

Экспериментальные и экспедиционные исследования

УДК 551.465 (262.5)

С.В. Свищев, С.И. Кондратьев, С.К. Коновалов

Закономерности сезонных изменений содержания и распределения кислорода в водах Севастопольской бухты

Рассмотрены закономерности внутригодовых изменений концентрации кислорода и степени насыщения кислородом вод Севастопольской бухты в период 1998 – 2009 гг. Выявлены пространственные особенности сезонных изменений распределения кислорода в водах Севастопольской бухты. В годовом ходе содержания кислорода в поверхностном слое вод во всех районах бухты можно выделить два периода: перенасыщения с марта по сентябрь и недонасыщения с октября по февраль. В придонном слое вод во всех районах бухты наблюдается недонасыщение вод кислородом в течение всего года.

Ключевые слова: концентрация кислорода, степень насыщения кислородом, Севастопольская бухта.

Введение. Интенсивно эксплуатируемые прибрежные морские системы, к числу которых относится Севастопольская бухта, подвергаются воздействию повышенной антропогенной нагрузки. Она может включать факторы чрезмерно интенсивной эксплуатации природных ресурсов, вселения чужеродных видов, загрязнения окружающей среды (выбросы хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод и т. д.) [1]. Одним из фундаментальных индикаторов нежелательных изменений состояния морской экосистемы является изменение режима кислорода.

Концентрация растворенного кислорода 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. По этой причине информация о кислородном режиме прибрежных морских акваторий в целом, и Севастопольской бухты в частности, имеет первостепенное значение при планировании их рационального использования в различных областях хозяйственной деятельности человека.

Одним из наиболее характерных негативных изменений состояния морской среды является дефицит кислорода (гипоксия), а в предельном случае – отсутствие кислорода (аноксия). В то время как термин «аноксия» имеет однозначное определение и соответствует аналитическому отсутствию кислорода, т. е. обычно концентрациям менее 0,02 мл/л, термин «гипоксия» менее однозначен. Это связано с тем, что этот термин изначально определял уро-

© С.В. Свищев, С.И. Кондратьев, С.К. Коновалов, 2011

вень содержания кислорода, при котором возникали отрицательные физиологические реакции в биологических сообществах. Поскольку устойчивость к дефициту кислорода у различных биологических сообществ различна, то отличалась и величина концентрации кислорода, используемая для определения условий гипоксии. Одной из наиболее общепринятых величин в настоящее время является концентрация кислорода, равная 2 мг/л (1,4 мл/л).

Севастопольская бухта расположена на юго-западной оконечности Крымского п-ова и представляет собой полузамкнутую акваторию эстуарного типа с ограниченным водообменом. В ней выделяют устье р. Черной и 19 малых бухт – Карантинную, Артиллерийскую, Южную, Килен-бухту и др. [2]. Протяженность основной части бухты составляет 7,5 км при максимальной ширине около 1 км. Глубина бухты достигает при входе 20 м и уменьшается до 4 – 5 м к вершине. Средняя глубина бухты составляет 12,5 м. После постройки в 1976 – 1977 гг. защитного мола ширина бухты при входе уменьшилась с 940 до 550 м. Это привело к уменьшению интенсивности водообмена с сопредельной акваторией моря, а значит, к уменьшению потока обогащенных кислородом морских вод в бухту и увеличению риска возникновения дефицита кислорода.

В восточной части (в вершине) в бухту впадает р. Черная – одна из наиболее полноводных рек юго-запада Крыма. Ее среднегодовой зарегулированный сток для 1954 – 2000 гг. составлял 56,8 млн. м³, причем 80% этого стока приходилось на зимние и весенние периоды [3]. Учитывая, что объем вод бухты составляет 79 млн. м³ [4], даже в условиях зарегулированного стока р. Черная оказывает большое влияние на акваторию бухты, что проявляется в постоянном опреснении ее поверхностных вод, а также в поступлении с речным стоком органических и минеральных веществ. При этом опреснение поверхностных вод увеличивает устойчивость вертикальной стратификации и уменьшает интенсивность вертикальной вентиляции вод [5], а поступление с речным стоком органических веществ и биогенных элементов приводит к более интенсивному потреблению кислорода в биогеохимических процессах окисления органического вещества.

Несмотря на продолжительный период исследований Севастопольской бухты и наличие достаточно обширной научной литературы, многие вопросы ее гидрохимического режима остаются слабо освещенными. Наиболее полной публикацией можно считать препринт «Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов» [3]. В этой работе обсуждаются режимные характеристики гидрометеорологических элементов (температуры воздуха и воды, уровня моря, ветра и волнения) и их сезонные и многолетние изменения, приводятся данные об основных особенностях гидрохимической структуры вод бухты в современных условиях, выполнено биогеохимическое районирование акватории бухты, однако отсутствует анализ сезонных изменений гидрохимических характеристик, в первую очередь кислорода. В работе [5]

приводится подробное описание особенностей распределения растворенного кислорода в водах бухты в различные сезоны 2006 – 2007 гг. и обсуждается на качественном уровне влияние гидрофизических и химико-биологических процессов, однако материал ограничен лишь одним годовым циклом.

Целью настоящей работы является изучение закономерностей сезонных изменений концентрации растворенного кислорода и уровня насыщения им вод Севастопольской бухты по результатам 62 гидролого-гидрохимических съемок за 1998 – 2009 гг.

Материалы и методы исследования. При анализе сезонных изменений содержания кислорода использовались результаты экспедиционных исследований Севастопольской бухты и прилегающей к ней акватории открытого моря за период май 1998 г. – сентябрь 2009 г. Распределение станций отбора проб представлено на рис. 1. На рис. 2 показано распределение проведенных съемок по годам и месяцам.



