

С.И.Кондратьев

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

**СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, КИСЛОРОДА,
ВЕЛИЧИНЫ pH И ЩЕЛОЧНОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ
УКРАИНСКОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ В 2006 – 2010 ГГ.
ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МОРСКОГО ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НАН УКРАИНЫ**

Приведены данные о содержании кислорода, элементов главного биогенного цикла, величины pH и щелочности в поверхностных и придонных (до изопикнической поверхности $\sigma_t = 14,0$) водах украинского шельфа Черного моря, от Керченского пролива до приустьевых областей Дуная и Днестра, полученные Морским гидрофизическим институтом НАН Украины в экспедиционных исследованиях 2006 – 2011 гг.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *содержание растворенного кислорода, величина pH, величина щелочности, элементы главного биогенного цикла, шельфовые воды Украины.*

Вся шельфовая часть Черного моря, независимо от того, к экономической зоне какой страны она относится, является акваторией, подверженной постоянному и интенсивному антропогенному воздействию. Зарегулирование стока рек, нарушение водообмена вследствие строительства различных береговых сооружений (например, молов), эвтрофикация, возникающая вследствие сброса недостаточно очищенных сточных и загрязненных речных вод, являются факторами негативного влияния на состояние экосистемы шельфа. Кроме этого многоцелевое использование шельфовой акватории (эксплуатация военных и торговых гаваней, судостроительных и судоремонтных заводов, рыболовство и мариккультура, туризм и рекреация и пр.) при отсутствии надлежащих природоохранных мероприятий привело к резкому ухудшению экологической обстановки.

Последствия длительного антропогенного воздействия на воды шельфа могут проявиться в изменениях гидродинамических и гидрологических характеристик, трансформации гидрохимической структуры вод и донных осадков в направлении их загрязнения и создания экологически и техногенно опасного гидрохимического фона. Крайним случаем негативных изменений гидрохимической структуры вод является возникновение в летнее время гипоксийных и аноксийных условий, которые приводят к регулярным заморам рыбы.

Ранее подобная ситуация наблюдалась как правило в районах портов и местах впадения рек, особенно в устьевых зонах Дуная, Днестра и Днестра. В настоящее время возросшая рекреационная нагрузка практически на всю береговую линию Украины заставляет опасаться значительного увеличения содержания биогенных веществ в прибрежной зоне не только этих районов. Следует отметить, что нагрузка на шельфовые воды опасна еще и тем, что Основное Черноморское течение (ОЧТ) препятствует проникновению шельфовых вод вглубь моря, «запирая» их у берега.

Мониторинг украинской части шельфа Черного моря, основной целью

которого является исследование современного гидролого-гидрохимического режима, является, таким образом, наиболее важным профилактическим природоохранным действием для составления диагноза и прогноза экологического состояния морской среды всего Черного моря. Основным направлением гидрохимического мониторинга шельфовых вод должна быть оценка содержания в воде биогенных элементов и растворённого кислорода, что даёт представление о внутренней биотрансформации органических веществ в морских экосистемах.

Для контроля за гидрохимическим составом прибрежных вод следует проводить планомерный, как минимум ежегодный, мониторинг всех шельфовых вод, как это делалось в 60 – 80-е гг. XX ст. Однако экономические возможности государства позволяют проводить лишь отрывочные океанологические исследования Черного моря, в которых гидрохимия не всегда присутствует в полном объеме. Ниже обсуждаются обобщенные данные аналитических определений гидрохимических характеристик в экспедициях по Черному морю 2006 – 2010 гг. Морского гидрофизического института НАН Украины (МГИ).

Предлагаемые результаты натурных исследований могут быть использованы для справочных изданий подобных широко используемому, но изданному уже более двадцати лет назад для Черного моря атласу «Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности» [1] или предполагаемому специализированному изданию по гидрохимии вод шельфа Украины.

Схема станций и краткая методика выполнения полевых наблюдений. На рис. представлена схема станций и время проведения экспедиций МГИ в 2006 – 2010 гг. Как видно из рисунка, в проведенных исследованиях был охвачен весь шельф Черного моря, от Керченского пролива до приустьевых областей Дуная и Днепра.

