % больше, чем в центральной части моря. С глубиной размах сезонных колебаний концен-

трации кислорода резко уменьшается в глубоководной части моря, в отличие от северо-западного шельфа. Фазовое запаздывание сезонных колебаний концентрации кислорода с глубиной достигают 1-2 месяцев (рис. 3).

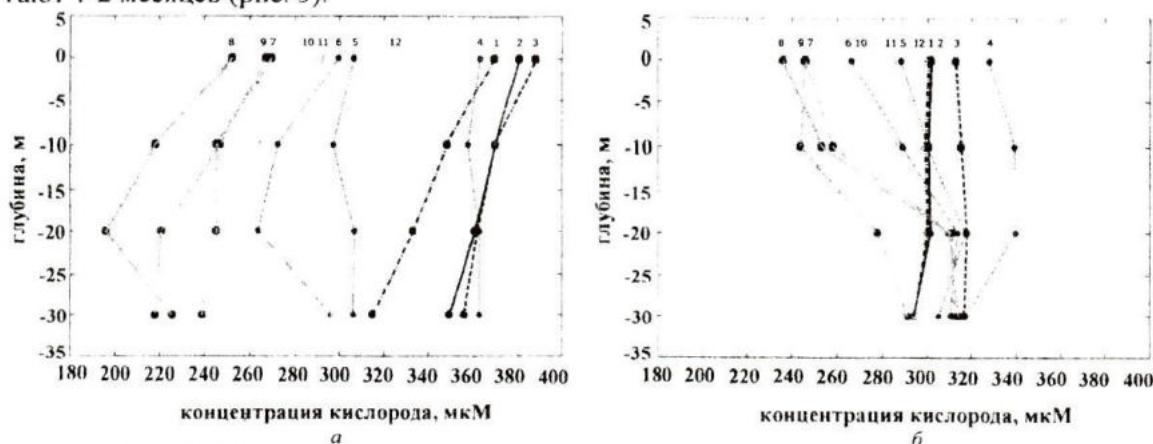
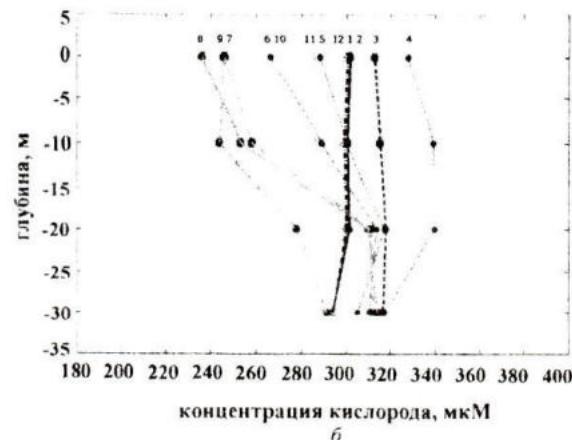


Рис. 3. Сезонные изменения вертикальных профилей концентрации кислорода в прибрежной черноморской водной массе (а) и (б) для верхней черноморской водной массы. Цифры обозначают порядковый номер месяца

На рис. 4 хорошо видно наличие достаточно интенсивных междесятилетних флюктуаций концентрации растворенного кислорода. С середины 20 века наблюдалось повышение концентрации кислорода в зимний период. Максимальные концентрации отмечались на северо-западном шельфе в зимний период с 1985 по 1994 гг. Это десятилетие характеризовалось повышенной повторяемостью аномально холодных зим [11], что и привело к повышенному содержанию кислорода в верхнем слое вод. После этого десятилетия концентрация кислорода начала резко уменьшаться. В летний период уменьшение содержания

В целом, полученные результаты не противоречат сложившимся представлениям о сезонном ходе концентрации растворенного в верхнем слое вод Черного моря кислорода [1 – 4].



растворенного кислорода в водах северо-западного шельфа было немонотонно. Абсолютный минимум концентрации кислорода отмечался в период с 1990 по 1999 гг., что, по всей вероятности, связано с эвтрофикацией вод северо-западного шельфа [12]. Междесятилетние изменения растворенного кислорода в верхней черноморской водной массе близки к описанным в работе [4] изменениям, относящимся к глубоководной части моря. Некоторые различия в результатах связаны с методическими причинами, которые привели к отличиям в количестве анализируемых данных.

