

Н.А.Орехова, А.С.Романов, Д.С.Хоружий

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

**МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ
ЗА ПЕРИОД 2006 – 2010 ГГ.**

Рассмотрена динамика биогенных элементов (группы азоты, фосфора и кремния) в Севастопольской бухте за период с 2006 – 2010 гг. Определено, что в большинстве случаев поступление биогенных элементов является результатом антропогенной деятельности. Районы с максимальным содержанием этих элементов приурочены к местам сброса ливневых стоков: район Южной бухты и Инкермана. Выявлено, что антропогенный вклад оказывает большее влияние на содержание биогенных элементов в акватории бухты, чем естественные биохимические процессы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *биогенные элементы, Севастопольская бухта.*

Исследование прибрежных акваторий является одним из приоритетных направлений при решении проблем рационального природопользования и остается актуальным вопросом на протяжении многих десятков лет. Длительное воздействие загрязнений на прибрежную часть моря (хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды, морской транспорт, речной сток, ливневые воды, стекающие с населенных, промышленных и сельскохозяйственных территорий и пр.) может привести к необратимым воздействиям на морскую среду. Постоянный контроль над поведением загрязняющих веществ и их влиянием на экологическое состояние морской среды предполагает знание гидрологического и гидрохимического режимов исследуемой акватории.

Севастопольская бухта представляет большой интерес в качестве объекта исследований, что обусловлено специфическими условиями формирования гидрохимической структуры вод бухты. Она относится к числу морских акваторий, которые подвержены постоянному антропогенному воздействию. С одной стороны, бухта является градообразующим элементом геосферы, а с другой – она служит базой двух военно-морских флотов со всей характерной для такого рода комплексов промышленно-производственной и хозяйственной инфраструктурой, зоной активного судоходства и проведения дноуглубительных и иных гидротехнических работ, что приводит к нарушению существующих равновесий. Эта ситуация существенно усугубляется тем, что водообмен между бухтой и открытым морем затруднен вследствие сооружения мола. Значительное влияние на формирование гидрохимической структуры вод бухты оказывают речной (в кутовой части в Севастопольскую бухту впадает р.Черная, объем среднегодового стока которой составляет 56,8 млн. м³ по данным за период с 1954 по 2000 гг. [1]) и терригенный стоки, а также сброс сточных вод.

Бытовые городские стоки являются причиной поступления в акваторию бухты дополнительного количества биогенных элементов, которые являются материальной основой биотического круговорота и основополагающим фактором в процессе евтрофикации водоема.

© Н.А.Орехова, А.С.Романов, Д.С.Хоружий, 2011

Содержание в водной толще Севастопольской бухты биогенных элементов (минеральных форм фосфатов, кремнекислоты, аммония, нитратов и нитритов) находится в прямой зависимости от источников их поступления (речной и ливневый стоки, муниципальные и промышленные сточные воды и пр.), а также от степени их вовлечения в биологические процессы [2]. В основном, максимальное содержание биогенных веществ наблюдается в зимний период, когда их потребление фитопланктоном резко снижается.

Натурные данные о содержании биогенных элементов (аммония, нитратов и нитритов, фосфатов и силикатов) в водной толще Севастопольской бухты были получены во время экспедиций в период с 2006 по 2010 гг. в разные сезоны. В каждой экспедиции было отобрано по 72 пробы воды (кроме февраля 2010 г., когда было отобрано 66 проб) по расширенной сетке станций (рис.1). Анализы выполняли сразу после доставки проб в лабораторию института согласно методикам [3 – 5].

В результате представилась возможность определить диапазоны изменения и средние концентрации нитрит-, нитрат-ионов, аммонийного азота, а также ортофосфатов и силикатов в исследуемый период.

Анализ полученной информации позволяет сделать предположение о том, что сезонный характер изменений гидрологических и гидрохимических параметров является следствием климатических сезонных изменений и биологических процессов. На природные процессы изменчивости в определенной степени накладывается и антропогенное влияние. Характеристики основных источников загрязнения бухты свидетельствуют о весьма значительном антропогенном воздействии, которое бухта испытывает на протяжении последних двух столетий. Интенсивная евтрофикация бухты, вызванная увеличенным поступлением биогенных элементов, сопровождается протеканием окислительно-восстановительных процессов, приводящих к активному потреблению кислорода и возникновению восстановительных условий. В результате, на исследуемой акватории сохраняется устойчивое изменение концентраций гидрохимических параметров морской воды, обусловленное антропогенным влиянием.

