

Д.С.Евстигнеева**, С.И.Кондратьев*, В.В.Метик-Диюнова**

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь**Экспериментальное отделение Морского гидрофизического института НАН Украины, пгт.Кацивели***ДИНАМИКА КИСЛОРОДА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ГОЛУБОГО ЗАЛИВА В ВЕСЕННЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД**

Описаны экспериментальные данные о содержании растворенного кислорода в поверхностных водах Голубого залива, на горизонтах 0; 0,5; 5 м, полученные в результате выполнения семи гидрохимических экспедиций 2009 – 2012 гг. Содержание растворенного кислорода зависит от температуры воды, при этом температура не оказывает значительного влияния на степень насыщения вод кислородом, которая в зависимости от сезона составляет 102 – 110 %. Зафиксированное в мае 2012 г. увеличение насыщения поверхностных вод кислородом (выше 130 %) вызвано цветением не диатомовых водорослей, а кокколитофоридов, использующих для построения скелета карбонат кальция.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *концентрация растворенного кислорода, насыщение поверхностных вод кислородом (%), температура, поверхностные воды.*

Воды Голубого залива Южного берега Крыма (рис.1) являются уникальными не только по своей структуре, но и по химическому составу [1 – 3]. В связи с активным развитием рекреационной деятельности на этом участке Крымского п-ова в последнее время возникла необходимость проводить непрерывный мониторинг данной акватории с целью определения состояния экосистем, тенденций их изменчивости и выработки рекомендаций по рациональному использованию природных ресурсов.

Концентрация растворенного кислорода и степень насыщения вод кислородом являются одними из важнейших характеристик состояния морской экосистемы. Концентрация этого элемента в поверхностном слое имеет огромное значение для комфортного существования биологических сообществ, их развития и, как следствие, формирования особого био-гидрохимического режима. По этой причине информация о кислородном режиме прибрежных морских акваторий в целом, и экспериментального полигона ЭО МГИ в частности, имеет первостепенное значение при планировании их рационального использования в различных областях хозяйственной деятельности человека.

Ранее для этой акватории был организован ряд научных исследо-



Р и с . 1 . Голубой залив и стационарная океанографическая платформа (СОП).

ваний связанных с гидрофизическими параметрами моря [4, 5], активность же гидрохимических исследований возросла лишь в последнее десятилетие, что не дает возможность составить многолетний годовой ход изменений в динамике данного элемента. Возобновление гидрохимических съёмок в Голубом заливе в сентябре 2002 г. [6] сразу показало наличие двух неблагоприятных участков с пониженным содержанием растворенного кислорода (сброс предприятия «Аквапарк» – 92 % насыщения и сброс очистных сооружений пос. Кацивели – 95 % насыщения).

Целью данного исследования было выявить динамику кислорода в поверхностном слое вод Голубого залива в весенне-осенний период.

Материалы и методы исследования. Экспедиционные исследования 2009 – 2012 гг. проводились на стационарной океанографической платформе (СОП), которая находится в море на расстоянии 430 м от берега. Глубина моря в точке, где производился отбор проб, составляет 27 м (рис.1).

Концентрация растворенного кислорода в водах Голубого залива в весенне-осенний периоды 2009 – 2012 гг. определялась на горизонтах 0; 0,5 и 5 м, отбор проб осуществлялся при помощи электрического погружного насоса. Станции выполнялись 3 раза в сутки в 7:00, 12:00 и 18:00, в некоторых случаях выполняли ночную съёмку в 00:00. Согласно [7] анализ концентрации растворенного кислорода выполняли по методу Винклера, на основании известных величин температуры и солёности вод рассчитывали процент насыщения вод кислородом.

