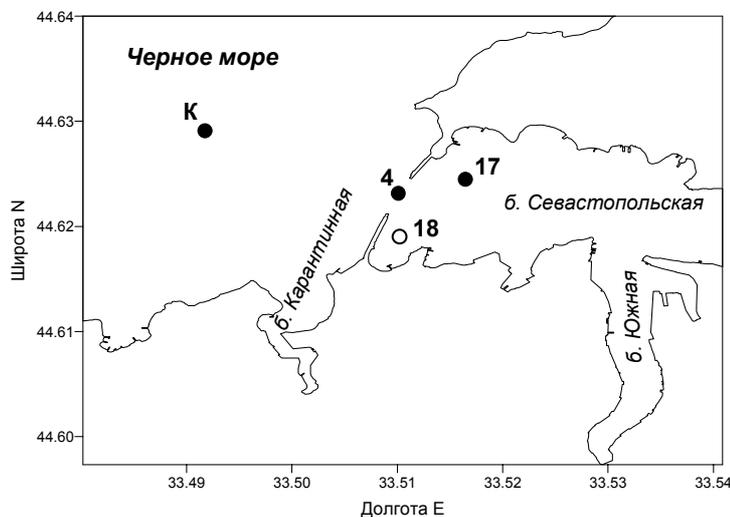


### БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАК ОСНОВА БИОПРОДУКТИВНОСТИ ВОД РАЙОНА МИДИЙНОЙ ФЕРМЫ

Определены основные источники поступления биогенных элементов на акваторию функционирующей мидийной фермы, расположенной в Севастопольской бухте. Установлено, что доминирующими источниками являются речной сток и воды сопредельной части моря. В период поступления морских вод в создании продукции фитопланктона увеличивается роль фосфатов, при поступлении речных вод – повышается роль азота и кремния.

Одним из критериев оценки пригодности прибрежных районов для искусственного воспроизводства морепродуктов является обеспеченность питательными солями фитопланктона – основы кормовой базы гидробионтов. Решающая роль в этом процессе принадлежит главным элементам биогенного цикла – азоту, фосфору и кремнию. В задачу наших исследований входило выявление основных источников поступления биогенных элементов в район расположения мидийной фермы и оценка создаваемой ими продукции. В настоящей статье мы рассматриваем биогенные элементы не как показатель экологических условий среды обитания моллюсков, а как необходимую материальную основу для построения определенного количества органического вещества.

**Материал и методы.** С июля 2004 по декабрь 2008 гг. проводился комплексный мониторинг в районе фермы по выращиванию мидий *Mytilus galloprovincialis*, производительностью около 60 т. Ферма расположена в Севастопольской бухте вблизи ее восточного створа (ст. 18). Одновременно выполнялись станции, расположенные на выходе из бухты, у входа в бухту с мористой стороны и на контрольной станции в 1 миле от берега (рис. 1).



**Рисунок 1. Схема отбора проб**  
**Figure 1. Sampling scheme**

Многолетний ежемесячный отбор проб морской воды с поверхности и у дна (14 м) позволил получить достоверную картину изменения концентрации биогенных элементов, численности, биомассы и таксономического состава фито-

планктона во все сезоны года при различных гидрологических ситуациях. Всего проведено более 40 съемок. Гидрохимические анализы выполнены в аккредитованной лаборатории согласно общепринятым методам их определения [2]. На основании полученных данных была рассчитана потенциальная, или «новая» продукция в углеродном эквиваленте за определенный промежуток времени путем пересчета количества потреб-

ленных фитопланктоном биогенных элементов. Для этого мы использовали коэффициенты пересчета кремния, азота и фосфора в органическое вещество (мг С), которые в соответствии со стехиометрическим соотношением Редфильда для природных популяций фитопланктона составляют C:Si:N:P = 106:23:16:1, что в весовой форме равно 1.93, 5.54 и 41 соответственно. Используемый нами метод определения первичной продукции по содержанию биогенных элементов не отличается новизной, но в прибрежном районе моря, тем более в районе функционирующего биотехнологического комплекса, он применяется впервые и может быть использован для прогноза количественного сбора урожая морепродуктов через кормовую базу фитопланктона.

