

The background of the cover is a stylized map. The landmasses are represented in a dark green color, while the water bodies, including the Black Sea and the Danube Delta, are shown in a light blue color. The map is centered on the Eastern European region, specifically highlighting the area around the Danube River and its delta.

**Экосистема
взморья
украинской
дельты Дуная**

ОДЕССКИЙ ФИЛИАЛ ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
НАН УКРАИНЫ

ЭКОСИСТЕМА ВЗМОРЬЯ УКРАИНСКОЙ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ



Одесса
«Астропринт»
1998

ББК 28.082.1(4Укр-4Од)я43

Э 405

УДК 544.5(082)(282.243.76)

Б. Г. Александров, Ю. П. Зайцев, Л. В. Воробьева, Н. А. Берлинский, Г. П. Гаркавая, В. К. Головенко, Д. А. Нестерова, Л. Н. Полищук, Н. И. Рясинцева, Н. Г. Теплинская, С. А. Лонин, И. А. Синегуб, С. А. Саркисова, П. Т. Савин, Ю. И. Богатова, Е. В. Настенко, И. И. Кулакова, В. П. Полудина, Л. Ю. Секундяк, О. А. Торгонская

В научном сборнике дан анализ особенностей экосистемы взморья украинской дельты Дуная. Показаны закономерности и тенденции изменения абiotических и биотических компонентов экосистемы. Представлены многолетние материалы по качеству речного стока, его трансформации в зоне смешения речных и морских вод. Рассмотрено распределение загрязняющих веществ (нефтепродуктов и тяжелых металлов). Описаны биологическое разнообразие взморья в условиях антропогенного эвтрофирования, многолетняя изменчивость и распределение гидробиологических показателей (бактерио-, фито-, зоопланктона; бактерио-, мео-, макрозообентоса).

Для специалистов — экологов, гидробиологов, ихтиологов, ботаников, по охране природы, водного и рыбного хозяйства, преподавателей и студентов вузов.

У науковому збірнику дан аналіз особливості екосистеми узмор'я української дельти Дунаю. Показані закономірності й тенденції зміни абіотичних і біотичних компонентів екосистеми. Подані багаторічні матеріали з якості річного стоку, його трансформації в зоні змішування річних і морських вод. Розглянуто розподіл забруднюючих речовин (нафтопродуктів і важких металів). Описані біологічне різноманіття узмор'я в умовах антропогенного евтрофіювання, багаторічна мінливість і розподіл гідробіологічних показників (бактеріо-, фіто-, зоопланктону; бактеріо-, мео-, макрозообентосу).

Для спеціалістів — екологів, гідробіологів, іхтіологів, ботаніків, по охороні природи, водного і рибного господарства, викладачів і студентів вузів.

Ответственный редактор: *Л. В. Воробьева.*

Утверждено к печати ученым советом Одесского филиала Института биологии южных морей НАН Украины.

Э 1903040000—137
549—98 Без объявл.

© Одесский филиал Института
биологии южных морей
НАН Украины, 1998

ISBN 966-549-163-6

ВВЕДЕНИЕ

Черное море по степени антропогенной эвтрофикации занимает лидирующее место среди иных морей Средиземноморского бассейна, уступая лишь Азовскому морю. Вместе с тем, его северо-западный шельф может быть отнесен к региону, где в наибольшей степени ощутимы негативные последствия техногенной деятельности человека. Северо-западная часть Черного моря (СЗЧМ) - самая обширная в Средиземноморском бассейне гипертрофная акватория, сформировавшаяся под влиянием стока рек Дунай, Днестр, Южный Буг и Днепр - около 270 км³ в год. При этом на долю Дуная, который принадлежит к наиболее водоносным рекам Черноморского бассейна, приходится 77,4% стока рек в СЗЧМ или 36% естественного притока пресных вод Черного моря.

В зависимости от климатических условий сток р. Дунай может колебаться в значительных пределах, достигая порой 313 км³ и, снижаясь в маловодные засушливые годы до 123 км³ (среднегодовой показатель - 216 км³). Резкое изменение его качественных характеристик определялось в последние три десятилетия развитием промышленности, коммунального хозяйства крупных городов, интенсификации сельского хозяйства и пр. в странах, расположенных в бассейне р. Дунай с населением более 80-ти млн. человек.

Наиболее стремительно процессы эвтрофикации СЗЧМ развивались до 90-х годов нынешнего столетия при всё увеличивавшемся поступлении сюда органических и минеральных веществ. Количество нитратов и фосфатов в периоды максимального развития эвтрофирования возросло в десятки раз по сравнению с 60-ми годами.

Эвтрофирование северо-западного шельфа Черного моря привело к цепи последовательных изменений биологической структуры экосистемы во всех её звеньях, начиная с одноклеточных водорослей. В наибольшей степени эти изменения затронули приустьевые районы моря и в частности - взморье Дуная.

С конца шестидесятых - начала семидесятых годов и по настоящее время в ОФ ИнБЮМ НАН Украины проводятся планомерные и детальные исследования гидрологии, гидрохимии, флоры и фауны ук-

раинской дельты взморья Дуная. Особое внимание уделяется развитию процессов эвтрофирования в данном регионе и их влиянию на формирование биологического разнообразия биоты и её количественных характеристик. Благодаря многолетнему комплексному и последовательному изучению экосистемы взморья Дуная, удалось получить четкую картину наиболее важных тенденций изменения гидрохимических и гидробиологических параметров. В настоящем сборнике обобщены многолетние наблюдения и описаны основные закономерности формирования абиотических и биотических составляющих экосистемы взморья украинской дельты Дуная. Показано, что возрастание продукции шельфовых экосистем Черного моря при высокой степени эвтрофирования сопровождалось сокращением биологического разнообразия при преимущественном развитии мелкотелых и короткоциклических видов.

Полученные результаты (Б.Г. Александров, Ю.П. Зайцев) впервые позволяют интерпретировать происшедшие изменения биологического разнообразия пелагических и бентических сообществ Черного моря к новым трофическим условиям.

Описаны (Н.А. Берлинский, С.А. Лонин) гидрологические условия Жебриянской бухты, которая может считаться авандельтой Дуная, поскольку после завершения строительства соединительного канала с одним из рукавов Дуная - Прорвой, воды бухты находятся под непосредственным воздействием пресного и твердого стоков. Описывается термогалинный, гидродинамический режимы, приводится сопоставление результатов численного моделирования с фактическими данными.

В сборнике (Г.П. Гаркавая, Ю.И. Богатова, Н.А. Берлинский) показано, что изменение качественных и количественных характеристик стока Дуная стали основным фактором, определяющим степень антропогенного эвтрофирования морских акваторий, находящихся под непосредственным его влиянием. Авторами на большом фактическом материале удалось установить, что в устьевой зоне Дуная уменьшилось содержание взвешенных веществ, увеличился нижний предел колебаний гидрохимических показателей - % насыщения кислорода, величина рН, концентрации нитратов, кремния, азота органического и др.. Качественные и количественные изменения гидрохимических показателей устьевой зоны Дуная нашли четкое отражение в динамике гидрохимических параметров на приустьевом взморье.

Анализ данных за период 1993-1997 гг. позволил авторам (Н.И. Рясинцева и соавт.) выявить особенности пространственно-временной изменчивости распределения органических и загрязняющих веществ в трех районах: дельте Дуная, Жебриянской бухте и на взморье.

Наиболее интенсивно и эффективно деструкция НП протекает в пределах участков дельты, характеризующихся высоким содержанием кислорода по всей глубине. Из металлов в рассматриваемом районе экологически значимо содержание растворенных форм меди и цинка. Загрязнение ими дельтовой зоны имеет хронический характер. Показана взаимосвязь пространственного распределения и временной изменчивости содержания меди с водами различного генезиса.

Уровень и пространственное распределение первичной продукции органического вещества фитопланктона, в отсутствие лимитирования продукционного процесса содержанием биогенных веществ, определяется сезонностью развития.

По содержанию белка и нуклеиновых кислот, растворенных в воде и сконцентрированных в грунтах, показано, что процессы синтеза, растворения и трансформации органического вещества в экосистеме Жебриянской бухты наблюдаются как в мелководных, так и глубоководных участках. Количественные характеристики белоксинтезирующей активности пелагических и бентических сообществ, указывающие на преобладание в них мелких форм гидробионтов, находятся в тесной зависимости от речного стока Дуная (В.К. Головенко, В.П. Полудина).

При прогрессирующем эвтрофировании северо-западной части Черного моря установлено неуклонное (Н.Г. Теплинская) увеличение из года в год плотности и биомассы бактериопланктона, а также численности сапрофитных и кишечных бактерий в водной толще и донных отложениях Жебриянской бухты. Наряду с этим отмечено постепенное снижение метаболической активности бактериальных сообществ. Автором делается вывод, что обилие аллохтонных бактерий зачастую превышает автохтонных микроорганизмов - угроза необратимых перестроек в бактериальных сообществах. Их участие в процессах самоочищения может полностью прекратиться. Это вполне реальная угроза не только для Жебриянской бухты, но и для всей приустьевой зоны р. Дунай.

На примере Жебриянской бухты установлено, что данный регион подвержен развитию "цветений" большую часть года (Д.А. Нестеро-

ва). Из обнаруженных здесь 192 видов и разновидностей водорослей, "цветение" вызывают 21 вид (11% всего видового разнообразия фитопланктона), в том числе 13 диатомовых, 3 сине-зеленых и по одному представителю перидиниевых, кокко-литофорид, золотистых, зеленых, эвгленовых.

Жизнедеятельность бактерио- и фитопланктона взморья Дуная тесно взаимосвязаны, что проявляется на количественном, функциональном и особенно, качественном уровнях, в зависимости от видового разнообразия фито-планктона, продолжительности сроков вегетации того или иного вида и физиологического состояния (Н.Г. Теплинская, Д.А. Нестерова).

В результате эвтрофирования, одновременно с повышением показателей общей численности и биомассы зоопланктона, произошли глубокие изменения в его структуре. Если в конце 70-тых начале 80-тых годов ядро зоопланктона составляли 10-12 видов, то в современных условиях доминантным стал один вид - ночесветка *Noctiluca miliaris*, а иногда (особенно весной) в приустьевых районах - *Synchaeta baltica*. Эвтрофирование и снижение запасов планктоноядных рыб послужили причиной вспышки развития медузы *Aurelia aurita*. Эвтрофирование, развитие медузы и нового вселенца - гребневика мнемипсиса, постоянно удерживают экосистему СЗЧМ в динамическом состоянии. Современное развитие зоопланктона находится в прямой зависимости от их сочетания или от того, какой из этих факторов превалирует. (Л.Н. Полищук, Л.В. Настенко)

Увеличение числа видов, численности и биомассы зоопланктона, в зоне трансформации речных вод по сравнению со смежными областями, может быть рассмотрено как проявление краевого эффекта на границе сосуществования солоноватоводной и морской фауны. Значение данной зоны особенно проявляется в функциональной активности гидробионтов, а именно в 4-х-кратном превышении их продукции, метаболизма и интенсивности потребления пищи. (Б.Г. Александров)

Проанализировано изменение показателей продукции, дыхания и калорийности мейобентоса в зависимости от абиотических факторов в различные сезоны года (Л.В. Воробьева, О.А. Торгонская).

В районе придунайского взморья зарегистрировано 22 таксона макрзоо-бентоса. Характер грунтов и периодические заморы значительно ограничивают здесь развитие представителей эпифауны. По всем показателям - количеству таксонов (63,6%), плотности (98,9%) и

биомассе (98,7%) преобладают представители инфауны (И.А. Синегуб).

"Цветение" фитопланктона в пелагиали, поступление и накопление органического вещества в бентали в данном регионе определяют видовое разнообразие и количественные характеристики мейобентоса. В мейобентосном сообществе преобладают мелкоразмерные, короткоциклические виды (Л.В. Воробьева, И.И. Кулакова).

Многолетние исследования позволили предложить методы оценки степени влияния прямых антропогенных воздействий на морскую экосистему взморья Дуная. Выделена доля влияния такого локального источника загрязнений, как порт Усть-Дунайск. Определены зоны максимального воздействия, в результате перегрузок в порту сыпучих грузов (Н.А. Берлинский, Г.П. Гаркавая, Ю.И. Богатова).

* * *

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЖЕБРИЯНСКОЙ БУХТЫ

Н.А. Берлинский, С.А. Лошин

Топография дна. Жебриянская бухта является уникальным географическим объектом, расположенным в северной части дельты Дуная. Размеры бухты относительно невелики - 120 км², глубины плавно увеличиваются от береговой черты до 10-15 м в центральной ее части. Мелководность относится к одной из характерных особенностей, более 60 % акватории с глубинами менее 5 м. Изобата 5 м отступает на 4-5 миль от берега. В юго-западной части бухты расположен порт Усть-Дунайск, в ковше которого искусственно поддерживаются глубины до 10-12 м. Ковш порта соединен с открытой частью моря глубоководным морским каналом с глубинами 10-12 м. Топография бухты весьма важна как с точки зрения влияния заносимости акватории порта, так и ориентации расположения новых гидротехнических сооружений.

Бухту можно считать аванделтой Дуная, поскольку после завершения строительства соединительного канала с одним из рукавов Дуная - Прорвой, воды бухты находятся под непосредственным воздействием пресного и твердого стока.

Термохалинный режим Жебриянской бухты. Интервал годовых колебаний температуры в бухте от -1 до +26°C. Лед в бухте образуется довольно часто, в среднем один раз в три года и выражен в основном в виде припая. Максимальное количество градусо-дней мороза отмечены в феврале, тогда же здесь характерна вертикальная изотермия до 3,5°C.

Пространственно-временная изменчивость солености весьма велика от 0 до 20 ‰ средняя величина около 15 ‰. На акватории бухты часто образуются мощные горизонтальные градиенты, которые иногда называют гидрофронтами или фронтальными зонами. В литературных источниках из-за малой частоты наблюдений в бухте, такого рода перепады не отражены. Перепады солености составляют до 5 ‰ на 100 м и более.

У дна, с учетом изменчивости рельефа, среднее значение солености несколько выше 17-17,5 ‰. Здесь горизонтальный градиент отсутствует. Важно отметить, что перенос и перемешивание пресных вод Дуная с морскими происходит в самом верхнем 5 метровом слое, тогда как горизонтальная составляющая непосредственно области смешения занимает иногда несколько миль.

Весенне-летнюю перестройку гидрофизических полей можно рассмотреть на примере июня, в период развития половодья. По средне-многолетним данным в Жебриянской бухте к этому времени происходит интенсивный прогрев верхнего 2-3 м слоя, достигая значений 20-20,5°C, тогда как в придонном слое перемешивание обеспечивает повышение температуры лишь до 14°C. Таким образом, значительный период времени с мая по август, включительно, структура водных масс характеризуется резко выраженным термоклином, который обладает значительным экранирующим эффектом, вследствие перепада плотности. К этому эффекту добавляется возросший и еще более существенный халинный вертикальный градиент. По средне-многолетним данным соленость на поверхности моря резко падает до 12 ‰, что обусловлено влиянием паводковых вод Дуная. У дна, по сравнению с зимними условиями, за счет компенсирующего подтока отмечается незначительное повышение солености (до 0,5 ‰), что составляет в среднем 16,5 ‰. Расчеты статической вертикальной устойчивости показывают, что величины могут достигать значений до 1000000 · 10⁻⁸ усл. ед.

Августовские значения характеризуют летний сезон, когда термохалинная структура вновь трансформируется, но в бухте выражена по существу одной водной массой, периодически подвергаясь изменениям в результате сгонно-нагонных явлений: формированием поверхностных "линз" опресненных дунайских вод и адвекции с севера вод открытого моря. В среднем от поверхности до дна устанавливается квазигомотермия со значениями 22,5°C на поверхности и 20,5°C - у дна. Вертикальный градиент солености ослаблен влиянием межени Дуная (рис. 2): на поверхности соленость около 14 ‰, у дна - 15-15,5 ‰.

Подобные условия характерны в течение августа до середины октября включительно. Эти условия при слабом экранирующем влиянии пикноклина и пониженной гидродинамической активности способствуют активной аккумуляции взвешенного вещества в приустьевой зоне.



Гидродинамический режим. В результате гидрологических съемок, выполненных на протяжении десяти лет в Жебриянской бухте, выявлены некоторые закономерности динамики вод в бухте. Характерная ситуация отмечена во время съемки в сентябре 1988 г., выполнявшейся при северо-восточном, со стороны открытого моря при ветре $10-12 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

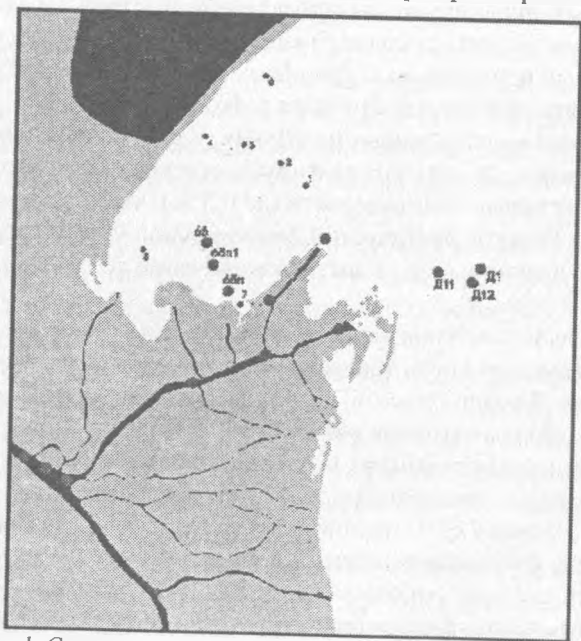


Рис. 1. Схема станций мониторинга в устьевой зоне Дуная.

Измерения проводились вертушками БПВ-2 с заякоренного судна на многосерийных станциях на протяжении 13 час, дискретностью 10 минут. Отмечены значительные скорости течения до $20 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ (рис. 2) в

поверхностном слое $0-5 \text{ м}$ в центральной части и на периферии бухты, которые резко падают на мелководье до $3-4 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$. При этом холодная и соленая вода открытого моря проникает в бухту вдоль западного берега, постепенно вытесняя теплые и малосоленые ($9-11 \text{ ‰}$) воды мелководья (глубины менее 5 м). На рис. 3 хорошо выражена распресненная водная масса со значением солености 7 ‰ в центре водной массы.

