

С.В.Свищев

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

**СОПОСТАВЛЕНИЕ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ
КИСЛОРОДА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ
ДЛЯ КЛЮЧЕВЫХ ПЕРИОДОВ В ЭВОЛЮЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Рассмотрены закономерности внутригодовых изменений концентрации кислорода и степени насыщения кислородом поверхностного слоя вод Черного моря в период 1965 – 2011 гг. Выявлены пространственные особенности сезонных изменений распределения кислорода для шельфовых и глубоководных районов Черного моря. В годовом ходе содержания кислорода в поверхностном слое вод глубоководных районов моря можно выделить два периода: перенасыщение с февраля по август и дефицит с октября по февраль. Для поверхностного слоя шельфовых районов Черного моря (за исключением доэвтрофикационного периода) отсутствует ярко выраженный период недонасыщения вод кислородом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *концентрация кислорода, степень насыщения кислородом, поверхностный слой, глубоководные и шельфовые районы, период интенсивной эвтрофикации, Черное море.*

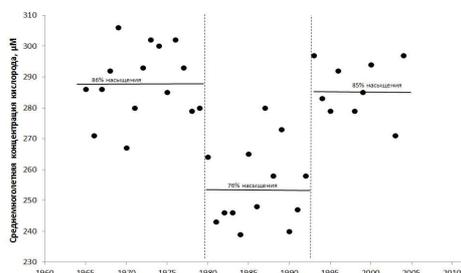
Для решения ряда важных фундаментальных и прикладных задач региональной океанографии и охраны окружающей среды, необходимо детальное изучение гидрохимического режима вод. Усиление требований к качеству и количеству данных обусловлено тем, что перед современной химической океанографией встали исключительно важные в практическом отношении проблемы, связанные с исследованием скоростей протекания химических и биохимических процессов в водной толще.

Одним из наиболее важных гидрохимических показателей является содержание растворенного кислорода, поскольку концентрация растворенного кислорода, равно как и степень насыщения вод кислородом, характеризуют состояние морской экосистемы, комфортность существования биологических сообществ, интенсивность протекания в ней основных биологических и биохимических процессов, стабильность гидрохимического режима.

Данные по гидрохимии черноморского бассейна до середины 60-х гг. достаточно полно обобщены в ряде монографий [1 – 3]. В них с позиций достигнутых теоретических представлений и аналитических возможностей рассмотрены закономерности распределения и динамики значительного числа компонент химического состава вод открытой части моря. Однако, начиная с конца 60-х гг., экосистема Черного моря претерпела значительные изменения, связанные с вариациями в характеристиках эвтрофикации и климата.

В связи с этим целью данной работы является анализ сезонных изменений концентрации кислорода в поверхностном слое для ключевых периодов в эволюции Черного моря. Сопоставление внутригодовых изменений средней концентрации кислорода в поверхностном слое вод и степени их насыщения кислородом позволяет оценить как продолжительность периодов недонасыщения и перенасыщения вод кислородом, так и интенсивность инвазионного и эвтрофического потоков соответственно.

© С.В.Свищев, 2013



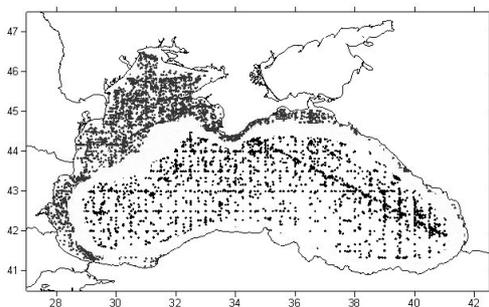
Р и с . 1 . Многолетние изменения концентрации и степени насыщения вод кислородом на глубине залегания горизонта условной плотности 14,5.

ней частью оксиклина и поверхностным слоем вод [4 – 6]. Поскольку данный горизонт находится ниже зоны фотосинтеза, то концентрация растворенного кислорода в нем определяется соотношением физических обменных процессов и интенсивности биохимического потребления кислорода. Помимо всего прочего, данный горизонт соответствует положению ядра холодного промежуточного слоя, что позволяет оценить роль климатических изменений интенсивности вентиляции вод Черного моря.

Выполненный анализ среднемноголетних концентраций растворенного кислорода на горизонте сравнения позволил выделить три примерно равных временных отрезка (рис.1). Их можно соотносить с ключевыми для эволюции Черного моря периодами: доэвтрофикационным (1965 – 1979 гг.), периодом интенсивной эвтрофикации (1980 – 1992 гг.) и постэвтрофикационным (1992 – 2011 гг.).