**Результаты и обсуждение.** Особенность исследуемого района состоит в том, что формирование режима биогенных элементов зависит, с одной стороны, от поступления в бухту глубоководных, с повышенной соленостью морских вод, с другой – от поступления пресных вод со стоком реки Черной. Эти два наиболее значимых и четко выраженных источника поступления биогенных элементов на акваторию фермы регистрировались в зимний, весенний и раннелетний периоды. Соотношение объемов вод морского и речного генезиса, поступающих на акваторию фермы, в основном, формирует ее гидрохимический режим, а, следовательно, таксономический и размерный состав, величины численности и биомассы фитопланктона. Морские воды, поступающие в бухту в период зимнего конвективного перемешивания, в зависимости от глубины перемешанного слоя характеризуются повышенными значениями биогенных элементов и солености. В исследуемом районе роль морских вод в пополнении акватории фермы биогенными соединениями не всегда проявляется достаточно четко от года к году и может быть не столь значительной по двум причинам. Во-первых, из-за малой глубины зимнего конвективного перемешивания вод на взморье, не захватывающего слои, обогащенные этими элементами. Во-вторых, мидийная ферма находится в полузамкнутой бухте с ограниченным водообменом между бухтой и прилегающей частью моря. Вместе с тем, проведенные одновременно гидрологические наблюдения свидетельствуют о том, что благодаря близкому расположению фермы к выходу из бухты, обновление вод за счет водообмена с прилегающей частью моря происходит достаточно интенсивно [1].

В период паводка воды реки Черной, перемешиваясь с водами Севастопольской бухты, достигают района мидийной фермы. Эти воды характеризуются пониженной соленостью, а также повышенным содержанием азота и кремния. В отдельные периоды наблюдалось одновременное поступление на акваторию фермы вод с сопредельной части моря и речных вод. В это время вода с повышенными значениями солености, кремния и фосфатов находилась у дна, а распресненная с пониженной соленостью и повышенными величинами нитратного азота и кремния – на поверхности.

Морские воды, поступающие в бухту, характеризовались повышенным содержанием нитратного азота и фосфатов. При этом отмечался дефицит кремния относительно фосфатов – Si:P = 13 (норма 23) и небольшой избыток азота относительно фосфатов – N:P = 21 (норма 16). В период доминирующего поступления на акваторию фермы речных вод в дефиците относительно азота и кремния были фосфаты – N:P = 56 и Si:P = 49.

В исследуемый период в режиме сезонного распределения биогенных элементов на акватории фермы наблюдалась следующая закономерность: начиная с зимнего периода (декабрь – январь) и до конца лета (август) прослеживалось снижение концентрации биогенных веществ иногда до следовых концентраций. Приведенная закономерность может нарушаться рядом причин антропогенного и природно-климатического характера, таких, как поступление хозяйственно-бытовых, ливневых и талых вод, которые могут привести к дополнительному поступлению биогенных элементов. Однако наиболее высокие величины концентраций биогенных элементов на акватории фермы отмечались в период поступления морских вод и в период ранневесеннего паводка.

Анализ полученного материала показал, что источники поступления и концентрация биогенных элементов в районе фермы отличались от года к году.

Формирование режима биогенных элементов начинается в декабре – январе. 2005-й год характеризовался интенсивным конвективным перемешиванием вод; преобладающее влияние по всей толще акватории фермы оказывали процессы адвекции морских вод в бухту, а влияние речных вод прослеживалось только на поверхности. Высокое содержание нитратного азота (177 мкг/л), фосфатов (33.7 мкг/л), кремния (289 мкг/л) вызвало сильное зимнее «цветение» воды, обусловленное массовым развитием мелкоклеточной диатомеи *Skeletonema costatum*. В январе 2005 г., когда биомасса достигла 7.4 г/м<sup>3</sup>, концентрация кремния на поверхности уменьшилась в 5 раз, фосфатов и азота – в два. В феврале наблюдался паводок, соленость на поверхности понизилась, по сравнению с январем, на 0.9 ‰ и составляла 17.04 ‰, понизились фосфаты до 9.8 мкг/л и повысилась концентрация нитратного азота (175.9 мкг/л) и кремния (261 мкг/л). В апреле и мае 2005 г. распресненные воды (16.96 и 16.70 ‰ у дна) прослеживались в поверхностном слое фермы, но концентрация биогенных веществ в этот период была на порядок ниже, чем во время паводка в феврале. В марте – начале мая в придонном слое началась адвекция, что привело к сильному «цветению» воды (биомасса достигала 10.8 г/м<sup>3</sup>), вызванному мелкоклеточными диатомовыми *Chaetoceros socialis* и *C. insignis*, характерными для вод с пониженной соленостью. В конце мая массовое развитие (46.5 млрд. кл./м<sup>3</sup>, 3 г/м<sup>3</sup>) мелкоклеточной зеленой водоросли *Dunaliella salina* и сопутствующей ей кокколитофориды *Emiliania huxleyi*, вызывавшей «цветение» воды на взморье, явилось следствием подтока в бухту более соленых морских вод.