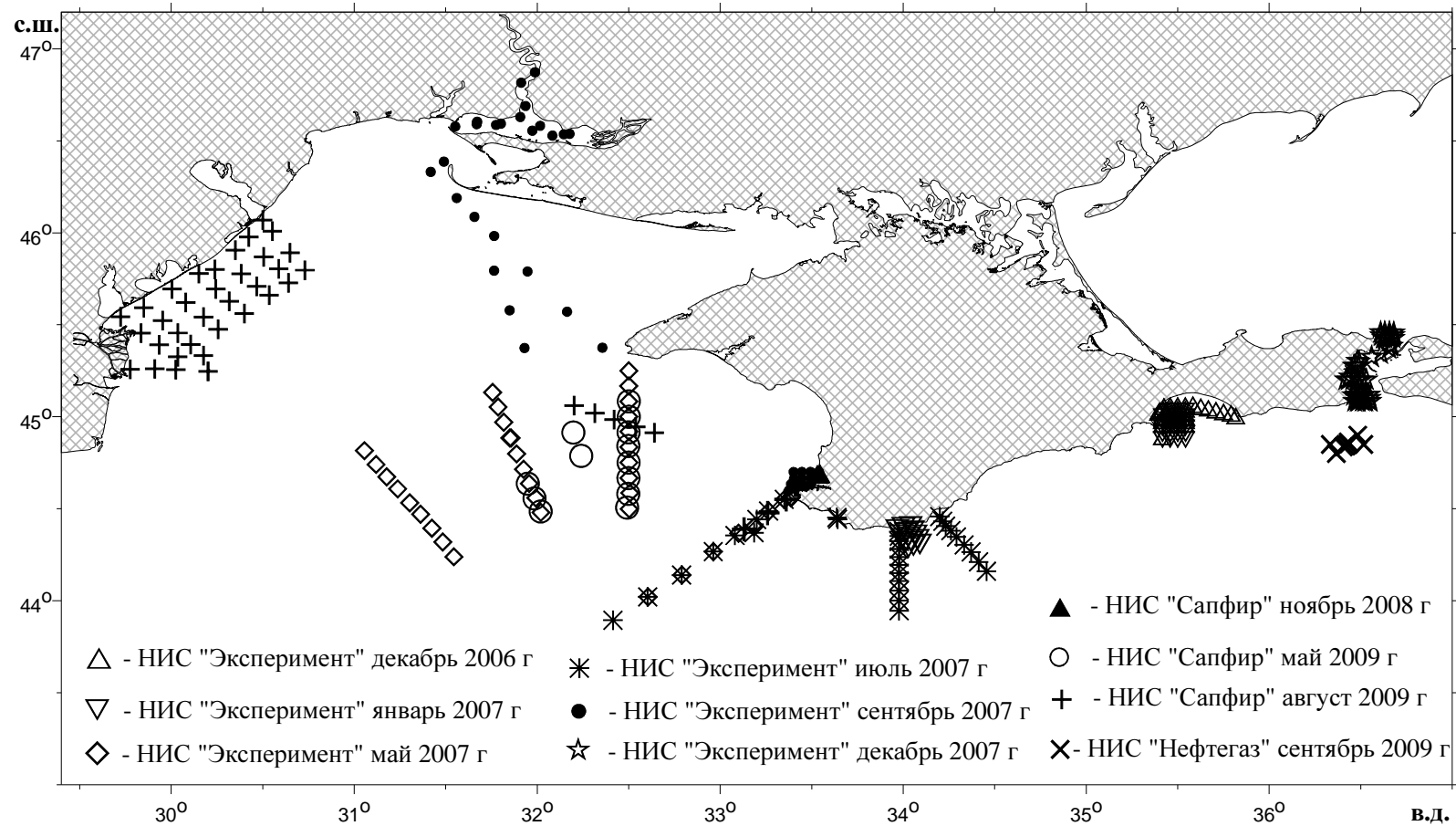
Инструментальные гидрологические наблюдения и отбор проб выполняли СТД-зондом. Отбор проб воды на придонном (0,5 – 1 м от дна) и поверхностном (0 – 1 м) горизонтах производили с помощью кассеты пластиковых батометров. Сразу после отбора проб непосредственно на борту судна проводились определения величины водородного показателя (рН) и содержания в воде растворенного кислорода.

Аналитические определения концентраций биогенных элементов (нитратов, нитритов, фосфатов, общего растворенного фосфора и силикатов) и щелочности проводили, как правило, в стационарной береговой лаборатории отдела биогеохимии моря МГИ, для чего пробы отбирались в пластиковые контейнеры объемом 250 мл и замораживались сразу после отбора.

Химико-аналитические определения проводились по методикам, рекомендованным для использования при гидрохимических исследованиях океана [2].

Для калибровки приборов при физико-химических методах измерения и контроля правильности результатов анализа использовались аттестованные стандартные образцы (Государственные стандарты) производства НТК «Физико-химический институт АН Украины».

Полученные результаты и их обсуждение. Как видно из рис., за 2006 – 2010 гг. исследованиями МГИ был охвачен практически весь шельф Черного моря в пределах экономической зоны Украины. Конечно, для качествен-



Р и с . Схема станций, выполненных отделом биогеохимии моря МГИ в 2006 – 2010 гг.