Преимуществом выбранного района исследований является его удалённость от крупных промышленных стоков, поэтому данная акватория может рассматриваться как минимально изменённая под воздействием техногенной деятельности. Интенсивные вдольбереговые течения в свою очередь обеспечивают высокую скорость водообмена в данном районе. Особенностью вод Голубого залива является периодическое возникновение апвеллингов – подъёмов к поверхности глубинных холодных вод, обогащённых биогенными элементами [8, 9]. Такое явление наиболее характерно в период присутствия ветров западных румбов и следствием его является резкое понижение температуры вод у поверхности и изменение их химического состава. За последние годы западная составляющая скорости ветра имела тенденцию к уменьшению. Так, например западная составляющая за период 2009 – 2011 гг. равнялась 0,6 м/с, тогда как за двадцатилетний период – с 1988 по 2008 гг. – она была 1,1 м/с. Это привело к уменьшению числа сгонных явлений и, как следствие, уменьшению числа апвеллингов, а также к росту среднегодовой температуры поверхностного слоя вод.

Отсутствие данных на горизонте 0 м в июле 2009 г. было вызвано несовершенством методики отбора проб на начальном этапе исследований, когда погружной насос вывешивался без поплавка просто по длине троса. Сильное волнение периодически оставляло прибор на воздухе и не позволяло качественно отобрать пробы с горизонта 0 м. Однако такое волнение предполагало хорошее перемешивание на поверхности, что позволяло принимать содержание кислорода на горизонтах 0 и 0,5 м одинаковым.

Полученные результаты и их обсуждение. Рассмотрим наиболее важные особенности содержания кислорода в Голубом заливе по последова-

тельности гидрологических сезонов проведения съёмок.

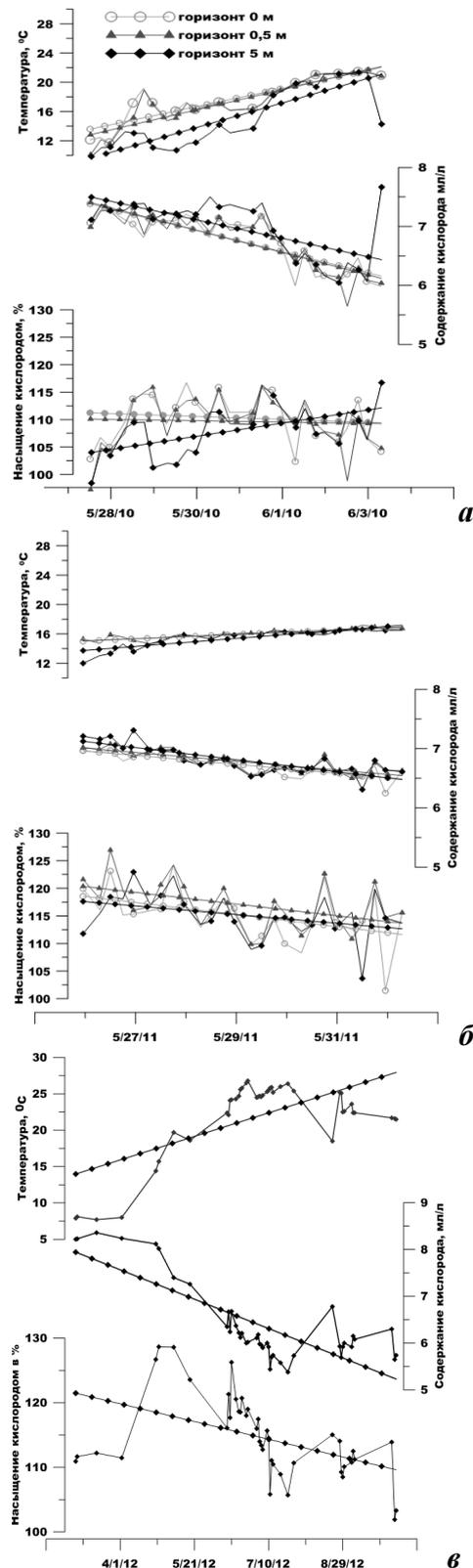
Характерной чертой для майских съёмок 2009 – 2012 гг. (рис.2) является постепенный прогрев вод на горизонтах 0 и 0,5 м. Температурный режим на горизонте 5 м отличается в результате проявления сгонно-нагонных явлений. Наглядным примером может служить майская съёмка 2010 г., когда вследствие нагонных явлений под действием ветров юго-восточных румбов наблюдался прогрев поверхностных вод, температура которых за 7 суток повысилась с 12 до 20 °С. Температура воды на горизонте 5 м в этот период была заметно (на 3 – 4 °С) меньше, чем на поверхности, но ближе к окончанию съёмки сравнялась с поверхностной. В последний день экспедиции вследствие развившегося до горизонта 5 м апвеллинга под действием ветров западных румбов, температура поверхности воды оставалась на уровне 20 °С, тогда как на горизонте 5 м она понизилась до 14 °С. По данным гидрометеорологического пункта этот апвеллинг развился до горизонтов 0 и 0,5 м на следующий день и продержался 36 ч, после чего температура воды опять достигла значений 19 – 20 °С. Так же можно отметить май 2012 г., когда 31 мая и 1 июня наблюдали резкое понижение температуры с 19,6 до 8 °С.

