



УДК 551.464 (262.5)

**В. П. Чекалов**, м.н.с., **Ю. П. Копытов**, н.с., **И. Н. Аннинская**, вед. инж., **В. Н. Копытова**, вед. инж.

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

### НЕКОТОРЫЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ В СЛОЕ КОНТАКТА ГРУНТОВ И ПРИДОННОЙ ВОДЫ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

На фоне гидрохимических показателей придонного слоя воды показано распределение основных групп хлорофиллов и феопигментов в грунтах Балаклавской бухты, различающихся по редокс условиям и содержанию органики.

**Ключевые слова:** гидрохимические показатели, пигменты фитобентоса, Балаклавская бухта, Чёрное море.

Балаклавская бухта, в силу ограниченного доступа, оказалась одной из наименее изученных акваторий черноморского побережья. И только начиная с 1990-х годов, стали появляться некоторые гидрохимические данные, характеризующие преимущественно поверхностные слои воды бухты. Сведения же о состоянии придонных водных масс и грунтов до настоящего времени практически отсутствуют. В данной работе представлены результаты исследований ряда гидрохимических параметров грунтов и придонной воды Балаклавской бухты, выполненных нами в 2005 г. Эти материалы могут в дальнейшем представлять интерес для сравнительного наблюдения за процессами самоочищения акватории бухты.

**Материал и методы.** Пробы грунта и придонной воды в Балаклавской бухте отбирались водолазами в начале июня 2005 г (рис. 1).

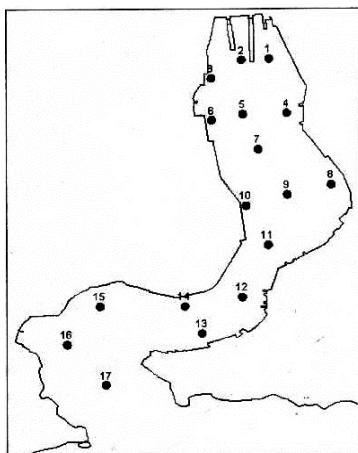


Рис. 1 Схема расположения станций отбора проб  
Fig. 1 Scheme of sampling stations

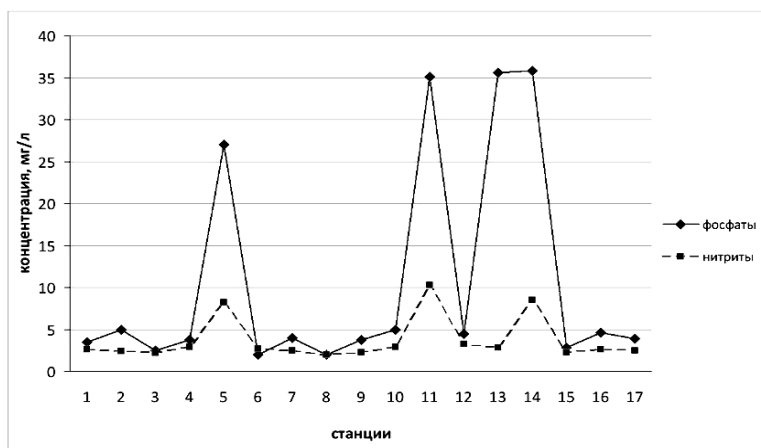
Сухую массу донных отложений определяли после их сушки при 105°C. Содержание органического вещества (ОВ) косвенно оценивали по потере веса при

прокаливании навесок при 500°C. Содержание пигментов и продуктов их деструкции выявляли спектрофотометрическим методом в ацетоновых экстрактах [4]. Концентрацию фосфатов и нитритов в воде определяли фотометрически стандартными методами [11], а растворённый кислород и БПК<sub>5</sub> – по унифицированным методам анализа вод [14].

**Результаты и обсуждение.** Выявленные нами пиковые концентрации фосфата и нитрита приходились на суженный участок бухты. Распределение указанных анионов имело сходный характер, что может свидетельствовать об их совместном поступлении (рис. 2).

На этом участке в воды бухты сбрасываются ливневые стоки. В открытой части Чёрного моря нитриты обнаруживаются, как правило, лишь у нижней границы кислородной зоны в слое 50 – 100 м в количестве 0.03 мкг л<sup>-1</sup> [12]. Их присутствие в этом слое подтверждает бактериальную нитрификацию аммония, которая является основным источником образования нитритов в водной среде. В прибрежных же акваториях поступление биогенов с поверхностным стоком может значительно превышать автохтонное продуцирование.