Рассматриваемые районы. В работе использованы данные, полученные в шельфовых (глубины до 200 м) и глубоководных (более 1500 м) районах Черного моря. Имеющихся данных достаточно для анализа закономерностей внутригодовых изменений концентрации кислорода и степени насыщения кислородом поверхностного слоя вод Черного моря (рис.2).

Глубоководные районы Черного моря. Анализ распределения кислорода для глубоководных районов Черного моря в различные сезоны 1965 – 2011 гг. показывает, что значения средних величин концентрации в поверхностном слое изменялись в пределах от 240 до 331 μM в доэвтрофикационный период, от 246 до 345 μM в период интенсивной эвтрофикации, от 236 до 327 μM в постэвтрофикационный период. Пример сезонного хода в один из рассматриваемых периодов приведен на рис.3.



Р и с . 2 . Пространственное распределение станций отбора проб в поверхностном слое вод для глубоководных и шельфовых районов Черного моря.

Обоснование выбора временных периодов. Рассматриваемый период с 1965 по 2011 гг. наиболее обеспечен прошедшими контроль качества данными: как гидрохимическими – о концентрации растворенного кислорода, так и сопутствующими гидрологическими данными о температуре и солёности поверхностного слоя вод.

В качестве горизонта для сравнения данных разных лет был выбран горизонт условной плотности 14,5, являющийся граничным между верх-

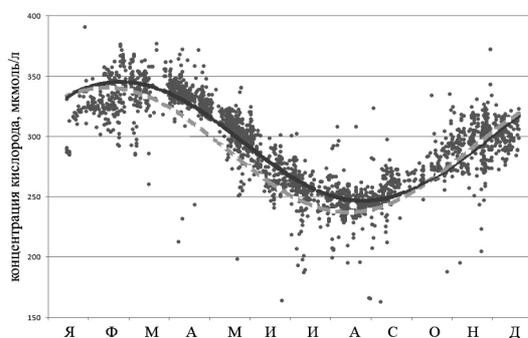
ней частью оксиклина и поверхностным слоем вод [4 – 6]. Поскольку данный горизонт находится ниже зоны фотосинтеза, то концентрация растворенного кислорода в нем определяется соотношением физических обменных процессов и интенсивности биохимического потребления кислорода. Помимо всего прочего, данный горизонт соответствует положению ядра холодного промежуточного слоя, что позволяет оценить роль климатических изменений интенсивности вентиляции вод Черного моря.

Выполненный анализ среднемноголетних концентраций растворенного кислорода на горизонте сравнения позволил выделить три примерно равных временных отрезка (рис.1). Их можно соотносить с ключевыми для эволюции Черного моря периодами: доэвтрофикационным (1965 – 1979 гг.), периодом интенсивной эвтрофикации (1980 – 1992 гг.) и постэвтрофикационным (1992 – 2011 гг.).

Рассматриваемые районы. В работе использованы данные, полученные в шельфовых (глубины до 200 м) и глубоководных (более 1500 м) районах Черного моря. Имеющихся данных достаточно для анализа закономерностей внутригодовых изменений концентрации кислорода и степени насыщения кислородом поверхностного слоя вод Черного моря (рис.2).

Глубоководные районы Черного моря. Анализ распределения кислорода для глубоководных районов Черного моря в различные сезоны 1965 – 2011 гг. показывает, что значения средних величин концентрации в поверхностном слое изменялись в пределах от 240 до 331 μM в доэвтрофикационный период, от 246 до 345 μM в период интенсивной эвтрофикации, от 236 до 327 μM в постэвтрофикационный период. Пример сезонного хода в один из рассматриваемых периодов приведен на рис.3.

Весенний максимум содержания кислорода наблюдался в первой декаде апреля в доэвтрофикационный период, в середине февраля в период интенсивной эвтрофикации, в последних числах февраля в пост-



Р и с . 3 . Сезонный ход концентрации кислорода (μM) в поверхностном слое вод для глубоководных районов Черного моря в период интенсивной эвтрофикации: натурные данные ($n = 2512$) (\bullet), результат аппроксимации концентрации растворенного кислорода (—), аппроксимация, учитывающая гидрологические данные и отражающая концентрацию кислорода, при которой насыщение вод близко 100 % (- - -).

эвтрофикационный период. Аналогично осенний минимум наблюдался в первой декаде октября в доэвтрофикационный период, в середине августа в период интенсивной эвтрофикации, в последних числах августа в постэвтрофикационный период.

Наибольшая продолжительность периода перенасыщения вод кислородом для глубоководных районов Черного моря свойственна периоду интенсивной эвтрофикации (около 278 суток), затем следует доэвтрофикационный период (201 сутки) и постэвтрофикационный период (108 суток).