Иные условия формируются в бухте при ветре южных румбов, рис. 4а, б, съемка выполнена конце марта 1989 г. Поверхностный слой уже прогрет до $7-8 \text{ °C}$, у дна температура $-6,5 \text{ °C}$. Рельеф береговой черты обуславливает отклонение вектора скорости влево и направлен вглубь бухты, образуя антициклонический вихрь, происходит проникновение дунайских вод в бухту, в первую очередь, в поверхностном 5 - метром слое.

При северном ветре, до $8 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, съемка выполнена в июле 1989 г., в бухте устанавливается циклоническая циркуляция, при которой воды открытого моря вовлекаются в бухту вдоль берега и выносятся на юг, юго-восток вместе с основным потоком дунайских вод. Наиболее четко это прослеживается в придонном горизонте (рис. 5). В поверхностном слое в мелководной части бухты, менее 5 м , возможно формирование топографических меандров, формирующих отдельные циклонические вихри. При этом относительно холодные и более соленые воды открытого моря проникают в бухту, вытесняя более теплые и опресненные (рис. 6).

В теплый период года у западного берега северо-западной части Черного моря в среднем происходит до 5 сгонно-нагонных явлений. В мае 1989 г. западный ветер силой в 4 балла обеспечил интегральную составляющую в слое $0-5 \text{ м}$ юго-юго-западного направления со скоростью $24 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$.

Прозрачность и цвет в Жебриянской бухте зависят от интенсивности поступления распресненных речных вод с высокой степенью мутности. На рис. 7-8 приводятся их характерные значения. Колебания прозрачности - от 20 см до $2-3 \text{ м}$. Цвет - по шкале цветности - от 14 до 22 номера. Важно отметить, что в приустьевых районах эти два параметра служат прекрасными показателями трансформации и перемещения водных масс. Распределение цветности и прозрачности характеризуют перенос или поток взвешенного вещества в море. На примерах по этим показателям можно определить размеры и местоположения изолированной вихревой структуры на мелководье бухты (рис. 9-10), съемки при различных ветровых ситуациях, подтверждают наличие топографических вихревых структур.



Рис. 2. Распределение течений на поверхности при СВ ветре 8-12 м/с



Рис. 3. Распределение солёности на поверхности моря при СВ ветре

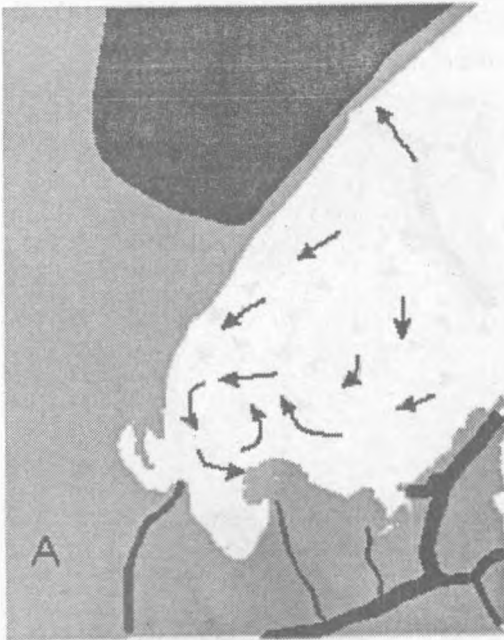


Рис. 4а. Распределение течений на поверхности моря при южном ветре.



Рис. 4б. Распределение течений в придонном слое при южном ветре.

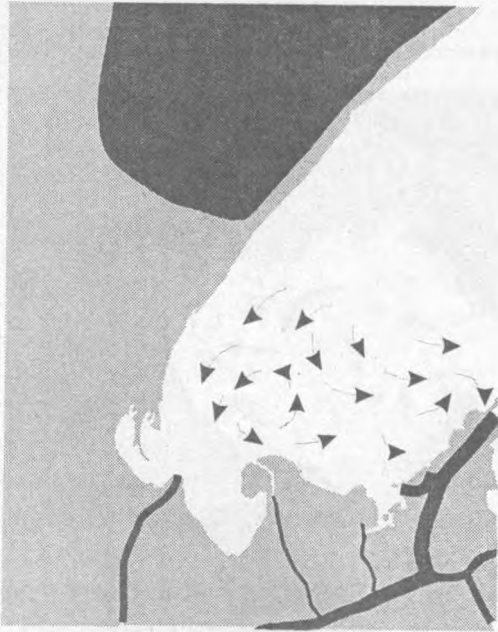


Рис. 5. Распределение течений на поверхности моря при северном ветре.

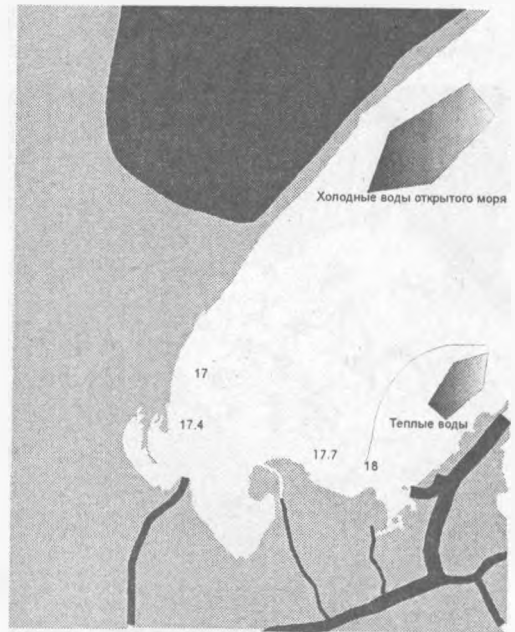


Рис. 6. Распределение температуры морской воды при СВ ветре.

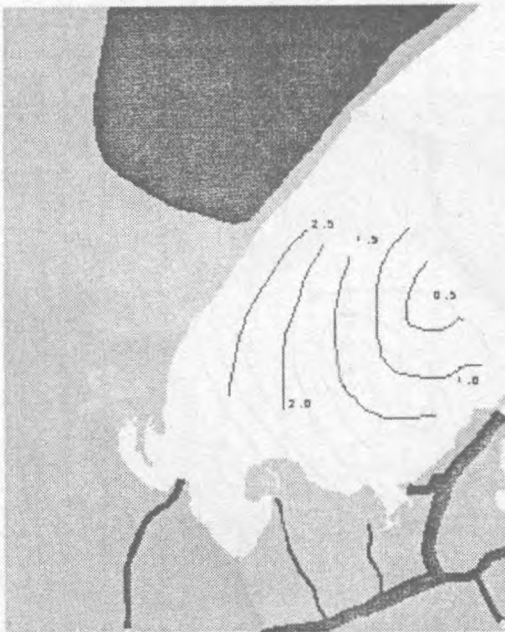


Рис. 7. Распределение прозрачности морской воды [м] при северном ветре.



Рис. 8. Распределение прозрачности морской воды [м] при южном ветре.



Рис. 9. Распределение цветности морской воды при южном ветре.

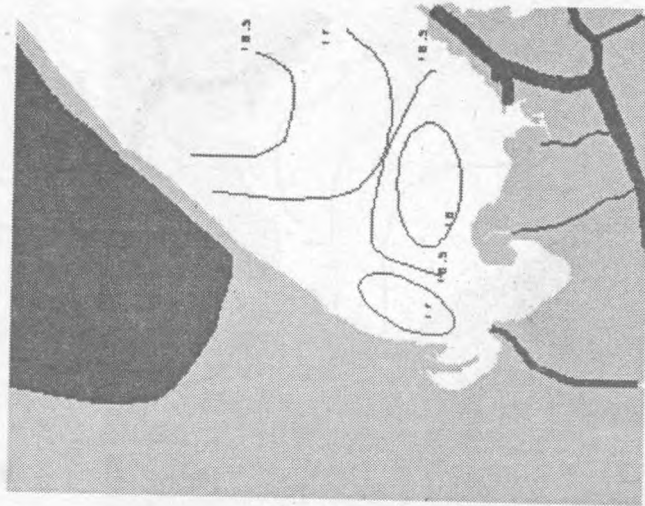


Рис. 10. Распределение цветности морской воды при южном ветре.

Сопоставление результатов численного моделирования с фактическими данными. Полученные результаты фактических съемок интересно сравнить с расчетами численного моделирования, которые были выполнены в работе [1]. Эти расчеты были выполнены с целью изучения транспорта взвешенных и влекомых наносов в Жебриянской бухте.

Исходная система уравнений динамики двухфазной жидкости в декартовой системе координат включает в себя уравнения движения, неразрывности и диффузии субстанции, уравнение для коэффициента вертикальной турбулентной вязкости и уравнение состояния двухфазной среды вода - взвесь, подробно описанные в [2]. В настоящей работе в большей степени интересны промежуточные результаты расчетов - поля течений при различных ветровых ситуациях. В качестве исходных данных для моделирования использовались материалы, любезно предоставленные администрацией порта Усть-Дунайск. В расчетах задавался ветер силой $10 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$. В связи с тем, что по розе ветров для сезонов года трудно выделить преобладающие направления, расчеты выполнялись для северного, южного, западного и восточного направлений ветра. Расход воды в Соединительном канале принимался постоянным и равным $120 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. На рис. 11 а, б приведены типовые поля течений на горизонтах 0,8; 5,5 и 9,0 м. Так как время приспособления полей течений к внешней нагрузке невелико, эти поля можно считать типовыми, т.е. определяющими гидрологический режим акватории и рассматривать их обособленно друг от друга. При любом направлении ветра обнаруживается влияние стокового течения от Соединительного канала, главным образом на придонных горизонтах. Тем не менее, при выходе из Соединительного канала, скорости стокового течения быстро затухают в несколько раз. Поверхностный перенос в наиболее глубоководной части акватории - ковше порта - по направлению почти совпадает с направлением ветра, тогда как на мелководных участках взморья компенсационный отток начинает формироваться уже с глубин менее 0,5 м. Наиболее важная особенность циркуляции связана со спецификой морфометрии исследуемой акватории: наличие сравнительно глубоководного котлована (ковша порта) и подходного канала с одной стороны, дополнительного потока воды в акваторию через соединительный канал с другой, обуславливают возникновение течения, направленного в придонной области вдоль подходного канала. Так, при северном ветре формируется нагон вод в акватории порта, и интенсивность компенсационного течения возрастает, при южном ветре - напротив, возможно возникновение течения обратного направления, вдоль подходного канала в порт.

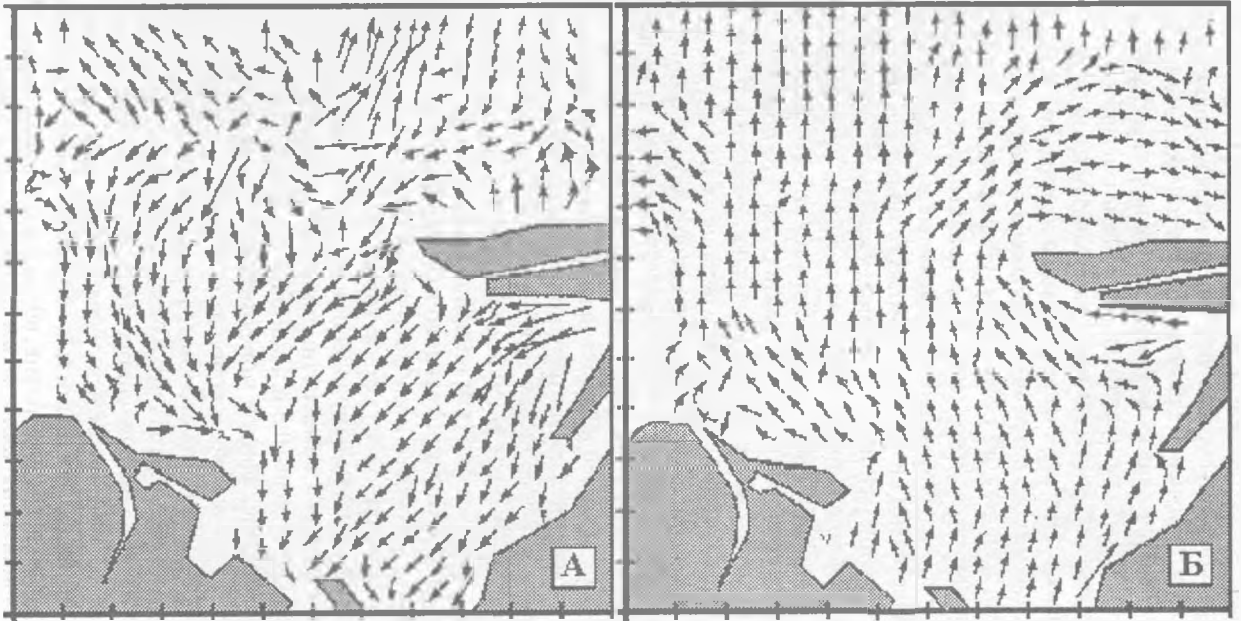


Рис. 11а. Поле течений на поверхности моря. А - при западном ветре 10 м/с; Б - при восточном ветре.

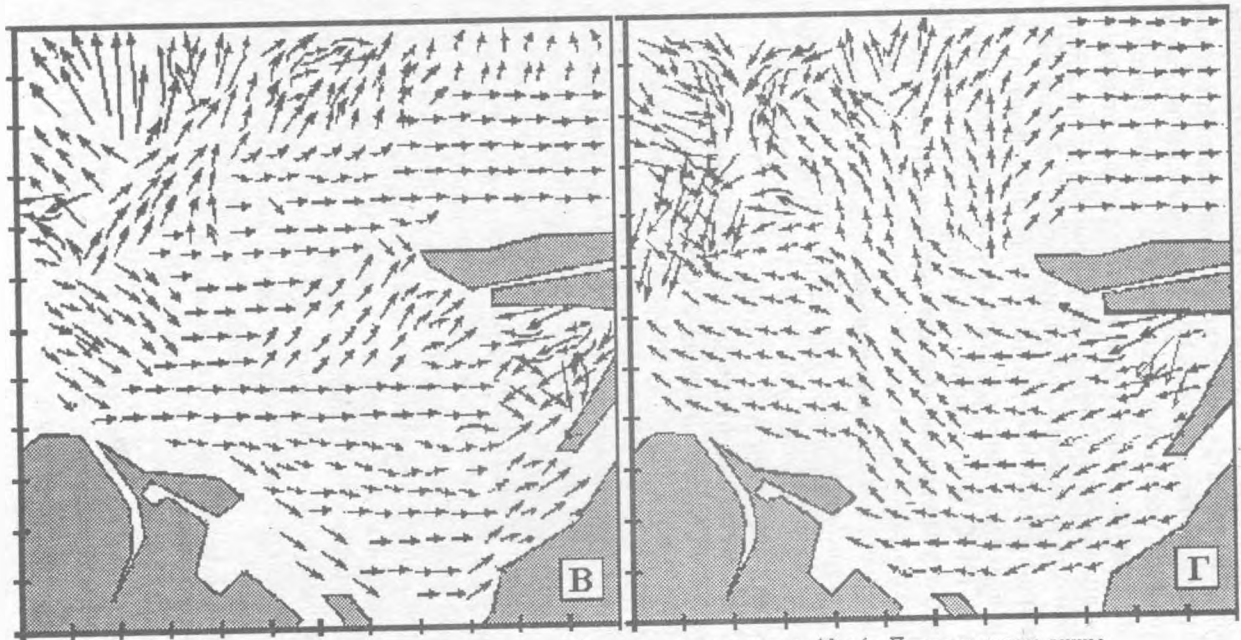


Рис. 11б. Поле течений на поверхности моря. В - при северном ветре 10 м/с; Г - при южном ветре.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УКРАИНСКОЙ ЧАСТИ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ ДУНАЯ

Г.П. Гаркавая, Ю.И. Богатова, Н.А. Берлинский

Развитие биогидрохимических процессов в северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) в значительной мере определяется стоком рек Дуная, Днестра и Днепра с Бугом. Изменения, происходившие с его количественными и качественными характеристиками (Зайцев, Гаркавая и др., 1987; Зайцев, Гаркавая и др., 1989) стали основными факторами, определяющими антропогенное эвтрофирование моря в 70-80-ые годы. В этой связи, значительная часть исследований ОФ ИнБИОМ НАН Украины на протяжении нескольких десятилетий выполнялась в районах, примыкающих к устьям рек и связанных с ними лиманов. Особое внимание уделялось району моря, находящемуся под влиянием вод Дуная. Здесь на протяжении многих лет отмечались мощные "цветения" (Нестерова, 1979), самые обширные площади гипоксии в придонном слое моря (Толмазин и др., 1977; Берлинский, 1989), заморы донных организмов (Сальский, 1977). Было установлено, что основной причиной этих изменений в море в 70-80-ые годы стало увеличение в речном стоке и, соответственно, в море биогенных веществ, концентрации которых значительно возросли по сравнению 60-70-ыми годами. Комплексные исследования в дельте Дуная, проводимые Институтом гидробиологии НАН Украины, совместные экспедиции в дельту Дуная по международным программам, способствовали накоплению обширного материала по динамике гидрохимических показателей в устьевой области Дуная.

Наиболее полно динамика гидрохимических условий в низовьях Дуная представлена в монографиях А.М. Алмазова и других - "Дунай и придунайские водоемы в пределах СССР", 1961; "Гидрохимия устьевых областей рек", 1962; "Гидрология устьевой области Дуная", 1962; "Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов", 1993. Многочисленные материалы представлены на Лимноло-

При сопоставлении фактически измеренных и моделируемых течений: на поверхности моря - отмечается наличие дивергентных потоков в центральной части бухты в обоих случаях, как по фактическим данным, так и по модельным расчетам при условии северных и восточных направлениях ветра. У дна, в обоих случаях отмечается наличие компенсационного течения, направленного против действия ветра. При южных румбах ветра - ситуация не столь однозначна, очевидно из-за инерционности измеряемых полей. Прежде всего, это отражается на поверхности моря, где расхождения в направлении потоков достигают 90-100°. В придонном слое направления и величины векторов практически совпадают (около 200° при 5-12 см · с⁻¹).

Литература

1. Берлинский Н.А., Лонин С.А. Оценка интенсивности литодинамических процессов в районе порта Усть-Дунайск // *Морской гидрофизический журнал*, - 1996. №2, с. 74-80.
2. Лонин С.А. Влияние взвеси на динамику мелководного водоема // *Изв. РАН Физика атмосферы и океана*. - 1995. - 31 № 4.

гических конференциях по изучению Дуная (Гаркавая и др., 1982, 1985, 1997). Подробно изучены закономерности динамики гидрохимических показателей в воде Дуная в работах Г.И. Енаки и др. (1987), Л.А. Журавлевой и др. (1991). В последние годы в силу целого ряда обстоятельств, независимых от ученых Украины, сократился объем исследований, проводимых в дельте и на взморье Дуная.

