



УДК 639.4:551.464(262.5)

**Е. А. Куфтаркова**, канд. геогр. наук, ст. н. с., **И. Ю. Ерёмин**, м. н. с., **А. А. Субботин**, канд. геогр. наук, с. н. с.  
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

### ТОНКАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОД В РАЙОНЕ МИДИЙНОЙ ФЕРМЫ (ПРЕДПРОЛИВНАЯ ЧАСТЬ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ)

Изучена тонкая вертикальная химическая структура вод в районе мидийной фермы, расположенной в предпроливной части Севастопольской бухты. Шесть экспериментальных вертикальных зондирований толщи вод, проведенных в осенне-зимний период 2008 – 2010 гг., свидетельствуют о переслоенности морских и распреснённых речным стоком вод с характерными для них значениями гидрохимических показателей, что ещё раз подчеркивает определяющую роль физических процессов в формировании химической структуры вод в таком динамически активном районе бухты, как предпроливная часть Севастопольской бухты.

**Ключевые слова:** гидрохимическая структура, водообмен, мидийная ферма, Севастопольская бухта, Чёрное море

Любая ферма по культивированию моллюсков, в том числе и мидий, является своеобразным средообразующим фактором. Выделение моллюсками аммонийных соединений и растворённого органического вещества усиливает процесс эвтрофирования вод со всеми вытекающими последствиями, а деструкция и минерализация продуктов их жизнедеятельности создают условия для развития заморных явлений в придонном слое и гибели донной фауны [1]. Особенно ярко это может проявиться в акваториях со слабым водообменом. По этой причине биологическая мелиорация водной среды, основанная на фильтрационных свойствах моллюсков, должна проводиться с учётом особенностей акватории и, прежде всего, её динамических условий. Положительный результат будет обеспечен только в том случае, когда динамика вод будет такова, что возрастающий поток метаболитов мидий будет адекватен его выносу за пределы мелиорируемой акватории.

Исследованная нами мидийная ферма находится в Мартыновой бухте, расположенной непосредственно за входным створом Севастопольской бухты на её южной стороне

(рис. 1). Глубина на ферме 11–12 м. Ферма расположена в полузамкнутой экологически напряжённой Севастопольской бухте, но, благодаря близкому расположению к выходу из бухты, за счёт водообмена с прилегающей частью моря обновление вод происходит достаточно интенсивно [7, 8, 9, 10]. Так, согласно [9], несмотря на уменьшение водообмена Севастопольской бухты с открытой частью моря после появления мола на 40 – 70 %, он составляет  $245 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ , а скорости течений на входном канале при определённых ветровых ситуациях достигают в верхнем слое  $40 - 60 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ , в придонном –  $15 - 20 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ . При этом в предпроливной части Севастопольской бухты поток может быть не только двухслойным, но и трёхслойным, когда в нижней части и на поверхности он направлен в бухту, а в средней – из бухты. В частности, показано, что воды реки Чёрная, впадающей в Севастопольскую бухту, трансформируясь, достигают района фермы [3, 4, 5]. Они характеризуются пониженной солёностью и повышенными величинами нитратного и органического азота, кремния и БПК<sub>5</sub>, а морские воды из сопредельной части моря –

повышенными значениями солёности и фосфатов. При этом, как правило, распреснённые во-

ды находились в верхнем слое, а морские – у дна.



В задачу настоящих исследований входило изучение факторов, доминирующих в формировании химической структуры вод района мидийной фермы; определение возможных изменений качества морской среды за счёт продуктов жизнедеятельности мидий.