Насыщение вод кислородом в этот период достигает 110 – 112 %, исключением явился 2012 г., когда с конца апреля (18 – 20 апреля) до середины июня насыщение вод кислородом превышало 115 %, и только с 20 июня уменьшилось до привычного уровня 110 %. Подобное пересыщение поверхностных вод кислородом было вызвано не наблюдавшимся ранее в этот период цветением диатомовых водорослей, использующих для построения своего скелета кремний, а цветением кокколитофоридов (*кокколитофориды* – от др.-греч. *κόκκος* – зернышко, *λίθος* – камень, *φορέω* – ношу, – группа одноклеточных планктонных водорослей, образующих на поверхности известковые пластинки – кокколиты), использующих для построения скелета карбонат кальция [10]. Отсюда необычная для вод Черного моря голубоватая окраска воды.

По температурным данным гидрометеорологического пункта весенний период 2012 г. также имеет ряд особенностей, а именно – превышение среднемесячной температуры поверхностного слоя морской воды над средним многолетним значением (по данным с 1931 по 2005 гг.). Так, например, в апреле 2012 г. превышение составляло + 1,7 °С, тогда как в этот же месяц в 2011 г. оно было +1,0 °С. В мае 2012 г. превышение составляло +3,4 °С, тогда как в 2011 г. оно было + 0,4 °С. В июне 2012 г. превышение составляло +3,6 °С, а в 2011 г. – всего +0,8 °С.

В мае же 2010 г. (рис.2) степень насыщения вод кислородом на горизонтах 0 и 0,5 м за время съёмки оставалась на уровне около 110 %, в отдельные периоды повышалась до 115 %. На горизонте 5 м в начале съёмки она изменялась гораздо более резко и была заметно ниже, чем на поверхности, но как только в верхнем 5 м слое возникла гомотермия, степени насыщения вод стали одинаковыми.

Содержание кислорода в период майских съёмок (рис.2) находится на уровне 6,5 мл/л, но при проявлении сгонных явлений его концентрация резко возрастает до уровня 7,2 мл/л, особенно хорошо это заметно для горизонта 5 м. Это говорит о том, что содержание растворенного кислорода напрямую зависит от температурных показателей.