Данные за период наблюдений с 2000 по 2009 гг. показывают, что концентрация



фосфат-иона в Балаклавской бухте в подповерх-

Рис. 2 Концентрация фосфатов и нитритов в придонной воде Балаклавской бухты

Fig. 2 The concentration of phosphates and nitrites in the bottom water of the Balaklava Bay

ностном 10-метровом слое колебалась в пределах 0 – 180, нитрита – от 0 до 10 мкг л<sup>-1</sup>. Средние значения параметров по станциям убывали от

кутовой части к устью – соответственно с 12 до 6 и с 3 до 1 мкг л<sup>-1</sup> [7].

Табл. 1 Гидрохимические показатели придонной воды и грунтов Балаклавской бухты

Table. 1 Hydrochemical parameters of bottom water and sediments in Balaklava bay

№ станции	Глубина, м	Донные отложения (сухой грунт)						Придонная вода				
		Eh, мВ	Орг. в-во, мг/г	Хл "а", мкг/г	Хл "в", мкг/г	Хл "с", мкг/г	Феопигменты, мкг/г	рН	Фосфаты, мкг/л	Нитриты, мкг/л	O <sub>2</sub> , мг/л	БПК <sub>5</sub> , мг/л
1	6	-138	171.8	9.49	5.97	2.40	3.80	8.36	3.50	2.60	4.46	0.25
2	7	-165	325.5	5.33	2.53	1.35	2.24	8.40	5.00	2.40	4.29	0.00
3	8	-174	263.8	7.64	2.97	1.30	4.88	8.40	2.50	2.20	4.47	0.00
4	8	-197	151.5	8.75	5.09	3.25	3.95	8.45	3.75	2.90	5.00	0.25
5	9	-203	133.5	3.79	2.34	1.50	0.95	8.35	27.00	8.20	5.36	1.79
6	5	-132	212.4	8.97	7.28	2.38	6.44	8.40	2.00	2.70	4.65	0.00
7	10	-28	149.9	6.44	2.87	1.00	1.45	8.38	4.00	2.50	5.37	1.67
8	7	-16	246.5	3.33	2.63	0.75	1.37	8.11	2.00	2.00	4.38	0.00
9	12	-134	130.7	7.75	4.00	1.80	0.72	8.40	3.75	2.30	4.83	0.39
10	11	-172	174.7	7.29	4.50	3.81	1.57	8.37	5.00	2.90	5.09	0.77
11	15		156.4	7.01	3.96	1.40	4.13	8.15	35.12	10.30	5.43	1.00
12	19	22	91.2					8.10	4.50	3.25	4.83	0.00
13	22	-73	273.5	3.92	2.30	2.28	2.67	8.28	35.60	2.87	5.13	0.00
14	17	110	41.6	1.61	1.00	0.43	0.73	8.15	35.80	8.48	5.83	1.10
15	19	73	321.9	7.87	4.82	2.20	3.84	8.10	2.87	2.28	5.73	0.80
16	19	-38	320.6	5.13	3.86	1.22	2.40	8.17	4.60	2.60	5.23	0.40
17	30	72	271.6	13.93	5.27	2.89	10.81	8.2	3.90	2.45	4.93	0.20

Придонная концентрация O<sub>2</sub> в воде бухты колебалась в пределах 4.29 – 5.83 мг л<sup>-1</sup>, что характерно для черноморских вод (табл. 1; рис. 3). Для поверхностного слоя приводится диапазон значений от 4.40 до 8.01, в среднем 6.4 – 6.5 мг л<sup>-1</sup> [9]. При этом, если обычно в морях максимум кислорода приходится на глубину 25 м (до 124 – 133 %), что связано с деятельностью фитопланктона [5], то по [7], в Балаклавской бухте с глубиной наблюдается снижение насыщения воды O<sub>2</sub> со 102 – 113 до 99 – 76 %.

Возможно, это, наряду с низким биохимическим потреблением O<sub>2</sub> в придонном слое воды, является следствием масштабных анаэробных процессов в донных отложениях, в первую очередь, связанных с продуцированием сероводорода. Так, на 6 станциях из 17 зафиксированы нулевые значения БПК<sub>5</sub>, и только вдоль осевой линии на 4 станциях они превышают 1 мг л<sup>-1</sup>. У поверхности этот параметр иногда достигает 10 мг л<sup>-1</sup> и более [7, 9].