ного сравнения вод шельфа в разных районах моря было бы очень хорошо, если бы вся сеть отмеченных на рис. станций выполнялась несколько раз в год и в течение одного рейса. Однако сравнение гидрохимического состояния вод различных районов приходится проводить по данным, полученным в разные гидрологические сезоны.

Для начала приведем величины ПДК для величин рН, концентрации кислорода и биогенных элементов в воде рыбохозяйственных водоемов [3], как наиболее близко под-

Таблица 1. Предельно допустимые концентрации (ПДК) для вод рыбохозяйственных водоемов.

элемент	ПДК		
	мг/л		мкМ
	на ион	на элемент	
рН	6,5 – 8,5 [4]		
	6,5 – 8,5 [5]		
кислород, O_2	6,0	6,0	189
	6,0 [6]	6,0	189
нитраты, NO_3^-	40	9,1 мгN/л	650
	40 [4]	9,1 мгN/л	650
	45 [6]	10 мгN/л	715
нитриты, NO_2^-	0,08	0,02 мгN/л	1,43
	0,08 [4]	0,02 мгN/л	1,43
	3,3 [7]	1 мгN/л	76
фосфаты, PO_4^{3-}	10,7	3,5 мгP/л	113
	0,153 [7]	50 мкгP/л	1,6
кремнекислота, SiO_3^{2-}	10 [6]	368	13,2
		мкгSi/л	

ходящие к водам открытого моря (табл.1).

Выводы об экологическом состоянии вод того или иного района были сделаны на основании сравнения значений ПДК с наблюдаемыми концентрациями различных гидрохимических элементов в поверхностных и придонных водах. В приводимых ниже таблицах приведены количество выполненных в данном районе анализов, средние величины концентраций гидрохимических характеристик и стандартное отклонение для поверхностных и придонных вод того или иного района. В случае глубоководных (более 100 м) станций для определения средних концентраций на придонном горизонте использовались результаты анализа проб, отобранных на глубинах до изопикны $\sigma_t = 14,0$, ниже которой возникает оксиклин и вертикальные профили биогенных элементов значительно изменяются [8].

Оценку экологического состояния вод будем проводить, продвигаясь по сетке станций с востока на запад в соответствии с направлением движения ОЧТ. Самым восточным исследованным полигоном была акватория Керченского пролива (рис.), на которой в декабре 2007 г. определяли содержание растворенного кислорода в поверхностных водах. Данные аналитических определений для вод Керченского пролива приведены в табл.2.

Отнесение вод к черноморским или азовоморским проводили на основании величины солёности. Так, на выполненном полигоне для черноморских вод солёность превышала величину 17,8, для азовоморских была менее 12,0, в промежуточных водах солёность изменялась в пределах 12,1 – 13,8.

Содержание кислорода в черноморских и азовоморских водах отличалось (6,66 и 8,0 мл/л соответственно), однако это различие была вызвана только различиями в температуре и солёности, процент насыщения вод кислородом в обоих случаях был одинаковым (98 – 99 %). Такая величина на-

Т а б л и ц а 2. Содержание кислорода в поверхностных водах Керченского пролива в декабре 2007 г.

элемент	район	количество определений	поверхность	
			среднее	СКВО
кислород, мл/л	черноморские воды	7	6,66	0,07
	азовоморские воды	24	8,0	0,07
	промежуточные воды	8	8,0	0,08
кислород, %	черноморские воды	7	98,5	0,3
	азовоморские воды	24	98,4	1,0
	промежуточные воды	8	100,7	1,7

сыщения в зимний период должна свидетельствовать о благополучной экологической обстановке в проливе, однако для подобного утверждения необходимы как минимум данные о содержании кислорода в придонных водах, но получить эту информацию, равно как и данные по содержанию биогенных элементов, по техническим причинам не удалось.

Следующая исследованная акватория северо-восточной части шельфа находилась в районе газодобывающей платформы «Сиваш», экспедиция проводилась в сентябре 2009 г., результаты аналитических определений приведены в табл.3.

В пользу благополучной экологической обстановки в данном районе шельфа свидетельствуют очень невысокие концентрации биогенных элементов, не превышающие 0,1 мкМ (за исключением кремнекислоты) во всей исследованной 64 м толще вод, а также насыщение кислородом, находящееся на уровне 100 % на поверхности и 97 % у дна.

Две экспедиции в Феодосийский залив были проведены в декабре 2006 г. и январе 2007 г. Данные о содержании гидрохимических характеристик, определенные в этих рейсах приведены в табл.4, 5, подробное описание пространственного распределения гидрохимических параметров дано в [9].

При сравнении гидрохимических данных для двух съемок следует, прежде всего, принять во внимание, что в декабре 2006 г. имело место поступление азовоморских вод на акваторию Феодосийского залива. Это привело к

Т а б л и ц а 3. Содержание кислорода и биогенных элементов в водах возле платформы «Сиваш» в сентябре 2007 г.