Материалом для данной работы послужили результаты исследований, полученные в 36 экспедициях, проведенных на НИС "Миклухо-Маклай", "Ковалевский", "Мечников", водолазном боте "Спрут", в международной экспедиции по Дунаю на теплоходе "Амур" (1988 г.), катерах порта Усть-Дунайск и заповедника "Дунайские плавни" в 1977-1997 гг. Схема станций представлена на рис. 1.

Определение гидрохимических параметров проводилось по стандартным гидрохимическим методикам (Шинкина, 1977; Руководство по методам химического анализа морских вод, 1977, 1993; Руководство по химическому анализу вод суши, 1973, 1977; Методы гидрохимических исследований океана, 1978; Унифицированные методы исследования качества вод, 1977). Отбор проб проводился на стандартных горизонтах - 0м, 5м, ... дно. В пробах воды определяли: содержание кислорода $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и % насыщения, соленость, рН, взвешенное вещество (ВВ), перманганатная окисляемость (ПО), минеральные и органические формы азота и фосфора, кремний. Взвешенное вещество определяли методом фильтрации через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм. С 1978 года проводили исследования поровых вод донных отложений взморья и с 1988 г. - Дуная. Пробы донных отложений отбирались дночерпателем Петерсона. В поровой воде донных отложений проводили определение минеральных и органических соединений азота и фосфора, кремния, перманганатной окисляемости.

Устьевая область Украинской части Дуная состоит из Килийской дельты и участка взморья Дуная. По сравнению со всей протяженностью реки Украинский участок составляет 1/20 ее части. На Килийский рукав приходится 62,5 % водного стока Дуная и в зависимости от водности года эта величина изменяется от 52,1 до 66,4 % (Алмазов, 1961).

Изучение динамики гидрохимических веществ устьевой области Дуная проводили в Килийской дельте Дуная (от г. Вилково до устья, включая рукава Прорва, Быстрый, Восточный, Старо-Стамбульский), на различных участках устьевого взморья Дуная и в Жебриянской бухте.

Формирование гидрохимических условий Килийской дельты Дуная определяется всеми процессами протекающими, как в воде реки на всем ее протяжении, так и на ее водосборной площади. Основными факторами являются динамика водного стока, метеоусловия, особенно количество и качество атмосферных осадков, жизнедеятельность водных организмов. Немаловажное значение, определяющее антропогенное влияние, имеет развитие в бассейне Дуная промышленности, сельского и коммунального хозяйства, создающие значительное количество стоков, сброс которых происходит в реку. Международными экспедициями "Голубой Дунай-88" и "Голубой Дунай-90" было установлено, что в среднем и нижнем участках Дуная поступает значительное количество неочищенных или недостаточно очищенных ливневых, промышленных и сельскохозяйственных стоков с широким спектром различных химических веществ (Созинов и др., 1993; Яцик и др., 1993). В последние 10 лет отмечается резкое колебание стока Дуная от 132,3 км³/год (1990) до 236 км³/год (1996). Это, вероятно, связано, как с природными циклическими колебаниями, так и с безвозвратным потреблением. Спад производства в промышленности и в сельском хозяйстве в странах, расположенных в среднем и нижнем течении Дуная способствовали снижению концентраций биогенных веществ в стоке реки (табл. 1). Кроме того, на динамику биогенных веществ в водах Дуная, вероятно, оказывает влияние в строй новых гидротехнических сооружений.

Такой гидротехнический комплекс, как Габчиково-Надьямарош с мощным водохранилищем преобразует участок реки протяженностью 200 км (Романенко, Даубнер, 1989). Анализ многолетних данных (табл. 1) по динамике биогенных веществ в воде Дуная показал, что наиболее интенсивный прирост биогенных соединений отмечался в период с 1958-1960 гг. по 1977-1985 гг. Это был пик развития эвтрофирования поверхностных и морских вод. В дальнейшем темп прироста минеральных форм фосфора и азота снижается, а концентрация органических веществ увеличивается. Увеличение органических веществ в воде Дуная в результате активизации развития фитопланктона после строительства водохранилищ были спрогнозированы Т.А. Харченко и А.В. Ляшенко на основании материалов Международных комплексных экспедиций "Голубой Дунай-88, 90" (Харченко, Ляшенко, 1993).

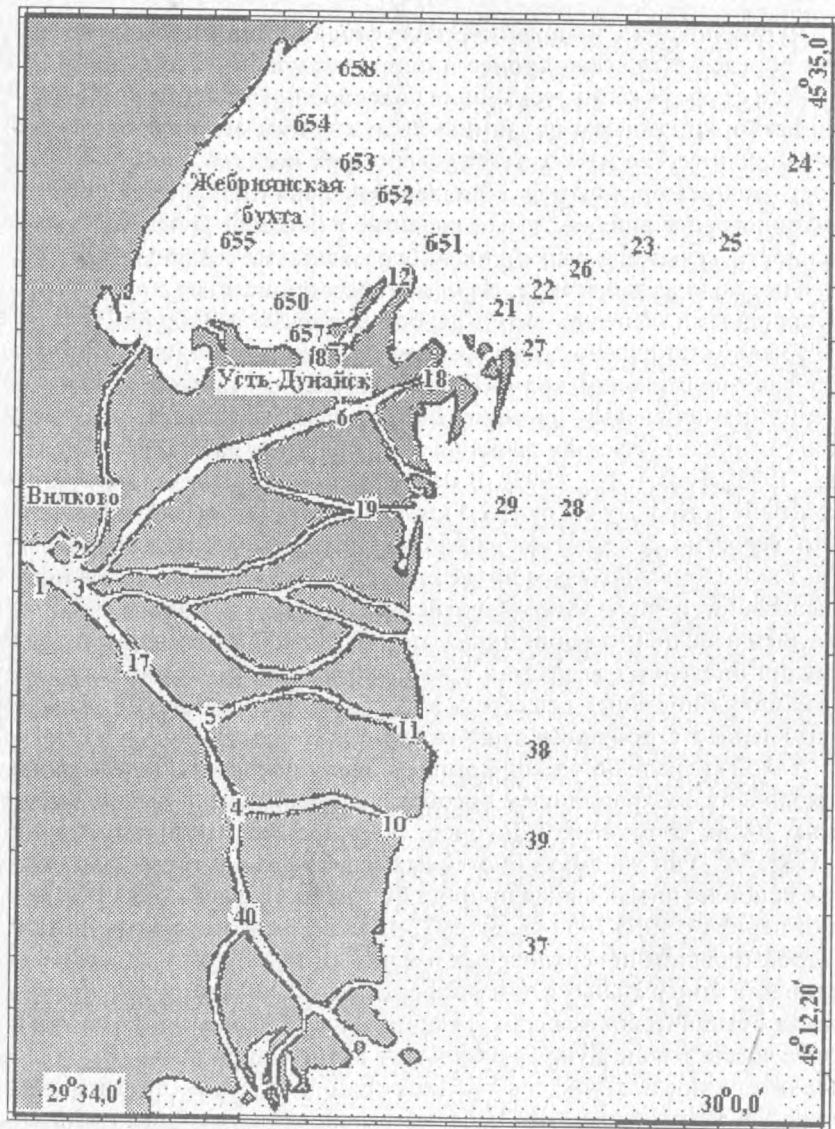


Рис. 1. Схема станций в Килийской дельте и на взморье Дуная

Таблица 1. Многолетняя динамика содержания биогенных веществ в воде Килийской дельты Дуная.

Биогенные вещества, мг · л ⁻¹	Периоды (годы)				
	1958-1960	1977-1985	1986-1988	1989-1992	1993-1996
NH ₄	0,248	0,620	0,575	0,441	0,125
NO ₂	0,012	0,044	0,160	0,118	0,074
NO ₃	0,530	1,000	1,126	1,626	1,184
N _{мин.}	0,790	1,664	1,861	2,185	1,383
Nорг.	0,630	0,900	3,072	5,069	3,739
Nвал.	1,420	2,564	4,933	7,254	5,122
PO ₄	0,071	0,165	0,281	0,233	0,091
Pорг.	0,031	0,073	0,100	0,113	0,096
Pвал.	0,102	0,238	0,380	0,336	0,187
Si	4,375	3,980	2,571	2,979	2,356
Сток Дуная, км ³ /год	179,4	227,7	204,7	169,7	195,1

Характерной особенностью для вод Дуная в период 1993-1996 гг. являются качественные и количественные изменения, происходящие с азотными формами. В целом общее содержание азота, по отношению к 1977-1985 гг., увеличилось в 2 раза, при этом содержание аммонийного азота уменьшилось в 4 раза, нитритов - в 1,5 раза, а содержание нитратов сохраняется на уровне среднемноголетней величины. Сохраняется тенденция к увеличению содержания азота органического в воде Килийской дельте по сравнению с 70-80-ыми годами. В период 1989-1992 гг. наблюдалось резкое возрастание концентраций азота органического, при среднем значении 5,069 мг · л⁻¹ максимальное значение достигало 18,330 мг · л⁻¹. К этому периоду относятся и максимальные значения содержания нитратов в воде Килийской дельты - 1,626 мг · л⁻¹. Высокие значения содержания некоторых азотных форм в воде Дуная в 1989-1992 гг. может быть связано с сокращением объема речного стока до 169,7 км³/год. Сброс слабо очищенных и неочищенных стоков в Дунай, при уменьшенном его объеме, вероятно, способствовал накоплению в его водах и увеличению концентраций нитритов, нитратов, азота органического в этот период. В последние годы объем стока несколько увеличился и в 1996 г. достиг 236 км³/год. Характерной особенностью последних лет наблюдений является уменьшение концентраций минеральных форм фосфора и увеличение органичес-

ких. В последний рассматриваемый период 1993-1996 гг. их концентрации практически уравнились.

Содержание кремния и его динамика в воде Дуная в прямом отношении антропогенному влиянию не подвержены. Однако концентрация кремния в воде Дуная уменьшилась с $4,375 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ в 1958-1960 гг. до $2,356 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ в 1993-1996 гг. В настоящее время сохраняется тенденция к уменьшению концентрации кремния в воде Дуная. Это, вероятно, связано с его частичной седиментацией на водохранилищах Дуная, кроме того, не исключается увеличение его потребления, как и других биогенных веществ, фитопланктоном.

Таким образом, анализ многолетних данных по стоку Дуная показал, что по некоторым показателям биогенных веществ (аммонийному азоту, фосфору минеральному) качество воды приближается к 50-60-ым годам. А по содержанию кремния отмечается резкое снижение его концентраций.

Значительные изменения произошли и с содержанием взвешенных веществ в воде Килийской дельты Дуная. В 1962-1979 гг. в районе Вилково среднемесячная величина взвешенных веществ в воде изменялась в пределах $93-242 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$. Максимальная среднемесячная величина составляла в октябре 1972 г. - $801 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ (Тимченко, Новиков, 1993). За период с 1995-1997 гг. концентрация взвешенных веществ снизилась, среднее содержание за этот период было $92,66 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ при диапазоне колебаний $61,8-215,1 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$. Сокращение количества взвешенных веществ в нижней части Дуная может быть связано с уменьшением скорости потока воды, которое произошло вследствие строительства водохранилищ Джердап - I и др. (Галецкий и др., 1993). Это способствовало увеличению прозрачности, усилению фотосинтетической деятельности планктонных водорослей. Об интенсификации развития фитопланктона в 1980-1990 гг. указывалось в исследованиях А.И. Иванова (Оксиук и др., 1992). Направленность этого процесса в низовьях Дуная сохраняется и в наше время, что подтверждается высокими значениями рН до 8,80, пересыщением воды кислородом до 122,88 % в период вегетации фитопланктона. В этот же период отмечается и снижение концентраций биогенных веществ, особенно фосфатов, аммонийного азота - до минимальных значений наблюдаемых в Килийской дельте. Об активности развития фитопланктона в низовьях Дуная свидетельствует и увеличение перманганатной окисляемости. Ее содержание в воде увеличилось с $4,36 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ (1977-1985 гг.) до $12,54$

$\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$ (1993-1996 гг.). В дельте максимальные значения перманганатной окисляемости $15,21-18,31 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ отмечались в весенне-летний период, что, вероятно, является результатом биопродукционных процессов. Это подтверждается пересыщением воды кислородом в этот период до 120 % и высокими значениями рН до 8,75. Таким образом, можно отметить, что в низовьях Дуная в настоящее время усиливается роль биопродукционных процессов, результатом которых является увеличение содержания автохтонных органических веществ. Однако не исключается и роль антропогенного фактора в увеличении количества лабильных органических веществ в воде Дуная. Это может происходить за счет сбросов неочищенных или слабоочищенных стоков. Увеличение концентраций ПО отмечалось в период интенсивных дождей в 1997 г., в результате которых произошел смыв различных веществ, влияющих на содержание ПО в воде Дуная.

Особенностью в динамике биогенных веществ в дельте Дуная в последние годы является возрастание нижнего предела колебаний значений процентного содержания кислорода, величины рН, нитратов, кремния, азота органического, ПО (табл. 2). Увеличение в воде дельты кислорода (% содержания), величины рН при снижении уровня фосфатов еще раз свидетельствует об активизации здесь процессов фотосинтеза. Уменьшение содержания фосфора органического при низких концентрациях фосфатов может быть связано также с усилением вегетации фитопланктона, который в отсутствии фосфатов, может утилизировать фосфор органический. Увеличение предела колебаний величин кремния произошло в 1997 г. в период сильных дождей в низовье Дуная в летне-осенний период за счет смыва различных веществ природного происхождения, содержащих соединения кремния.

Таким образом, было установлено, что в динамике биогенных веществ в дельте Дуная произошли существенные изменения. На рис. 2 показано, что в процентном соотношении минеральных и органических форм азота после периода 1977-1985 гг. увеличивается доля органического. Сопоставление всех форм азота указывает на снижение доли нитритов, аммонийного азота. Содержание нитратов с 1980-1990 гг. по 1983-1997 гг. сохраняется на одном уровне. Процентное соотношение форм фосфора указывает, что в 1983-1990 гг. их составляющие уравнились.

Таблица 2. Предельные концентрации гидрохимических показателей в Килийской дельте Дуная в различные периоды 1958-1959 гг. (Алмазов, 1962), 1986-1990 гг. (Журавлева, Грубина, 1991; Оксюк, Журавлева и др., 1992), 1994-1997 гг. (Garkavaya et al., 1997).

Показатели	1958-1959 гг.	1986 – 1990 гг.	1994-1997 гг.
O ₂ , мг · л ⁻¹	8,00-14,00	4,66-15,00	4,06-13,70
O ₂ , % насыщения	80,0-100,0	60,0-139,0	63,6-122,0
pH	7,60-8,40	7,60-8,10	7,70-8,78
NH ₄ , мг · л ⁻¹	0,02-0,80	0,0-1,50	0,0-0,45
NO ₂ , «-»	0,0-0,04	0,0-0,41	0,0-0,22
NO ₃ , «-»	0,0-1,70	0,0-1,32	0,16-2,62
Норг., «-»	0,30-0,80	0,10-0,85	1,14-18,33
PO ₄ , «-»	0,01-0,20	0,02-0,78	0,0-0,14
Рорг., «-»	0,02-0,05	0,02-0,26	0,0-0,28
Si, «-»	1,00-7,00	0,40-3,70	0,65-5,22
ПО, мг О/л	2,00-6,60	2,30-6,60	4,34-48,67

Отмеченные изменения качества воды дельты Дуная связаны как с природными факторами, так и с антропогенными. Особенно большую роль могли сыграть, как построенное ранее водохранилище Джердап-1, так и вступившие в строй гидротехнические сооружения в районе Венгрии и Чехии (Габчиково-Надьямарош) в водохранилищах которых в результате процессов седиментации происходит частичная аккумуляция соединений фосфора, азота и других веществ и захоронение в донные отложения (Харченко, Ляшенко, 1993).

ПРИУСТЬЕВОЕ ВЗМОРЬЕ ДУНАЯ

Взморье Дуная представляет собой зону постоянного взаимодействия речных и морских вод, в результате которого изменяются их свойства, образуются водные массы с новым качеством. Формирование гидрохимических условий взморья происходит под воздействием сложных гидрофизических, гидродинамических процессов характерных для этого района. Трансформация речных вод начинается непосредственно в рукавах дельты при замедлении скорости течения (Михайлов и др., 1986; Тимченко, 1987). Здесь происходит быстрое осаждение взвеси, которая извлекает из воды и растворенные вещества сорбируемые на взвеси, в результате процессов адсорбции. К веществам, способным к активной адсорбции можно отнести соединения фосфо-

ра и кремния, а также некоторые минеральные соединения азота и органические вещества. Таким образом, уже в дельте речная вода, в значительной мере, очищается от различных химических соединений (Артемьев, 1983; Айзатулин и др., 1984).

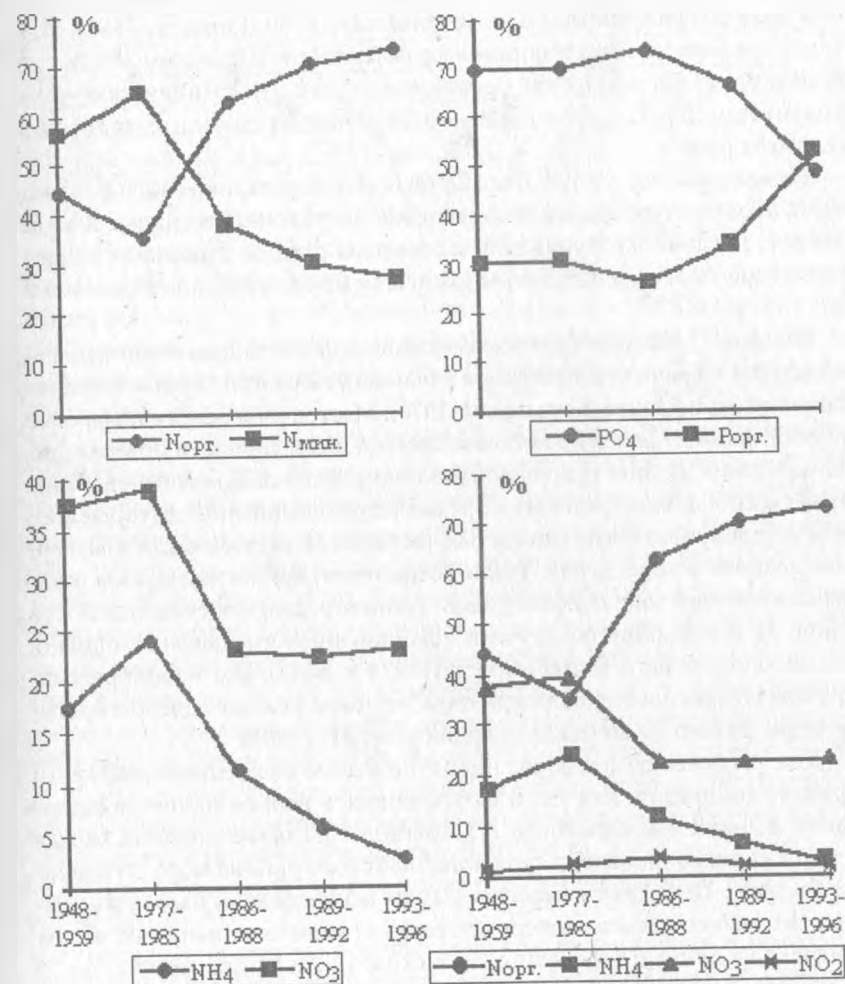


Рис. 2. Изменение процентного соотношения азота и фосфора в воде Килийской дельты Дуная в различные периоды.