Шельфовые районы Черного моря. Анализ распределения кислорода для шельфовых районов Черного моря в различные сезоны 1965 – 2011 гг. показывает, что значения средних величин концентрации в поверхностном слое изменялись в пределах от 249 до 346 μM в доэвтрофикационный период, от 260 до 356 μM в период интенсивной эвтрофикации, от 266 до 371 μM в постэвтрофикационный период.

Весенний максимум наблюдался в середине февраля в доэвтрофикационный период, в конце января в период интенсивной эвтрофикации, во второй декаде февраля в постэвтрофикационный период. Аналогично осенний минимум наблюдался в середине августа в доэвтрофикационный период, в конце июля в период интенсивной эвтрофикации, во второй декаде августа в постэвтрофикационный период.

Особенностью шельфовых районов Черного моря является то, что за исключением доэвтрофикационного периода отсутствует ярко выраженный период недонасыщения вод кислородом. Продолжительность периода перенасыщения для доэвтрофикационного периода составляет около 236 суток, для периода интенсивной эвтрофикации – практически 365 суток (однако в середине декабря наблюдается кратковременное равновесие). В постэвтрофикационный период значительное перенасыщение поверхностного слоя вод кислородом наблюдается в течение всего года.

Выводы. По результатам статистического анализа данных о концентрации кислорода и степени насыщения кислородом поверхностного слоя вод Черного моря в период 1965 – 2011 гг. восстановлен сезонный ход средних величины концентрации кислорода. Полученные значения могут считаться оценками типичных диапазонов концентраций кислорода в водах поверхностного слоя глубоководных и шельфовых районов Черного моря в различные сезоны в рассмотренные периоды.

Анализ внутригодовых изменений средних величин концентрации ки-

слорода показал, что средние минимальные и средние максимальные концентрации кислорода для различных районов акватории Черного моря достигаются в различное время года. Максимум средней концентрации растворенного кислорода в поверхностном слое отмечается сначала в шельфовых районах моря и лишь затем в глубоководных. Аналогичная ситуация наблюдается и с минимумом средней концентрации кислорода в поверхностном слое.

Показано, что в период интенсивной эвтрофикации вод наблюдается увеличение как абсолютных значений концентрации кислорода в поверхностном слое, так и амплитуды наблюдаемых изменений концентрации. По этим параметрам глубоководные районы в современный период близки к значениям периода доэвтрофикационного, а шельфовые близки к значениям периода эвтрофикации.

С другой стороны, в период интенсивной эвтрофикации наблюдается более раннее достижение экстремальных значений концентраций кислорода. По данному критерию глубоководные районы в современный период все еще близки к периоду интенсивной эвтрофикации, тогда как шельфовые вернулись к значениям характерным для доэвтрофикационного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Скопинцев Б.А.* Формирование современного химического состава Черного моря.– Л.: Гидрометеиздат, 1975.– 336 с.
2. *Сорокин Ю.И.* Черное море: Природа, ресурсы.– М.: Наука, 1982.– 217 с.
3. *Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И.* Геохимия Черного моря.– Киев: Наукова думка, 1982.– 144 с.
4. *Иванов В.А., Белокопытов В.Н.* Океанография Черного моря.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011.– 212 с.
5. *Белокопытов В.Н.* Термохалинная и гидролого-акустическая структура вод Черного моря: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук.– Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004.– 20 с.
6. *Тужилкин В.С.* Сезонная и многолетняя изменчивость термохалинной структуры вод Черного и Каспийского морей и процессы ее формирования: Автореф. дисс. ... д-р геогр. наук.– М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2008.– 48 с.

Материал поступил в редакцию 18.06.2013 г.

АНОТАЦІЯ Розглянуто закономірності внутрішньорічних змін концентрації кисню і ступеня насичення киснем поверхневого шару вод Чорного моря в період 1965 – 2011 рр.. Виявлено просторові особливості сезонних змін розподілу кисню для шельфових і глибоководних районів Чорного моря. У річному ході вмісту кисню в поверхневому шарі вод глибоководних районів моря можна виділити два періоди: перенасичення з лютого по серпень і дефіцит з жовтня по лютий. Для поверхневого шару шельфових районів Чорного моря (за винятком доэвтрофікаційного періоду) відсутня яскраво виражений період недонасичення вод киснем.

ABSTRACT The characteristics of the intra-annual variation in concentration of oxygen, and oxygen saturation of the surface layer of the Black Sea in the period 1965 – 2011. The spatial features of the seasonal changes of the oxygen distribution for the shelf and deepwater areas of the Black Sea. The annual course of the oxygen content in the surface waters of the deep sea can be divided into two periods: a glut from February to August and the deficit from October to February. For the surface layer of the shelf areas of the Black Sea (except preeutrophication period) is not a distinct period of undersaturation of water with oxygen.