Рис.1 Район исследований:  
1 – мидийная ферма  
Fig. 1 Area of investigations:  
1 – mussel farm

**Материал и методы.** Нами выполнена серия измерений вертикального распределения гидрохимических характеристик в верхнем и придонном слоях на акватории фермы. Измерения проводили градиентным батометром, который состоит из четырёх батометров объёмом 0.25 л, закреплённых на металлической штанге на расстоянии 0.5 м друг от друга. Пробы морской воды отбирали с платформы, расположенной непосредственно в центре мидийной фермы, через каждые 0.5 м в 2-метровом поверхностном и придонном слоях. Всего проведено шесть съёмок, преимущественно в осенне-зимний период. В ноябре 2008 г., кроме отбора проб с горизонтов 0 м и дно, пробы отбирали через 0.5 м, начиная от глубины 10.25 м до глубины 11.75 м. В октябре 2008, январе и феврале 2009 гг., кроме поверхностного и придонного слоёв, пробы отбирали через 0.5 м в слое 0.25 – 1.75 м; в октябре 2009 и январе 2010 гг. – через 0.5 м в 2-метровом поверхностном и придонном слоях. С помощью градиентного батометра можно отобрать не более 250 мл морской воды на каждом горизонте. Из-за ограниченного объёма пробы воды основное внимание уделяли определению солёности, величины рН и биогенных элементов, включа-

ющих содержание аммонийного, нитритного, нитратного азота, фосфатов и кремния. Гидрохимические анализы выполняли в аккредитованной гидрохимической лаборатории Ин-БЮМ НАН Украины согласно общепринятым методам [6]. В отдельных случаях одновременно проводили наблюдения с помощью зондирующего STD-комплекса «Катран», технические характеристики которого позволяют исследовать вертикальную термохалинную структуру вод с дискретностью 0.6 м.

**Результаты и обсуждение.** Рассмотрим отдельно каждый случай наблюдений в хронологическом порядке.

29 октября 2008 г. отбор проб морской воды выполняли на горизонтах 0, 0.25, 0.75, 1.25, 1.75 м и у дна. По биогенным элементам чётко обнаруживается расслоение вод. От поверхности до глубины 0.75 м наблюдалось повышение концентрации биогенных веществ:  $\text{NO}_2$  – от 2.5 до 5.9,  $\text{NO}_3$  – от 41.5 до 81.5,  $\text{PO}_4$  – от 5.3 до 30 и Si – от 47.5 до 99 мкг/л. Затем с глубины 0.75 до 1.75 м наблюдалось снижение значений:  $\text{NO}_2$  – до 5.3,  $\text{NO}_3$  – до 63.6,  $\text{PO}_4$  – до 20 и Si – до 80.5 мкг/л. К сожалению, у нас отсутствуют данные по солёности в период данной съёмки.

12 ноября 2008 г. отбор проб морской воды выполняли на горизонтах 0, 10.25, 10.75, 11.25, 11.75 м и дно. В этот период в поверхностном и придонном слоях бухты находились воды с повышенной солёностью – соответственно 17.61 и 17.63 ‰. Для этих водных масс были характерны низкие величины биогенных веществ:  $\text{NO}_2$  – 3.8,  $\text{NO}_3$  – 8.8,  $\text{PO}_4$  – 7.0, Si – 20

мкг/л. В слое 10.25 – 11.25 м отмечалась водная масса с пониженной солёностью (17.13 – 17.31 ‰) и высокими концентрациями биогенных веществ, характерными для распреснённых вод. Концентрация  $\text{NO}_2$  колебалась от 4 до 8,  $\text{NO}_3$  – от 21 до 26,  $\text{PO}_4$  – от 15 до 64 и Si – 34 до 50 мкг/л (рис. 2, а).