В процессе перемешивания в устьевых зонах осаждается от 50 до 90 % твердого стока рек. Происходят такие процессы, как флокуляция частиц, высвобождение ряда элементов, сорбированных на глинистых частицах (десорбция), процессы миграции многих химических веществ из воды в осадки и обратно (Артемьев, 1983).

Боле сложные процессы протекают на взморье в диапазоне малых величин солености 2-6 ‰ (Скопинцев, 1950; Гордеев, 1983). Эта зона, так называемой лавинной седиментации (Лисицин, 1982), где происходит коагуляция как органических, так и неорганических компонентов и переход их в донные отложения в результате процессов седиментации.

Немаловажную роль в формировании гидрохимического режима здесь играют сгонно-нагонные явления достаточно активные в этом районе. На взморье Дуная ветры северных румбов вызывают южное вдольбереговое течение, ветры южных румбов - северное (Алмазов и др., 1961).

Одним из наиболее важных факторов, определяющих механизм физических и химических процессов в районе устьевого взморья, является наличие гидрофронта (Большаков, 1970). Местоположение гидрофронта не постоянно и зависит от объема стока и интенсивности поверхностного течения. В зоне гидрофронтов происходит дальнейшее удаление из воды многих минеральных и органических соединений, которые способны сорбироваться на глинистых частицах - основной части взвешенных веществ в воде Дуная. Такие соединения, как нитраты, аммонийный азот в этой зоне изменяют свои концентрации с ростом солености (табл. 3). В большинстве случаев - это линейное уменьшение, однако, эти закономерности могут нарушаться, т.к. возможно новообразование взвешенного материала при определенном режиме солености и сочетании физико-химических условий (Гордеев, 1983).

Для соединений фосфора, нитратов в зоне смешения возможен и процесс десорбции, как это и наблюдалось в период наших исследований в диапазоне солености 2-5 ‰ (табл. 3). Такая соленость характерна для поверхностного слоя придунайского района моря до изобаты 5 м, реже 10 м. По материалам наших исследований было установлено, что максимальная потеря вещества из воды поверхностного слоя и переход в донные отложения, происходит в весенний период - до 75 % аммонийного азота, около 50 % - нитритов, до 40 % - нитратов, до 50 % - фосфатов и кремния (рис. 3).

Таблица 3. Динамика гидрохимических показателей в Килийской дельте и зоне смешения речных и морских вод на взморье Дуная в зависимости от солености (по материалам 1990-1995 гг.).

Район отбора проб	NH ₄ , мг · л ⁻¹	NO ₂ , мг · л ⁻¹	NO ₃ , мг · л ⁻¹	PO ₄ , мг · л ⁻¹	N орг., мг · л ⁻¹	P орг., мг · л ⁻¹
18 км Дуная	0,400	0,083	1,347	0,200	3,528	0,088
р. Прорва	0,537	0,072	0,726	0,220	4,285	0,065
<1.0 ‰	0,354	0,055	1,471	0,086	5,851	0,086
1-2 ‰	0,267	0,070	1,200	0,106	5,790	0,106
2-3 ‰	0,282	0,041	1,172	0,206	1,899	0,207
3-4 ‰	0,031	0,040	1,610	0,271	2,523	0,271
4-5 ‰	0,040	0,034	0,907	0,068	2,190	0,068

Помимо указанных на взморье процессов, способных изменить закономерности распределения гидрохимических параметров, биологические процессы на взморье могут также повлиять на их динамику. Жизнедеятельность фито-, зоопланктона и их сезонная динамика могут существенно изменять в воде величины кислорода, pH, соединений азота, фосфора и кремния (см. Д.А. Нестерова, Л.Н. Полищук, настоящий сборник).

На взморье Дуная в течение года расположены области значительно опресненных вод. Различие в плотности речных морских вод препятствует их перемешиванию. Поэтому воды Дуная на взморье распространяются в слое от поверхности до 3 м, реже - до 5 м. Нижние слои заполнены однородными, более солеными (до 17-18 ‰) водными массами (Большаков, 1970). Для вертикального строения вод взморья характерен резкий перепад солености и температуры, особенно в поздний весенний и ранний осенний периоды. В верхнем слое на взморье в течение всего года существует вертикальный градиент солености, величины которого определяются степенью опреснения. Вертикальный градиент температуры наблюдали только в теплый период года.

С началом весеннего прогрева образуется слой сезонного термоклина, который по мере увеличения интенсивности прогрева вод заглубляется и к августу достигает глубин 15-20 м.

Перепад значений температур на его границах достигает 15°C (до 3-5°C на 1 м).

Данные многолетних исследований по динамике гидрохимических показателей взморья представлены в табл. 4. Было установлено, что в зависимости от объема стока и направленности ветра в поверхностном слое величина солености изменяется от 3,0 до 16,2 ‰. Воды придонного

горизонта взморья сугубо морские, соленость здесь изменяется от 13,8 до 18,1 ‰ (табл. 4). И только на придельтовых участках в период паводка соленость придонного слоя может достигать величин 5,0-6,0 ‰.

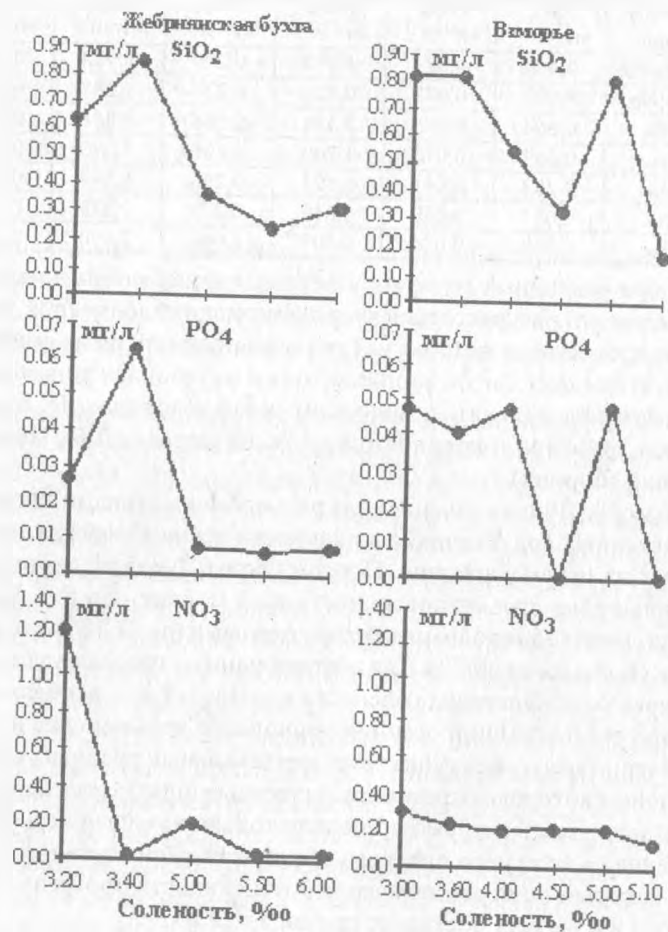


Рис. 3. Распределение гидрохимических показателей (SiO_2 , PO_4 и NO_3 (мг/л)) в зависимости от солености (‰) в весенний период в Жебриянской бухте и на взморье Дуная за период 1994-97 гг.

Динамика растворенного кислорода отражает развитие биопродукционных процессов на взморье. Максимальные значения кисло-

рода наблюдались здесь в летний период в поверхностном слое и достигали значений $14,4 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и насыщении 128,7%. В 1977-1984 гг. эти значения были выше - на отдельных участках взморья содержание кислорода достигало $14,3-20,0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ при насыщении 170-270%. Характерным процессом в придонном слое в период развития устойчивой летней температурной стратификации водных масс является резкое снижение кислорода в отсутствии условий перемешивания и нарушения диффузного обмена. Как правило, на взморье в придонном горизонте происходит накопление органических веществ аллохтонной и автохтонной природы, способствующее резкому снижению содержания кислорода. За последний период минимальная величина кислорода - $2,2 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и насыщении 21,2% были характерными для летнего периода. Ранее в 80-90-ые годы здесь отмечалась более глубокая гипоксия, при которой содержание кислорода снижалось до $1,0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и менее. Отмечались случаи появления сероводорода. В последние годы гипоксия на взморье фиксировалась в июне 1995г. на его мелководных участках. Однако к концу июля здесь отмечалось улучшение кислородного режима на участке до глубин 15 м. В то же время, на участках моря с глубинами свыше 15 м в условии температурной стратификации происходило дальнейшее развитие придонной гипоксии и содержание кислорода уменьшалось до $2,16 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ при 17,82% насыщения. В летний период 1996 г. кислородный режим в районе взморья характеризовался высокими, как абсолютными, так и относительными величинами - $9,81 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ при 119,10% насыщения в поверхностном слое и $6,61 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ при 69,80% насыщения в придонном слое. На всех участках взморья содержание кислорода было высоким по сравнению с предыдущими годами. Аналогичные процессы были характерны и для 1997 года.

Высокие значения pH в поверхностном слое до 9,31 при средней - 8,69 и в придонном слое - 8,86 при средней - 8,28 указывают, что на взморье протекают активные фотосинтетические процессы. При этом в период развития гипоксии величина pH в придонном слое достигала 7,39.

Динамика биогенных веществ определяется всеми процессами гидрологическими, гидрохимическими, биологическими, характерными для зон смешения речных и морских вод.

В период активного развития фотосинтетических процессов изменчивость концентраций биогенных веществ может находиться в прямой зави-

симости от их потребления. Диапазон колебаний величин для фосфатов составил 0-0,084 мг · л⁻¹ в поверхностном слое и 0-0,020 мг · л⁻¹ в придонном слое, соответственно средние значения 0,016 мг · л⁻¹ и 0,009 мг · л⁻¹.

Было установлено, что в вегетационный период в поверхностном слое взморья концентрация фосфатов снижается до минимальных значений, наблюдаемых в этом районе. Величины фосфатов, фиксируемые на взморье в последние годы, являются весьма низкими - в 3-4 раза ниже ранее наблюдаемых в 70-90-ые годы. В 1997г. в июне и в сентябре концентрация фосфатов 0,010 мг · л⁻¹ соответствовала 20 м изобате. Этот факт указывает, что в северо-западную часть моря снижено поступление фосфатов со стоком Дуная (табл. 4).

На взморье Дуная, так же как и в реке, отмечается резкое уменьшение концентраций фосфора органического. В 70-80-ые годы диапазон колебаний средних величин фосфора органического составлял 0,025-0,129 мг · л⁻¹ при среднем значении 0,077 мг · л⁻¹, в 1994-1997 гг. эти величины соответственно были 0-0,090 мг · л⁻¹ и 0,014 мг · л⁻¹. Снижение концентраций фосфора органического на взморье, также как и в дельте, вероятно, связано с его утилизацией фитопланктоном при недостатке минеральных форм.

Особенностью гидрохимических условий взморья Дуная является резкое снижение концентраций аммонийного азота. В последние годы, здесь в поверхностном слое их значения с 0,354 мг · л⁻¹ уменьшились до 0,020 мг · л⁻¹ в поверхностном слое, и в придонном с 0,320 до 0,043 мг · л⁻¹. Это может быть связано, как с ослаблением роли антропогенного фактора, так и с интенсификацией процессов, способствующих утилизации аммонийного азота. В поверхностном слое максимальная величина отмечалась в период половодья - 0,072 мг · л⁻¹. Ранее на взморье эти величины были 0,50-0,70 мг · л⁻¹, а в отдельные годы — 1,5 мг · л⁻¹. В придонном горизонте максимальные значения аммонийного азота (средняя величина - 0,198 мг · л⁻¹) наблюдались в период деструкции органических веществ. Кроме того, улучшение кислородного режима в придонном слое привело к уменьшению образования аммонийного азота за счет восстановительных процессов.

Среднее содержание нитритов в воде взморья так же, как и аммонийного азота, несколько снизилось по отношению к 80-90-ым годам. В поверхностном слое их концентрация изменялась от 0 до 0,044 мг · л⁻¹, средняя величина - 0,014 мг · л⁻¹, в придонном слое от 0 до 0,060 мг · л⁻¹, средняя величина - 0,007 мг · л⁻¹. В 80-ые годы предел колебаний концентраций нитритов в приустьевом взморье составлял 0,037-0,061 мг · л⁻¹ при средней 0,050 мг · л⁻¹.

Таблица 4 * Средние значения и диапазон колебаний гидрохимических показателей на взморье Дуная и в Жербянской бухте за период 1994-97гг.

Район	Горизонт	Диапазон	Т, °С	S, ‰	pH	O ₂		ПО	PO ₄	Рорг.	Рвал.
						мг/л	% нас.				
Взморье Дуная	Поверхность	мин.	—	3,00	8,03	5,20	68,81	3,73	0,000	0,000	0,002
		макс.	25,60	16,20	9,31	14,40	128,70	12,6	0,084	0,090	0,146
		средн.	17,36	10,08	8,60	9,36	97,98	5,79	0,016	0,015	0,031
	Дно	мин.	2,50	13,80	7,39	2,20	21,24	3,23	0,000	0,000	0,003
		макс.	21,20	18,10	8,86	12,20	101,20	8,99	0,029	0,061	0,071
		средн.	10,51	16,39	8,28	6,61	66,49	5,22	0,009	0,011	0,02
Жербянская бухта	Поверхность	мин.	2,40	0,50	7,46	4,80	59,15	3,12	0,000	0,000	0,004
		макс.	27,10	15,20	9,41	15,00	159,63	17,56	0,108	0,273	0,347
		средн.	16,11	8,42	8,57	10,32	107,21	6,87	0,029	0,030	0,059
	Дно	мин.	1,00	5,40	7,08	1,00	11,08	2,42	0,000	0,000	0,004
		макс.	24,60	17,50	8,96	13,90	115,99	58,58	0,139	0,105	0,164
		средн.	13,76	14,62	8,35	7,26	72,66	6,21	0,019	0,018	0,036

Таблица 4. (продолжение) Средние значения и диапазон колебаний гидрохимических показателей на взморье Дуная и в Жербянской бухте за период 1994-97гг.

Район	Горизонт	Диапазон	мг/л							Nвал.	SiO ₃	BB
			NH ₃	NO ₂	NO ₃	Nмши.	Норг.					
Взморье Дуная	Поверхность	мин.	0,006	0,000	0,001	0,012	0,108	0,211	0,076	0,00		
		макс.	0,072	0,044	0,728	0,759	15,946	15,96	1,676	200,0		
		средн.	0,020	0,014	0,136	0,170	1,889	2,060	0,544	34,25		
	Дно	мин.	0,000	0,000	0,000	0,009	0,027	0,178	0,076	0,00		
		макс.	0,198	0,060	0,160	0,261	5,936	6,107	0,962	280,0		
		средн.	0,043	0,007	0,029	0,077	1,063	1,141	0,532	30,45		
Жербянская бухта	Поверхность	мин.	0,003	0,001	0,002	0,008	0,012	0,177	0,104	0,00		
		макс.	0,108	0,201	1,501	1,663	13,941	14,345	4,658	270,0		
		средн.	0,030	0,029	0,190	0,250	1,709	1,960	0,934	41,00		
	Дно	мин.	0,002	0,000	0,000	0,007	0,063	0,101	0,206	0,00		
		макс.	0,275	0,046	0,725	0,765	14,686	14,733	1,312	154,0		
		средн.	0,055	0,006	0,053	0,114	1,369	1,484	0,626	38,39		

В последние годы преобладающей формой азота минерального на взморье в поверхностном слое были нитраты. Их средняя концентрация в поверхностном слое составляла 0,136 мг · л⁻¹ при максимальной концентрации 0,728 мг · л⁻¹, в придонном слое их средние концентрации составляли соответственно 0,029 мг · л⁻¹ и 0,160 мг · л⁻¹ (табл. 4). В 70-80-ые годы средняя концентрация нитратов на взморье составляла 0,610 мг · л⁻¹.

Основной формой азота, как и в предшествующие годы на взморье Дуная был азот органический (табл. 4). Его концентрации изменялись в больших пределах, особенно в поверхностном слое - 0,108-15,950 мг · л⁻¹. Максимальные значения азота органического на взморье являются экстремальными для морской воды, однако, как это было установлено в период экспедиционных работ, они не связаны с антропогенным фактором. Наблюдаемые при этом здесь низкие значения фосфатов - 0,001-0,017 мг · л⁻¹, азота аммонийного - 0,004-0,024 мг · л⁻¹ и высокие значения рН - 8,36-8,62 и насыщение воды кислородом более 100% свидетельствуют об активном развитии продукционных процессов на взморье. Такие концентрации азота органического отмечены для зон "цветения". Результаты исследований на взморье Дуная и в дельте свидетельствуют, что в последние годы отмечается тенденция к увеличению концентраций азота органического от 0,500 мг · л⁻¹ (70-80-ые годы) до 1,890 мг · л⁻¹ (90-ые годы).

Содержание кремния и динамика его величин на взморье является отражением процессов (адсорбция на взвеси) в зоне смешения речных и морских вод. Существенную роль играют биологические процессы - особенно вегетация диатомового фитопланктона. Отмеченное, в последние годы, снижение концентраций кремния в воде Дуная (табл. 1) привело и к снижению их концентраций на взморье. Диапазон колебаний величин кремния значителен и составляет 0,076-1,676 мг · л⁻¹ в поверхностном слое и 0,076-0,962 мг · л⁻¹ в придонном (табл. 4).