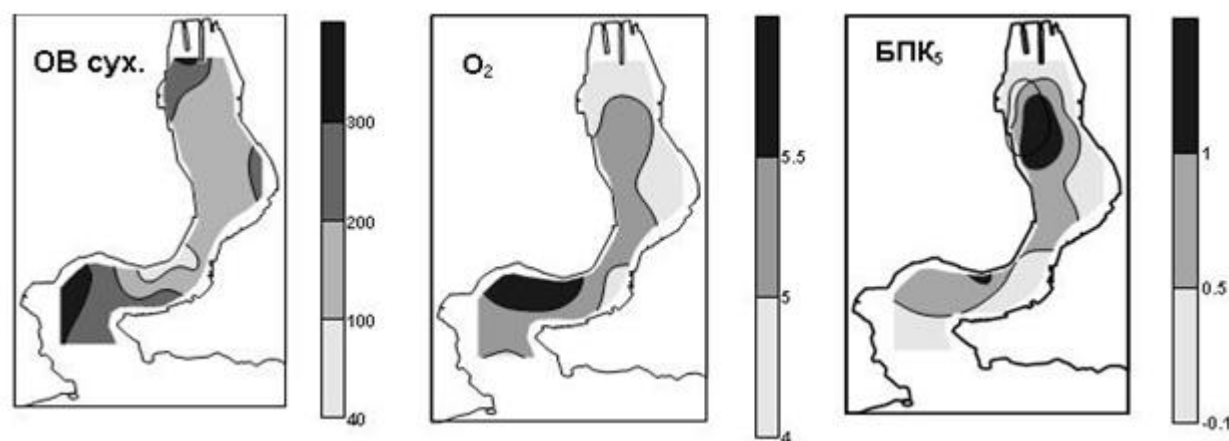


Рис. 3 Органическое вещество, концентрация растворённого кислорода и уровни БПК<sub>5</sub> в акватории Балаклавской бухты

Fig. 3 Organic matter, the concentration of dissolved oxygen and levels of BOD<sub>5</sub> in the waters of Balaklava bay

Донные отложения по окислительно-восстановительному потенциалу изменялись от сильно восстановленных в кутовой части бухты до умеренно окисленных в районе её устья. В то же время насыщенность придонной воды кислородом незначительно возрастала к выходу из бухты. Ограниченный водообмен во внутренней акватории бухты способствует интенсификации седиментационных процессов, в результате чего вплоть до ст. 11 формируются серые и серо-коричневые илы с резким запахом сероводорода. Грунты остальной части представлены крупнозернистым песком и галькой низкой степени заиленности. Учитывая несущественные различия этих частей по содержанию органики и растворённого кислорода, можно сделать вывод, что окислительно-восстановительный режим грунтов Балаклавской бухты определяется их гранулометрическим составом. Слабая диффузия O<sub>2</sub> в толще грунтов, его быстрая утилизация микрофлорой и, как следствие, формирование анаэробных условий характерны для мелкодисперсных плотных илов.

Максимальные значения потерь при прокаливании отмечались на прибрежных станциях, в среднем до 200 – 300 мг г<sup>-1</sup> сухого грунта (более 30%), снижаясь до 100 – 150 мг г<sup>-1</sup> по линии фарватера. На станциях 12 и 14, где грунты представлены слабо заиленной

галькой, зафиксировано наиболее низкое содержание органики – соответственно 91.2 и 41.6 мг г<sup>-1</sup>. Здесь в самой узкой части бухты отмечаются наибольшие скорости течения (до 20 см с<sup>-1</sup>), причём у западного берега скорость течения в два раза ниже, чем у восточного [10]. Этот своеобразный пояс отделяет грунты устьевой части бухты, характеризующиеся уже преимущественно положительными значениями Eh, но повышенным содержанием органической составляющей (свыше 300 мг г<sup>-1</sup>). Как известно, из 4.4 млн. м<sup>3</sup> сточных вод, поступающих за год в бухту, примерно 3 млн. м<sup>3</sup> поступает через главный коллектор, расположенный непосредственно у входа в бухту на глубине 10 м [6]. При определённых гидрометеорологических условиях наблюдается направленный от этого коллектора в бухту шлейф трансформированных сточных вод [1, 8]. Это и приводит к загрязнению грунтов в устье бухты. Донные отложения, как консервативный компонент экосистемы, являются индикатором хронического поступления пиковых концентраций различных веществ.

