

УДК 551.465 (262.5)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ КРЫМА

А. В. Видничук, С. К. Коновалов

Морской гидрофизический институт РАН (ФГБУН МГИ), Севастополь 299011, Россия

E-mail: anna_vidnichuk@mhi-ras.ru; director@mhi-ras.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности динамики уровня насыщения кислородом вод Севастопольской бухты по результатам гидрохимических съемок, выполненных сотрудниками Морского гидрофизического института РАН в 2007–2017 гг. По результатам анализа уровня дефицита кислорода проведено районирование бухты. Сделан вывод о преобладающем влиянии антропогенной составляющей на экологическое состояние Севастопольской бухты.

Ключевые слова: Севастопольская бухта, насыщение кислородом, дефицит кислорода, гипоксия

SPATIAL AND TEMPORAL VARIATIONS IN THE OXYGEN DISTRIBUTION IN THE COASTAL AREAS OF CRIMEA

A. V. Vidnichuk, S. K. Kononov

Marine Hydrophysical Institute of RAS (FSBSI MHI), Sevastopol 299011, Russia

E-mail: anna_vidnichuk@mhi-ras.ru; director@mhi-ras.ru

Abstract. We analyzed the specifics of the dynamic pattern of oxygen saturation of the Sevastopol Bay waters on the basis of results of the observations, carried out by Marine Hydrophysical Institute of RAS in 2007–2017. Based on the results of this analysis, the Sevastopol Bay has been divided into sub-areas according to the oxygen deficit values. We have concluded that anthropogenic pressure has a major impact on the environmental conditions of the Sevastopol Bay.

Keywords: Sevastopol Bay, oxygen saturation, oxygen deficit, hypoxia

ВВЕДЕНИЕ

Прибрежные акватории, как правило, являются объектами активного хозяйственного использования. Это неизбежно приводит к изменениям естественных условий окружающей среды, ее гидрологических и гидрохимических свойств, что может вызвать изменения в биогеохимических циклах. Основным компонентом биогеохимической структуры морской среды является кислород, который активно участвует во многих биогеохимических процессах и обеспечивает условия существования аэробных морских экосистем. Активная антропогенная активность в прибрежных акваториях может приводить к нарушению баланса кислорода в морской среде, в результате чего могут возникать зоны дефицита кислорода. Гипоксия, вплоть до анаэробных и сульфидных условий, в настоящее время становится типичным явлением для прибрежных районов и всегда приводит к крайне отрицательным последствиям: снижение рекреационного и биопродукционного потенциала; возникновение условий, делающих невозможным использование береговой зоны для какой-либо экономической деятельности.

Прибрежная зона Крымского полуострова характеризуется наличием большого количества бухт и заливов, которые испытывают значительную антропогенную нагрузку. В качестве объекта исследования

нами была выбрана Севастопольская бухта, которая относится к числу акваторий активного хозяйственного использования. Она расположена в юго-западной части Крымского полуострова и представляет собой полузамкнутую акваторию эстуарного типа (Иванов и др., 2006).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования в Севастопольской бухте проводились по схеме станций, представленной на рис. 1. Гидрологические показатели температуры, солености, электропроводности регистрировались с помощью комплекса ГАП-12А. Пробы воды из поверхностного и придонного горизонтов для определения гидрохимических показателей отбирались с помощью батометра.