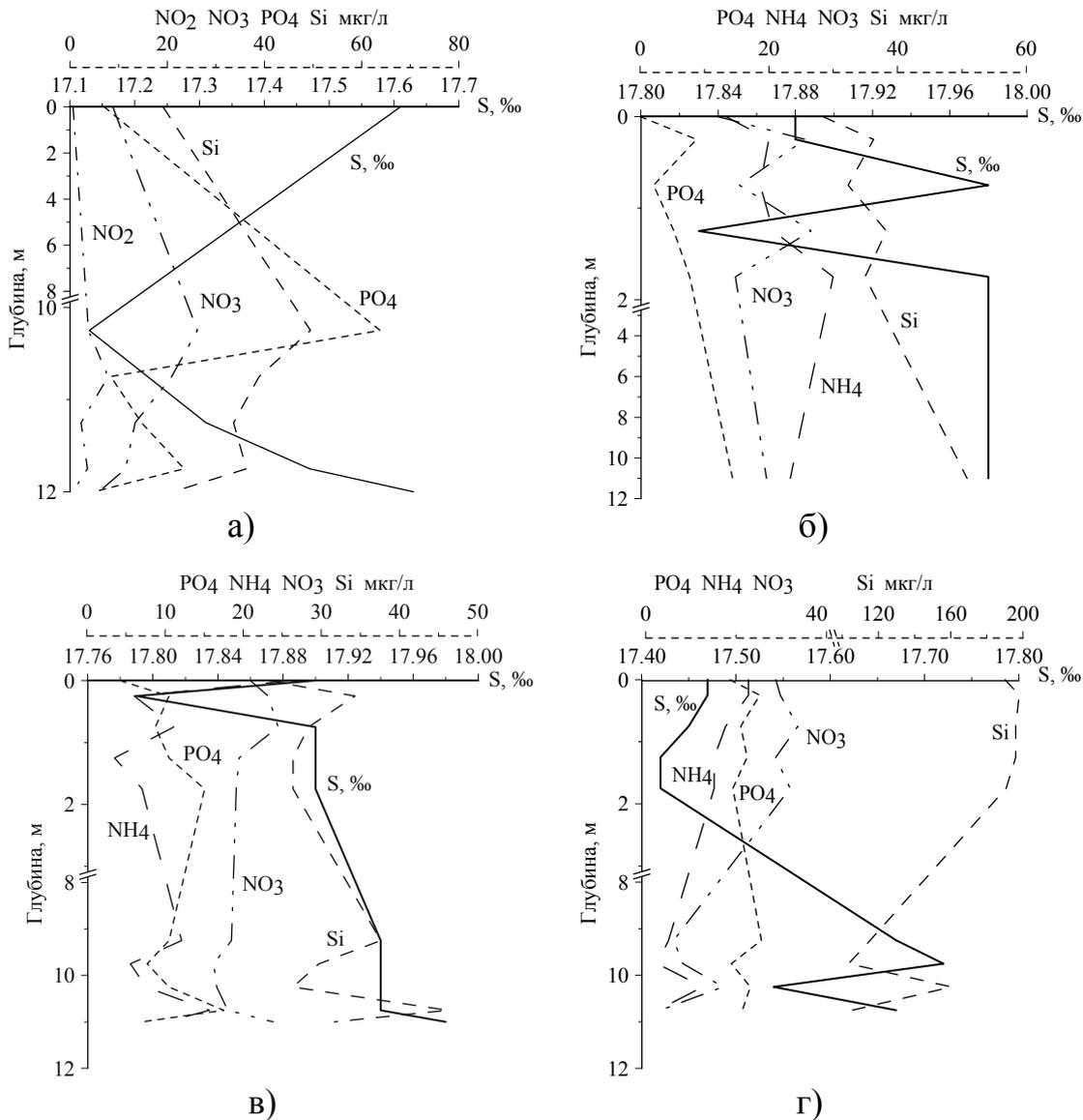


Рис. 2 Тонкая вертикальная гидрохимическая структура на мидийной ферме в Севастопольской бухте: а) 12.11.2008; б) 12.02.2009; в) 14.10.2009; г) 18.01.2010

Fig. 2 Thin vertical hydrochemical structure at the mussel farm in the Sevastopol Bay: а) 12.11.2008; б) 12.02.2009; в) 14.10.2009; г) 18.01.2010

14 января 2009 г. отбор проб морской воды выполняли на горизонтах 0, 0.25, 0.75, 1.25 и 1.75 м и дно. Накануне проведения данной съёмки, начиная с 9 января, наблюдались осадки в виде дождя и снега. Вода с пониженной солёностью на 0.03 ‰ регистрировалась в подповерхностном слое 0.25 – 1.25 м. В этом слое отмечались повышенные, по сравнению с поверхностным слоем, концентрации биогенных веществ. Содержание  $\text{NO}_2$  было выше, чем на поверхности на 3.3,  $\text{NO}_3$  – на 23 и  $\text{PO}_4$  – на 6.5 мкг/л.