Р и с. 1. Схема районирования Севастопольской бухты с указанием положения и номеров станций отбора проб

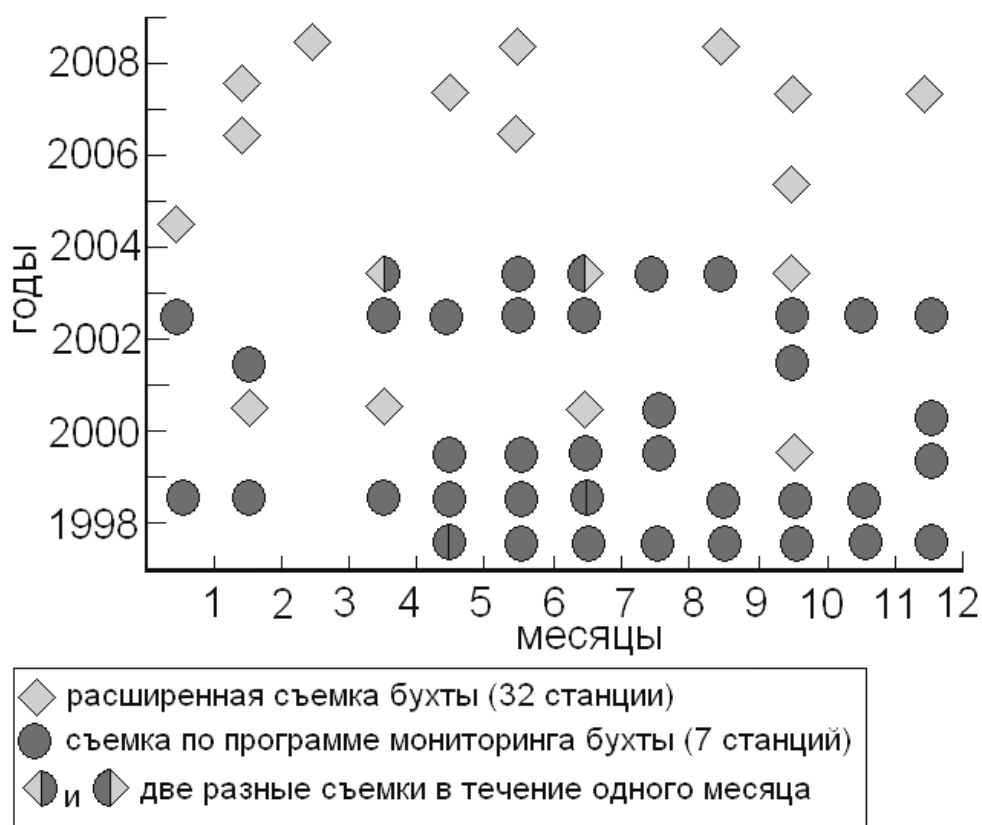
Температура и соленость измерялись *in situ* с использованием СТД-зонда ШИК-1, оснащенного кассетой пластмассовых батометров для отбора проб с их последующим йодометрическим титрованием по методу Винклера [6, 7] для определения концентрации растворенного кислорода. Отбор проб с поверхностного горизонта осуществлялся с глубин 0,5 – 1,0 м, с придонного – на расстоянии 1 м от дна.

Поскольку распределение кислорода в водах бухты характеризуется значительными пространственно-временными изменениями [3, 5], при анализе учитывалось разделение Севастопольской бухты (рис. 1) на четыре района (западный, центральный, южный и восточный), согласно работе [3].

Для данных, полученных на станциях одного района, выполнялась аппроксимация внутригодовых изменений функцией вида

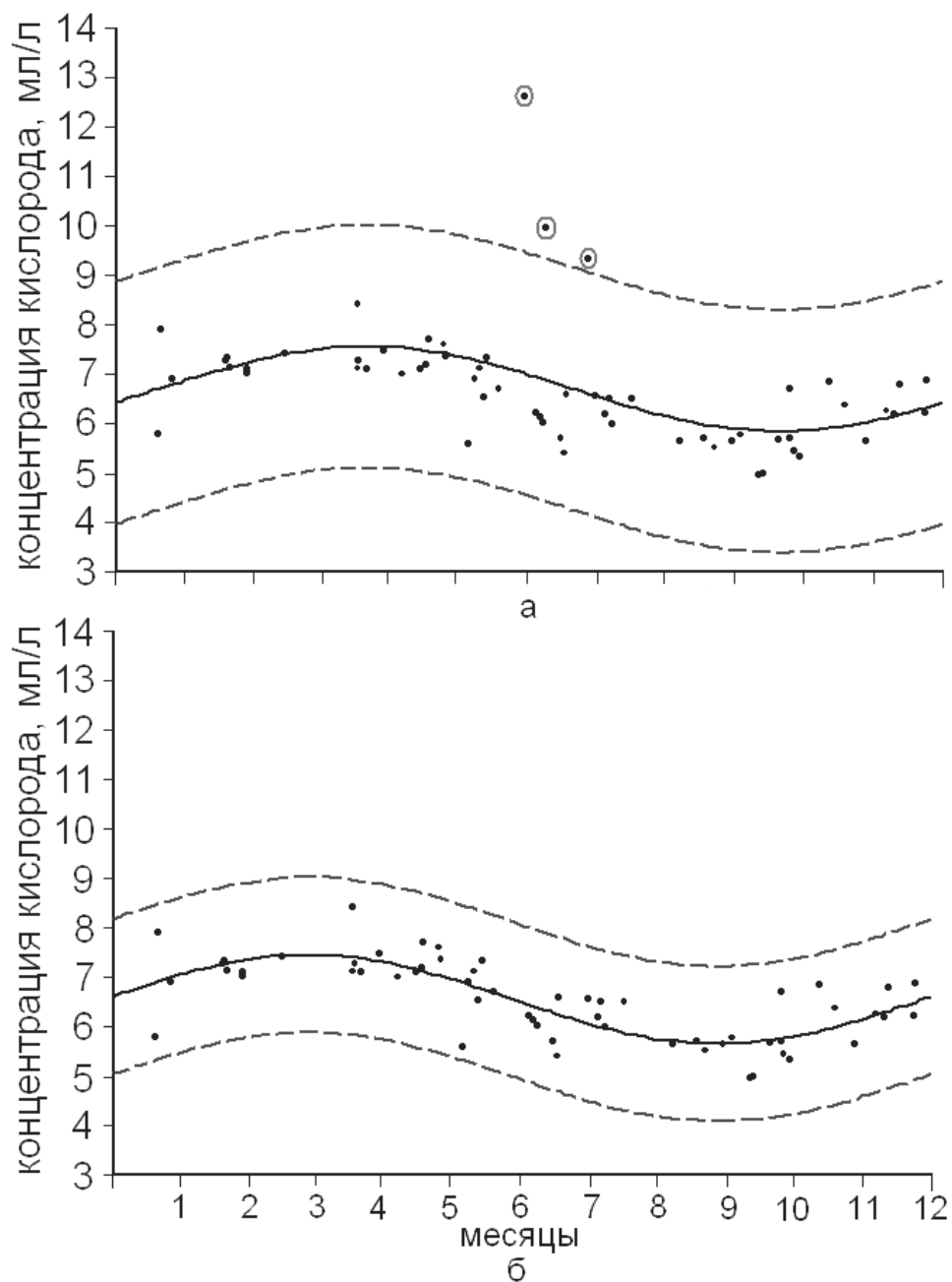
$$[O_2] = [\bar{O}_2] + a \sin(2\pi t + \varphi),$$