Содержание хлорофилла «а» в среднем колебалось в пределах 4 – 8 мкг г<sup>-1</sup> сухой массы, лишь на максимально удаленных друг от друга станциях 1 и 17 достигая соответственно 9.49 и 13.93 мкг г<sup>-1</sup> (рис. 4).

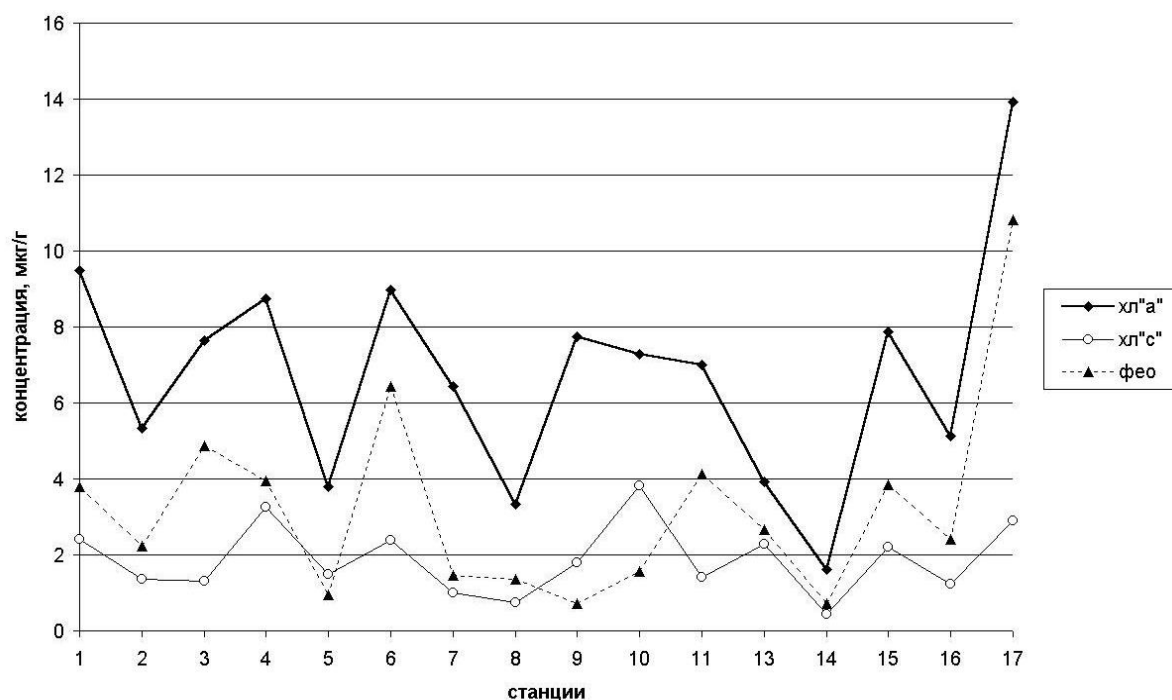


Рис. 4 Распределение пигментов в донных отложениях Балаклавской бухты  
 Fig. 4 Distribution of pigments in sediments of Balaklava bay

Отношение хл «а»/хл «с» составляет преимущественно 3 – 4. Считается, что морской микрофитобентос полностью состоит из диатомовых водорослей, у которых этот индекс равен 3 [2]. Следовательно, здесь наблюдается преобладание диатомовых, и, соответственно, незначительное количество бактериохлорофиллов [3]. Последние свойственны отдельным группам бактерий, осуществляющих анаэробный фотосинтез, используя в качестве источника углерода органические вещества или, наряду с ними, углекислый газ. Как известно, хлорофилл «с» является у них основным пигментом, тогда как хлорофилл «а» – минорным [13]. Соотношение указанных хлорофиллов менее 2 на станциях 10 и 13 указывает на возможное доминирование бактериальных форм, тогда как на станциях 3, 7 и 11 оно превышает 5, что имеет место у зелёных растений. Низкое содержание феопигментов – продуктов деструкции хлорофиллов свидетельствует об относительно благоприятных условиях для развития первичных продуцентов. Их высокое количество в донных отложениях на ст. 6 и 17

совпадает с максимумом суммарного содержания пигментов. Коррелятивной зависимости между концентрациями фосфатов и нитритов, с одной стороны, и основными группами пигментов, с другой, не выявлено. Очевидно, эти химические соединения присутствуют в среде в достаточном количестве и не являются лимитирующими для развития автотрофов.