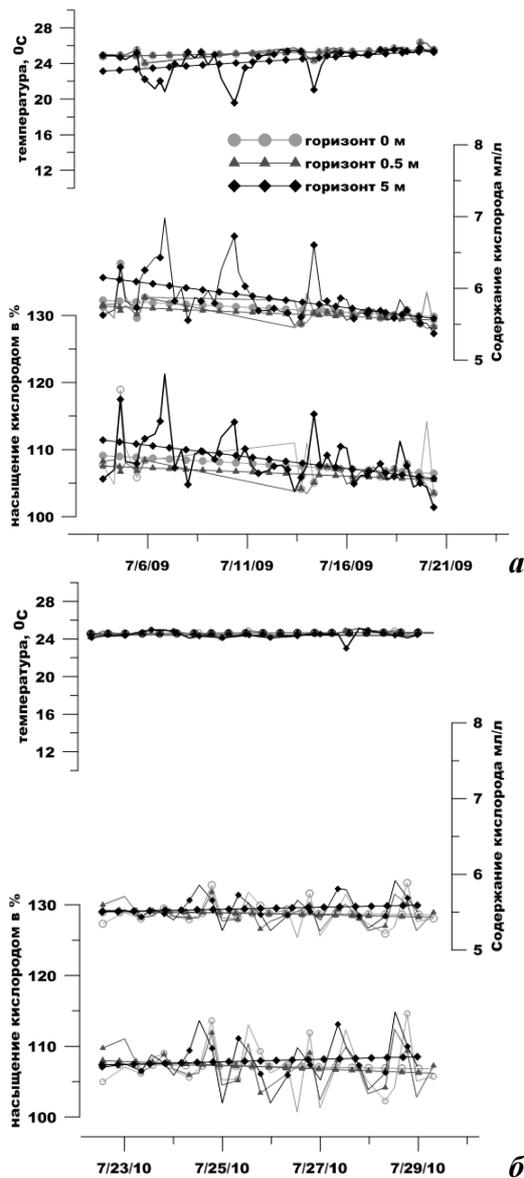


Р и с . 2 . Температура воды, насыщение кислородом в % и содержание кислорода в мл/л в мае 2010 г. (*a*), мае 2011 г. (*b*) и непрерывная съёмка с горизонтов 0 – 0,5 м в 2012 г. (*v*) (прямые линии являются линейной аппроксимацией полученных натурных данных).

Июльские экспедиции (рис.3) были осуществлены в 2009 – 2010 гг. и их характерной чертой было наличие равномерно прогретой поверхности. Однако проявление апвеллингов в этот период носит более выраженный характер, о чем свидетельствует уровень содержания кислорода, который с характерного для этого периода значения в 5,6 мл/л резко возрастает до отметки в 6, а на горизонте 5 м – 6,5 мл/л.

Например, в экспедиции 2009 г. было зафиксировано три спада температуры с 25 до 19 °С, вызванных штормом, при которых содержание кислорода возросло до 6,4 – 6,8 мл/л. Насыщение вод кислородом на горизонтах 0 и 0,5 м за весь период исследований оставалось практически неизменным на уровне 108 %. На горизонте 5 м на фоне постепенного уменьшения насыщения от 112 до 108 % трижды наблюдались максимумы насыщения до 120 %, возникавшие в период охлаждения вод.

В летний период июля 2010 г. (рис.3) на протяжении всей съёмки изменения температуры вод на горизонтах 0 и 0,5 м не превышали 0,5 °С, тогда как на горизонте 5 м температура вод колебалась в пределах 2 °С с кратковременным минимумом 24,5 °С. Изменения содержания растворенного кислорода на протяжении всей съёмки соответствовало изменениям температуры. Понижение температуры на глубине 5 м до 24,5 °С не сопровождалось заметными изменениями в концентрации



Р и с . 3 . Температура воды, насыщение кислородом в % и содержание кислорода в мл/л в июле 2009 г. (а) и июле 2010 г. (б) (прямые линии являются линейной аппроксимацией полученных натурных данных).

кислорода и степени насыщения. Предположительно это может означать «уход» лишнего кислорода в атмосферу при наличии значительного перемешивания поверхностных вод и сравнительно равномерно прогретого слоя воды. Процент насыщения воды кислородом всего 5 м слоя для этого периода составлял 106 – 110 %, временами повышаясь или понижаясь на 3 – 4 %, но всегда оставалась выше 102 %.