элемент	количество определений	поверхность		дно (44 – 64 м)	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	9	5,57	0,08	6,22	0,41
кислород, %	9	99,8	1,50	96,7	7,0
фосфаты, мкМ	9	0,10	0,03	0,11	0,02
кремнекислота, мкМ	9	0,18	0,19	1,47	1,68
нитриты, мкМ	9	0,03	0,06	0,02	0,03
нитраты, мкМ	9	0,06	0,07	0,09	0,14

Т а б л и ц а 4. Содержание кислорода, биогенных элементов, величин рН и щелочности в водах Феодосийского залива в декабре 2006 г.

элемент	количество определений	поверхность		глубины 6 – 40 м*	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	34	7,05	0,16	6,38	0,31
кислород, %	34	98,7	1,0	91,6	4,1
фосфаты, мкМ	34	0,14	0,19	0,20	0,12
кремнекислота, мкМ	34	1,2	0,4	3,18	1,25
нитриты, мкМ	34	0,04	0,01	0,07	0,05
нитраты, мкМ	34	0,12	0,11	0,42	0,32
щелочность, мг-экв	34	3,241	0,015	3,255	0,015
рН	34	8,51	0,08	8,47	0,04

* – по 33 определениям

уменьшению содержания в поверхностных водах кремнекислоты до 0,5 – 2,0 мкМ и щелочности до величины менее 3,25 мг-экв/л, повышению на 0,1 величину рН, и оставило практически неизменными концентрации фосфатов, нитратов и нитритов, которые для обеих съемок не превышали 0,2; 0,5 и 0,1 мкМ соответственно во всей толще вод.

Присутствие в азовоморских водах значительных количеств хлорофилла «а» (по спутниковым данным) несколько повысило процент насыщения поверхностных вод кислородом, однако даже в тех районах, где в декабре присутствие азовоморских вод было особенно заметно (восточная часть залива), пересыщение не превышало 1 – 2 %.

Следует отметить, что в 2 – 5 м слое придонных вод на большей части Феодосийского залива по сравнению с поверхностными водами наблюдалось уменьшение содержания и насыщенности кислородом на 0,5 – 1,0 мл/л и 10 % соответственно. Это позволяет предполагать наличие значительных количеств органического углерода в осадках Феодосийского залива, что, в свою очередь, является потенциальной угрозой для экологического состояния акватории.

Т а б л и ц а 5. Содержание кислорода, биогенных элементов, величин рН и щелочности в водах Феодосийского залива в январе 2007 г.

элемент	количество определений	поверхность		глубины 24 – 50 м	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	8	7,06	0,10	6,72	0,31
кислород, %	8	97,5	1,4	92,7	4,4
фосфаты, мкМ	23	0,08	0,04	0,10	0,06
кремнекислота, мкМ	23	2,83	0,35	3,59	1,71
нитриты, мкМ	23	0,04	0,02	0,03	0,02
нитраты, мкМ	23	0,33	0,21	0,51	0,35
щелочность, мг-экв	23	3,280	0,015	3,260	0,006
рН	23	8,41	0,02	8,37	0,03

В июле 2007 г. на трех разрезах: под г.Ялта, п.Кацивели и м.Херсонес (рис.) на поверхности были отобраны пробы на кислород, содержание которого находилось в пределах 5,5 – 5,6 мл/л и различались в зависимости от района не более, чем на 0,1 мл/л. Такая же картина наблюдалась и с насыщением вод кислородом, на всех разрезах поверхностные воды были насыщены кислородом на 106 – 109 %. Эти данные по содержанию и насыщению кислородом поверхностных вод в летний период в незагрязненных районах моря можно использовать как один из показателей для определения экологического состояния вод.

Возле п.Кацивели было выполнено также несколько съемок в районе океанографической платформы Экспериментального отделения МГИ (ЭО МГИ), в частности, в сентябре 2002 г., январе 2007 г. и июле 2009 г., данные приведены в табл.7 и 8 соответственно.

Среди данных, полученных в сентябре 2002 г., вновь следует отметить невысокие концентрации биогенных элементов во всей толще вод, фосфатов и нитритов менее 0,1 мкМ, нитратов менее 0,6 мкМ. Насыщение поверхностных вод кислородом составило 107 %, придонных (до глубины 40 м) 100 %.

В результатах зимней съемки 2007 г. на полигоне под п.Кацивели, находящемся в экологически чистом районе, содержание кислорода в поверх-

Т а б л и ц а 7. Содержание кислорода и биогенных элементов в районе океанографической платформы ЭО МГИ в сентябре 2002 г.