Одним из показателей органического вещества, оказывающих влияние на содержание кислорода в придонном слое, является перманганатная окисляемость (ПО). Активизация продукционных процессов в низовье Дуная, связанная с уменьшением в воде количества взвешенных веществ, способствовала увеличению автохтонного органического вещества.

Анализ данных по устьевому взморью показал, что динамика величин ПО находилась в прямой зависимости от объема речного сто-

ка. Максимальные концентрации - $12,6 \text{ мг} \cdot \text{О} \cdot \text{л}^{-1}$ в поверхностном слое и $8,99 \text{ мг} \cdot \text{О} \cdot \text{л}^{-1}$ в придонном слое и были характерны для периода весеннего паводка (табл. 4). Минимальные концентрации отмечались в осенне-зимний период - $4,03 \text{ мг} \cdot \text{О} \cdot \text{л}^{-1}$ для поверхностного слоя и $3,23 \text{ мг} \cdot \text{О} \cdot \text{л}^{-1}$ для придонного слоя при максимальных значениях солености.

Таким образом, анализ многолетних данных показал, что концентрация биогенных веществ на приустьевом взморье Дуная по отношению к предыдущим годам уменьшается. Особенно резко сократилось количество аммонийного азота, фосфатов, кремния, отмечается тенденция к уменьшению содержания нитратов. Кроме того, установлено, что на взморье в зоне смешения речных и морских вод происходит значительная потеря биогенных веществ, поступаемых в море с речным стоком, в результате процессов седиментации на взвеси.

ЖЕБРИЯНСКАЯ БУХТА

Жебриянская бухта расположена к северу от рукава Прорва и имеет площадь морского дна 120 км^2 , средняя глубина до 8 м, объем воды $0,96 \text{ км}^3$. Постоянным источником пресных вод в бухту являются воды, поступающие из Белгородского рукава. Его сток составлял 0,2 % от стока Килийского рукава Дуная, что по объему равно $0,22-0,50 \text{ км}^3/\text{год}$ в зависимости от водности Дуная. Белгородский рукав считается отмирающим. Воды Белгородского рукава поступают в наиболее мелководную часть бухты, отделенную от остальной ее части косами и его влияние на гидрохимический режим бухты является незначительным (Гидрология, 1963).

Сток из рукава Прорва, который составляет 13,3 % от стока Килийского рукава Дуная поступает в Жебриянскую бухту периодически. Это происходит при сильных (более $8 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$) южных и юго-восточных ветрах. Повторяемость таких ветров около 50 % в год и приходится, в основном, на весенний период - половодье. При штилевой ситуации и ветрах северных румбов на гидролого-гидрохимический режим бухты оказывает ветвь морского вдольберегового течения юго-западного направления. Благодаря этому, более соленые воды из открытой северо-западной части моря поступают в бухту. Система течений в бухте образует несколько мелкомасштабных циклонических круговоротов, способствующих накоплению аллохтонных и автохтонных веществ, как в воде, так и в донных отложениях.

В связи со строительством порта Усть-Дунайск, для удобства судоходства в 80-е годы был прорыт Соединительный канал между рукавом Прорва и Жебриянской бухтой, расход его составляет $40-150 \text{ м}^3/\text{сек}$, это $1,49-2,00 \text{ км}^3/\text{год}$. Соединительный канал обеспечивает постоянное поступление дунайских вод в бухту, что привело к развитию здесь условий характерных для устьевых зон моря. Таким образом, Жебриянская бухта из морского залива, с морской флорой и фауной, была искусственно преобразована в участок приустьевого взморья Дуная. Здесь активно протекают процессы, характерные для зон смешения речных и морских вод, которые вызвали изменение структуры вод. Поступление в бухту речных вод через канал, насыщенных солями азота и фосфора, усилило здесь развитие эвтрофирования, способствовало ухудшению гидрохимических условий (Воробьева и др., 1995).

Строительство порта и его функционирование усилило антропогенное воздействие на этот район. Однако проведенные исследования (1988-1995 гг.) показали, что оценить влияние порта на экосистему Жебриянской бухты весьма сложно. Это связано с тем, что порт находится в зоне смешения морских и речных вод, в зоне так называемой "лавиной седиментации". Было установлено, что поступление различных минеральных и органических веществ, в том числе фосфатов и железа, с водами Дуная в бухту на много превышает их поступление за счет функционирования порта.

В связи с тем, что Жебриянская бухта в настоящий момент постоянно находится под воздействием речных вод, динамика гидрохимических показателей определяется процессами характерными для взморья Дуная. Среднегодовое колебание колебаний гидрохимических показателей представлена в таблице 4.

Колебания величин солености в поверхностном слое бухты всегда очень значительны - $0,5-15,20 \text{ ‰}$ в поверхностном слое и $5,4-17,5 \text{ ‰}$ в придонном слое бухты (табл. 4).

Содержание кислорода в воде бухты изменяется также в больших пределах от $4,8-15,0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ при $59,15-159,63 \text{ ‰}$ насыщения в поверхностном слое и $1,4-13,9 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ при $16,78-115,99 \text{ ‰}$ насыщения в придонном слое (табл. 4).

В поверхностном слое величины рН - 9,41 (максимальная) и 8,57 (среднее значение) близки к таковым для взморья Дуная. Значения рН придонного слоя бухты также близки к величинам, характерным для взморья Дуная (табл. 4).

Анализ материалов по динамике биогенных веществ (табл. 4) показал, что средние величины фосфатов, аммонийного азота, нитритов, нитратов, кремния в поверхностном и придонном слоях бухты выше в 1,5-2 раза, чем на взморье Дуная. Аналогичная тенденция отмечается и для фосфора органического и ПО. Концентрации азота органического в поверхностном слое бухты - $1,71 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ (поверхностный слой) соответствуют концентрациям на взморье - $1,89 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, однако в придонном слое отмечены значительные различия. Максимальная концентрация азота органического на дне в бухте составляет $14,68 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, что в 4 раза выше таковой для взморья. Средние значения для этого слоя также весьма отличаются - $1,37 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ в Жебриянской бухте и $1,06 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ на взморье.

Орография берегов Жебриянской бухты и особенности формирования гидрологических условий (наличие циклонических круговоротов) (Алмазов, 1962) создают условия для сохранения растворенных и взвешенных веществ, как аллохтонных, так и автохтонных в воде бухты и способствуют их накоплению, как в воде так и в донных отложениях.

Жебриянская бухта относится к гиперэвтрофным районам СЗЧМ. Здесь постоянно отмечалось "цветение" воды, в результате чего в придонном горизонте накапливалось органическое вещество. В условиях стратификации водных масс в летний период, а иногда и в осенний развивалась гипоксия, в отдельные периоды во всем придонном слое фиксировался сероводород, с концентрацией до $2,0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$.

В последние годы отмечена тенденция к улучшению газового режима бухты и особенно ее придонного слоя. Процент насыщения кислородом для всей водной толщи бухты увеличился более чем в два раза, от 40,5 % в 1988-1991 гг. до 85,88 % в 1997 г. (табл. 5).

Сезонная динамика гидрохимических параметров в Жебриянской бухте представлена за период с сентября 1994 г. по октябрь 1997 г. по средним значениям на рис. 4, 5, 6, а минимальные и максимальные значения величин за этот же период представлены в таблицах 6 и 7.

Динамика сезонных значений температуры воды в Жебриянской бухте в поверхностном и придонном слоях указывает на гомотермию в зимний и осенний периоды и на наличие стратификации водных масс в весенне-летний период, перепад температур составлял $5-7^\circ\text{C}$.

Колебания величин солености в сезонном аспекте в поверхностном слое были очень значительными от 0,5 до 15,2 ‰, в придонном слое от 5,4 до 17,5 ‰. Градиент солености между поверхностным и

придонным слоем составляет 3-8 ‰. Гомогалинность отмечалась только в условиях или слабого влияния пресноводного стока или при отсутствии его поступления в бухту.

Содержание кислорода в воде бухты в разные сезоны колебалось в больших пределах. В поверхностном слое - в пределах от 53,6 до 159,6 ‰, в придонном слое воды эти колебания выражены сильнее - от 11,1 ‰ до 115,9 ‰. Развитие гипоксии в придонном слое бухты происходило с конца мая и до августа на станциях 651, 652, 653, 657 (рис. 1), которые испытывают наибольшее влияние пресноводного стока. Здесь в поверхностном слое активно протекают фотосинтетические процессы, образуется автохтонное органическое вещество. В район этих станций с речным стоком выносятся аллохтонное органическое вещество. Осаждение этих веществ в придонный слой, в условиях стратификации водных масс в летний период, приводит к нарушению газового режима, образованию гипоксии. Осенью, благодаря штормам и ветровому перемешиванию, происходит разрушение слоя скачка. Это способствует насыщению водных масс кислородом, улучшению газового режима.

Таблица 5. Многолетняя динамика гидрохимических показателей Жебриянской бухты в летний период за 1988-1997 гг.

Ингредиент	1988-1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Соленость, ‰	12,11	15,23	16,56	12,90	12,30	14,70	11,82
Кислород, $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$	5,61	6,32	8,99	7,41	6,31	8,21	8,42
Кислород, %нас.	40,50	62,05	91,70	92,45	76,81	97,10	85,88
Рмин., $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$	0,081	0,012	0,009	0,011	0,016	0,007	0,022
Рорг. «-»	0,068	0,016	0,025	0,018	0,015	0,015	0,018
Рвал. «-»	0,149	0,028	0,038	0,029	0,031	0,022	0,039
Нмин «-»	0,845	0,182	0,105	0,103	0,100	0,066	0,114
Норг. «-»	3,121	0,565	0,600	0,610	1,826	0,415	1,114
Нвал. «-»	3,798	0,747	0,705	0,713	1,930	0,481	1,214
Si, «-»	1,658	0,156	0,224	0,694	0,479	0,506	0,585

Сезонная динамика величин рН (рис. 4) в поверхностном слое соответствует развитию продукционных процессов, от зимы к лету отмечается ее увеличение, а затем происходит уменьшение к осени. Максимальные значения рН весной (табл. 6) достигают 9,09, а летом - 9,41, и являются показателем "цветения". В придонном слое бухты наибо-

лее низкие значения рН отмечаются в весенний период, минимальные значения - 7,41. Летом значения рН в придонном слое возрастают и на отдельных участках достигают величин 8,96. В осенний период во всей водной толще отмечается снижение величин рН до 7,08-8,31 (табл. 6).

Сезонная динамика содержания взвешенных веществ в Жебриянской бухте весьма сложна и определяется влиянием, как речных вод, так и развитием биопродукционных процессов (рис. 4). Резкое снижение количества взвешенных веществ в весенний период во всей водной толще бухты, по-видимому, можно объяснить процессами седиментации в период половодья при смешении речных и морских вод. В период половодья практически весь поверхностный слой бухты занят трансформированной речной водой. Диапазон колебаний солености составляет 3,2-9,5‰. Такая соленость соответствует зонам смешения, и поэтому здесь протекают процессы характерные для этой зоны. Известно, что в этих зонах происходит осаждение до 60 % взвешенного вещества (Артемьев, 1983; Гордеев, 1983; Айзатулин и др., 1984;). Потеря взвешенного вещества в зоне смешения в воде Жебриянской бухты в весенний период составляет около 70 %. Эта величина близка к аналогичным данным указанных авторов.

Содержание взвешенных веществ в летний период увеличивается как в поверхностном, так и в придонном слое до 60 мг · л⁻¹ за счет развития фитопланктона (см. Д.А. Нестерова, настоящий сборник). Кроме того, это повышение согласуется с увеличением взвешенных веществ в воде Дуная в летний период. К осени содержание взвеси во всей водной толще уменьшается, как за счет снижения их концентраций в речном стоке, так и в результате снижения активности фотосинтетических процессов.

Сезонная динамика биогенных веществ в Жебриянской бухте зависит от их поступления с речным стоком и жизнедеятельностью водных организмов, которые утилизируют эти вещества. Не исключается влияние тех же процессов, которые характерны для открытого участка взморья Дуная, особенно седиментация веществ на взвеси и аккумуляция их в донных осадках.

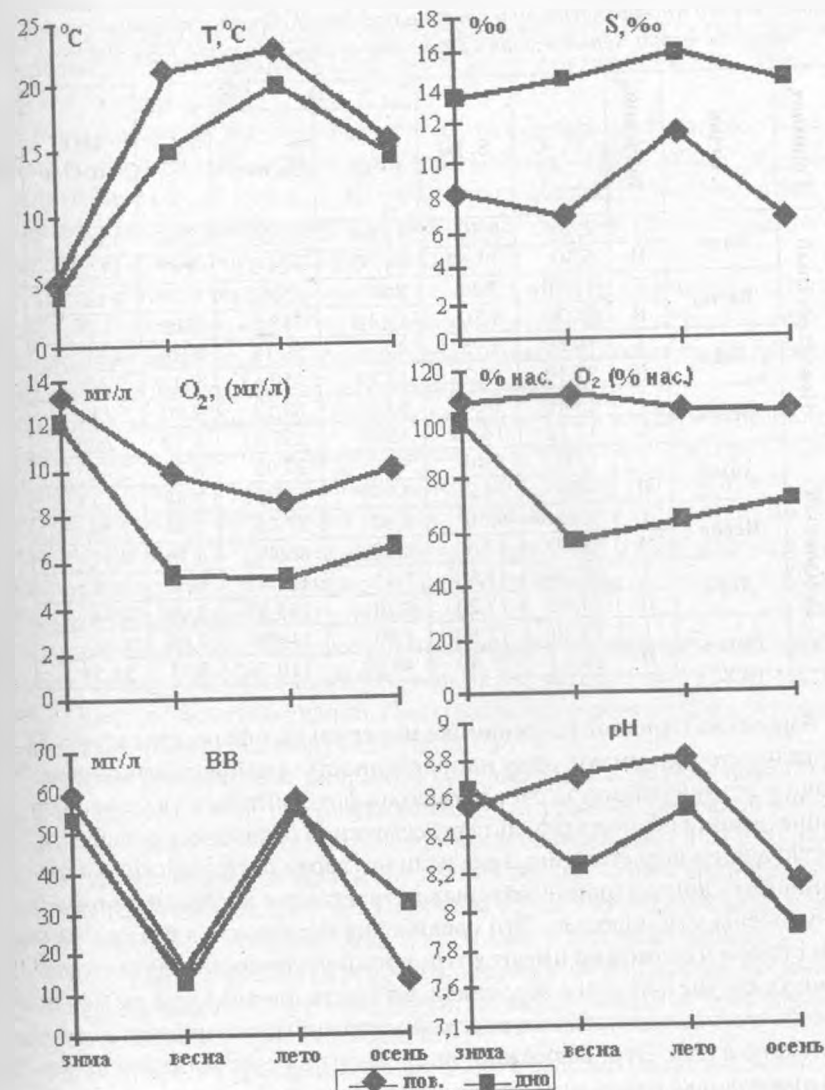


Рис. 4. Сезонная динамика температуры (°C), солености ‰, кислорода (мг/л и % насыщения) взвешенного вещества (мг/л) и рН в поверхностном и придонном слоях Жебриянской бухты северо-западной части Черного моря за период 1994-1997 гг.

Таблица 6. Минимальные (I) максимальные (II) значения гидрохимических показателей в поверхностном и придонном слоях Жебриянской бухты северо-западной части Черного моря в различные сезоны за период 1994-1997 гг.

Горизонт	Сезон	Значения	T, °C	S, ‰	O ₂		pH	ПО, мг O ₂ /л
					мг/л	% нас.		
Поверхностный	Зима	I	2,40	0,50	11,00	93,23	7,46	3,62
		II	6,30	14,50	14,60	121,52	8,87	13,32
	Весна	I	17,70	3,20	8,00	85,62	7,75	3,12
		II	24,30	9,50	12,10	138,84	9,09	17,56
	Лето	I	19,80	4,95	4,80	59,15	8,39	4,21
		II	27,10	15,20	12,20	159,63	9,41	9,30
	Осень	I	13,80	1,00	8,60	88,13	7,80	5,08
		II	17,10	14,50	15,00	153,63	8,73	12,25
Придонный	Зима	I	1,00	5,40	9,00	79,95	8,24	2,42
		II	6,60	16,20	13,90	113,01	8,84	13,15
	Весна	I	9,40	9,50	2,60	27,15	7,41	2,58
		II	21,60	17,50	8,30	85,89	8,79	8,91
	Лето	I	12,20	13,80	1,40	16,78	8,01	3,72
		II	24,60	17,20	8,70	115,99	8,96	8,04
	Осень	I	13,20	12,50	1,00	11,08	7,08	4,38
		II	16,10	15,40	10,00	110,76	8,31	58,58

Анализ материалов по динамике минеральных форм азота (рис. 5) показал, что они имеют одну направленность: уменьшение концентраций в летний период за счет процессов фотосинтеза и увеличение в осенне-зимний период в результате деструкции органических веществ. Исключением является динамика величин азота органического и аммонийного, концентрации которых возрастают в весенний период и приурочены к половодью. Эти соединения поступают в бухту с речным стоком и возможно имеют антропогенную природу. Однако возможно наличие и другого источника. Близость плавней дельты может способствовать повышению в воде концентраций аммонийного и органического азота. Это, возможно, происходит за счет вымывания водой при паводке из плавней продуктов деструкции водной растительности (Смирнова, 1987), накопившихся за прошедший год, экскрементов птиц, количество которых здесь весьма значительно (Зайцев, Прокопенко, 1989).

В последние годы, как и в предыдущие, основной формой азота в бухте является азот органический. Четко просматривается тенденция к увеличению его концентраций как в воде, поступающей из Дуная, так и в бухте (табл. 5).

Максимальные значения величин азота в поверхностном слое Жебриянской бухты отмечались в осенний период - 13,94 мг · л⁻¹, в придонном слое - 14,69 мг · л⁻¹ в летний период. Характерной особенностью сезонной динамики содержания азота органического было значительное колебание этих величин (табл. 7).

Анализ многолетней динамики соединений азота в летний период (табл. 5) указывает, что произошло уменьшение концентраций минеральных форм азота в 90-е годы по сравнению с 80-ми годами, за счет снижения концентраций азота аммонийного.

Сезонная динамика содержания фосфора, как и азота, в основном, определялась развитием продукционных процессов. Максимальные значения были характерны для зимнего и осеннего периодов, в период вегетации фитопланктона их величины снижались до минимальных значений (рис. 6). Концентрации минерального и органического фосфора в воде бухты были почти равны, что свидетельствует о быстрой его оборачиваемости в экосистеме.