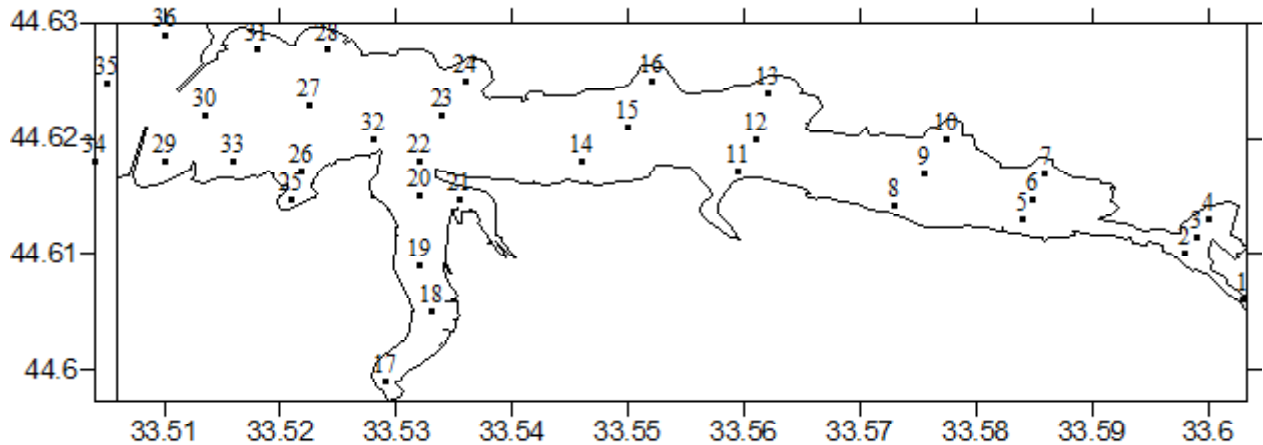


Рис. 1. Схема станций, выполненных в Севастопольской бухте в 2007–2017 гг.

Концентрации растворенного кислорода в пробах морской воды определялись по методу Винклера в соответствии с методикой (Методы..., 1978). Степень насыщения кислородом рассчитывалась по формуле, предложенной в работе (Weiss, 1970).

Для выполнения анализа гидролого-гидрохимического режима Севастопольской бухты и выявления случаев развития гипоксии использовалась информация из базы данных ФГБУН МГИ по следующим показателям: гидрологические — глубина, температура, соленость, плотность, и гидрохимические — значения концентрации растворенного кислорода и степени его насыщения, концентрации биогенных веществ, растворенного неорганического углерода, значение показателя pH. Для анализа были взяты данные с 2007 по 2017 г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Все полученные данные были отсортированы и распределены по сезонам. Нами были выделены два сезона — зимний (февраль), когда происходит охлаждение вод и интенсивное вертикальное перемешивание, и летний (сентябрь), когда сезонный термоклин в наибольшей степени ограничивает вертикальное перемешивание и интенсивность турбулентного обмена. Особенности распределения кислорода рассматривались на двух горизонтах — поверхностном и придонном.

Величины насыщения вод кислородом для каждого сезона и каждого горизонта были осреднены, а затем был рассчитан дефицит насыщения вод кислородом, в соответствии с уравнением (1). Нас будут интересовать случаи дефицита насыщения вод кислородом не менее 10 %.

$$\text{Дефицит } O_2, \% = [\% O_2] - 100 \% \quad (1)$$

На рис. 2 представлено пространственное распределение дефицита кислорода в водах Севастопольской бухты в зимний и летний сезоны для поверхностного и придонного слоев.

Из рис. 2а, б видно, что в зимний период воды бухты насыщены кислородом как в поверхностном, так и в придонном слое благодаря активному вертикальному перемешиванию. Значения величины насыщения кислородом в поверхностном слое колеблется от 97 до 100 %, в придонном слое — от 91 до 98 %. Что касается пространственного распределения, наблюдается некоторое снижение уровня насыщения кисло-