элемент	количество определений	поверхность		дно (9 – 39 м)	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	17	5,81	0,15	5,83	0,30
кислород, %	17	107,4	2,81	100,5	5,9
фосфаты, мкМ	16	0,04	0,06	0,06	0,11
кремнекислота, мкМ	17	1,91	1,57	1,39	0,99
нитриты, мкМ	17	0,07	0,08	0,06	0,07
нитраты, мкМ	17	0,59	0,48	0,54	0,45

Т а б л и ц а 8. Содержание кислорода, биогенных элементов, величин рН и щелочности в районе океанографической платформы ЭО МГИ в январе 2007 г.

элемент	количество определений	поверхность		глубины 31 – 100 м	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	11	7,05	0,06	4,16	0,88
кислород, %	11	97,6	0,9	56,2	11,9
фосфаты, мкМ	15	0,07	0,07	0,54	0,17
кремнекислота, мкМ	15	5,1	0,4	18,9	4,5
нитриты, мкМ	15	0,02	0,05	0,01	0,01
нитраты, мкМ	15	0,25	0,37	2,47	0,41
щелочность, мг-экв	15	8,42	0,01	8,10	0,07
рН	15	3,284	0,008	3,288	0,011

ностных водах составило 98 %. Биогенных элементов в водах содержалось примерно столько же, сколько и летом 2002 г., высокие концентрации фосфатов и нитратов в придонных водах и их насыщение кислородом в среднем всего на 56 % объясняются отбором проб с более глубоких горизонтов.

В экспериментальных исследованиях на океанографической платформе в июле 2009 г. из обсуждаемых гидрохимических характеристик анализировали (49 определений) только содержание растворенного кислорода, насыщение вод которым вновь оказалось в среднем равным 108 %.

Подробная гидрохимическая съемка шельфовой области, прилегающей к г. Севастополю (полигон Любимовка), была выполнена в сентябре 2007 г. (табл.9).

В этих данных следует отметить небольшое 102 %-ное насыщение поверхностных вод кислородом и невысокие концентрации биогенных элементов на поверхности, нитритов и фосфатов менее 0,1 мкМ, нитратов менее 0,8 мкМ. Значительно более высокое среднее содержание фосфатов (0,4 мкМ) и нитратов (3,0 мкМ) в придонных водах, насыщение которых кислородом составило в среднем всего 52 %, следует отнести за счет глубины отбора придонных проб, 11 из них были взяты с изопикнических поверхностей с относительной плотностью σ_t более 14,2.

Небольшая съемка полигона Любимовка до глубин не более 19 м, в которой определялось только содержание растворенного кислорода, была выполнена в ноябре 2008 г. В данном случае насыщение вод кислородом было на уровне 97 – 98 %.

Кроме съемки в июле 2007 г., исследования на вековом разрезе м.Херсонес – пролив Босфор проводились также в мае 2007 г. и августе 2009 г. На августовской съемке в глубоководной части моря было выполнен отбор поверхностных проб всего на 3 станциях, однако определены 6 характеристик, данные приведены в табл.10.

Для этого района было характерно 100 %-ное насыщение вод кислородом и невысокие концентрации биогенных элементов, менее 0,1 мкМ для фосфатов, нитратов и нитритов. Следует обратить внимание на малое содер-

Т а б л и ц а 9. Содержание кислорода, биогенных элементов, величин рН и щелочности на полигоне Любимовка в сентябре 2007 г.

элемент	количество определений	поверхность		глубины 50 – 80 м*	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	15	6,73	0,29	3,83	0,89
кислород, %	15	102,1	4,8	51,9	12,0
фосфаты, мкМ	15	0,02	0,04	0,40	0,20
кремнекислота, мкМ	15	3,99	2,35	32,4	9,0
нитриты, мкМ	15	0,02	0,03	0,01	0,01
нитраты, мкМ	15	0,77	0,57	2,97	0,83
щелочность, мг-экв	15	3,265	0,010	3,280	0,007
рН	15	8,27	0,04	7,96	0,08

* – 11 определений на изопикнических поверхностях с σ_t более 14,2.

Таблица 10. Содержание кислорода и биогенных элементов на вековом разрезе м.Херсонес – пролив Босфор в августе 2009 г.

элемент	количество определений	поверхность	
		среднее	СКВО
кислород, мл/л	3	5,35	0,01
кислород, %	3	101,0	0,1
фосфаты, мкМ	3	0,06	0,02
кремнекислота, мкМ	3	0,16	0,03
нитриты, мкМ	3	0,05	0,05
нитраты, мкМ	3	0,10	0,12

жание кремнекислоты, всего 0,16 мкМ, это минимально обнаруженная концентрация во всем рассмотренном массиве, подтверждающая приведенную выше величину концентрации 0,18 мкМ в районе платформы «Сиваш» в сентябре 2009 г.