Диапазон колебаний значений минерального и органического фосфора в поверхностном слое бухты весьма значителен - 0-0,108 мг · л⁻¹ и 0-0,273 мг · л⁻¹, соответственно. Для придонного слоя бухты эти колебания менее значительны (рис. 6, табл. 7).

Анализ многолетней динамики содержания фосфатов (табл. 5) в летний период в воде бухты указывает, что уровень фосфатов в 90-е годы снизился в 4-10 раз по сравнению с их значениями в 80-е годы.

Сезонная динамика величин кремния весьма схожа с динамикой соединений фосфора (рис. 6). Наиболее низкие концентрации кремния отмечались в Жебриянской бухте в зимне-весенний период.

Это, вероятно, связано с тем, что основным потребителем кремния является диатомовый фитопланктон, доминирующий в "холодный" период (Планктон Черного моря, 1993).

Кроме того, в период половодья было отмечено снижение концентраций кремния в бухте - до 50 %, что, возможно, связано с его потерей в зоне смешения морских и речных вод, из них 30 % - относится за счет процессов седиментации и 20 % - биологическое удаление (Гордеев, 1983).

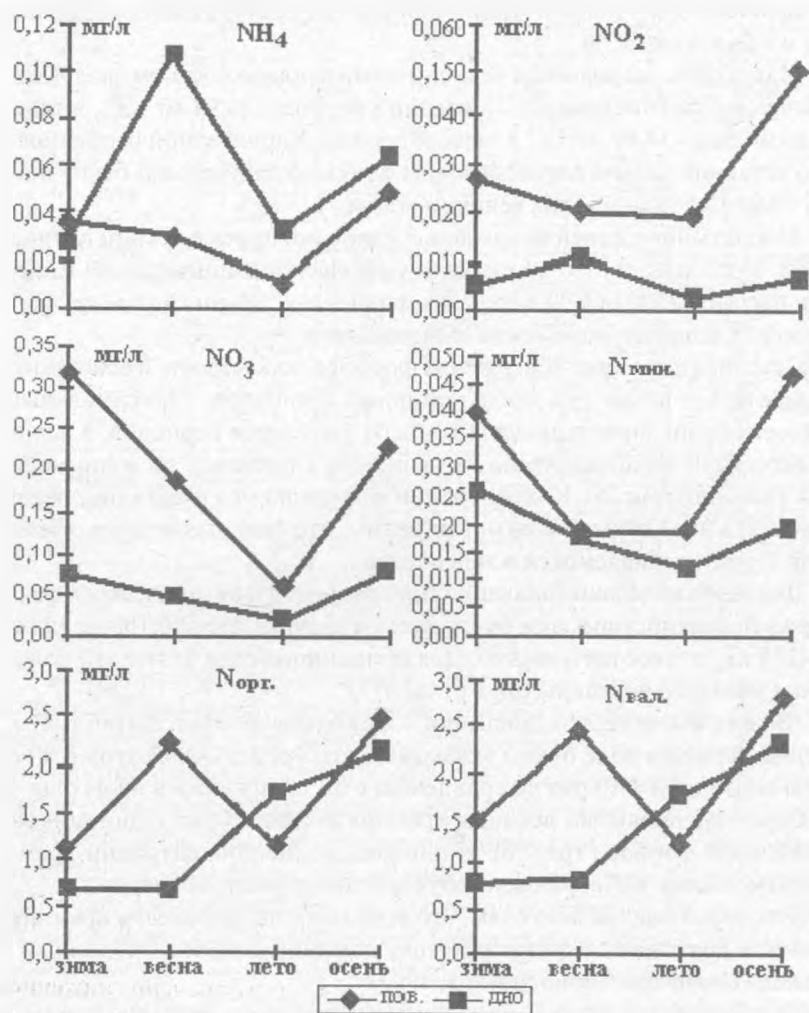


Рис. 5. Сезонная динамика аммонийного азота, нитритов, нитратов, минерального, органического и валового азота (мг/л), в поверхностном и придонном слоях Жебрианской бухты северо-западной части Черного моря за период 1994-1997 гг.

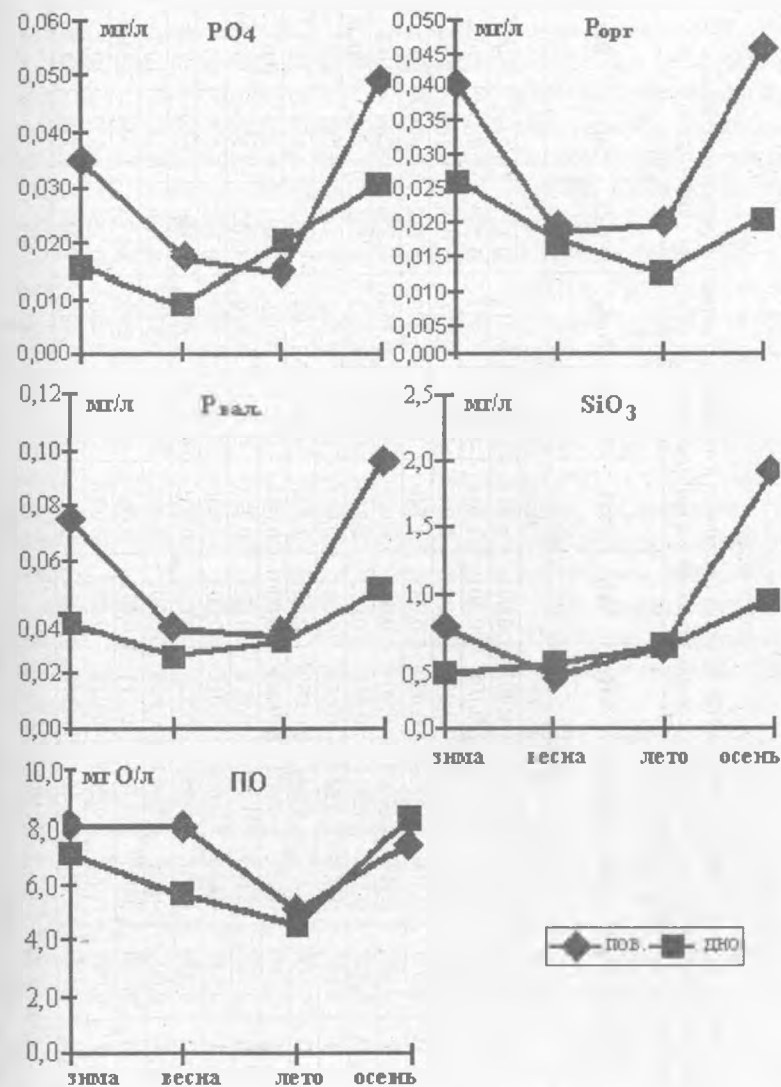


Рис. 6. Сезонная динамика форм фосфора (мг/л): фосфатов, органического и валового, кремния (мг/л) и перманганатной окисляемости (мг О/л) в поверхностном и придонном слоях Жебрианской бухты северо-западной части Черного моря за период 1994-1997гг.

Таблица 7. Минимальные (I) максимальные (II) значения биогенных и взвешенных веществ в поверхностном и придонном слоях Жебриянской бухты северо-западной части Черного моря за период 1994-1997 гг.

Горизонт	Сезон	Значение	PO ₄	Pорг.	Pвал.	NH ₃	NO ₂	NO ₃	Nмин.	Nорг.	Nвал.	SiO ₂	BB
Поверхностный	Зима	I	0,005	0,000	0,006	0,003	0,001	0,013	0,017	0,012	0,177	0,241	0,0
		II	0,107	0,205	0,278	0,108	0,201	1,244	1,363	3,951	4,739	1,760	270,0
	Весна	I	0,000	0,000	0,008	0,011	0,005	0,002	0,027	0,936	1,018	0,104	8,4
		II	0,071	0,100	0,103	0,080	0,033	1,246	1,304	5,072	5,132	0,866	29,2
	Лето	I	0,002	0,000	0,004	0,004	0,001	0,003	0,008	0,164	0,256	0,289	10,2
		II	0,072	0,125	0,131	0,028	0,072	0,264	0,302	6,212	6,331	1,470	188,0
	Осень	I	0,007	0,000	0,010	0,019	0,001	0,011	0,045	0,200	0,248	0,261	6,2
		II	0,108	0,273	0,347	0,080	0,121	1,501	1,663	13,94	14,35	4,658	22,7
Придонный	Зима	I	0,000	0,001	0,004	0,002	0,000	0,004	0,007	0,088	0,101	0,206	0,0
		II	0,107	0,105	0,140	0,072	0,023	0,725	0,765	3,920	4,027	1,195	133,0
	Весна	I	0,001	0,000	0,004	0,010	0,003	0,000	0,030	0,063	0,332	0,229	7,1
		II	0,026	0,048	0,053	0,275	0,046	0,225	0,321	1,837	2,126	0,639	34,15
	Лето	I	0,001	0,000	0,005	0,003	0,001	0,002	0,016	0,137	0,236	0,247	10,7
		II	0,110	0,027	0,124	0,111	0,012	0,061	0,155	14,69	14,73	1,044	154,0
	Осень	I	0,003	0,001	0,005	0,029	0,002	0,003	0,056	0,470	0,754	0,337	10,7
		II	0,139	0,051	0,164	0,256	0,020	0,226	0,281	7,692	7,949	1,312	74,3

Сезонная динамика лабильных органических веществ (по перманганатной окисляемости, ПО, мг О · л⁻¹) определяется как поступлением аллохтонного органического вещества в бухту, так и созданием автохтонного органического вещества за счет развития фитопланктона. Высокие концентрации ПО в весенний период в воде бухты, так же как и аммонийного и органического азота, возможно, связаны с выносом из плавней дельты продуктов распада высшей водной растительности (Смирнова, 1987; Енаки, Журавлева, 1993).

Для летнего периода характерно снижение концентраций ПО как в поверхностном, так и в придонном слое почти в 2 раза до уровня среднееголетних величин - 4.5-5.5 мг О · л⁻¹, характерных для придунайского района в 80-90-ые годы. Уменьшение концентраций ПО в летний период обусловлено высокими температурами воды в это время, благодаря чему происходит быстрая минерализация лабильных органических веществ. Значительная часть органических веществ, сорбируясь на взвеси, в том числе и на отмерших клетках фитопланктона, переходит в донные отложения. Не исключается их частичная утилизация организмами-фильтраторами: зоопланктоном в пелагиали и бентосом - в бентали. Осенью в результате деструкции взвешенных органических веществ в плавнях дельты может увеличиваться поступление растворенных органических веществ (ПО) с речными водами. В самой бухте также происходит увеличение ПО, как в поверхностном, так и в придонном слоях.

При сопоставлении данных по сезонной динамике некоторых гидрологических и гидрохимических показателей взморья Дуная и Жебриянской бухты (рис. 7, 8) было установлено, что направленность процессов, протекающих здесь в целом идентична.

Результаты многолетних наблюдений и анализ материалов по содержанию биогенных веществ (табл. 4) показали, что средние значения фосфатов и фосфора органического, аммонийного азота, нитритов, нитратов, кремния и ПО (мг О · л⁻¹) в поверхностном и придонном слоях бухты выше в 1,5-2 раза, чем на взморье Дуная.

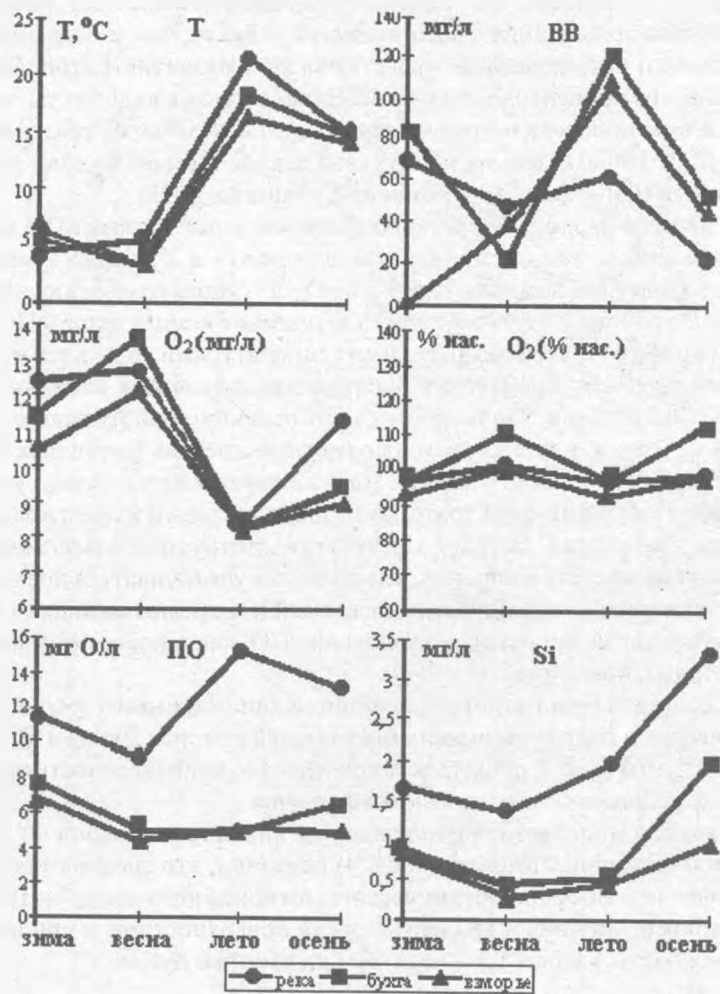


Рис. 7. Сравнительная характеристика сезонной динамики температуры ($T, ^\circ\text{C}$), взвешенного вещества (мг/л), кислорода (мг/л и % нас.), перманганатной окисляемости (мг О/л) и кремния (мг/л) в дельте Дуная (река), Жебриянской бухте и взморье в 1996 году.

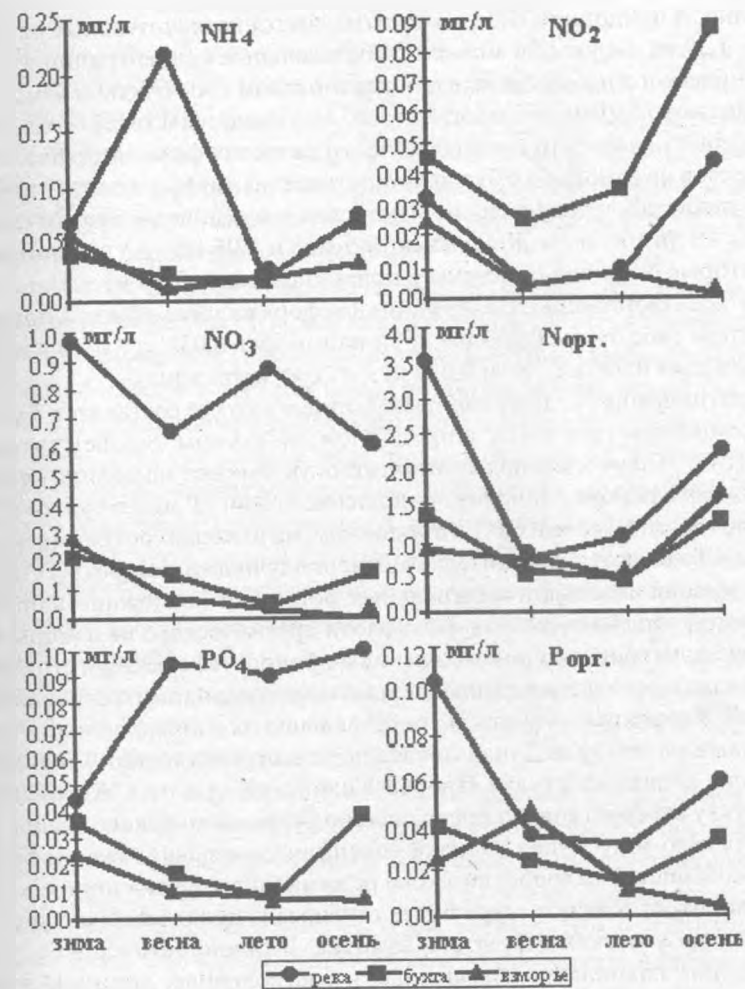


Рис. 8. Сравнительная характеристика сезонной динамики форм азота (мг/л): аммонийного, нитритов, нитратов и органического, форм фосфора (мг/л): фосфатов и органического в дельте Дуная (река), Жебриянской бухте и взморье в 1996 году.

Концентрации азота органического в поверхностном слое бухты и на взморье близки по значениям - $1,71 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и $1,90 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ соответственно. В придонном слое также отмечаются незначительные различия - $1,37 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и $1,06 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Максимальные концентрации азота органического наблюдаемые в поверхностном слое бухты и взморья составляют $13,91 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и $15,95 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, что свидетельствует об одинаковой обеспеченности и интенсивности развития фотосинтетических процессов на взморье и в бухте. Сопоставление данных по азоту валовому показало, что в поверхностном слое эти величины практически равны - $1,96 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ в Жебриянской бухте и $2,06 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ на взморье. Некоторые различия отмечены в придонном слое - $1,48 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и $1,14 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, соответственно. Содержание фосфора валового было в поверхностном слое бухты $0,059 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и на взморье $0,031 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и в придонном слое $0,036 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и $0,020 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ соответственно.

Соотношение N : P по валовым формам в бухте составляет 33:1 в поверхностном слое и 41:1 в придонном, на взморье соответственно 66:1 и 57:1. Такие значения соотношений указывают на дефицит фосфора в этом районе. Однако соотношение N мин : P мин в бухте 8,6:1 в поверхностном слое и 6,0:1 в придонном, на взморье соответственно 10:1 и 4:1 являются относительно благополучными. Несоответствие соотношений валовых и минеральных форм дает возможность предположить, что значительная часть азота органического на взморье и в бухте аллохтонного происхождения и приносится с речным стоком.

Анализ многолетних данных по динамике гидрохимических показателей Жебриянской бухты и сопоставление их с аналогичными величинами на взморье Дуная показали, что строительство Соединительного канала из рукава Прорва Килийской дельты в Жебриянскую бухту способствовало превращению бухты из морского залива в приустьевую зону Дуная. Однако специфическое расположение бухты и особенности гидрологического режима (наличие циклонических круговоротов) создают здесь более сложные гидрохимические условия, чем на участках открытого взморья. В придонном слое бухты происходит накопление взвешенных и растворенных органических веществ, как аллохтонной, так и автохтонной природы. Благодаря циклоническим круговоротам они не выносятся за пределы бухты и пополняют запасы органических и минеральных веществ в донных отложениях.