Группа азота. Нитраты. Диапазон изменчивости средних концентраций нитратов в поверхностных водах бухты (рис.2) характеризовался в течение всего рассматриваемого периода минимальными значениями в конце

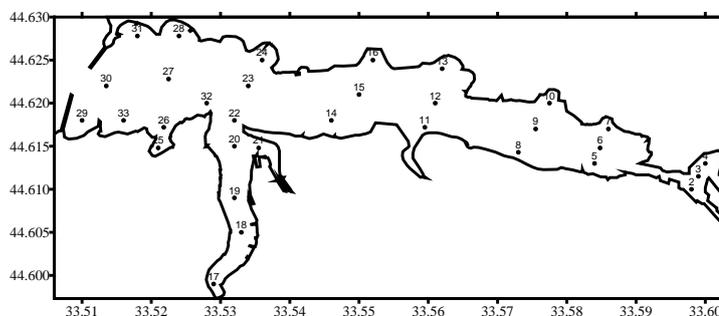
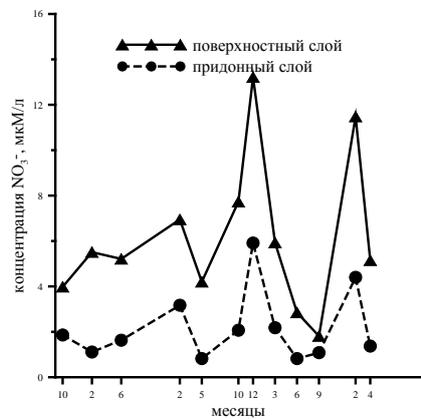


Рис. 1. Схема станций отбора проб в Севастопольской бухте в период 2006 – 2010 гг.

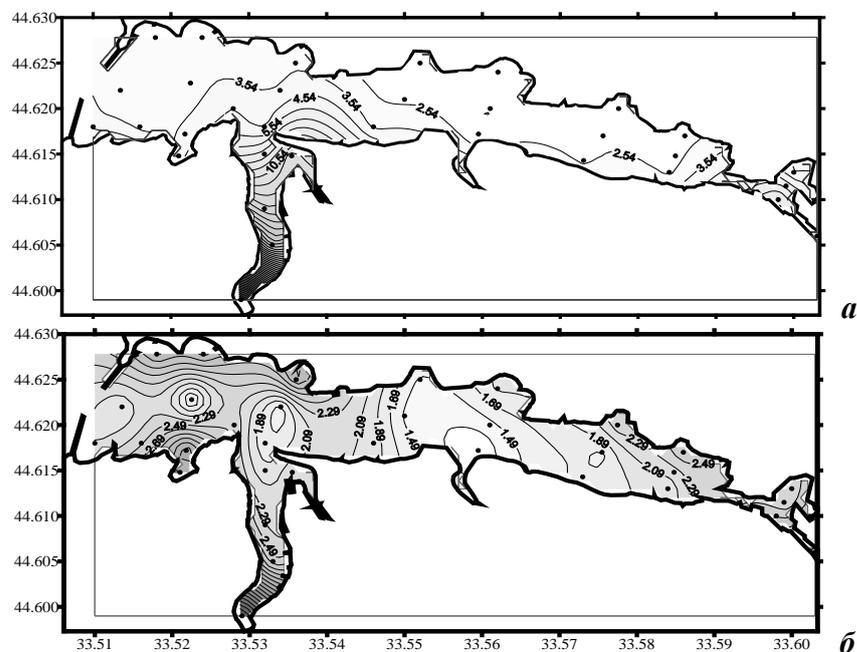


Р и с . 2 . Изменчивость средних концентраций нитратов в поверхностном и придонном слоях Севастопольской бухты в период с 2006 по 2010 гг.

гидрологического лета (1,8 мкМ/л в сентябре 2008 г.) и максимальными – зимой (до 13,2 мкМ/л в декабре 2008 и 2010 гг.). В придонном слое средние концентрации были заметно ниже и достигали граничных значений 0,8 и 5,9 мкМ/л в июне 2009 г. и декабре 2008 г. соответственно. В общих чертах характер распределения нитратов в придонном слое аналогичен таковому в поверхностном слое (рис.2, 3). Анализ пространственного распределения нитратов показал, что высокие концентрации этой формы азота наблюдались в поверхностных и придонных водах Южной бухты ежегодно. При этом они были выше в зимний период года (около 140 мкМ). Максимальные величины составляли 142,8 мкМ/л на поверхности и 12,9 мкМ/л у дна в декабре 2008 г.