В мае 2007 г кроме разреза м.Херсонес – пролив Босфор содержание растворенного кислорода определялось еще на трех разрезах перпендикулярно континентальному склону: Восточном, Центральном и Западном (рис.). На всей весьма значительной по площади (для современных экспедиционных исследований) акватории незагрязненной части Черного моря во всех случаях кислорода в поверхностных водах было обнаружено 6,6 – 6,7 мл/л, что соответствовало 108 – 109 % насыщения.

На центральном разрезе в мае 2007 г. кроме кислорода было исследовано также содержание биогенных элементов, результаты приведены в табл.11.

Содержание биогенных элементов во всей толще вод было невысоким, менее 2 мкМ для кремнекислоты и не более 0,2 мкМ для фосфатов, нитритов и нитратов. Концентрации последних двух были неожиданно близки по величине, хотя нитритов, как правило, содержится на порядок меньше.

Таблица 11. Содержание кислорода и биогенных элементов на центральном разрезе в мае 2007 г.

элемент	количество определений	поверхность		глубины 10 – 57 м*	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	9	6,68	0,23	7,21	0,29
кислород, %	9	109,8	4,48	101,7	7,6
фосфаты, мкМ	9	0,03	0,03	0,08	0,14
фосфор орган., мкМ	9	0,15	0,10	0,15	0,15
фосфор общ., мкМ	9	0,18	0,11	0,23	0,16
кремнекислота, мкМ	9	1,83	0,59	2,2	0,9
нитриты, мкМ	9	0,14	0,19	0,10	0,09
нитраты, мкМ	9	0,19	0,19	0,13	0,14

* – 28 определений на изопикнических поверхностях с σ_t более 14,0.

Т а б л и ц а 12. Содержание кислорода и биогенных элементов на разрезе под м.Тарханкут в мае 2009 г.

элемент	количество определений	поверхность		глубины 40 – 77 м*	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	12	6,98	0,03	6,77	0,19
кислород, %	12	102,7	0,5	93,8	4,5
фосфаты, мкМ	12	0,07	0,03	0,12	0,03
фосфор орган., мкМ	6	0,09	0,03	0,10	0,06
фосфор общ., мкМ	6	0,17	0,01	0,21	0,07
кремнекислота, мкМ	12	2,69	0,76	3,50	1,25
нитриты, мкМ	12	0,02	0,01	0,14	0,08
нитраты, мкМ	12	0,13	0,21	0,45	0,49

* – 4-м станциям до изопикны $\sigma_t = 14,0$.

В данной экспедиции было выполнено также определение концентраций общего и органического фосфора и обнаружено преобладание органических форм фосфора по сравнению с неорганическими. Так, в поверхностных водах фосфора органического было в 5 раз, на глубинах 10 – 57 м – в 2 раза больше, чем фосфатов.

Меридиональный разрез под м.Тарханкут (он же Восточный разрез в майской съемке 2007 г.) был также выполнен в мае и августе 2009 г. (рис.). Результаты определений приведены в табл.12 и 13.

В мае 2009 г. содержание биогенных элементов в толще вод на разрезе для соединений фосфора и нитритов не превышало 0,2 мкМ, для нитратов 0,5 мкМ, кремнекислоты 3,5 мкМ, при этом концентрации фосфора органического были выше концентраций фосфатов. Насыщение вод кислородом составило 103 %, что несколько ниже 108 %, наблюдавшихся в глубоководной части моря.

В августе биогенных элементов в толще вод 40 м стало еще меньше, чем в мае, причем концентрация кремнекислоты на поверхности стала менее 1 мкМ. Насыщение поверхностных вод кислородом осталось примерно

Т а б л и ц а 13. Содержание кислорода и биогенных элементов на разрезе под м.Тарханкут в августе 2009 г.

элемент	количество определений	поверхность		глубины 5 – 40 м*	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	9	5,58	0,06	6,63	1,19
кислород, %	9	103,9	0,64	105,3	11,5
фосфаты, мкМ	3	0,05	0,01	0,09	0,02
кремнекислота, мкМ	3	0,30	0,46	1,6	2,0
нитриты, мкМ	3	0,02	0,01	0,02	0,01
нитраты, мкМ	3	0,07	0,00	0,06	0,02

* – 5 станций, глубины до изобаты $\sigma_t = 14,0$.

таким же, как в мае, при этом наблюдался подповерхностный максимум насыщения вод кислородом, вероятно вследствие скопления фитопланктона на термоклине.

Весь изложенный выше материал относился к районам шельфа, расположенным на значительном расстоянии от устьев рек и поэтому испытывающим относительно невысокую антропогенную нагрузку. Обобщение рассмотренных данных позволяет предположить следующие значения концентраций растворенного кислорода и биогенных элементов, которые в летний период следует ожидать в поверхностных водах шельфовых районов Черного моря, не подверженных загрязнению: кислород 106 – 109 % насыщения; нитраты и нитриты – менее 0,1 мкМ; фосфаты – менее 0,2 мкМ, кремнекислота – менее 2 мкМ.