ИЛОВЫЕ ВОДЫ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЗМОРЬЯ ДУНАЯ И ЖЕБРИЯНСКОЙ БУХТЫ

Химический состав поровых вод донных отложений отражает процессы, которые протекают в водной толще (Мартынова, 1981, 1988; Александрова, 1989). Одним из основных процессов, определяющих состав поровых вод взморья Дуная и Жебриянской бухты, является седиментация взвешенных и адсорбция на них минеральных и органических растворенных веществ в зоне трансформации речных и морских вод при малой солености (1-5‰).

Сравнительная характеристика иловых вод донных отложений взморья Дуная и Жебриянской бухты за период 1994-1997 гг. (табл. 8) показала, что содержание органических веществ (ПО), азота и фосфора органических, фосфатов и кремния в воде бухты выше, чем на взморье.

Концентрации минеральных форм азота различаются незначительно. В 1994-1995 гг. в иловой воде донных отложений Жебриянской бухты отмечались самые высокие концентрации минеральных и органических соединений азота, фосфора, кремния, ПО (табл. 8). Это было связано с тем, что в летний период 1994-1995 гг. во всем придонном слое Жебриянской бухты наблюдалась гипоксия, вызвавшая массовые заморы донных организмов (И.А. Синегуб, настоящий сборник). Продукты распада донных организмов и явились причиной столь высоких концентраций: аммонийного азота $5,38 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, органического азота - $26,40 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, ПО - $115,87 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, фосфатов - $3,59 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, кремния - $17,79 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ (табл. 8).

В 1996-1997 гг. на взморье Дуная и в Жебриянской бухте отмечается тенденция улучшения газового режима в придонном слое, что, вероятно, способствовало уменьшению в иловых водах донных отложений минеральных и органических соединений азота, фосфора (табл. 8). Аналогичный процесс отмечен и для величин ПО, с небольшими отклонениями. Это явление характерно и для соединений кремния. С целью определения направленности развития процессов в донных отложениях были проанализированы многолетние данные по динамике гидрохимических показателей за период 1979-1992 гг. и 1994-1997 гг. На рис. 9 представлены сравнительные величины различных форм азота за период 1979-1992 гг. и 1994-1997 гг. в Жебриянской бухте и на взморье.

Таблица 8. Сравнительная характеристика иловых вод донных отложений взморья Дуная и Жебриянской бухты за период 1979-1992 гг. и 1994-1997 гг.

Год	ПО	NH ₄	NO ₂	NO ₃	Норг.	PO ₄	Рорг.	Si
	мг · л ⁻¹							
Взморье Дуная								
Среднее, 1979-92	52,41	3,19	0,03	0,47	2,83	0,76	0,78	9,18
1995	48,17	4,18	0,005	0,17	8,79	0,13	0,10	4,37
1996	62,62	1,04	0,032	0,25	7,38	0,19	0,07	5,82
1997	24,30	4,15	0,041	0,10	5,32	0,12	0,11	4,73
Среднее, 1994-97	45,03	3,12	0,026	0,17	7,16	0,14	0,10	4,97
Жебриянская бухта								
Среднее, 1979-92	42,50	4,30	0,080	0,52	7,44	0,48	0,38	13,36
1994	—	1,18	0,009	0,13	8,82	3,59	3,25	17,79
1995	115,87	5,38	0,006	0,24	56,40	0,61	0,95	5,31
1996	55,41	1,71	0,032	0,21	19,12	0,26	0,20	8,91
1997	36,36	2,48	0,031	0,16	10,93	0,84	0,21	4,32
Среднее, 1994-97	69,21	2,69	0,020	0,19	16,32	1,33	1,17	9,08

Установлено, что концентрация аммонийного азота в бухте снизилась с 4,30 до 2,69 мг · л⁻¹, на взморье - почти без изменений 3,19 и 3,12 мг · л⁻¹; для нитритов отмечено в бухте снижение содержания с 0,08 до 0,02 мг · л⁻¹, на взморье - 0,030 мг · л⁻¹ и 0,026 мг · л⁻¹. Более значительные изменения происходили с нитратами, их содержание в бухте снизилось с 0,521 мг · л⁻¹ до 0,190 мг · л⁻¹ и с 0,470 мг · л⁻¹ до 0,170 мг · л⁻¹ на взморье Дуная.

Совершенно иная динамика была характерна для азота органического. Отмечено увеличение концентраций в бухте с 7,44 до 16,32 мг · л⁻¹ и на взморье с 2,83 до 7,16 мг · л⁻¹.

На рис. 10 представлена сравнительная динамика фосфора, кремния и перманганатной окисляемости (ПО). За период с 1979-1991гг. по 1994-1997гг. в иловых водах донных отложений бухты отмечено увеличение фосфатов с 0,48 мг · л⁻¹ до 1,33 мг · л⁻¹, а на взморье - снижение концентраций с 0,76 до 0,14 мг · л⁻¹.

Характерной особенностью динамики фосфора органического, также как и азота, является увеличение его содержания в донных отложениях бухты с 0,38 до 1,17 мг · л⁻¹, а на взморье происходит резкое уменьшение его количества с 0,78 до 0,10 мг · л⁻¹.

Концентрация кремния и ее динамика в иловой воде донных отложений, как в бухте, так и на взморье свидетельствует о снижении величин - с 13,36 до 9,08 мг · л⁻¹ и с 9,18 до 4,97 мг · л⁻¹ соответственно (рис. 10).

Содержание растворенных органических веществ (по ПО) в иловой воде донных отложений бухты изменялось от 42,5 до 69,21 мг О · л⁻¹, при этом на взморье отмечалось снижение ПО с 52,41 до 45,03 мг О · л⁻¹, в целом значения этих величин были близкими.

Сравнительный анализ гидрохимических показателей иловых вод донных отложений Жебриянской бухты и взморья показал, что, несмотря на то, что оба приустьевых участка моря, находятся под влиянием речных вод, содержание в них азота, фосфора, кремния и величин ПО различно.

В иловых водах донных отложений бухты по сравнению с взморьем отмечены более высокие концентрации перечисленных выше соединений. Сравнительная характеристика иловых вод донных отложений бухты и взморья показала, что для них в последние годы отмечается общая тенденция - уменьшение минеральных соединений азота, фосфора и кремния и увеличение азота органического.

Содержание азота, фосфора и кремния в донных отложениях следует рассматривать, как депо биогенных веществ в исследуемом районе.

Они могут служить дополнительным источником азота, фосфора и кремния и в период гипоксии и развития восстановительных условий в придонном слое могут усиливать процессы эвтрофирования во всем придунайском районе

Заключение

Анализ многолетних наблюдений и сопоставление их с материалами экспедиций в устьевую зону и приустьевое взморье Дуная, выполняемых ОФ Ин БЮМ на протяжении 20 лет (Garkavaya et al., 1997), показали, что вследствие развития, как природных, так и антропогенных факторов здесь произошли значительные изменения.

- в устьевой зоне Дуная уменьшилось содержание взвешенных веществ;

- увеличился нижний предел колебаний гидрохимических показателей - % насыщение кислорода, величина рН, концентраций нитратов, кремния, азота органического;

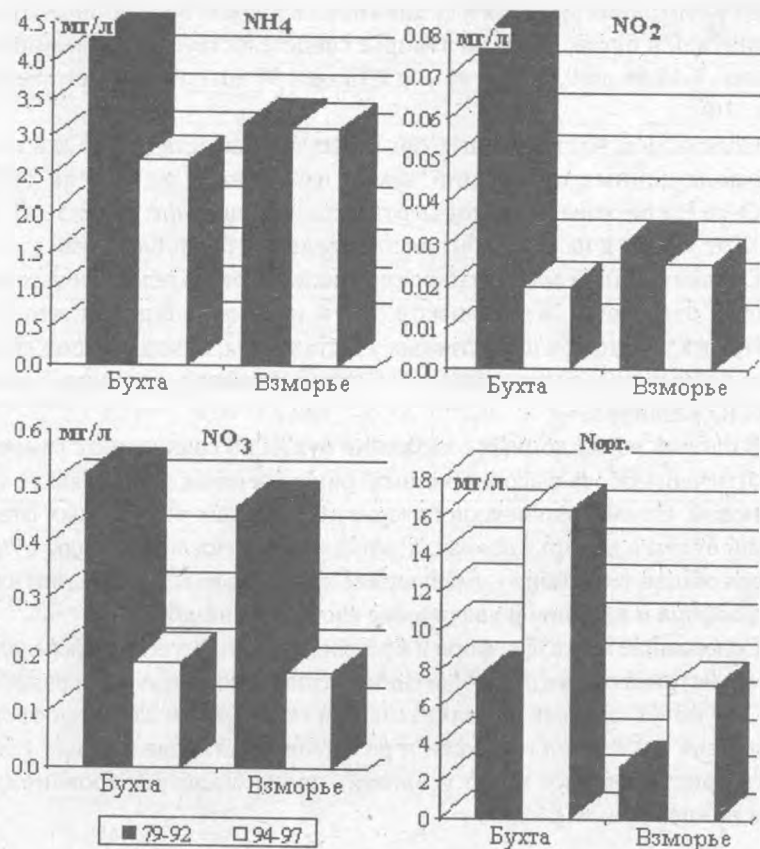


Рис. 9. Сравнительная характеристика содержания различных форм азота (мг/л) в иловой воде донных отложений в Жебриянской бухте и на взморье Килийской дельты Дуная за период 1979-92 гг. и 1994-97 гг.

- увеличилось общее содержание соединений азота, за счет его органической составляющей;

- уменьшилась концентрация азота аммонийного в 4 раза, нитритов - в 1,5 раза, кремния - в 1,8 раза, фосфатов - почти в 2 раза, концентрация нитратов сохраняется на уровне среднееголетних величин;

Качественные и количественные изменения гидрохимических показателей устьевой зоны Дуная нашли четкое отражение в динамике гидрохимических параметров на приустьевом взморье. В таблице 9

представлена сравнительная характеристика многолетней динамики соединений азота, фосфора и кремния поверхностного слоя СЗЧМ, находящейся в зоне влияния вод Дуная.

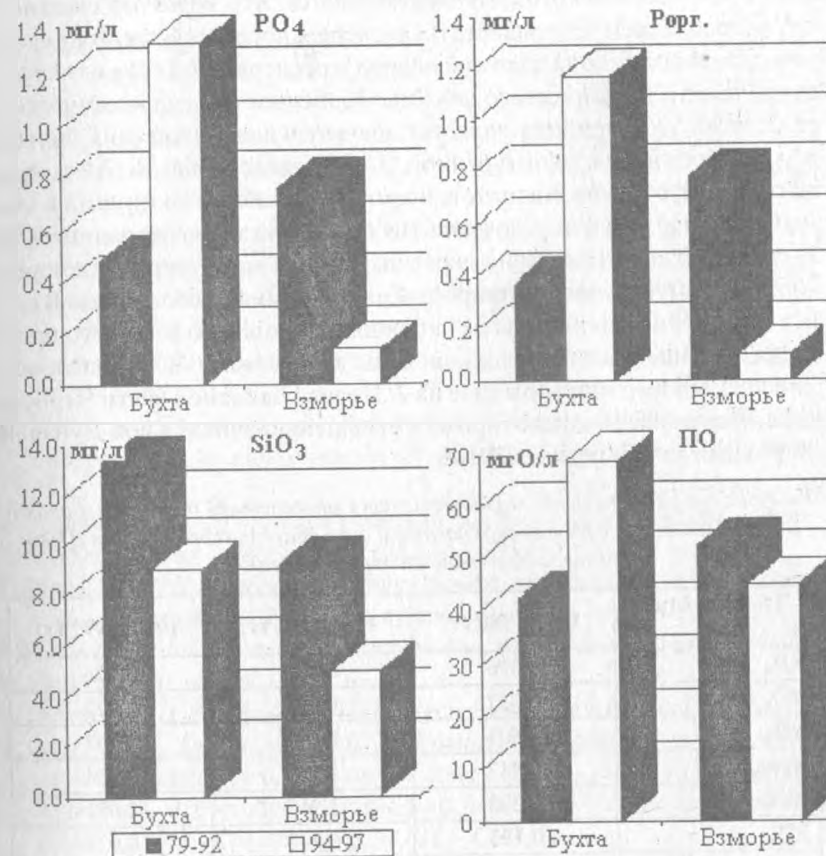


Рис. 10. Сравнительная характеристика содержания форм фосфора (мг/л), кремния (мг/л) и перманганатной окисляемости (мг О/л) поровых вод донных отложений в Жебриянской бухте и взморье Килийской дельты Дуная за период 1972-92 гг. и 1994-97 гг.

Для составления таблицы использованы данные по концентрации биогенных веществ в зоне с соленостью 2,0-16,5‰. Также, как и в воде Дуная, за период исследований здесь произошли существенные изме-

нения. Значительно снизилась концентрации азота аммонийного, фосфатов, нитритов, нитратов, кремния. При этом отмечается резкое увеличение количества азота органического. Однако концентрация фосфора органического резко уменьшается, что вероятно связано с его потреблением при недостатке минерального фосфора. В придонном слое этого района в летний период в последние 2-3 года отмечается улучшение кислородного режима. Особенностью гидрохимического режима этого района является значительная утилизация биогенных веществ в зоне оконтуренной 10-метровой изобатой. Здесь концентрации фосфатов, нитратов, кремния снижаются до минимальных значений, наблюдаемых до развития процессов эвтрофирования в 50-70 гг. Возможно это связано, как с частичным зарегулированием речного стока Дуная, так и с природными циклами водности реки. В связи с этим, в последние годы не наблюдается мощного весеннего половодья и осенне-зимних паводков, воды которых в 70-80 гг. распространялись в поверхностном слое на 2/3 северо-западной части Черного моря. Это привело к некоторому уменьшению влияния вод Дуная на гидрохимический режим СЗЧМ.

Таблица 9. Сравнительная характеристика многолетней динамики гидрохимических показателей в поверхностном слое приустьевом взморье Дуная северо-западной части Черного моря

Показатели, мг · л ⁻¹	1977-1980 гг.	1981-1991 гг.	1994 -1997 гг.
NH ₄ -	0,576	0,470	0,026
NO ₂	0,037	0,061	0,022
NO ₃	0,608	0,619	0,167
Норг.	0,947	1,767	1,834
Нвал.	2,200	2,917	2,051
PO ₄	0,123	0,142	0,023
Рорг.	0,090	0,066	0,024
Рвал.	0,213	0,208	0,047
Si	2,367	1,965	0,767

Кроме того, было установлено, что на взморье Дуная в зоне солёности 2-5 ‰ в результате седиментационных процессов происходит значительная потеря биогенных веществ и их аккумуляция в донных отложениях. Это приводит к сокращению поступления соединений азота, фосфора и кремния в открытую часть моря. И при оценке вли-

яния речного стока на северо-западную часть Черного моря следует, вероятно, учитывать их потери на взморье.

Литература

1. Айзатулин Т.А., Лебедев В.Л., Хайлов К.М. Океан: фронты, дисперсии, жизнь. - Л.: Гидрометиздат, 1984. - 192с.
2. Александрова З.В., Бронфман А.М. Обмен биогенными элементами в системе вода-грунт и его роль в формировании химических основ продуктивности Азовского моря// Океанология. - 1989.- т.15, вып. 1.- С.75-81.
3. Алмазов А.М., Майстренко Ю.Г. Гидрологическая и гидрохимическая характеристика советского участка Дуная. - В кн.: Дунай и придунайские водоемы в пределах СССР. - К.: Изд-во АН УССР, 1961. - С.13-36.
4. Алмазов А.М. Гидрохимия устьевых областей рек. - К.: Изд-во АН УССР, 1962. - 252с.
5. Алмазов А.М., Бондар К., Вагин Н.Ф., Гедерим В., Дьякону К. и др. Гидрология устьевой области Дуная. -М.: Гидрометиздат, 1963. - 383с.
6. Артемьев В.Е. Биогеохимические исследования в эстуариях. - Биогеохимия океана. - М.: Наука, 1983. - С.48-59.
7. Берлинский Н.А. Механизм формирования придонной гипоксии шельфовых экосистем // Водные ресурсы, N4, 1989. - С.112-121.
8. Большаков В.С. Трансформация речных вод в Черном море. К.: Наук. думка, 1970. - 328с.
9. Воробьева Л.В., Гаркавая Г.П., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н., Синегуб И.А., Теплинская Н.Г. Жебриянская бухта как модель экологических процессов в импактных зонах северо-западной части Черного моря. Исследование шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. - 1995. - Севастополь, МГИ. - С.44-54.
10. Галецкий Л.С., Яковлев Е.А., Сляднев В.А., Стеценко В.С. Региональная оценка изменений геологической среды в бассейне Дуная // Водные ресурсы. - 1993. - том 20, N4. - С.430-435.
11. Гаркавая Г.П., Буланая З.Т., Богатова Ю.И. Биогенные вещества и кислород в придунайских водах Черного моря// Материалы XX Международной конференции по изучению Дуная. - К.: Наук. думка, 1982. - С.81-84.
12. Гаркавая Г.П., Буланая З.Т., Богатова Ю.И. Значение современного