Накопление биогенных элементов в Южной бухте происходит в результате одновременного воздействия двух факторов – интенсивной антропогенной нагрузки и неблагоприятной гидрологической обстановки.

Нитриты. За весь период исследований (2006 – 2010 гг.) было найдено, что, в среднем концентрации нитрит-ионов в поверхностном слое несколько выше, чем в придонном слое (рис.4).



Р и с . 3 . Пространственное распределение нитратов в поверхностных водах (а) и в придонном слое (б) Севастопольской бухты (указаны средние величины за весь исследуемый период, мкМ/л).

Максимальные концентрации нитритов были зафиксированы в поверхностном слое кутовой части Южной бухты (рис.5, а). Для придонного слоя максимальное количество нитритов характерно для района ТЭЦ и Инкермана (рис.5, б), что обусловлено, прежде всего, влиянием антропогенного фактора: сброс сточных вод.

Аммоний. По результатам осреднения имеющихся за исследуемый период данных максимальные концентрации аммония (до 33,8 мкМ) наблюдались осенью 2006 г. в придонном слое (рис.6). Высокое содержание аммония в придонном слое воды является результатом восстановления нитритов и нитратов в верхнем слое донных осадков. Минимальные концентрации аммония отмечались чаще зимой. Средние значения концентраций для поверхностного и придонного слоев в холодное время года составили 0,5 и 1,1 мкМ/л соответственно. Характер пространственного распределения аммония (рис.7) указывает на то, что помимо речного стока значительный вклад в поступление аммония в Севастопольскую бухту вносят точечные

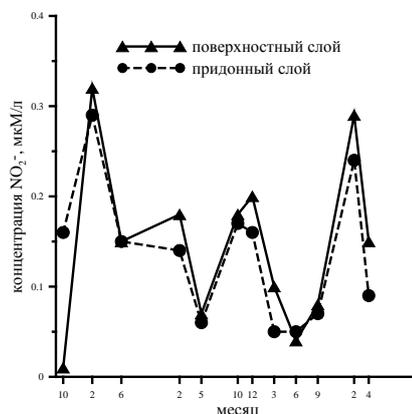


Рис. 4. Изменчивость средних концентраций нитритов в поверхностном и придонном слоях Севастопольской бухты в период с 2006 по 2010 гг.

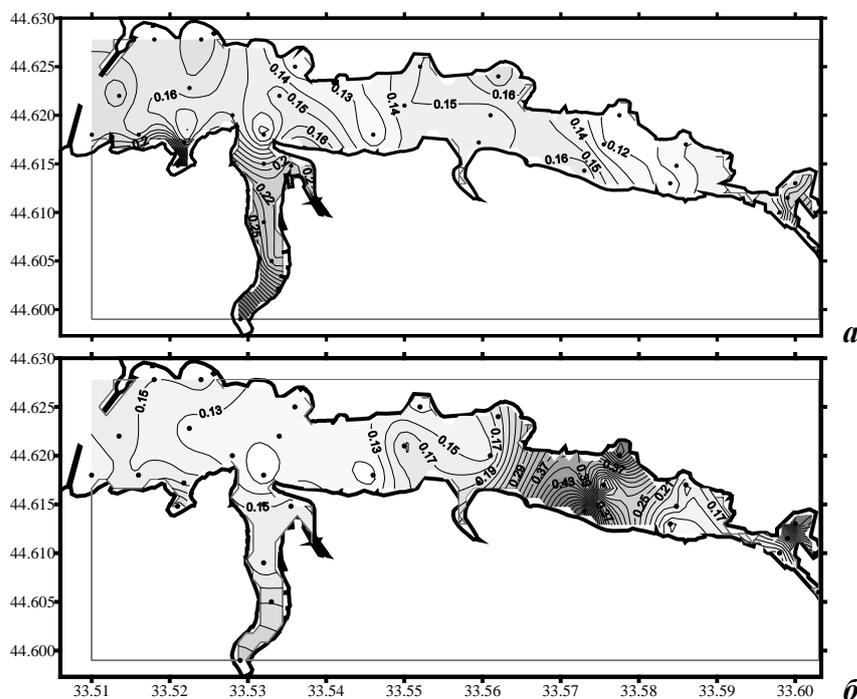
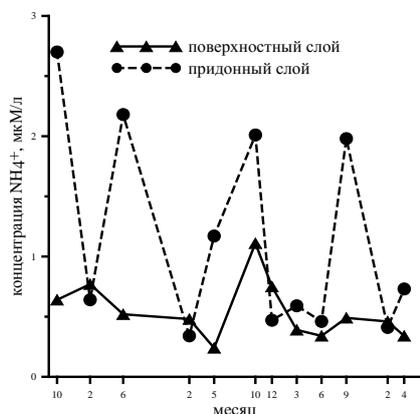