В зимний и ранневесенний периоды 2006 и 2007 гг. определяющее влияние в обеспеченности вод фермы биогенными элементами принадлежало речному стоку (соленость в слое поверхность – дно не превышала 17.47 ‰). В период зимнего паводка 2006 г. в районе фермы отмечались повышенные значения аммонийного (27.8 мкг/л) и нитратного азота (114 мкг/л) и кремния (105 мкг/л). В абсолютном и относительном дефиците в этот период были фосфаты (1.8 мкг/л), на долю которых в водах реки Черной приходится 1.5 % от общего количества выносимых биогенных веществ [3]. Обеднение вод фосфатами создавало неблагоприятные условия для развития фитопланктона. В январе и феврале 2006 г. доминировала *S. costatum*, но ее численность не превышала 1.6 млрд.кл./м<sup>3</sup>, биомасса 0.7 г/м<sup>3</sup>, в то время как на взморье она вызывала «цветение» воды. В январе 2007 г. также не было зимнего «цветения», в планктоне доминировали сине-зеленые водоросли, поступающие с пресными водами. В этот период отмечались повышенные значения аммонийного азота (33 мкг/л) и кремния (129 мкг/л), фосфаты и нитраты имели следовые концентрации. Весеннее «цветение» в эти годы начиналось только после адвекции в бухту морских вод. В мае 2006 г. его вызывали *S. costatum* и *Chaetoceros curvisetus*, их биомасса достигала 1.7–2.7 г/м<sup>3</sup>. В феврале 2007 г. «цветение» было обусловлено развитием *S. costatum*, а в апреле и мае – *S. costatum* и *C. socialis*, создающими биомассу до 3.2 г/м<sup>3</sup>. В июне 2006 г. в результате подповерхностного апвеллинга и адвекции в придонный слой бухты морских вод с температурой 14.0°C в районе фермы зарегистрировано массовое развитие *E. huxleyi*, биомасса которой достигала 0.8 г/м<sup>3</sup>.

В январе – феврале 2008 г. на формирование режима биогенных элементов в районе фермы оказывали влияние как морские, так и речные воды. Но поскольку конвективное перемешивание вод на взморье было слабым (температура воды на поверхности была выше 8°C), концентрация биогенных элементов была на порядок ниже, чем зимой 2005 г. Зимнее «цветение» в январе, вызванное развитием *S. costatum*, было значительно слабее «цветения» 2005 г., биомасса не превышала 1.7 г/м<sup>3</sup>. В феврале 2008 г. в придонном слое фермы наблюдалась адвекция морских вод в бухту с соленостью 17.86‰, повышенным содержанием фосфатов (25.7 мкг/л) и кремния (160 мкг/л) и пониженным содержанием нитратного азота (18.2 мкг/л). В марте влияние речных вод в районе фермы прослеживалось по снижению солености в верхнем слое до 17.42‰, повышению

содержания азота (85.5 мкг/л) и кремния (172 мкг/л). Поздневесеннее «цветение» воды наблюдалось в апреле, которое было обусловлено подтоком морских вод, вызвавшим массовое развитие диатомовых водорослей *C. curvisetus*, *C. socialis* и сопутствующим видом вселенцем *Chaetoceros tortissimus*, численность которого на взморье была на порядок выше. Суммарная биомасса фитопланктона в апреле достигала 3.6 г/м<sup>3</sup>. «Цветение» воды в мае, вызванное развитием крупноклеточной диатомеи *Pseudosolenia calcaravis* (2.3 г/м<sup>3</sup>), и в июне – кокколитофоридой *E. huxleyi* (1.1 г/м<sup>3</sup>), было связано с подповерхностными апвеллингами.