где $[O_2]$ – концентрация кислорода (мл/л), $[\bar{O}_2]$ – среднегодовая концентрация кислорода для данного района (мл/л), t – время (год). Синусоидальная зависимость была использована как простая и наиболее часто употребляемая для аппроксимации внутригодовых изменений.



Р и с. 2. Распределение проведенных съемок по годам и месяцам

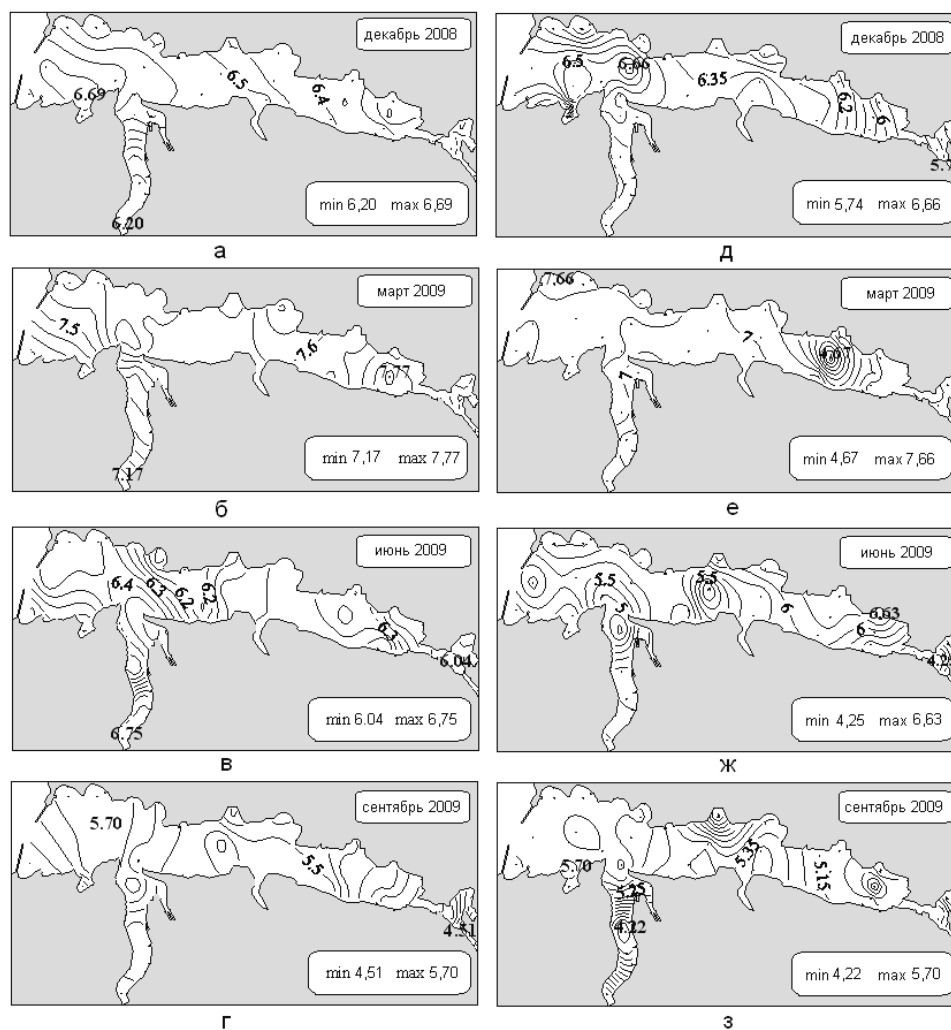
При расчетах характерных средних концентраций кислорода для каждого из рассматриваемых районов данные съемок, оказавшиеся за пределами 95%-ного доверительного интервала для средних величин, рассматривались как результат аномальных условий и в данной работе не использовались (рис. 3).



- данные съёмки 1998 - 2009 гг.
- ⊙ anomальные данные съёмки (июль 1999 г.)
- линия тренда концентрации кислорода
- 95%-ный доверительный интервал

Р и с. 3. Пример выбраковки съёмок с аномальными концентрациями растворенного кислорода для южного района бухты: *а* – до выбраковки, *б* – после выбраковки

Результаты и их обсуждение. Анализ распределения кислорода в Севастопольской бухте в различные сезоны 2008 – 2009 гг. показывает (рис. 4), что величины концентрации в поверхностном слое изменялись в пределах от 4,51 до 7,77 мл/л, в придонном – от 4,22 до 7,66 мл/л, отражая весенний максимум (рис. 4, б, е) и осенний минимум (рис. 4, г, з). Аналогичные значения были опубликованы для 2004 г. [3] и 2006 – 2007 гг. [5]. Учитывая результаты статистического анализа (рис. 3), эти значения могут считаться оценками типичных диапазонов концентраций кислорода в водах бухты в различные сезоны в современный период.