Рис. 5. Пространственное распределение нитритов в поверхностных водах (а) и в придонном слое (б) Севастопольской бухты (указаны средние величины за весь исследуемый период, мкМ/л).



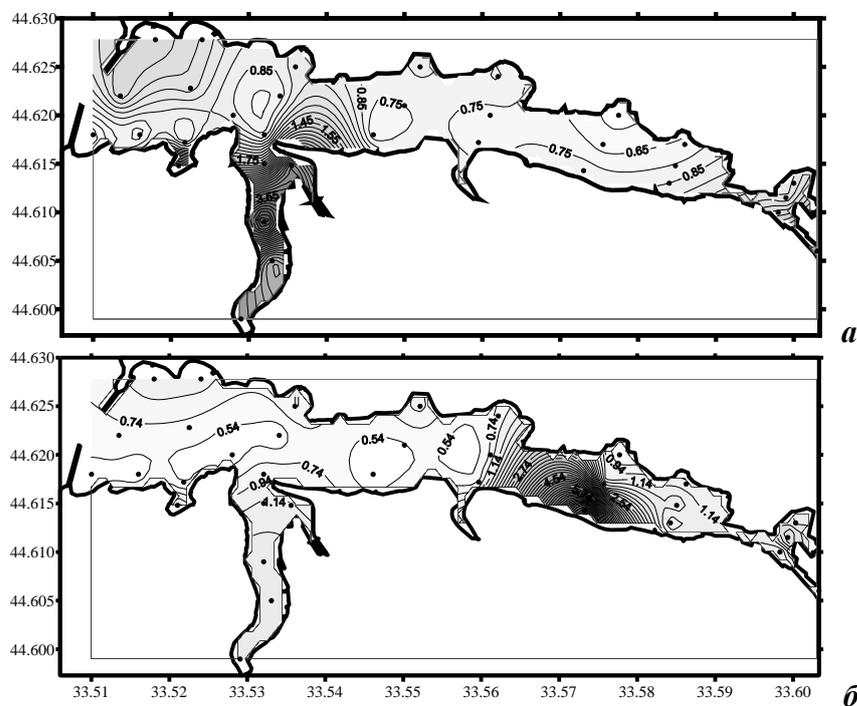
Р и с . 6. Изменчивость средних концентраций ионов аммония в поверхностном и придонном слоях Севастопольской бухты в период с 2006 по 2010 гг.

источники загрязнения. Повышенные концентрации ионов аммония наблюдались во все сезоны в Южной и Артиллерийской бухтах в районах сброса сточных вод.

Группа кремния и фосфора. Силикаты. За исследуемый период средние концентрации силикатов в водах бухты изменялись в широких пределах (рис.8): в поверхностном слое от 1,2 до 6,5 мкмоль/л, в придонном слое – от 0,8 до 6,1 мкмоль/л. Анализ средних концентраций кремния и его пространственного распределения в водах Севастопольской бухты (рис.8, 9) показывает, что соотношение концентраций в поверхностном и придонном слоях непостоянно и изменяется в течение года.

В целом концентрации растворенных соединений кремния зависят от ряда факторов, в числе которых можно отметить объем поверхностного стока, гидрологические характеристики вод и метеоусловия в период съемки.

Для поверхностного слоя максимальные концентрации силикатов обычно наблюдаются в осенне-зимний период (рис.8). В это время происхо-



Р и с . 7. Пространственное распределение ионов аммония в поверхностных водах (а) и в придонном слое (б) Севастопольской бухты (указаны средние величины за весь исследуемый период, мкм/л).