Основываясь на стехиометрическом соотношении между углеродом, азотом, фосфором и кремнием, нами рассчитаны ориентировочные значения потенциальной продукции фитопланктона с учетом сезонного распределения биогенных элементов на акватории фермы. При использовании этого метода не могут быть учтены все источники поступления биогенных элементов, особенно в прибрежной зоне моря. Тем не менее, этот метод позволил получить реальное представление о величине продукции, что подтверждают расчеты биомассы фитопланктона в углеродном эквиваленте (табл. 1). Приведенные в табл. 1 значения выполнены для периода с декабря по август включительно по каждому году наблюдений.

**Таблица 1. Потенциальная продукция и биомасса фитопланктона (гС/м<sup>3</sup>) в поверхностном слое фермы, полученные в период 2005–2008 гг.**

**Table 1. Potential products and phytoplankton biomass (gC/m<sup>3</sup>) in the farm surface layer in the period of 2005–2008**

Годы	Азот	Фосфор	Кремний	Биомасса фитопланктона
2005	3.35	3.07	2.52	3.68
2006	3.24	0.72	1.57	1.39
2007	2.74	0.73	1.31	1.60
2008	2.01	1.44	1.23	1.92

Из табл. 1 видно, что наиболее высокие величины продукции получены в 2005 г., продукция трех последующих лет значительно меньше и от года к году отличается незначительно. В 2005 и 2008 гг. из-за преобладающего влияния вод взморья на формирование режима биогенных элементов увеличивается роль фосфатов в создании продукции фитопланктона. В 2006 и 2007 гг. на формирование режима биогенных элементов большей частью оказывали речные воды, вследствие чего в создании продукции фитопланктона повышается роль нитратов и кремния.

**Выводы.** 1. Доминирующими источниками формирования концентрации биогенных элементов на акватории мидийной фермы, расположенной в Севастопольской бухте, является речной сток, и воды открытой части моря. 2. Результаты исследований показали, что азот и кремний на акваторию фермы преимущественно поступают с речным стоком, а фосфаты в результате адвекции вод из прилегающей к бухте части моря. 3. Приведенный метод расчета первичной продукции по концентрации биогенных элементов хорошо согласуется с биологическими параметрами и может быть использован для оценки пригодности той или иной прибрежной акватории при создании биотехнологических комплексов.

1. *Куфтаркова Е.А., Субботин А.А., Родионова Н.Ю., Иванов В.Н.* Экологические условия выращивания мидий в Севастопольской бухте // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ – Севастополь, 2007. – Вып. 15. – С. 434-442.
2. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. – М.: ВНИРО, 1988. – 119 с.

3. Миньковская Р.Я., Рябинин А.И., Демидов А.Н. Результаты государственного мониторинга главных элементов биогенного цикла в воде Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБИОМ – Севастополь, 2007. – Вып. 15. – С. 66-73.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского НАН Украины,  
Севастополь, Украины

Получено 05 апреля 2009 г.

С. А. КУФТАРКОВА, М. І. СЕНІЧЕВА

#### БИОГЕННИ ЕЛЕМЕНТИ ЯК ОСНОВА БІОПРОДУКТИВНОСТІ ВОД МІДІЙНОЇ ФЕРМИ

##### Резюме

Визначені основні джерела надходження біогенних елементів на акваторію функціонуючої мідійної ферми, розташованої в Севастопольській бухті. Встановлено, що домінуючими джерелами є річковий стік і води суміжної частини моря. В період надходження морських вод в створенні продукції фітопланктону збільшується роль фосфатів; під час вступу річкових вод підвищується роль азоту і кремнію.

E. A. KUFTARKOVA, M. I. SENICHEVA

#### NUTRIENTS AS A BASIS OF MUSSEL FARM WATERS BIOPRODUCTIVITY

##### Summary

The basic sources are specified of biogenic elements coming into the aquatorium of functioning mussel farm, located in the Sevastopol bay. It is set that dominant sources are a river flow and waters of contiguous part of the sea. In the period of salt waters influence the role of phosphates increases in creation of phytoplankton products; at river waters influence the role of nitrogen and silicon rises.