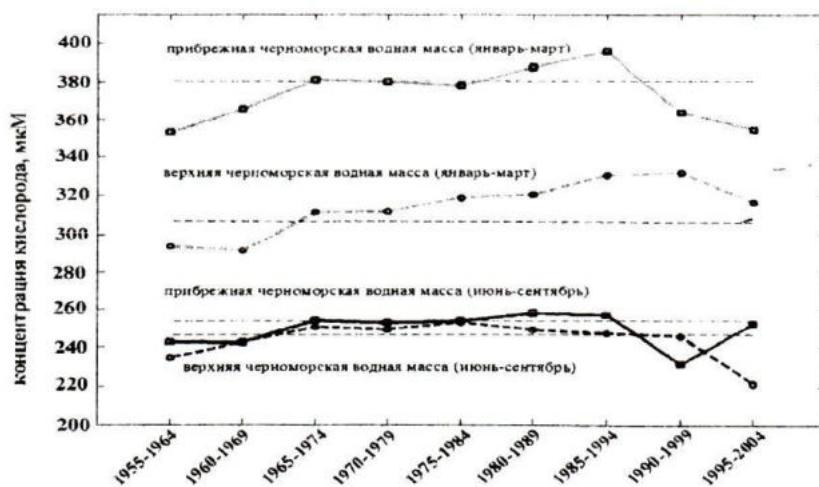


Рис. 4. Временная изменчивость средних за десятилетия значений содержания растворенного кислорода в поверхностном слое прибрежной черноморской (показано сплошным) и верхней черноморской (пунктир) водных масс за период 1955 – 2004 гг. со сдвигом 5 лет в летний (снизу) и зимний (сверху) периоды

**Заключение.** Таким образом, междусытилетние изменения концентрации кислорода в поверхностных водных мас- сах северо-западного шельфа и центральной части моря хорошо выделяются для обоих экстремальных сезонов: с января по март/апрель (кислородный максимум) и с июля по сентябрь (кислородный минимум). В зимний период эти изменения в основном обусловлены температурным фактором. В летний – важны и другие причины, в частности эвтрофикация вод северо-западного шельфа.

*Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант РФФИ № 14-45-01033).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скопинцев Б.А. Формирование современного химического состава Черного моря. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 336 с.
2. 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.
3. Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсянкий Е.И. Геохимия Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1982. – 144 с.
4. Полонский А.Б., Огородова А.А. Временная изменчивость содержания кислорода в верхнем слое глубоководной части Черного моря // Системы контроля окружающей среды, 2014. – Вып. 20. – С. 149 – 152.
5. Свищев С.В. Закономерности сезонных изменений содержания и распределения кислорода в водах северо-западного шельфа Черного моря // Системы контроля окружающей среды, 2012. – Вып. 18. – С. 114 – 118.
6. Сапожников В.В. Исследование гидрохимии континентального шельфа Черного моря // Изменчивость экосистемы Черного моря: естественные и антропогенные факторы. – М.: Наука, 1991. – С. 46 – 53.
7. Еремеев В.Н., Коновалов С.К. К вопросу о формировании бюджета и закономерностях распределения кислорода и сероводорода в водах Черного моря // Морской экологический журнал, 2006. – №3. – т. V. – С. 5 – 30.
8. Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря. – НАН Украины, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 2011. – 212 с.
9. Суворов А.М., Андрющенко Е.Г., Годин Е.А., Ингеров А.В., Касьяnenко Т.Е., Пластун Т.В., Халиулин А.Х. Банк океанологических данных МГИ НАНУ. Содержание и структура баз данных, система управления базами данных // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2003. – С. 130 – 137.
10. Свищев С.В. Оценка качества данных по кислороду в Черном море за период 1923 – 2007 гг. // Системы контроля окружающей среды, 2011. – Вып. 15. – С. 208 – 212.
11. Полонский А.Б., Попов Ю.И. Условия формирования вод холодного промежуточного слоя Черного моря (серия «Современные проблемы океанологии», вып. 8). – Севастополь: Морской гидрофизический институт, 2011. – 54 с.
12. 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.