дит интенсивное перемешивание вод бухты, вследствие которого температура воды поверхностного и придонного слоёв становится практически одинаковой. Одновременно возрастает объем речного стока, который в осенне-зимний период достигает 80 % годовой величины [1]. В результате концентрация кремния в поверхностном, относительно распресненном слое бухты оказывается более высокой, чем в придонном слое. Накапливанию силикатов в поверхностном слое в осенне-зимний период способствует также значительное ослабление процесса выведения этого элемента из растворенного в воде состояния при фотосинтезе. В холодное время года отмечаются не менее 2 пиков развития диатомового фитопланктона. В теплое время года растворенные соединения кремния активно потребляются диатомовыми водорослями [6, 7], что приводит к понижению их концентрации в поверхностном слое, где развитие диатомовых водорослей идет более интенсивно.

Повышенные значения средних концентраций силикатов в придонном слое по сравнению с поверхностным слоем характерны для теплого периода года, когда активизируется процесс минерализации оседающего на дно органического вещества и ослабляется интенсивность перемешивания вод бухты.

Как для Севастопольской бухты в целом, так и отдельно для Южной бухты наблюдалась тенденция уменьшения концентрации силикатов в направлении выходов из бухт (рис.9). Возможно, это связано с влиянием вод открытого моря, в которых содержание силикатов заметно меньше, чем в Севастопольской бухте.

Фосфаты. Средние концентрации фосфатов в большинстве случаев не превышали 0,2 мкМ/л.

Максимальные концентрации фосфатов приурочены к источникам загрязнения, прежде всего к местам выпуска сточных вод. В таких районах их концентрации могут превышать средние значения в 10 раз и более. В отличие от силикатов распределение фосфатов по акватории бухты в меньшей степени зависит от поверхностного стока, а определяется в основном антропогенными источниками загрязнения. В связи с этим распределение фосфатов в водах бухты носит неравномерный характер: области, где они присутствуют в значительных концентрациях, чередуются с областями, где концентрации фосфатов близки к нулю.

Поступление фосфора связано главным образом со сбросом в бухту сточных вод. По этой причине для распределения фосфатов и общего фосфора, а также для их абсолютных концентраций не удастся выделить закономерности, обусловленные сезонной динамикой. В то же время, значения концентраций минерального и общего фосфора позволяют судить об интенсивности антропогенного воздействия на ту или иную область акватории.

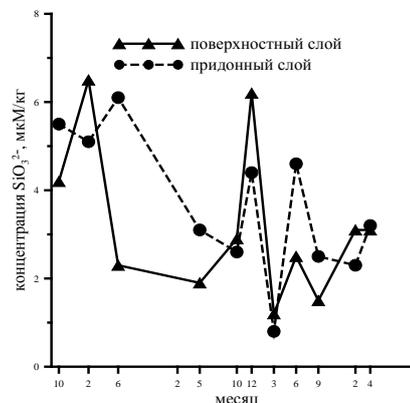
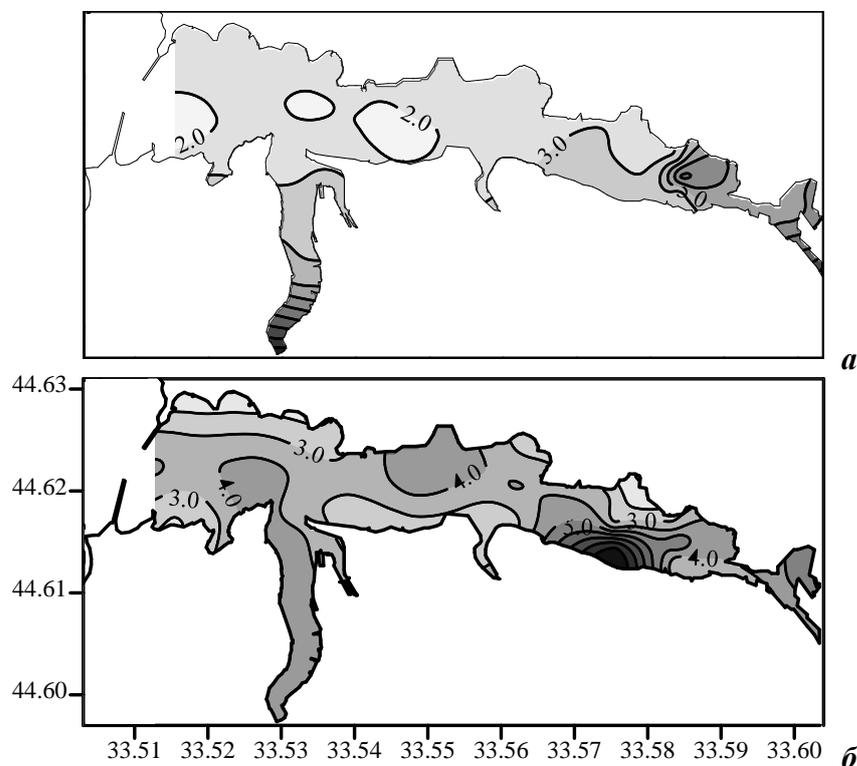


Рис. 8. Изменчивость средних концентраций силикатов в поверхностном и придонном слоях Севастопольской бухты в период с 2006 по 2010 гг.