На фоне этих данных особенно контрастно выглядят результаты экспедиций, выполненных на акваториях, испытывающих влияние речного стока Дуная, Днепра, Днестра и Южного Буга. Например, в сентябре 2007 г. были определены концентрации кислорода на двух разрезах от м.Тарханкут до Тендровского маяка (рис.1). Насыщение поверхностных вод кислородом оказалось менее 100 %, насыщение придонных вод составляло всего 50 %, несмотря на не слишком большую глубину, менее 50 м.

Содержание растворенного кислорода и других гидрохимических характеристик, определенных в водах Бугского и Днепровского лиманов в этой же экспедиции, приведены в табл.14 и 15.

В водах Бугского лимана были обнаружены примерно одинаковые концентрации биогенных элементов в придонных и поверхностных водах. Вся толща вод была значительно пересыщена кислородом, максимальное значение 140 %, при этом на одной станции в поверхностных водах было зафиксировано всего 87 %-ное насыщение, вследствие чего среднее насыщение кислородом в придонных водах оказалось выше, чем на поверхности. Биогенных элементов содержалось как минимум в 10 раз больше, чем в ранее рассмотренных акваториях. Содержание кремнекислоты около 200 мкМ – максимально наблюдаемая величина, превышающая содержание кремнекис-

Т а б л и ц а 14. Содержание кислорода, биогенных элементов, величин рН и щелочности в водах Бугского лимана в сентябре 2007 г.

элемент	количество определений	поверхность		глубины 6 – 8 м	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	3	7,29	1,64	7,89	0,28
кислород, %	3	116,4	27,3	125,9	4,4
фосфаты, мкМ	3	5,0	1,6	5,7	1,4
кремнекислота, мкМ	3	186,0	15,4	201,9	22,4
нитриты, мкМ	3	0,94	0,75	0,95	0,71
нитраты, мкМ	3	4,5	3,9	4,6	4,0
щелочность, мг-экв	3	3,784	0,330	3,826*	0,337
рН	3	8,71	0,17	8,63	0,07

* – 2 определения.

Т а б л и ц а 15. Содержание кислорода, биогенных элементов, величин рН и щелочности в водах Днепровского лимана в сентябре 2007 г.

элемент	количество определений	поверхность		глубины 4 – 6 м	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	12	6,95	0,37	6,56*	0,67
кислород, %	12	107,8	5,2	101,8	10,5
фосфаты, мкМ	12	1,8	0,8	1,96	0,95
кремнекислота, мкМ	12	189,4	11,2	180,7*	15,9
нитриты, мкМ	12	0,06	0,02	0,10*	0,10
нитраты, мкМ	12	0,1	0,1	0,19*	0,17
щелочность, мг-экв	12	3,266	0,079	3,294	0,065
рН	12	8,74	0,24	8,79*	0,04

* – 9 определений.

лоты в придунайском районе северо-западного шельфа (см.далее) и примерно в 100 раз более высокая, чем в районах шельфа вдали от устьев рек.

В водах Днепровского лимана неожиданно низким оказалось содержание нитратов и нитритов, не более 0.2 мкМ, тогда как фосфатов было обнаружено в среднем около 2 мкМ, что примерно на порядок больше, чем в водах глубоководной части моря. Концентрации кремнекислоты были такими же высокими, как и в Бугском лимане, около 190 мкМ в среднем.

Средний благополучный процент насыщения вод кислородом, 108 % на поверхности и 102 % у дна не должен вводить в заблуждение, поскольку на трех станциях с глубиной 9 – 9,5 м содержание растворенного кислорода в придонных водах не превышало 3 мл/л, а процент насыщения 50 % (минимально наблюдаемое 21 %). Придонные воды этих станций, близкие к состоянию гипоксии, также отличались меньшей величиной рН (минимальное 7,93), большей концентрацией нитритов и нитратов (максимальные количества 0,81 и 4,6 мкМ соответственно), меньшей концентрацией кремнекислоты (минимально 88,6 мкМ).

Исследование гидрохимического состава вод придунайского района северо-западного шельфа проводили в августе 2009 г., полученные данные приведены в табл.16. Содержание кислорода в водах придунайского района отличается двумя особенностями. Процент насыщения поверхностных вод явно выше 108 %, отмеченных для незагрязненных вод, тогда как среднее насыщение кислородом придонных вод составляет всего 27 % при весьма небольших глубинах. Следовательно, в этом районе продолжается активный синтез на поверхности и интенсивная минерализация органических соединений в придонных водах.