12 февраля 2009 г. пробы отбирали на горизонтах 0, 0.25, 0.75, 1.25, 1.75 м и дно. Повышение солёности на 0.1 ‰ на глубине 0.75 м, по сравнению с поверхностью (от 17.88 до 17.98 ‰), сопровождалось повышением содержания фосфатов от 0 до 15.1 мкг/л. На горизонте 1.25 м солёность понижалась на 0.15 ‰ (от 17.98 до 17.83 ‰); одновременно наблюдалось повышение концентрации  $\text{NO}_3$  от 12 до 26.6,  $\text{NH}_4$  – от 13.3 до 20.7 и Si – от 28.4 до 38.3 мкг/л (рис. 2, б).

14 октября 2009 г. пробы отобраны в поверхностном слое на горизонтах 0, 0.25, 0.75, 1.25, 1.75 м и в придонном – на горизонтах 9.25, 9.75, 10.25, 10.75 и 11.00 м. В этот период чётко прослеживалась синхронность вертикальной изменчивости концентрации биогенных элементов, связанных с солёностью. В подповерхностном слое отмечали повышение концентрации кремния, нитратов и фосфатов, вызванное поступлением вод с пониженной солёностью – 17.79 ‰. Повышение значений биогенных элементов у дна было обусловлено подтоком морских вод в придонный слой с солёностью 17.98 ‰ (рис. 2, в).

18 января 2010 г. пробы отбирали в поверхностном слое на горизонтах 0, 0.25, 0.75, 1.25 и 1.75 м, в придонном – на горизонтах 9.25, 9.75, 10.25, 10.75 и 11.00 м. Накануне съёмки наблюдались осадки в виде дождя и снега, что вызвало понижение солёности в поверхностном 2-метровом слое моря до 17.42 –

17.47 ‰. В этом слое отмечали повышение концентрации всех биогенных элементов, обусловленное его распреснением. Повышение солёности на горизонте 9.75 м до 17.72 ‰ сопровождалось резким уменьшением содержания биогенных элементов, а снижение солёности до 17.54 ‰ на глубине 10.25 м вызвало повышение концентрации биогенных элементов (рис. 2, г).

Как показывает анализ результатов наблюдений, взаимодействие различных вод в предпроливной зоне Севастопольской бухты имеет более сложный характер, чем представлялось ранее [2]. В частности, распреснённые черноморские воды обнаруживаются не только в поверхностном, но и в подповерхностном слое, морские (в ряде случаев) – в промежуточном и придонном слоях, а при отсутствии распреснённых вод промежуточные слои занимают трансформированные воды Севастопольской бухты. Вероятно, такие ситуации характеризуют осенне-зимнюю конвекцию, сопровождаемую активной горизонтальной адвекцией.

**Выводы.** Полученные в районе мидийной фермы данные по тонкой вертикальной химической структуре вод свидетельствуют о сложной переслоенности морских, распреснённых вод и вод Севастопольской бухты с характерными для них значениями гидрохимических показателей. Этот факт еще раз подчёркивает доминирующую роль физических процессов в формировании химической структуры вод в таком динамически активном районе бухты, как предпроливная часть Севастопольской бухты. Изменений концентрации биогенных элементов, обусловленных жизнедеятельностью моллюсков в толще вод и придонном слое фермы, не обнаружено. По-видимому, смена водных масс способствует выносу продуктов жизнедеятельности моллюсков за пределы мелководной акватории, что препятствует их аккумуляции в толще вод фермы.