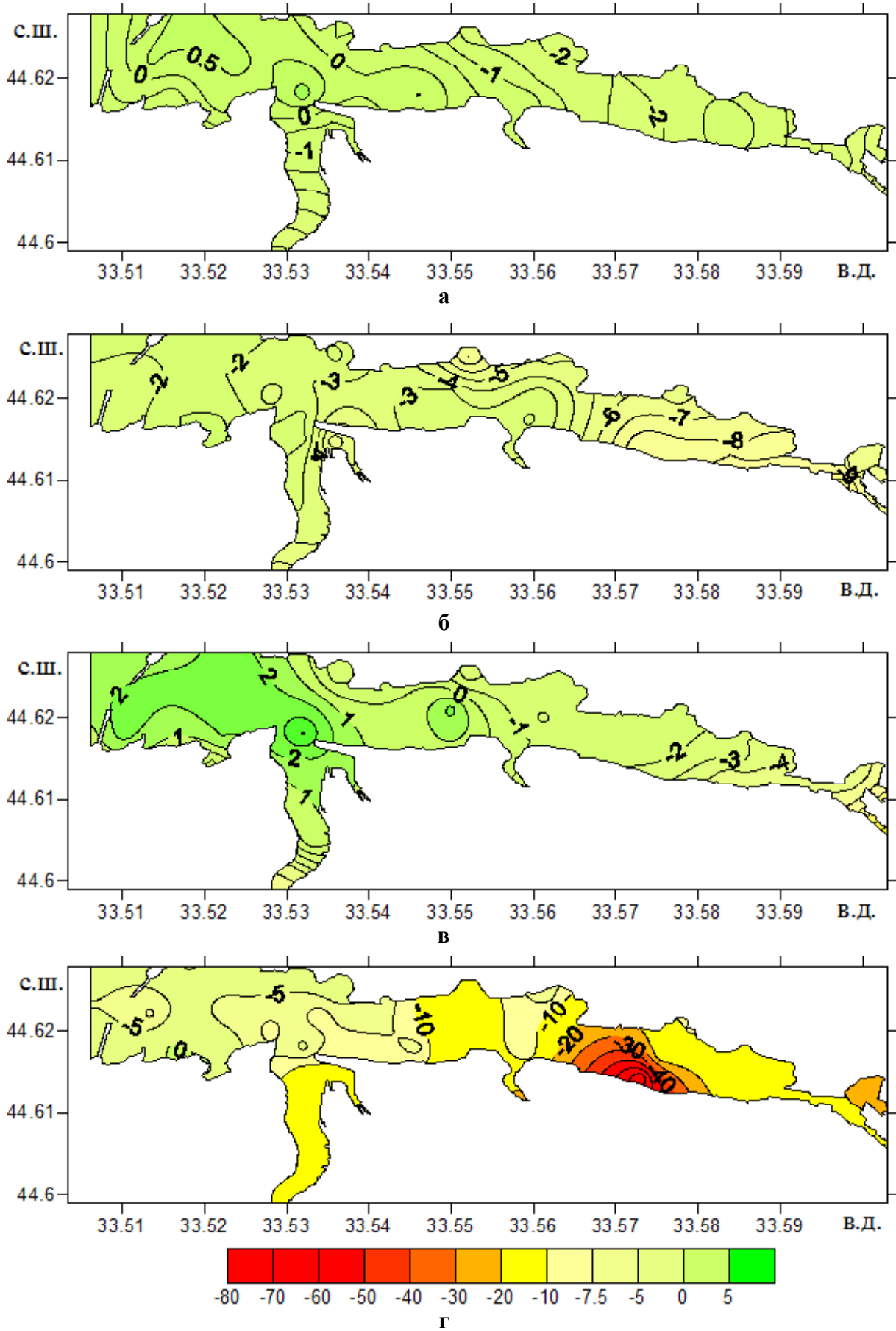


Рис. 2. Пространственное распределение дефицита насыщения вод кислородом зимой: в поверхностном (а) и придонном (б) слоях, и летом: в поверхностном (в) и придонном (г) слоях

родом от створа бухты к Инкерманскому ковшу и к куту Южной бухты, причем эта тенденция более четко прослеживается в придонном слое вод.

Для летнего периода характерно формирование сезонного термоклина, что задерживает все процессы вертикального обмена, в результате чего кислород не проникает в глубинные слои и активно расходуется в поверхностном слое (Иванов и др., 2006). Кроме того, интенсивно образующееся в результате первично-продукционных процессов органическое вещество оседает в придонный слой, где интенсивно потребляет кислород. Для летнего периода в поверхностном слое (рис. 2в) значения насыщения кислородом изменялись от 93 до 102 % и лишь в устье р. Черной наблюдался небольшой дефицит кислорода с насыщением 83 %, что связано, скорее всего, с высоким содержанием органического вещества в речных водах. Для поверхностного слоя характерно аналогичное распределение, как и в зимний период, с максимальными значениями насыщения в западной части бухты и снижением уровня насыщения в восточной части бухты (Инкерманский ковш) и кутовой части Южной бухты. Это связано с поступлением повышенного количества биогенных веществ и взвешенного органического вещества в воды бухты с речным стоком и расходом кислорода на их окисление.