Период сентябрьских съёмок 2010 – 2012 гг. (рис.4) показал, что температура воды меняется в пределах 2 °С, что практически не сказывается на содержании растворенного кислорода. Резкий перепад температур был отмечен 2011 г., когда на всех горизонтах температура воды понизилась с 20,5 до 17 °С соответственно и содержание кислорода увеличилось с 5,8 до 6,1 мл/л. В остальном насыщение вод кислородом в период сентября снижается до уровня 103 – 104 % и остаётся таковым до середины осеннего сезона.

На графике непрерывной съёмки 2012 г. (рис.2) можно отметить развившийся в конце августа апвеллинг, о чем говорит пик на температурной кривой и соответствующий пик на кривой концентрации растворенного кислорода. Насыщение воды кислородом в этот период увеличилось на 5 %, после чего опять понизилось при увеличении температуры до уровня 22 °С.

В сентябре 2012 г. температура поверхности воды менялась в пределах 2 °С (21 – 23 °С), чему соответствовало значение концентрации кислорода в 5,8 – 6,3 мл/л. Насыщение при этом составляло 110 – 112 %.

Важно отметить и то, что в период начала октября температура воды, по сравнению с предыдущим месяцем, упала всего на 1 °С, что практически не повлияло на содержание растворенного кислорода, но степень насыщения упала до 103 %.

Рис. 4. Температура воды, насыщение кислородом в % и содержание кислорода в мл/л в сентябре 2010 г. (а) и сентябре 2011 г. (б) (прямые линии являются линейной аппроксимацией полученных натурных данных).

Выводы. 1. Как видно из представленных материалов для всех исследованных периодов, содержание кислорода в поверхностных водах определяется, прежде всего, температурой воды. При этом температура воды не оказывает значительного влияния на степень насыщения поверхностных (0 – 0,5 м) вод кислородом.

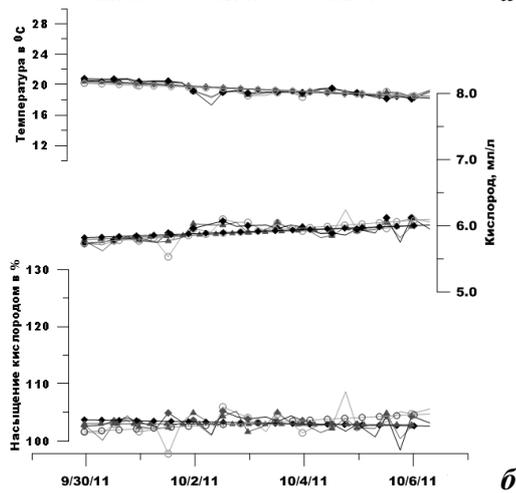
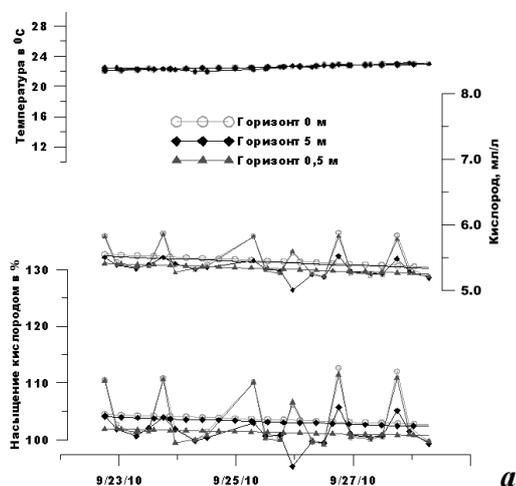
2. Значительных различий в содержании кислорода на горизонтах 0 м и 0,5 м не наблюдалось, тогда как содержание кислорода на горизонте 5 м во многих случаях отличалось от поверхности.

