

# ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

*А.Б. Полонский, А.А. Огородова*

Морской гидрофизический институт  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: ogorodova.a@mail.ru

*В статье приводится анализ внутри- и межгодовой изменчивости растворенного кислорода в верхнем слое глубоководной части Черного моря за период с 1955 по 2004 гг. Обнаружена квазипериодическая изменчивость концентрации кислорода с типичным временным масштабом несколько десятков лет.*

**Введение.** Черное море – уникальный водоем, который с давних времен привлекает внимание исследователей. Главная особенность гидрохимической структуры вод Черного моря – наличие кислорода только в верхнем слое и появление значительных концентраций сероводорода в промежуточных и глубинных водах. Кислород присутствует в центральных районах моря приблизительно до глубины 125 м, в окраинных районах – до 225 м [1]. Систематическое изучение гидрохимии вод Черного моря, включая пространственно-временную изменчивость содержания растворенного кислорода, началось с 1923 г. За прошедшие 90 лет собран обширный экспериментальный материал. Он позволяет проанализировать пространственно-временную изменчивость содержания растворенного кислорода в водах Черного моря в широком диапазоне масштабов. Наличие зоны сосуществования кислорода с сероводородом (С-слой), изменение положения верхней границы сероводорода [2, 3], а также изменение содержания кислорода, растворенного в верхней толще вод Черного моря, происходящее под воздействием гидрологических и антропогенных факторов, исследовались во многих работах.

Сезонная изменчивость содержания растворенного кислорода проанализирована достаточно подробно по данным, полученным еще до 1980 гг. [3 – 6]. Многие авторы провели анализ отдельных съемок в разных районах Черного моря и описали пространственную структуру поля кислорода, в том числе и

на синоптическом масштабе [3, 7 – 10]. Вместе с тем, изменчивость содержания кислорода на межгодовом и десятилетнем масштабах до конца не выяснена.

В настоящей работе, с целью выявления долгопериодной изменчивости поля кислорода в Черном море за период с 1955 по 2004 гг., рассмотрен верхний 10-метровый слой, который хорошо перемешан на протяжении большей части года. Этот слой наиболее сильно подвержен климатическим изменениям. Проанализированы данные о содержании растворенного кислорода в верхнем слое глубоководной части Черного моря, чтобы минимизировать влияние изменчивости стока рек и притока мраморно-морских вод на вариации кислородного режима моря. Эти механизмы представляют собой предмет отдельного исследования.

Цель работы – выявить закономерности долгопериодной изменчивости содержания растворенного кислорода, обусловленные вариациями региональных климатических условий.

**Исходные данные и методика исследования.** В настоящей работе проводится анализ изменчивости растворенного кислорода за период с 1955 по 2004 гг. на основании наиболее полных архивных данных из банка данных Морского гидрофизического института (МГИ) [11]. Для расчетов средних многолетних значений кислорода в слое 0 – 10 м использованы все доступные материалы экспедиционных наблюдений, выполненных в Черном море. Количество станций, на которых проводились наблюдения за кислородом в исследуемый период, составляет 25496. Однако распределение данных по пространству и по времени крайне неравномерно. Как видно из рис. 1, наименьшее число наблюдений за кислородом приходится на январь, а наибольшее – на июль. По пространству судовые измерения распределены также неравномерно. Исследование гидрохимии Черного моря началось с 1923 г., но они были не систематические. Регулярные измерения кислорода начались в 1950-е г. Наибольшее число наблюдений выполнено в середине 1980-х годов. С начала 1990-х годов количество регулярных рейсов резко уменьшилось.

Используемый массив данных по концентрации растворенного кислорода прошел контроль качества [12].