Р и с. 4. Распределение концентрации кислорода (мл/л) в поверхностном (а – г) и придонном (д – з) слоях вод Севастопольской бухты в различные сезоны 2008 – 2009 гг. (аномальные данные не показаны)

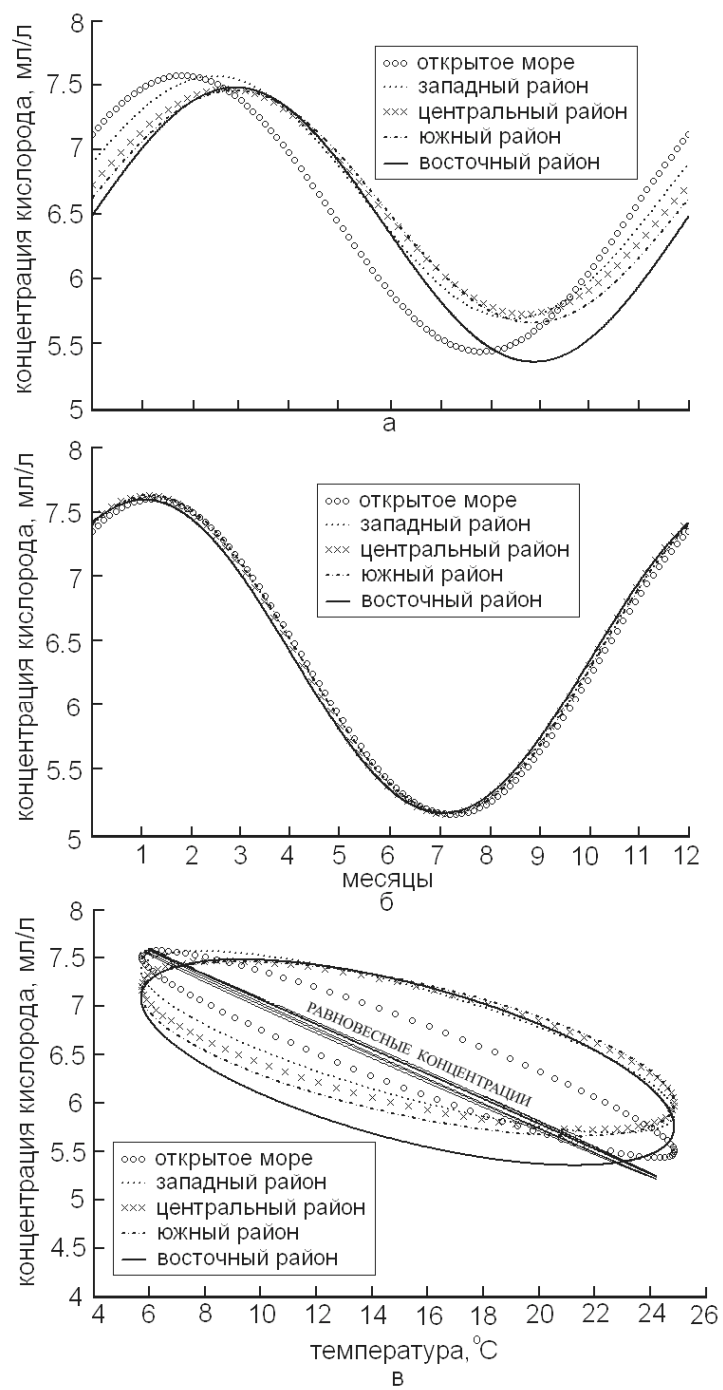
Расчеты внутригодовых изменений средних величин концентрации кислорода показали, что средние минимальные и средние максимальные концентрации кислорода для различных районов акватории бухты достигаются в различное время года (рис. 5, *a*). Максимум средней концентрации растворенного кислорода в поверхностном слое отмечается ранее всего в открытом море (в первой декаде марта), затем, спустя три недели, – в западном районе Севастопольской бухты (в третьей декаде марта) и далее, с шагом в три – четыре дня — в центральном, восточном и южном районах. Минимум средней концентрации кислорода в поверхностном слое также достигается сначала в открытом море (в третьей декаде августа), затем, спустя три недели, – в западном районе Севастопольской бухты (в середине сентября) и далее, с шагом в три – четыре дня — в центральном, восточном и южном районах.

В придонном слое (рис. 6, *a*), в отличие от поверхностного, максимальное, так же как и минимальное, содержание кислорода достигается одновременно во всех районах бухты и примыкающем районе открытого моря. Однако как максимальная, так и минимальная средние концентрации растворенного кислорода тем больше, чем ближе к открытому морю находится район.