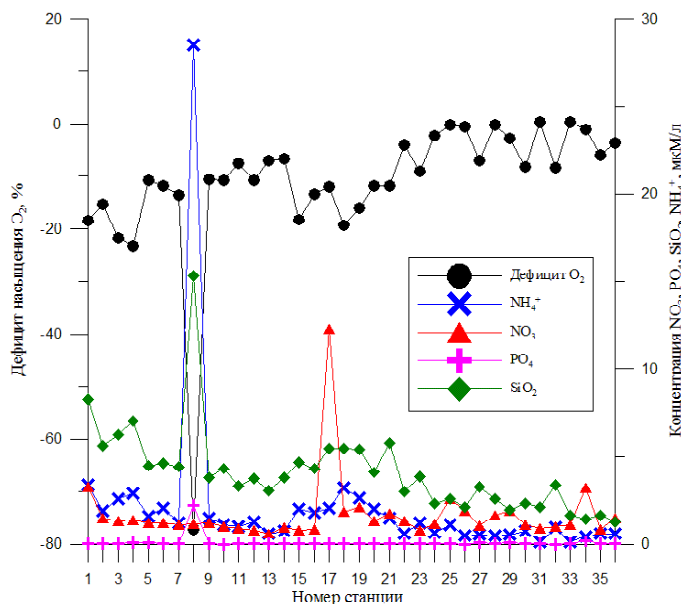


Рис. 3. Средние значения дефицита кислорода и средние значения концентрации биогенных элементов в придонном слое вод Севастопольской бухты в летний период

Для придонного слоя в летний период (рис. 2г) характерно наличие зон дефицита кислорода в районе Южной бухты и восточной части Севастопольской бухты. Причем в районе плавучего дока (ст. 8) наблюдается зона максимального дефицита кислорода с уровнем насыщения около 20 %. Затрудненность вертикального перемешивания в сочетании с углублением морского дна в этом районе создают условия для возникновения застойных явлений и возникновения условий гипоксии, вплоть до возобновления сероводородного заражения данного района, которое наблюдалось в 2009 г.

В придонном слое выявлена зависимость между появлением зон дефицита кислорода и повышением концентрации минеральных форм биогенных элементов (рис. 3).

В частности, для летнего периода в зоне ярко выраженной гипоксии в районе плавучего дока (ст. 8) наблюдаются повышенные концентрации минерального фосфора, кремниевой кислоты, а также аммонийного азота (рис. 3), тогда как концентрация нитратного азота не превышала 1,5 мкм/л в этом районе. Что закономерно, поскольку окисление органического вещества приводит к появлению неорганических форм биогенных элементов. Кроме того, при недостатке кислорода в воде денитрифицирующие бактерии используют кислород нитратов на окисление органического вещества (Иванов и др., 2006). Повышенные концентрации ионов аммония обусловлены наличием в данном районе заглубления, способствующего накоплению загрязняющих веществ (Орехова, Вареник, 2018). Максимальные значения кремния могут быть вызваны как нарушением вертикального обмена из-за возникающей плотностной стратификации вод в летний период, так и поступлением при деструкции органического вещества (Иванов и др., 2006).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кислород является основным компонентом биогеохимического состава морских вод, обеспечивающим существование морских экосистем. Увеличивающаяся антропогенная нагрузка на прибрежные морские акватории может приводить к дисбалансу кислородного режима и возникновению условий гипоксии.

В Севастопольской бухте наблюдается сезонный характер возникновения условий дефицита кислорода. Снижение уровня насыщения вод бухты кислородом происходит в летний период в придонном слое.

Можно выделить несколько районов, подверженных гипоксии: Южная бухта, центральная (в районе плавучего дока) и восточная (район Инкерманского ковша) части Севастопольской бухты.

Для районов с дефицитом кислорода характерны повышенные концентрации биогенных элементов, в частности аммонийного азота и кремнекислоты.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам: № 0827-2018-0003 «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования» («Океанологические процессы»); № 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» («Прибрежные исследования»); а также по проектам РФФИ № 18-05-80028\18 «Закономерности формирования и воздействия морских и атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов» («Опасные явления»); № 18-45-920018 «Исследование и оценка влияния антропогенных и природных факторов на кислородный режим Севастопольской бухты по результатам многолетнего экспедиционного мониторинга и численного моделирования. Studies and evaluation of anthropogenic and natural influences on the distribution of oxygen in the Sevastopol Bay based on monitoring data and numerical simulations».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н., Романов А.С., Игнатъева О.Г.* Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / МГИ НАН Украины. Севастополь, 2006. 90 с.
- Методы гидрохимических исследований океана* / под ред. О.К. Бордовского. М.: Наука, 1978. 267 с.
- Орехова Н.А., Вареник А.В.* Современный гидрохимический режим Севастопольской бухты // Морской гидрофизический журнал. 2018. № 2. С 134–146.
- Weiss R.F.* The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater // Deep-Sea Research, 1970. Vol. 17. Pp. 721–735.