Следствием двух разных интенсивных процессов в поверхностных и придонных водах придунайского района явились значительные различия в концентрации биогенных элементов на поверхности и у дна. Концентрации на поверхности сравнимы с теми, которые наблюдаются на других участках шельфа, концентрации у дна значительно превосходят поверхностные. То есть

Т а б л и ц а 1 6 . Содержание кислорода и биогенных элементов в водах Придунайского района северо-западного шельфа в августе 2009 г.

элемент	количество определений	поверхность		глубины 5 – 40 м*	
		среднее	СКВО	среднее	СКВО
кислород, мл/л	34	6,08	0,51	1,79	1,27
кислород, %	34	113,4	9,3	26,9	20,9
фосфаты, мкМ	34	0,26*	0,12	0,39	0,16
кремнекислота, мкМ	34	1,67**	5,13	33,32	13,46
нитриты, мкМ	34	0,11+	0,23	0,36	0,35
нитраты, мкМ	33	0,09++	0,08	7,01	4,57

* – 2,41 мкМ; ** – 54,3 мкМ; + – 2,54 мкМ; ++ – 65,6 мкМ – максимальные значения для станции, расположенной примерно в миле напротив устья Дуная.

в придунайском районе нет практически однородного распределения биогенных элементов по вертикали до глубин 50 – 60 м, которые наблюдались в других районах и что было отмечено ранее в [7]. Особенно это заметно для кремнекислоты: ее концентрация напротив устья выше 50 мкМ, но очень быстро понижается по мере удаления от берега до величины 1,7 мкМ в среднем, однако в придонных водах кремнекислоты содержится примерно в 20 раз больше, чем в поверхностных. Такая же закономерность характерна и для содержания нитратов.

Выводы. 1. В летний период для незагрязненных вод украинского шельфа Черного моря характерно насыщение растворенным кислородом на уровне 106 – 109 %, зимой 98 – 100 %. В загрязненных районах, расположенных недалеко от устьев рек, в летний период насыщение кислородом поверхностных вод, как правило, выше 110 %, придонных (до глубин 40 м) – менее 50 %.

2. Содержание биогенных элементов для незагрязненных вод украинского шельфа Черного моря, как правило, меньше следующих величин: фосфатов менее 0,2 мкМ, нитратов и нитритов менее 0,1 мкМ. При десятикратном превышении этих значений следует искать причину этого повышения.

3. Содержание кремнекислоты в шельфовых водах, значительно удаленных от берега, в некоторых случаях было менее 0,2 мкМ, то есть сравнимо по величине с содержанием других биогенных элементов. Подобная ситуация может привести к нехватке кремния для строительства скелетов некоторых видов фитопланктона и в итоге изменить трофическую цепь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гидрометеорология* и гидрохимия морей СССР. Т.4. Черное море / Под ред. А.И.Симонова.– СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.– 340 с.
2. *Методы гидрохимических исследований океана*.– М.: Наука, 1978.– 267 с.
3. *Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов*.– М.: Изд. ВНИРО-Главрыба, 1990.– 46 с.
4. *ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических*

веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

5. *Косов В.И., Иванов В.Н.* Охрана и рациональное использование водных ресурсов. Ч.1. Охрана поверхностных вод: уч. пособие.– Твер. гос. техн. ун-т, 1995.– 261 с.
6. *Справочник по гидрохимии* / Под ред. А.М.Никанорова.– Л.: Гидрометеоздат, 1988.– 428 с.
7. *Справочник по гидрохимии.* Электронная версия.– Эколайн, 1998. <http://biology.krc.karelia.ru/misc/hydro/>
8. *Кондратьев С.И.* Особенности вертикального распределения элементов главного биогенного цикла в водах северо-западного шельфа Черного моря // Морской гидрофизический журнал.– 2009.– № 2.– С.37-51.
9. *Кондратьев С.И.* Изменения в гидрохимическом составе вод Феодосийского залива в результате проникновения азовоморских вод зимой 2006 – 2007 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– вып.18.– С.30-38.

Материал поступил в редакцию 15.09.2011 г.

АНОТАЦІЯ. Приведені дані про вміст кисню, елементів головного біогенного циклу, величини рН і щелочності в поверхневих і придонних (до ізопікнічеської поверхні $\sigma_t = 14,0$) водах українського шельфу Чорного моря, від Керченської протоки до приустьєвих областей Дунаю і Дніпра, одержані Морським гідрофізичним інститутом НАН України в експедиційних дослідженнях 2006 – 2011 рр.

ABSTRACT. Presented the information about the content of the main nutrient, oxygen cycle, pH, alkalinity in the surface and near-bottom (up to isopycnic surface $\sigma_t = 14,0$) waters of the Black Sea shelf, from Kerch Strait to testing areas of the Danube and the Dnieper, obtained by the Marine Hydrophysical Institute in expeditionary research 2006 – 2011.