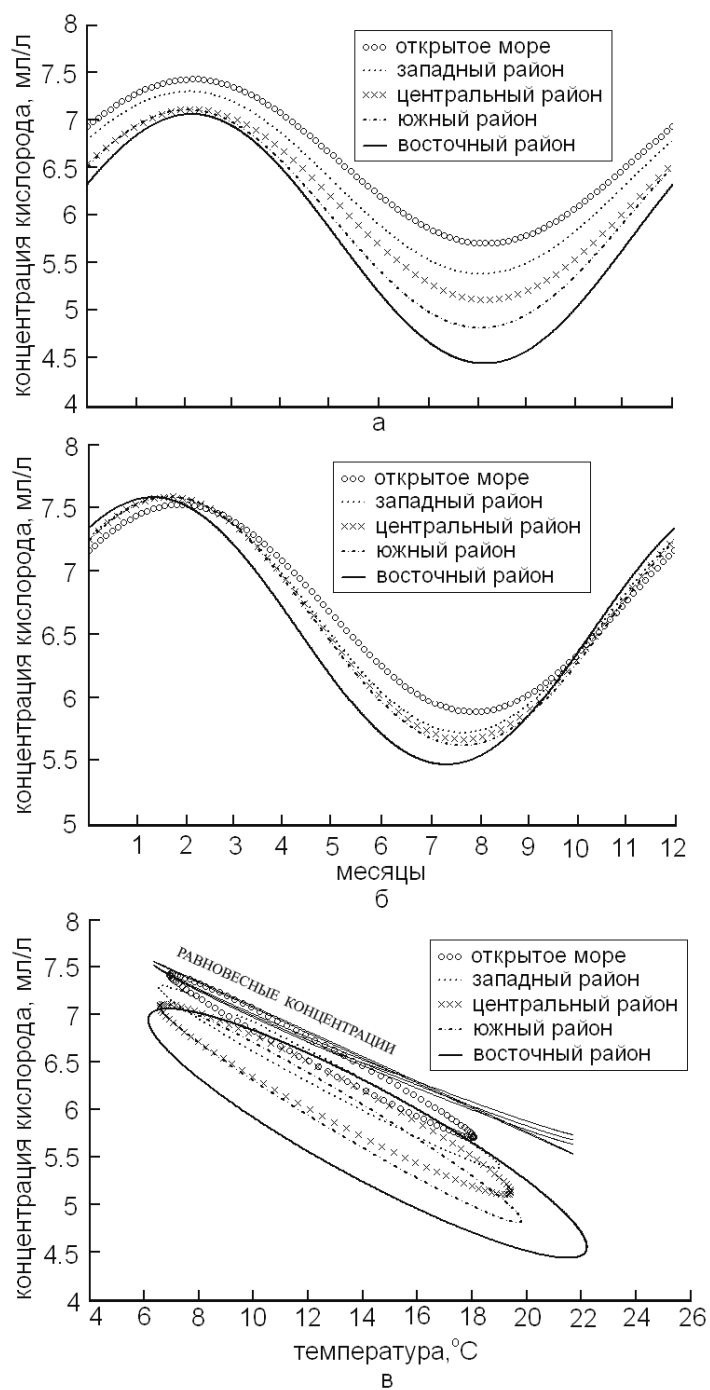
Сезонные изменения распределения кислорода в морской воде и, в частности в водах бухты, являются результатом в первую очередь двух групп процессов:

- физических (сезонных изменений термогалинного режима и соответствующего изменения растворимости кислорода, а также изменения интенсивности конвекционного и ветрового перемешивания вод);
- химико-биологических (продукции кислорода в результате фотосинтеза, потребления кислорода на окисление органического вещества и дыхание гидробионтов).

С целью оценки влияния физических процессов (т. е. изменения концентрации кислорода вследствие изменения температуры и солености) для каждого района бухты был рассчитан годовой ход изменения содержания кислорода в предположении 100%-ного насыщения вод кислородом (рис. 5, *б* и 6, *б*). Видно, что различие во времени достижения максимума и минимума концентрации кислорода в поверхностном слое не превышает 3 дней между примыкающим к бухте районом открытого моря и внутренними мелководными восточным и южными районами бухты. Причем экстремумы в мелководных районах бухты наблюдаются раньше, чем в более глубоководных районах и открытом море. Малые различия во времени достижения максимума и минимума концентрации кислорода подчеркивают доминирующее влияние физических процессов. Такая закономерность еще в большей степени характерна для придонного слоя вод (рис. 6, *б*). Это полностью совпадает с существующими представлениями [5] о том, что более мелководная часть бухты должна быстрее прогреваться и охлаждаться, следовательно, экстремумы концентраций кислорода должны здесь достигаться быстрее, чем в глубоководных районах бухты и открытом море. Отметим, что рассчитанные максимальные и минимальные концентрации для южного и восточного районов бухты оказались несколько выше, чем для других, что связано с увеличением растворимости кислорода при уменьшении солености вод.



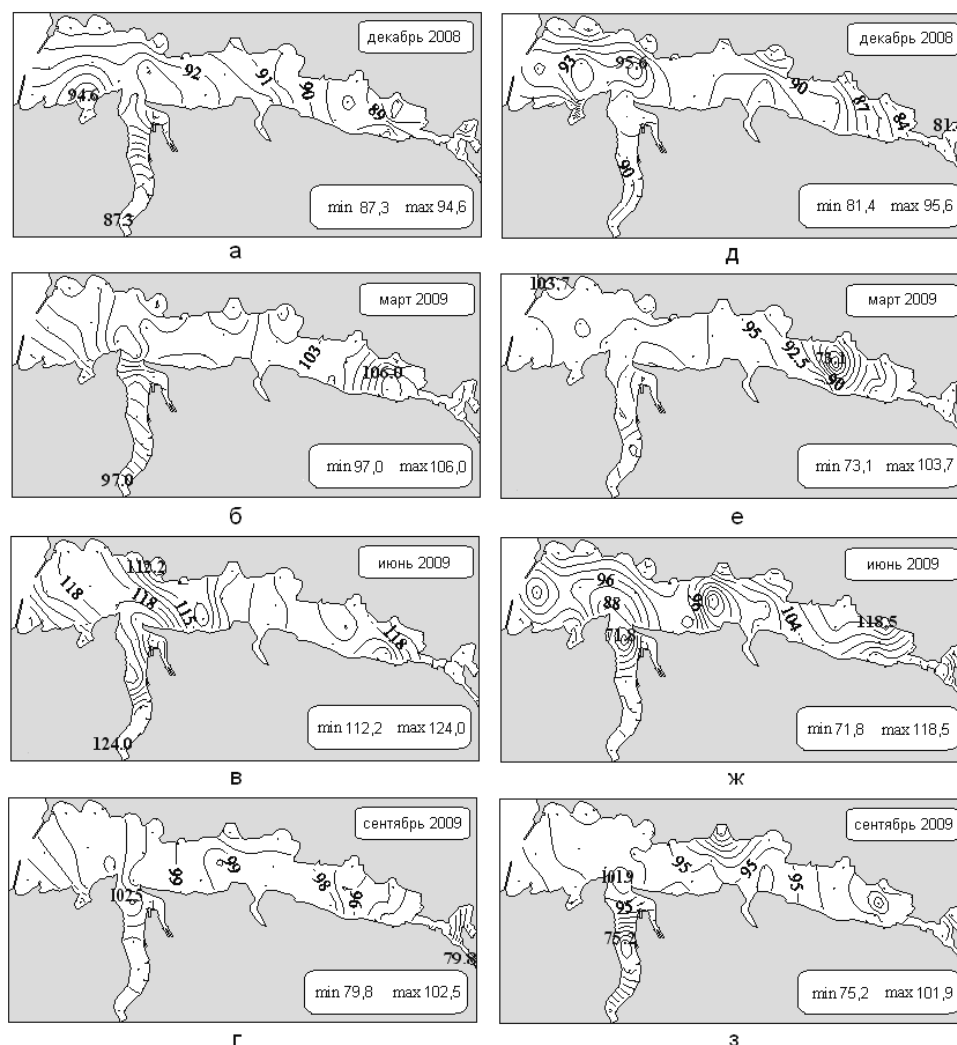
Р и с. 5. Внутригодовые изменения средних величин концентрации кислорода в поверхностном слое вод различных районов бухты и в открытом море по экспедиционным данным (а), в предположении 100%-ного насыщения вод кислородом (б), а также диаграмма зависимости содержания кислорода от температуры (в)