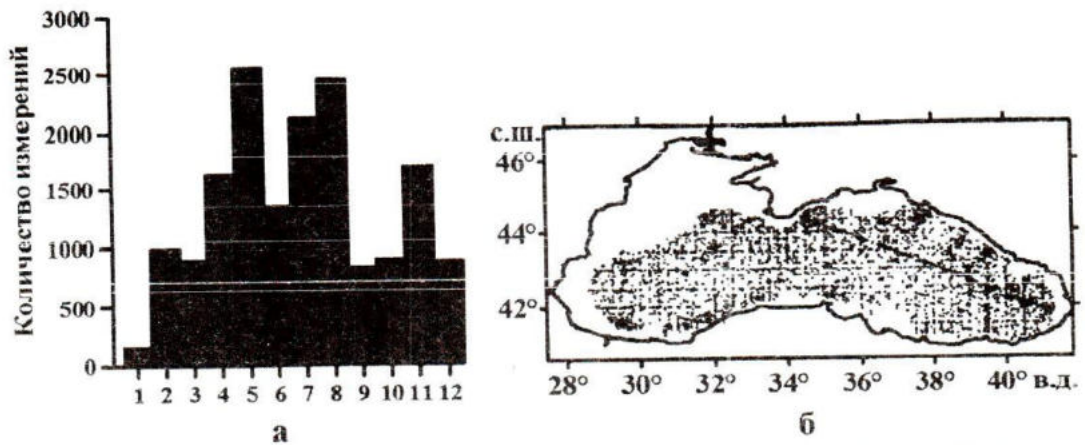


Рис. 1. Пространственное распределение судовых измерений содержания растворенного кислорода в слое 0 – 10 м (банк данных МГИ, [11]) в Черном море: общее количество измерений кислорода в каждом месяце года (а), пространственное расположение судовых измерений кислорода ограниченное изобатой 1000 м (б)

**Результаты и их анализ.** *Сезонная изменчивость.* На внутригодовом масштабе содержание растворенного кислорода в верхнем 10-ти метровом слое испытывает следующие изменения (рис. 2). В период с января по апрель наблюдается повышенное содержание кислорода (среднее значение в этот период 336  $\mu\text{Моль/л}$ ). Резкое понижение содержания кислорода наблюдается в апреле – августе. С февраля по август значение растворенного кислорода падает с 340 до 242  $\mu\text{Моль/л}$ . С августа по февраль происходит быстрый рост содержания кислорода. Максимум растворенного кислорода отмечается в феврале, а минимум – в августе. Таким образом, в глубоководной части Черного моря в верхнем 10-метровом слое, амплитуда сезонного хода растворенного кислорода составляет около 50  $\mu\text{Моль/л}$ . Полученная внутригодовая изменчивость в целом подтверждает данные из Океанографического Атласа [13].

Отметим, что описанный сезонный ход может изменяться в отдельные периоды. Для анализа этих изменений был взят период с 1961 по 1987 гг. (рис. 3), который хорошо обеспечен данными в каждом месяце. В рассматриваемый период наблюдается рост в содержании кислорода, происходящий неравномерно по сезонам. Содержание кислорода в марте увеличилось на 10,8  $\mu\text{Моль/л}$ , а в августе на 19,0  $\mu\text{Моль/л}$ . В январе – феврале рост составил 10,7  $\mu\text{Моль/л}$ , в апреле – 5,18  $\mu\text{Моль/л}$ , а в декабре – 34,8  $\mu\text{Моль/л}$ . В результате максимальное содержание кислорода наблюдается в рассматриваемый период в марте – апре-

ле, а не в феврале, как в среднем за период с 1955 по 2004 гг.

Анализ причин, вызывающих изменения содержания уровня кислорода в разные сезоны за период с 1961 по 1987 гг., – предмет отдельного рассмотрения.

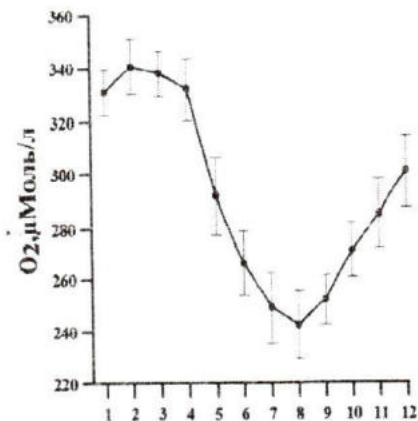


Рис. 2. Сезонный ход среднемесячных значений кислорода в слое 0 – 10 м в глубоководной части Черного моря за период с 1955 – 2004 гг. ( $\pm 0.5$  с.к.о.)