Р и с . 9 . Пространственное распределение силикатов в поверхностных водах (а) и в придонном слое (б) Севастопольской бухты (указаны средние величины за весь исследуемый период, мкМ/л).

Выводы. Полученные в течение 2006 – 2010 гг. результаты свидетельствуют о наличии определенных факторов, влияющих на поступление биогенных элементов в воды бухты. В случае кремния важным источником его поступления является речной и терригенный сток. Вследствие этого повышенные средние концентрации кремния, как правило, наблюдались в осенне-зимний период, когда поступление речных вод и вод терригенного стока в воды бухты максимально. В большинстве же случаев поступление биогенных элементов является результатом антропогенной деятельности, что отражается на их распределении по акватории бухты. Районы с максимальным содержанием этих элементов приурочены к местам сброса ливневых стоков: район Южной бухты и Инкермана. Так же необходимо отметить, что антропогенный вклад оказывает большее влияние на содержание биогенных элементов в акватории бухты, чем естественные биохимические процессы.

Отсутствие действенных природоохранных мероприятий по сокращению поступлений загрязняющих веществ со сточными и речными водами приводит к тому, что повышенные концентрации биогенных веществ в воде бухты превышают уровень их концентраций в открытой части моря в 10 – 100 раз. Из года в год наблюдается увеличение концентраций биогенных элементов группы азота, в частности происходит увеличение концентрации

аммонийного иона в придонном слое воды, в районе судоремонтных доков и ТЭЦ. Поверхностные воды Южной бухты (особенно в кутовой части) характеризуются максимальными концентрациями соединений азота. При этом по нитратам наблюдается более чем 20-ти кратное превышение над средними значениями, полученными для Севастопольской бухты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н., Романов А.С., Игнатъева О.Г.* Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов.– Севастополь: ЭКО-СИ-Гидрофизика, 2006.– 90 с.
2. *Иваненков В.Н.* Баланс кислорода и главных биогенных элементов // *Химия вод океана*.– М.: Наука, 1979.– т.1.– С.417-424.
3. *Determination of reactive silicate // Chemicals methods for use in marine environmental monitoring. Manuals and guides.*– UNESCO, 1983.– № 12.– P.23-28.
4. *Hansen H.P., Koroleff E.* Determination of nutrients / *Methods of Seawater Analysis* / Ed. by Grasshoff K.– Weinheim: Wiley-VCH, 1999.– P.159-228.
5. *Агатова А.И., Налетова И.А., Зубаревич В.Л. и др.* Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство / Под ред. В.В.Сапожникова.– М.: Агропромиздат, 1991.– 224 с.
6. *Хоружий Д.С., Коновалов С.К.* Кремний в водах Севастопольской бухты весной 2008 года // *Морской гидрофизический журнал*.– 2010.– № 3.– С.40-51.
7. *Лопухина О.А., Брянцева Ю.В., Кемп Р.Б.* Сезонная динамика фитопланктона Севастопольской бухты в 1998 г. // *Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу*.– Севастополь: Аквавита, 1999.– С.131-142.

Материал поступил в редакцию 21.11.2011 г.

АННОТАЦІЯ. Розглянута динаміка біогенних елементів (групи азоту, фосфору і кремнію) в Севастопольській бухті за період з 2006 – 2010 рр. Визначено, що в більшості випадків вступ біогенних елементів є результатом антропогенної діяльності. Райони з максимальним вмістом цих елементів приурочені до місць скидання зливових стоків: район Південної бухти і Інкермана. Виявлено, що антропогенний вклад надає більший вплив на вміст біогенних елементів в акваторії бухти, чим природні біохімічні процеси.

ABSTRACT. The dynamics of nutrients is considered in the Sevastopol bay for period 2006 – 2010. It is certain that in most cases an input of nutrients is the result of anthropogenic activity. Districts with maximal maintenance of these elements are timed to the places of wastes fluxes. It is exposed, that anthropogenic contribution has an influence on nutrients accumulation and distribution to a greater extent than natural biogeochemical processes.