Р и с. 6. Внутригодовые изменения средних величин концентрации кислорода в придонном слое вод различных районов бухты и в открытом море по экспедиционным данным (а), в предположении 100%-ного насыщения вод кислородом (б), а также диаграмма зависимости содержания кислорода от температуры (в)

Сравнение рис. 5, б и 6, б и рис. 5, а и 6, а показывает, что пространственные особенности сезонных изменений концентрации кислорода не могут быть в полной мере объяснены только сезонным изменением растворимости кислорода. Более того, наблюдаемая временная последовательность достижения максимальных и минимальных значений содержания кислорода в поверхностном слое вод в различных районах противоположна той, которая определяется сезонным ходом термогалинных характеристик. Не могут быть объяснены в рамках сезонных изменений растворимости кислорода и столь различные величины максимальных и минимальных средних концентраций кислорода в поверхностном (рис. 5, а) и особенно в придонном (рис. 6, а) слоях вод.

Степень насыщения поверхностных вод кислородом близка к 90% в зимний период и превышает 115% в летний (рис. 7).



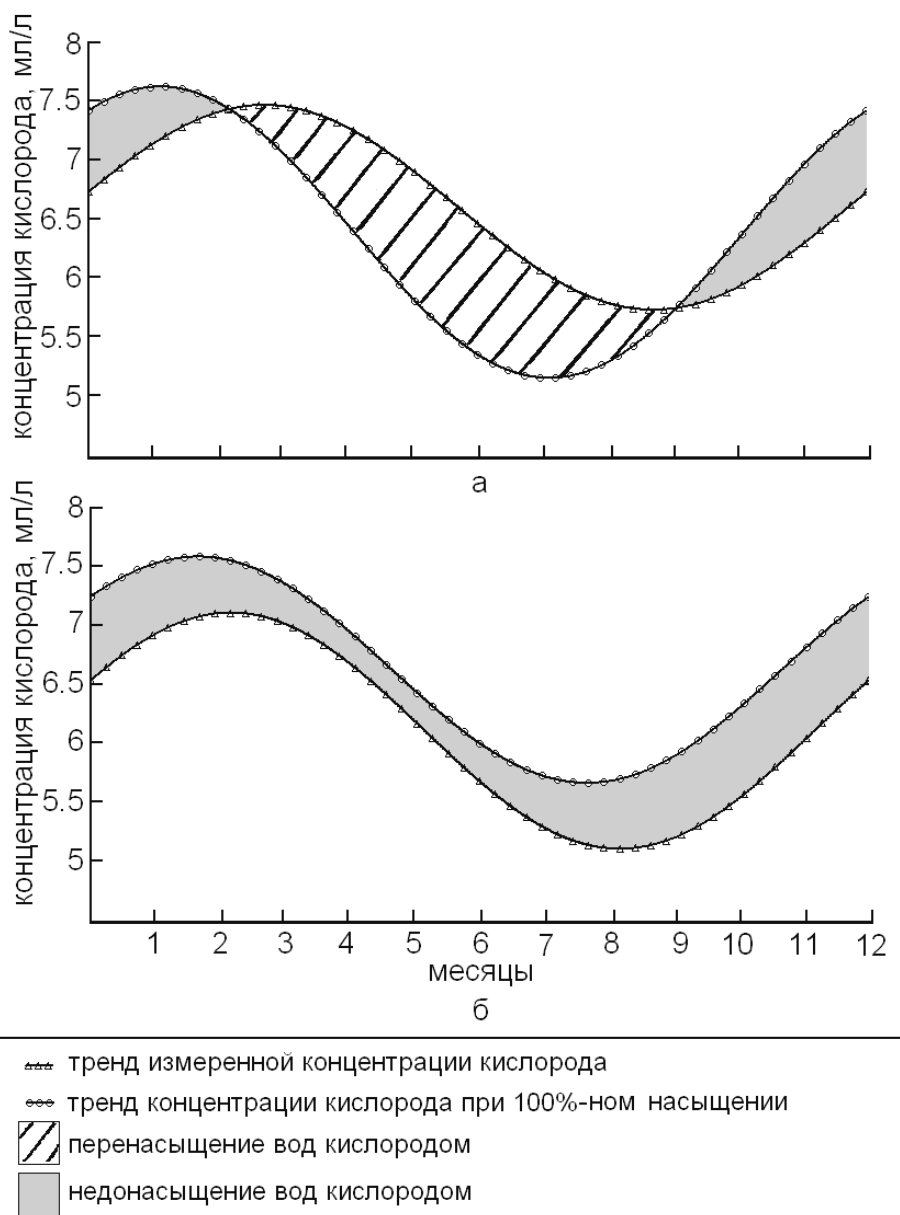
Р и с. 7. Распределение степени насыщения вод кислородом (%) в поверхностном (а – г) и придонном (д – з) слоях вод Севастопольской бухты в различные сезоны 2008 – 2009 гг. (аномальные данные не показаны)

Лишь в некоторых районах бухты степень насыщения кислородом придонного слоя вод достигает или превышает 100%, оставаясь на большей части акватории на уровне 80 – 90% в течение всего года. Некоторое перенасыщение вод кислородом возможно из-за снижения его растворимости вследствие прогрева вод в весенний период или изменения парциального давления кислорода в газовой фазе, однако величины таких отклонений в естественных условиях не превышают нескольких процентов [8]. Точно так же увеличением растворимости кислорода при охлаждении воды нельзя объяснить столь значительный дефицит кислорода в поверхностном слое в период с сентября по март. По этой причине представляется логичным объяснение перенасыщения вод кислородом в десятки процентов в период с марта по сентябрь (рис. 8) влиянием процесса фотосинтеза, максимум которого наблюдается в марте [3, 5]. Дефицит кислорода, скорее всего, связан с потреблением кислорода на окисление органического вещества, в частности, в холодный период года (с октября по февраль) интенсивность этого процесса превышает сумму скоростей продукции кислорода и его поступления из атмосферы.