*Межгодовые вариации* растворенного в верхнем 10-метровом слое кислорода для февраля (с 1955 по 1991 гг.) и августа (с 1955 по 1995 гг.), представленные на рис. 4, подтверждают наличие изменчивости сезонного хода. Рассмотренные периоды достаточно полно обеспечены данными для февраля и августа, но не для всех месяцев года. Проанализировать изменчивость полного сезонного цикла удастся только для периода с 1961 по 1987 гг. (см. выше). Тем не менее, и по данным только за февраль и август видно, что амплитуда сезонного

хода подвержена существенным межгодовым вариациям.

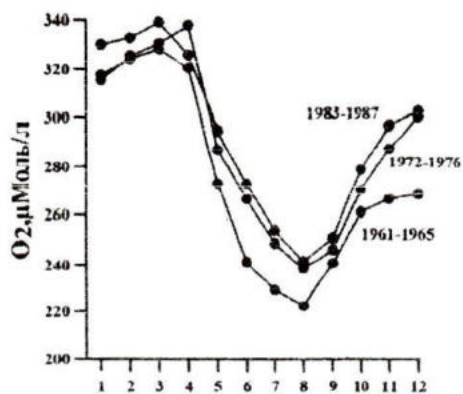
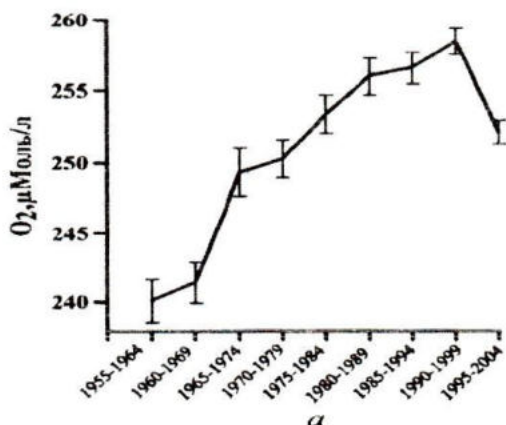


Рис. 3. Сезонный ход среднемесячных значений кислорода на поверхности в глубоководной части Черного моря

**Междесятилетняя изменчивость.** В междесятилетней изменчивости растворенного в верхнем слое Черного моря кислорода наблюдается ярко выраженная квазипериодическая изменчивость с характерным временным масштабом в несколько десятков лет (рис. 5 а, б). В январе – марте с 1960 по 1994 гг. наблюдается рост содержания растворенного кислорода (более чем на 18  $\mu\text{Mоль/л}$ ), а с 1994 – его понижение (примерно на 19  $\mu\text{Mоль/л}$  к 2002 г.). В июле – сентябре рост кислорода приходится на 1955 – 1999 гг. (на 18  $\mu\text{Mоль/л}$ ), а падение – на 1999 – 2004 гг. (примерно на 6  $\mu\text{Mоль/л}$ ).



В июле – сентябре среднеквадратическое отклонение больше, чем в январе – марте. Период выявленного колебания – порядка длины анализируемых рядов. Такая квазипериодическая изменчивость содержания растворенного кислорода согласуется с вариациями температуры верхнего слоя Черного моря, обусловленными региональными изменениями климата [14]. Эвтрофикация вод Черного моря, отмеченная по многочисленным данным, полученная в 1980-е годы [15], не играет существенной роли в междесятилетней изменчивости содержания растворенного в верхнем перемешанном слое кислорода.

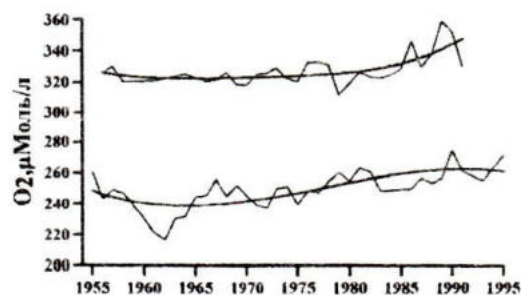


Рис. 4. Межгодовая изменчивость содержания кислорода в слое 0 – 10 м в феврале (сверху) и в августе (снизу) за период с 1956 по 1991 гг. в глубоководной части Черного моря (кривая – полином третьей степени)