3. Насыщение поверхностных вод кислородом за все время исследований было выше 100 %, в большинстве случаев весной на уровне 108 – 112 %, осенью на уровне 101 – 103 %. Эти величины, полученные для незагрязненной части шельфа, следует считать ориентиром для оценки содержания кислорода в поверхностных водах шельфовых областей Черного моря.

4. Зафиксированное в мае 2012 г. увеличение насыщения поверхностных вод кислородом выше 130 % вызвано цветением не диатомовых водорослей, строящих свой скелет из кремния, а кокколитофоридами, используемыми для построения скелета карбонат кальция. Что вызвало необычную для вод Черного моря голубоватую окраску воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савина Л.В. Современный гидрохимический режим прибрежной и шельфовой зоны Южного берега Крыма // Деп. ВИНТИ №5874-В90.– ВИНТИ, 1990.
2. О работах комплексной эколого-гидрофизической экспедиции на морской экспериментальной платформе ЭО МГИ НАН Украины // Отчет.– Севастополь, МГИ НАНУ, 1993.– 124 с.
3. Лялько В.И., Попов М.А., Иванов В.А., Кузнецов А.С. Перспективы развития морских и наземных стационарных опорных полигонов для геоэкологического



мониторинга// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– вып.19.– С.10-24.

4. *Куклин А.К., Куклина Н.Я., Шабалина О.А.* Исследование гидрометеорологических характеристик ЮБК с Океанографической платформы в Качивели // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.7.– С.66-82.
5. *Кузнецов А.С., Куклин А.К., Шабалина О.А.* Локально распределенная техническая сеть морской наблюдательной системы у Южного берега Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.7.– С.60-65.
6. *Кондратьев С.И., Лисиченок А.Д., Ляшенко С.В., Чепыженко А.И.* Гидролого-гидрохимические и гидрооптические характеристики вод Голубого залива (пос. Качивели, сентябрь 2002 г.) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.8.– С.119-131.
7. *Методы гидрохимических исследований океана.*– М.: Наука, 1978.– 267 с.
8. *Шереметьева А.И., Шумченко О.А., Демин Б.Т.* Сгонно-нагонные явления и гидрохимическая структура прибрежных вод // Деп. ВИНТИ, №460-85Деп.– ВИНТИ, 1985.– С.197-207.
9. *Боровская Р.В., Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Лексикова Л.А., Кириллова М.В.* Прибрежный черноморский апвеллинг и межгодовая изменчивость его интенсивности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005.– вып.12.– С.42-48.
10. *Марков А.* Фитопланктон реагирует на рост концентрации CO₂ не так, как ожидалось / http://elementy.ru/news/430712?page_design=print

Материал поступил в редакцию 24.09.2012 г.

АНОТАЦІЯ. Описано експериментальні дані про вміст розчиненого кисню у поверхневих водах Блакитної затоки на глибинах 0; 0,5; 5 м, що були отримані в семи гідрохімічних експедиціях 2009 – 2012 рр. Вміст розчиненого кисню залежить від температури води, при цьому температура не надає значного впливу на ступінь насичення вод киснем, яка в залежності від сезону складає 102 – 110 %. Зафіксоване в травні 2012 р. збільшення насичення поверхневих вод киснем (понад 130 %) спричинене цвітінням не діатомових водоростей, а кокколитофоритів, використовуючи для побудови скелета карбонат кальцію.

ABSTRACT. The experimental data on the content of dissolved oxygen in the surface waters of the Blue Lagoon at levels 0, 0,5 5 meters, the resulting seven hydrochemical expeditions 2009 – 2012 was described. Dissolved oxygen depends on the water temperature, the temperature had no significant effect on the degree of saturation of water with oxygen, which, depending on the season of 102 – 110 %. Recorded in May 2012, an increase of surface water oxygen saturation (above 130 %) caused no blooms of diatoms and coccolithophores are used to create the skeleton of calcium carbonate.