Концентрация кислорода в придонном слое вод Севастопольской бухты также подвержена сезонным изменениям, однако, в отличие от поверхностного слоя, дефицит кислорода здесь наблюдается в течение всего года (рис. 8). Потребление кислорода за счет биохимических и химических процессов в придонном слое превосходит продукцию кислорода за счет фотосинтеза на большей части акватории бухты, а продуцируемое в поверхностном слое органическое вещество лишь частично используется первичными консументами, значительная его доля оседает на дно. При этом в придонном слое в условиях устойчивой плотностной стратификации, когда аэрация глубинных слоев затруднена, и при избыточном поступлении на дно органического вещества наблюдается явление гипоксии. В зависимости от соотношения интенсивности потребления кислорода и величины его потока уровень дефицита кислорода имеет пространственные особенности. Минимальная степень насыщения природных вод кислородом наблюдается в южном и восточном (рис. 7) районах бухты, для которых характерны высокий уровень эвтрофирования, наименьшая интенсивность водообмена, повышенная вертикальная устойчивость вод из-за поступления пресных вод и интенсивного прогрева в теплый период года. Хотя средние минимальные величины концентрации кислорода в придонном слое в настоящее время остаются достаточно высокими и приблизительно в 3 раза превышают граничную величину концентрации кислорода (1,4 мл/л) для условий гипоксии (рис. 6, а), тем не менее в некоторые годы концентрация кислорода в придонном слое южного района снижалась в летний период ниже 1,4 мл/л, а в придонном слое вод восточного района в 2009 г. впервые был обнаружен сероводород в концентрации до 0,8 мл/л [9].

На рис. 5, в и 6, в представлены внутригодовые колебания наблюдаемых концентраций кислорода в зависимости от температуры (с учетом солёности) вод бухты. Полученные диаграммы для всех четырех районов бухты имеют вид эллипсов на фоне линий, соответствующих 100%-ному насыщению вод кислородом. Область над линиями 100%-ного насыщения характеризует состояние вод, перенасыщенных кислородом, а область ниже этих линий – со-

стояние вод в условиях дефицита кислорода. Возникновение эллипсоидных зависимостей, изменение наклона большого диаметра и увеличение малого диаметра эллипсов отражают характер и интенсивность влияния химико-биологических процессов на внутригодовые осцилляции содержания кислорода.



Р и с. 8. Внутригодовые изменения средней концентрации кислорода в поверхностном (а) и придонном (б) слоях вод Севастопольской бухты по данным наблюдений и в предположении 100%-ного насыщения вод кислородом

Эллипсоидные зависимости на рис. 5, в и 6, в показывают значительные отклонения наблюдаемых величин содержания кислорода от его равновесных значений, а также существенно различный характер этих отклонений для различных сезонов, различных слоев вод и различных районов бухты. Наименьшие отличия (минимальная величина малого диаметра эллипса) проявляются для придонного слоя вод района открытого моря (рис. 6, в), степень насыщения которых в зимний период минимальных температур близка к 100%, а в летний период максимальных температур не ниже 90%. Такой характер внутригодовых изменений является естественным, поскольку поток органического вещества в этот слой вод минимален по сравнению с придонным слоем вод бухты, а достаточно большая глубина определяет медленный характер сезонных изменений температуры и растворимости кислорода.

Противоположная картина наблюдается для придонного слоя наиболее мелководного и эвтрофированного восточного района бухты (рис. 6, в). Здесь для этого слоя характерны: максимальный диапазон внутригодовых изменений температуры и содержания кислорода; наименьшая величина насыщения вод кислородом в течение всего года; наибольшая величина малого диаметра эллипса, характеризующего гистерезис изменения концентраций кислорода в периоды прогрева и охлаждения вод. Наиболее настораживающим является то, что для вод этого слоя характерен значительный дефицит кислорода в период охлаждения вод и даже при минимальных температурах. Учитывая наименьшую глубину бухты в этом районе, наименьшие величины температуры в зимний период и, следовательно, наибольшую интенсивность конвективного вертикального перемешивания, столь значительный дефицит кислорода указывает на экологически опасный уровень эвтрофирования этого района бухты. В связи с этим выглядит естественным тот факт, что в придонном слое именно этого района в сентябре 2009 г. обнаружены анаэробные условия и присутствие сероводорода.

Для поверхностных вод бухты и примыкающего района моря (рис. 5, в) наблюдаются перенасыщение вод кислородом в течение большей части периода прогрева вод и дефицит кислорода в течение большей части периода охлаждения вод. Хотя диапазон температур весьма слабо меняется от одного района к другому, величина гистерезиса изменения концентраций кислорода в периоды прогрева и охлаждения вод увеличивается по мере продвижения от открытого моря к западному району бухты и далее к центральному и южному районам, достигая максимального значения в восточном районе бухты. Такой характер изменений внутригодовой зависимости содержания кислорода от температуры по акватории бухты подтверждает существенное влияние в теплый период года процессов фотосинтеза кислорода, интенсивность которых превышает его биогеохимическое потребление и поток из воды в атмосферу. Тогда как в холодный период года интенсивность биогеохимических процессов потребления кислорода превышает его поток из атмосферы в воду. В целом, учитывая значительные отклонения сезонного хода концентраций кислорода не только в придонном, но и в поверхностном слое вод для всех районов бухты, можно сделать вывод о том, что все районы бухты подверже-

ны значительному эвтрофированию. Этот вывод согласуется с данными работы [10] о значительных изменениях в цикле углерода и об увеличении потока органического углерода из воды в донные осадки, а также с фактом возникновения состояния гипоксии в придонном слое вод южного района и анаэробных условий в придонном слое вод восточного района бухты.