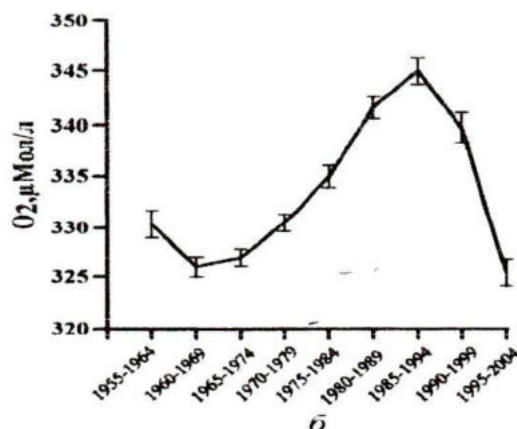


Рис. 5. Междесятилетняя изменчивость содержания растворенного кислорода Черного моря для июля – сентября (а) и января – марта (б) средних значений на поверхности в глубоководной части (вертикальные отрезки – 95% доверительный интервал)

**Заключение.** Осредненный за 60 лет сезонный ход содержания растворенного кислорода в целом подтверждает данные других авторов. В среднем наблюдается

максимум в содержании кислорода в феврале и минимум в августе. Вместе с тем, в отдельные периоды сезонный ход может существенно трансформировать-

ся. Так, например, в период с 1961 по 1987 гг. наблюдается рост в содержании кислорода, который происходит неравномерно по сезонам. На междесятилетнем масштабе и в зимний, и летний сезон в содержании растворенного кислорода проявляется квазипериодическое колебание с типичным временным масштабом, близким к длине анализируемого ряда, вероятно обусловленное региональными изменениями климата естественного происхождения.

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Леонов А.К.* Региональная океанография часть 1. – Л.: Гидрометеоздат. – 1960. – С. 754.
2. *Kononov S.K., Murray J.W.* Variations in the chemistry of the Black sea on a time scale of decades (1960 – 1995) // *Journal of Marine Systems*. – 2001. – 31, № 1 – 3. – P. 217 – 243.
3. *Еремеев В.Н., Коновалов С.К., Романов А.С.* Особенности распределения кислорода и сероводорода в водах Черного моря в зимне-весенний период // *Морской гидрофизический журнал*. – 1997. – № 4. – С. 32 – 46.
4. *Шульгина Е.Ф.* Распределение кислорода в Черном море. Комплексные гидрофизические и гидрохимические исследования Черного моря. – 1980. – С. 97 – 111.
5. *Добржанская М.А.* Закономерности пространственного распределения кислорода на различных глубинах Черного моря. – В сб: *Океанографические исследования Черного моря*. – К.: Наук. думка. – 1967. – С. 154 – 169.
6. *Жоров В.А., Богуславский С.Г., Кобылянская А.Г., Роинова В.П., Брянцев В.А., Назаренко С.А.* Распределение кислорода и сероводорода в летний сезон. – *Комплексные исследования Черного моря*. – 1979. – С. 122 – 133.
7. *Чигирин Н.И.* Распределение кислорода в Черном море. – *Труды Второго Всесоюзного гидрологического съезда*. – 1930. – Ч.3. – С. 341 – 343.
8. *Добржанская М.А.* Результаты гидрохимических наблюдений в августе 1951 г. и основные выводы по ним. – *Рукопись Севастоп. биол. ст.* – 1952.
9. *Добржанская М.А.* Гидрохимический режим Черного моря в апреле 1952 г. – *Рукопись Севастоп. биол. ст.* – 1954. – 378 с.
10. *Добржанская М.А.* Основные черты гидрохимического режима Черного моря. – *Труды Севастопольской биологической станции*. – Москва. – 1960. – Т. 13. – С. 325 – 378.
11. *Андрющенко Е.Г., Галковская Л.К., Годин Е.А., Жук Е.В. и др.* Банк океанографических данных МГИ НАН Украины: информационные ресурсы и доступ к данным. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2010. – 59 с.
12. *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.
13. «Океанографический атлас Черного и Азовского морей». – К.: ДУ «Держгідрографія». – 2009. – 356 с.
14. *Полонский А.Б., Шокурова И.Г.* Статистическая структура крупномасштабных полей температуры и солености в Черном море // *Морской гидрофизический журнал*. – 2008. – №1. – С. 51 – 65.
15. *Mee L.D.* Eutrophication in the Black Sea. Establishing the causes and effects // *Draft summary report of the study by Black Sea scientists. Danube river pollution reduction programme and the Black Sea environment programme*. – Vienna, Austria and Istanbul, Turkey, 1998. – P. 25.