**Выводы.** Характер распределения фосфатов и нитритов в придонной воде Балаклавской бухты указывает на их аллохтонное происхождение и совместное поступление. При этом не выявлено зависимости содержания хлорофиллов в донных отложениях от колебания концентраций указанных соединений. По соотношению основных групп пигментов и продуктов их разложения делается вывод о достаточно стабильном состоянии фитобентоса в Балаклавской бухте. Низкие значения БПК<sub>5</sub> при высокой насыщенности грунтов органическими соединениями определяются, по всей видимости, температурным режимом и гидрохимическими особенностями придонных масс воды.

1. *Ациховская Ж. М., Субботин А. А.* Динамика вод Балаклавской бухты и прилегающей акватории Черного моря // *Экология моря.* – 2000. – Вып. 50. – С. 5 – 8.
2. *Бобкова А. Н.* Биохимические характеристики естественных популяций перифитонных диатомовых водорослей // *Альгология.* – 1995. – 5, №2. – С. 59 – 64.
3. *Бобкова А.Н.* Биохимический состав донных осадков как показатель состояния инфауны // *Экология моря.* – 2000. – Вып. 50. – С. 29 --32.
4. *Бобкова А. Н., Смирнова Л. Л.* Изменение пигментного и углеводного спектров сообщества перифитонных микроорганизмов под влиянием ионов меди // *Гидробиол. журн.* – 1993. – 29, №1. – С. 59 – 64.
5. *Зенкевич Л. А.* Биология морей СССР. М.: Изд. АН СССР, 1963. – 739 с.
6. *Ковригина Н. П., Попов М. А., Лисицкая Е. В., Сеничева М. И., Субботин А. А.* Оценка антропогенного воздействия и сгонно-нагонных явлений на экологическое состояние вод Балаклавской бухты // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.* – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – Вып.8.– С.105 – 114.
7. *Ломакин П. Д., Попов М. А., Куфтаркова Е. А., Ковригина Н. П.* Проявление апвеллинга в полях гидрофизических и гидрохимических элементов на акватории Балаклавской бухты // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сборн. научн. трудов* – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. – Вып. 23. – С.180 – 192.
8. *Мезенцева И. В., Чайкина А. В., Клименко Н. П.* Современный уровень загрязнения вод акватории Балаклавской бухты // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.* – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – Вып. 8. – С.115 – 118.
9. *Попов М. А., Ковригина Н. П., Мачкевский В. К.* и др. Влияние антропогенного фактора на гидробиологические условия, мидию *Mytilus galloprovincialis Lam.* и ее эндосимбионты в Балаклавской бухте // *Наук. зап. Терноп. нац. ун-ту. Сер. Біол.* – 2010. – №3(44). – С.205 – 208.
10. *Попов М. А., Чепыженко А. И., Еремин И. Ю.* Оценка источников загрязнения вод Балаклавской бухты гидрооптическими методами в осенний период // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.* – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – Вып.12. – С. 202 – 207.
11. *Руководство по методам химического анализа морских вод.* Под ред. С.Г. Орадовского. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 208 с.
12. *Сорокин Ю.И.* Черное море: Природа, ресурсы. М.: Наука, 1982. – 216 с.
13. *Стейниер Р., Эдельберг Э., Ингэм Дж.* Мир микробов. – М.: Мир, 1979. – 3. – 458 с.
14. *Унифицированные методы анализа вод.* Под ред. Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1973. – 376 с.

Поступила 30 ноября 2011 г.  
После доработки 15 июля 2012 г.

**Деякі гідрохімічні параметри у шарі контакту ґрунтів та придонної води Балаклавської бухти (Чорне море).** В. П. Чекалов, Ю. П. Копитов, І. Н. Аннінська, В. Н. Копитова. На тлі гідрохімічних показників придонного шару води показано розподіл головних груп хлорофілів та феопігментів у ґрунтах Балаклавської бухти, які різняться по редокс умовам та вмісту органіки.

**Ключові слова:** гідрохімічні показники, пігменти фітобентосу, Балаклавська бухта, Чорне море.

**Some hydrochemical parametres in a bottom sediments contact layer and benthonic water of the Balaklavskaya bay (Black Sea).** V. P. Chekalov, J. P. Kopytov, I. N. Anninskaja, V. N. Kopytova. Distribution of the basic groups of chlorophyll and feopigment in the bottom sediments of the Balaklavskaya bay different on redox conditions and organic matter was shown taking into consideration hydrochemical parameters of benthonic water.

**Keywords:** hydrochemical parameters, pigments of phytobenthos, the Balaklavsky bay, Black Sea.