В заключение следует отметить, что диаграммы зависимости концентрации кислорода от температуры (рис. 5, в) позволяют объяснить различия во времени достижения максимального и минимального содержания кислорода в поверхностном слое вод различных районов бухты (рис. 5, а). В районе открытого моря концентрация кислорода в поверхностном слое вод в значительной степени определяется его растворимостью, а значит, максимальная концентрация достигается во время минимальных температур, т.е. приблизительно в начале марта. Затем при все возрастающей температуре максимальная концентрация кислорода в поверхностном слое вод достигается в районах бухты от западного к восточному и южному. Данный период года характеризуется влиянием процессов снижения растворимости и повышения интенсивности фотосинтеза кислорода с ростом температуры. Это приводит к тому, что максимальные концентрации кислорода в поверхностном слое вод бухты наблюдаются на 3 – 4 недели позже, чем в районе открытого моря, и достигаются при этом с шагом в несколько дней последовательно от входа в бухту к ее внутренним районам.

Выводы. Изменения концентрации растворенного кислорода в поверхностном и придонном слоях вод Севастопольской бухты имеют выраженную сезонную периодичность. Физические процессы влияют на сезонный ход растворимости кислорода в водах бухты, тогда как химико-биологические процессы определяют степень отклонения содержания кислорода от его равновесного состояния и последовательность достижения максимальных и минимальных концентраций кислорода в различных районах бухты.

В годовом ходе содержания кислорода в поверхностном слое вод во всех районах бухты можно выделить два периода: перенасыщения с марта по сентябрь и недонасыщения с октября по февраль.

В придонном слое вод во всех районах бухты наблюдается дефицит кислорода в течение всего года.

В работе использованы данные многолетних экспедиционных исследований, выполненных сотрудниками отдела биогеохимии моря Морского гидрофизического института НАН Украины в рамках национальных и международных проектов. Особую благодарность авторы выражают научному сотруднику отдела биогеохимии моря МГИ НАН Украины А.С. Романову за методическую помощь в экспедиционных исследованиях вод Севастопольской бухты. Часть данной работы выполнена в рамках национальных проектов «Океанография», «Стабильная экосистема», «Экошельф» и международного проекта *EC 7thFP Area 6.4.1.2. ENV.2008.4.1.2.1. (2009 – 2011, HYPOX, #226213) In situ monitoring of oxygen depletion in hypoxic ecosystems of coastal and open seas, and land-locked water bodies (HYPOX).*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лопухин А.С., Овсяный Е.И., Романов А.С. Сезонные особенности гидролого-гидрохимической структуры вод Севастопольской бухты, микропланктон и распределение его биохимических компонент // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2007. – Вып. 15. – С.74 – 109.
2. Гриневецкий С.Р., Зонн И.С., Жильцов С.С. Черноморская энциклопедия. – М.: Международные отношения, 2006. – 664 с.
3. Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н. и др. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов. – Севастополь, 2006. – 90 с. – (Препринт / НАН Украины. МГИ).
4. Морочковский В.А., Ковальчук Ю.Л. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты // Ихтиофауна черноморских бухт в условиях антропогенного воздействия. – Киев: Наукова думка, 1993. – С.17 – 24.
5. Кондратьев С.И. Особенности распределения растворенного кислорода в водах Севастопольской бухты в 2006 – 2007 годах // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 2. – С. 63 – 76.
6. Winkler L.W. Die Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffes // Chem. Ber. – 1888. – 21. – P. 2843 – 2855.
7. Carpenter J.H. The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method // Limnol. Oceanogr. – 1965. – 10. – P. 141 – 143.
8. Иваненков В.Н. Баланс кислорода и главных биогенных элементов // Химия вод океана. Т.1. – М.: Наука, 1979. – С. 417 – 424.
9. Отчет о гидрохимической съемке Севастопольской бухты и реки Черная 18.09.2009 г. – 22.09.2009 г. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – 32 с.
10. Игнатьева О.Г., Овсяный Е.И., Романов А.С. и др. Оценка состояния карбонатной системы вод и изменения содержания органического углерода в донных осадках Севастопольской бухты по данным наблюдений за 1998 – 2005 годы // Морской гидрофизический журнал. – 2008. – № 2. – С. 57 – 67.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь
E-mail: sergsvischev09@ Rambler.ru

Материал поступил
в редакцию 21.01.10
После доработки 12.07.10

АНОТАЦІЯ Розглянуто закономірності внутрішньорічних змін концентрації кисню та ступеню насичення киснем вод Севастопольської бухти в період 1998 – 2009 рр. Виявлені просторові особливості сезонних змін розподілу кисню у водах Севастопольської бухти. У річному ході вмісту кисню в поверхневому шарі вод у всіх районах бухти можна виділити два періоди: перенасичення з березня по вересень і недонасичення з жовтня по лютий. У придонному шарі вод у всіх районах бухти спостерігається недонасичення вод киснем протягом всього року.

Ключові слова: концентрація кисню, ступінь насичення киснем, Севастопольська бухта.

ABSTRACT Regularities of intra-year variations of oxygen concentrations and degree of the Sevastopol bay waters oxygenation are considered for the period 1998 – 2009. Spatial features of seasonal changes of oxygen distribution in the Sevastopol bay waters are revealed. Two periods are distinguished in the annual variation of oxygen content in the water surface layer in all the areas of the bay: over-saturation in March – September and under-saturation in October – February. In all the areas of the bay water oxygen under-saturation is observed in the benthic layer during the whole year.

Keywords: oxygen concentration, degree of oxygenation, Sevastopol bay.