1. *Золотницкий А. П., Крючков В. Г.* О возможных экологических последствиях крупномасштабного культивирования мидий в шельфовой зоне Черного моря // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна: тез. II международн. науч. конф. (26 – 27 июня 2006 г. – Керчь). – Керчь, 2006. – С. 30 – 35.
2. *Куфтаркова Е. А., Губанов В. И., Ковригина Н. П., Ерёмин И. Ю., Сеничева М. И.* Экологическая оценка современного состояния вод в районе взаимодействия Севастопольской бухты с прилегающей частью моря // Морск. экол. журн. – 2006. – 5, №1. – С. 72 – 91.
3. *Куфтаркова Е. А., Сеничева М. И.* Биогенные элементы как основа биопродуктивности вод района мидийной фермы // Экология моря. – 2009. – Вып. 77. – С. 62 – 66.
4. *Куфтаркова Е. А., Субботин А. А., Родионова Н. Ю.* Оценка влияния марихозяйства на гидрохимические условия района его функционирования (Севастопольская бухта, Черное море) // Гидробиол. журн. – 2009. – 45, № 1. – С. 110 – 120.
5. *Куфтаркова Е. А., Сеничева М. И., Субботин А. А., Поляхов А. С.* Оценка кормовых возможностей марихозяйства по содержанию биогенных веществ // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ. – Севастополь, 2009. – Вып. 20. – С. 262 – 274.
6. *Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов.* – М.: ВНИРО, 1988. – 119 с.
7. *Морочковский В. А., Ковальчук Ю. Л.* Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты / Ихтиофауна черноморских бухт в условиях антропогенного воздействия. – Киев: Наук. думка, 1993. – С. 17 – 24.
8. *Овсяный Е. И., Кемп Р. Б., Репетин Л. Н., Романов А. С.* Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты в условиях антропогенного воздействия (по наблюдениям 1998 – 1999 гг.) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ, ИнБЮМ. – Севастополь, 2000. – С. 79 – 103.
9. *Хоролич Н. Г.* Расчет водообмена мелководного залива (бухты) с морем // Тр. ГОИН. Вопросы гидрологии морей. – М.: Гидрометеиздат, 1986. – С. 113 – 118.
10. *Шапиро Н. Б., Ющенко С. А.* Моделирование ветровых течений в Севастопольских бухтах // Мор. гидрофиз. журн. – 1999. – № 1. – С. 42 – 56.

Поступила 16 июля 2010 г.

**Тонка вертикальна гідрохімічна структура вод в районі мідійної ферми (передпроточна частина Севастопольської бухти).** *Е. А. Куфтаркова, І. Ю. Єрьомін, О. А. Суботін.* Приведено результати досліджень тонкої вертикальної хімічної структури вод в районі мідійної ферми, що розташована в передпроточній частині Севастопольської бухти. Шість експериментальних вертикальних зондувань товщі вод, проведених в осінньо-зимовий період 2008 - 2010 рр., свідчать про перешареність морських та розпріснених річковим стоком вод з характерними для них значеннями гідрохімічних показників. Цей факт ще раз підкреслює визначальну роль фізичних процесів в формуванні гідрохімічної структури вод в такому динамічно активному районі бухти як передпроточна частина Севастопольської бухти.

**Ключові слова:** гідрохімічна структура, водообмін, мідійна ферма, Севастопольська бухта, Чорне море

**Thin vertical chemical structure at the mussel farm located before a strait part of Sevastopol bay.** *E. A. Kufarkova, I. Y. Eremin, A. A. Subbotin.* The paper presents results of investigations of a thin vertical chemical structure at the functioning mytilus farm located before a strait part of Sevastopol Bay. We carried out six vertical soundings during autumn-winter period in 2008-2010 and revealed a layeriness of marine and refreshed by river flow waters with typical for them hydrochemical values. The fact once more emphasizes a determinative role of physical processes in formation of the hydrochemical structure in such a dynamically active region as a part before the strait of Sevastopol Bay.

**Key words:** hydrochemical structure, water cycle, mussel farm, Sevastopol Bay, Black Sea