- стока Дуная в эвтрофировании Черного моря. Материалы XXI Международной лимнологической конференции по изучению Дуная (Братислава, 17-21 сентября 1985 г.) - С.194-198.
13. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Буланая З.Т. Современные тенденции изменения гидрохимических условий Черного моря в зоне влияния речного стока// Антропогенные изменения экосистемы Черного моря. - М.: Наука, 1991. - С.299-306.
 14. Garkavaya G.P., Bogatova J.I., Bulanaya Z.T. Die Bedeutung der Dunau im Eutrophieren des Schwarzen Meers. 29 Konferenz der Internationalen assoziation zur Donauuntersuchung, Kiev, 16-22 September 1991. - Limnologisch Berichte. 1991. - Kiev, Molod. - Т. II. - S.282-287.
 15. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Буланая З.Т. Многолетняя динамика биогенных веществ Килийского гирла дельты Дуная. - II съезд гидроэкологического общества Украины, 27-31 октября 1997 г. - Киев, 1997. - т.1, - С.23-24.
 16. Garkavaya G.P., Bogatova Yu.I., Bulanaya Z.T. Dynamics of nutrient substances in the Kiliya delta of the Danube in conditions of reduced and regulated runoff. 32 Konferenz der IAD, Wien - Osterreich 1997, Band 1, p.37-42.
 17. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. - М.: Наука, 1983. - 159с.
 18. Зайцев Ю.П., Прокопенко В.Ф. Мир дельты. - Одесса, Маяк, 1989. - 141с.
 19. Енаки Г.И. Гидрохимический режим советского участка Дуная. Гидробиологические исследования Дуная и придунайских водоемов. - К.: Наук. думка, 1987. -С.14-26.
 20. Журавлева Л.А., Грубина Н.А. Режим стока растворенных в воде кислорода и органических веществ из бассейна р.Дуная в Черное море // Гидробиол. журн. - 1991. - т.27, №6. - С.49-54.
 21. Зайцев Ю.П., Гаркавая Г.П., Нестерова Д.А., Полицук Л.Н., Цокур А.Г. Современное состояние экосистемы Черного моря// Современное состояние Черного моря. - М.: Наука, 1987. - С.216-230.
 22. Зайцев Ю.П., Гаркавая Г.П., Нестерова Д.А., Полицук Л.Н. Дунай - основной источник эвтрофирования Черного моря// Гидробиол. журн. - 1989. - т.25, - вып. 4. - С.21-23.
 23. Лисицин А.П. Осадконакопления в океанах - М.: Наука, 1974.- 438с.
 24. Лисицин А.П. Лавинная седиментация в океане. - Ростов-на-Дону.: Изд-во Рост. ун-та, 1982. - С.2-59.
 25. Мартынова М.В. Донные отложения как источник поступления азота и фосфора в водную массу // Водные ресурсы. - 1981.- Вып.1 - С.164-182.
 26. Мартынова М.В. О некоторых механизмах поступления фосфора со дна в воду и их оценка // Доклады АН СССР. - 1988.-Т.298, №3.- С.715-717.
 27. Методы гидрохимических исследований океана. - М.: Наука, 1978 - 261с.
 28. Михайлов В.Н., Rogov M.M., Чистяков А.А. Речные дельты: Гидролого-морфологические процессы. - Л.: Гидрометиздат, 1986. -280с.
 29. Нестерова Д.А. Развитие перидинеи *Ehviella cordata* и явление "красного прилива" в северо-западной части Черного моря// Биология моря - 1979. - вып. 5. - С.24-29.
 30. Оксьюк О.П., Журавлева Л.А., Ляценко А.В., Башмакова И.Х., Карпезо Ю.И., Иванов А.И. Характеристика качества воды украинского участка Дуная (по общим показателям) // Гидробиол. журн. - 1992. - т.28, №6. - С.3-11.
 31. Планктон Черного моря. - К.: Наук. думка, 1993. - 280с.
 32. Руководство по химическому анализу вод суши. - Л.: Гидрометиздат, 1973. - 269с.
 33. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. - Л.: Гидрометиздат, 1977. - 532с.
 34. Руководство по методам химического анализа морских вод. - Л.: Гидрометиздат, 1977. - 208с.
 35. Руководство по химическому анализу морских вод. - С-Петербург:- Гидрометиздат, 1993. - 218с.
 36. Романенко В.Д., Даубнер И. Лимнологические проблемы Дуная и их международное решение // Гидробиол. журн. - 1989. - т. 25, №2- С.3-8.
 37. Сальский В.А. О массовых заморах мидий в северо-западной части Черного моря // Биология моря. - 1977. - вып. 43. - С.33-38.
 38. Скопинцев Б.А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус) // Тр. Гос. океаногр. ин-та. -1950. - т. 27, N 29. - С.3-79.
 39. Смирнова Н.Н. Аккумуляционная способность высших водных растений устьевых областей рек Северо-западного Причерноморья // Гидробиология Дуная и лиманов Северо-западного Причерноморья - К.: Наук. думка, 1986. -С.133-151.
 40. Созинов А.А., Алексеенко В.Д., Акимов И.А., Евтушенко Н.Ю., Си-ренко Л.А., Пелешенко В.И., Чернявская А.П., Денисова А.И., Снежко

С.И. Комплексная оценка и классификация качества вод экосистемы Дуная // Водные ресурсы. - 1993. - т. 20, N 4. - С.552-560.

41. Тимченко В.М., Новиков Б.И. Эколого-гидрологическая характеристика Дуная и придунайских водоемов в пределах Украины // Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов. - К.: Наук. думка, 1993. - С.7-22.
42. Толмазин Д.М. Гидролого-гидрохимическая структура вод в районах гипоксии и заморов северо-западной части Черного моря // Биология моря. - 1977. - Вып. 43. - С.12-17.
43. Унифицированные методы исследования качества вод. Часть 1. Том 1. Методы химического анализа вод. - М.: СЭВ, 1977. - 1244с.
44. Харченко Т.А., Ляшенко А.В. Оценка качества дунайской воды по сапробиологическим показателям // Водные ресурсы. - 1993. - т. 20, N 4. - С.514-519.
45. Шишкина Л.А. Гидрохимия. - Л.: Гидрометиздат, 1974. - 287с.
46. Яцик А.В., Коваленко П.И., Лебявский В.В., Серенко В.В. Водохозяйственная оценка бассейна Дуная // Водные ресурсы. - 1993. - том 20, N4. - С.426-429.

УДК 551.4.64.577.151.044

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИУСТЬЕВОЙ ЗОНЕ РЕКИ ДУНАЙ

*Н. И. Рясинцева, С. А. Саркисова, П. Т. Савин,
Л. Ю. Секундяк, С. А. Доценко*

На основе материалов натуральных исследований приустьевой зоны р. Дунай дан анализ пространственно-временной изменчивости распределения основных миграционных форм загрязняющих веществ (нефтепродукты, тяжелые металлы), БПК₅, органического углерода, первичной продукции органического вещества фитопланктона и фотосинтетических пигментов (хлорофилла "а", феофитина) в системе река-море. Показано влияние природных процессов и антропогенных факторов на формирование уровня загрязнения и перераспределение веществ в приустьевой зоне, а также фотосинтетическую активность фитопланктона.

Материалы и методы исследований.

В настоящей работе анализируются результаты 9 съемок, проведенных в период с 1993 по 1997 г. в приустьевой зоне р. Дунай по сетке станций представленной на рис. 1. Район работ охватывает низовье р. Дунай, Килийскую дельту, включая рукава Прорва, Быстрый, Восточный и Старостамбульский, а также Жебриянскую бухту и взморье. Это позволяет проследить судьбу загрязняющих веществ (ЗВ), распределение доминирующих форм в системе река - море и выявить характер их воздействия на первичную продукцию органического вещества фитопланктона на фоне эвтрофирующего влияния речного стока.

Программа исследований включает определение БПК₅ и содержания органического углерода, нефтепродуктов (НП) и тяжелых металлов (растворенная и взвешенная форма) в воде и донных отложениях, первичной продукции органического вещества фитопланктона (ПП) и содержания фотосинтетических пигментов. Кроме того, в лабора-

Уровень первичной продукции органического вещества фитопланктона определяется методом Винклера, содержание хлорофилла "а" (Хл. "а") и феофитина (Ф) в воде и донных отложениях - спектрофотометрически из ацетоновых экстрактов [7]. Выделение фитопланктона из воды производится с помощью ультрафильтрации на фильтрах "Сынпор" с диаметром пор 0.85 мкм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Для оценки уровня загрязнения вод изучаемого района используются рыбохозяйственные ПДК, приведенные в табл. 1 [10-11].

Из таблицы видно, что для речных и морских вод рыбохозяйственного пользования ПДК меди, цинка и кадмия значительно отличаются, причем нормативы для речных вод более жесткие.

Поскольку дискуссия о корректности установленных нормативов выходит за пределы содержания настоящей работы, для оценки уровня загрязнения дельтовой зоны р. Дунай следует применять ПДК речных вод, а Жебриянской бухты и приустьевого взморья - морских.

Уровень содержания ЗВ во взвешенном веществе и донных отложениях в настоящее время не регламентируется, несмотря на очевидную значимость всех миграционных форм ЗВ в функционировании водных экосистем. Их контроль позволяет проследить судьбу ЗВ, в том числе установить источники поступления и зоны аккумуляции, прогнозировать явления вторичного загрязнения при изменении гидрологических и физико-химических условий в водоеме, а также пути миграции ЗВ по трофическим цепям пелагических и донных сообществ.

В таблицах 2 и 3 представлены диапазоны изменчивости изучаемых параметров и их средние значения по трем районам, выделенным по принципу природно-географического различия - дельта, Жебриянская бухта, приустьевое взморье. Гидрологические особенности этих районов являются основным фактором, определяющим распределение в них веществ и функционирование экосистем. Так, в районе дельты распределение веществ от устья к морю зависит от глубины, водности рукавов и, соответственно, интенсивности потока и вертикального перемешивания вод. Гидролого-гидрохимический режим Жебриянской бухты обусловлен выносом речных вод из судоходного канала и рукава Прорва, а также водообменом с морем. Причем, на распределение веществ оказывает влияние наличие фронтальных зон, а также мелкомасштабных циркуляций, связанных с рельефом дна и конфигурацией береговой линии.

Таблица 1. Рыбохозяйственные ПДК загрязняющих веществ в речных (р) и морских (м) водах

Ингредиенты	НП		Cu		Zn		Ni		Cd		БПК, мг/л	
	р	м	р	м	р	м	р	м	р	м	р	м
ПДК, мкг/л	50	50	1	5	10	50	10	10	10	5	3	3

В районе приустьевого взморья основными факторами, определяющими распределение веществ, являются, с одной стороны, сток многочисленных рукавов (наиболее интенсивный - Очаковского и Старостамбульского); а, с другой - подпорное и рассеивающее действие основного вдольберегового потока, связанного с доминирующей циркуляцией вод СЗЧМ.

Нефтепродукты. За весь период наблюдений на содержание НП проанализировано 337 проб воды и 131 проба донных отложений. Установлено, что в 72,4 % случаях содержание в воде нефтепродуктов равно или превышает ПДК. В большинстве съемом средний по всему исследуемому району уровень нефтяного загрязнения также выше ПДК. Многолетняя динамика содержания НП в воде не обнаруживает выраженных тенденций (рис. 2). Максимальные уровни загрязнения до 10 ПДК зафиксированы в поверхностном горизонте в сентябре 1994 и в поверхностном и придонном горизонтах в июне 1996 г. (10 и 8 ПДК, соответственно). В районе дельты и Жебриянской бухты придонный горизонт менее загрязнен НП, что связано с их физико-химическими свойствами (положительной плавучестью).

Однако в районе приустьевого взморья за счет активно протекающих процессов адсорбции ЗВ на взвешенных веществах и седиментации в зоне смещения пресных речных и соленых морских вод отмечается обогащение нефтепродуктами придонного слоя и выравнивание их концентраций по вертикали (табл. 2, рис. 3). Локальное повышение содержания НП ко дну отмечается также в юго-западной кутовой части Жебриянской бухты и объясняется наличием здесь застойной зоны, в которой осаждаются потерявшие легкие фракции НП. Из табл. 2 видно, что среднее за весь период наблюдений содержание НП составляет 1,5-2 ПДК, как в дельте р. Дунай, так и в Жебриянской бухте и в районе приустьевого взморья.

торных экспериментах изучали кинетику деструкции НП в воде отобранной в различных точках изучаемого района и в выборочных пробах определяли степень трансформированности НП по соотношению интенсивности поглощения в УФ-области при длинах волн 0,225 мкм и 0,21 мкм.

Определение БПК₅ производится скляночным методом согласно [1]. Взвешенное вещество отделяется с помощью ультрафильтрации на стекловолоконистых и ядерных фильтрах с диаметром пор 0,45 мкм, а его общее содержание определяется весовым методом.

Содержание органического углерода определяется методом автоматического кулонометрического титрования двуокиси углерода (с помощью Кулон-3), образующейся при персульфатно-ультрафиолетовом окислении проб морской воды [2] и серно-хромовом окислении стекловолоконистых фильтров с взвешенным веществом и проб донных отложений.

Определение содержания нефтепродуктов в воде производится из гексановых экстрактов методом ультрафиолетовой спектроскопии при длинах волн 0.200-0.225 мкм с помощью СФ-46 [3].

Содержание НП в донных отложениях определяется по модифицированной методике [4]. Поровая, пленочная и сорбированная влага удаляется из осадка безводным сернокислым натрием. Углеводороды из осушенной и гомогенизированной пробы экстрагируются гексаном с последующим определением интенсивности спектров поглощения в УФ-области в диапазоне длин волн 0.21-0.225 мкм [5].

Тяжелые металлы определяются в воде в двух миграционных формах - растворенной и взвешенной. Для их разделения используется метод ультрафильтрации на ядерных фильтрах с диаметром пор 0.45 мкм. Определение содержания растворенной формы цинка, никеля, меди и кадмия в фильтрате производится с помощью экстракции четыреххлористым углеродом [6].

Для определения взвешенной формы металлов фильтры с взвешенным веществом подвергаются мокрому озолению азотной кислотой. Для выделения металлов из донных отложений используются сильная азотная кислота в смеси с окислителем - перекисью водорода. Определение всех форм металлов производится методом атомной абсорбции в пламени, с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра ААС-3. В качестве горючего газа используется ацетилен, газа носителя - воздух [6].

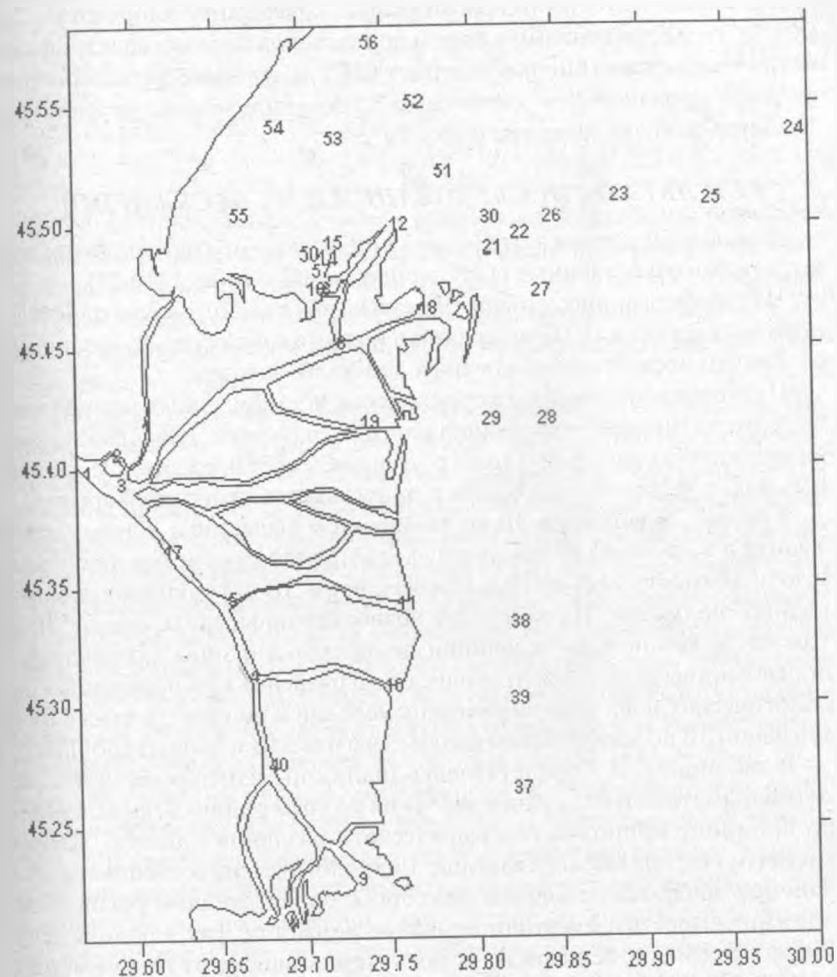


Рис. 1. Схема расположения станций наблюдений в приустьевой зоне р. Дунай (1993-97 гг.)

Калибровка приборов производится по стандартным образцам, соответствующим определяемым параметрам.

Модельные эксперименты по определению скорости деструкции НП выполняются согласно методике приведенной в [8-9].

Таблица 2. Характеристики вод приустьевой зоны р. Дунай по районам (за период 1993-1997 гг.)

	БПК, мг/л	НП, мг/л	С раст., мг/л	Свзв. мг/л	ПП, мг С/м ³ сут.	Хл. "а", мг/м ³	Феофитин в % от Хл. "а"	Взв. в-во, мг/л	в воде (мкг/л)				во взвеси (мкг/л)			
									Cu	Zn	Ni	Cd	Cu	Zn	Ni	Cd
Дельта – поверхностный слой																
min	0,70	0,01	3,64	1,52	0	2,074	0,34	6,4	0,14	0,00	0,00	0,00	0,39	4,10	0,11	0,00
max	6,41	0,48	10,40	4,14	2419	42,801	68,32	438,7	5,28	66,59	3,13	0,82	16,36	60,23	13,35	2,37
Ср.	2,77	0,09	7,23	2,21	345	16,543	31,10	60,5	2,76	10,83	1,31	0,32	5,26	20,94	4,08	0,48
Дельта – придонный слой																
min	0,62	0,01	3,96	1,07	0	4,388	1,08	3,4	0,00	0,00	0,54	0,00	0,70	7,85	0,57	0,00
max	5,80	0,25	8,78	4,21	3338	69,723	97,09	321,0	7,16	58,36	14,31	0,65	26,15	69,69	16,41	2,11
Ср.	2,27	0,07	5,11	2,59	374	17,666	39,69	93,7	2,93	14,46	2,58	0,29	8,30	27,41	5,44	0,54
Жебриянская бухта – поверхностный слой																
Min	0,62	0,02	7,02	0,66	0	4,188	1,72	3,2	0,46	0,18	0,00	0,00	0,17	1,85	0,00	0,00
Max	8,03	0,50	9,02	3,86	4267	68,801	85,33	454,3	5,22	72,02	3,98	5,05	13,20	75,51	7,32	0,98
Ср.	3,14	0,09	8,01	1,56	483	18,977	30,22	24,0	2,07	13,21	1,53	0,52	1,88	13,41	1,59	0,31

Таблица 2 (продолжение). Характеристики вод приустьевой зоны р. Дунай по районам (за период 1993-1997 гг.)

	БПК, мг/л	НП, мг/л	С раст., мг/л	Свзв. мг/л	ПП, мг С/м ³ сут.	Хл. "а", мг/м ³	Феофитин в % от Хл. "а"	Взв. в-во, мг/л	в воде (мкг/л)				во взвеси (мкг/л)			
									Cu	Zn	Ni	Cd	Cu	Zn	Ni	Cd
Жебриянская бухта – придонный слой																
Min	0,25	0,02	4,10	0,45	0	1,137	0,15	1,9	0,29	0,00	0,32	0,00	0,29	1,53	0,46	0,00
Max	5,46	0,25	7,96	3,40	1882	365,125	83,81	126,1	25,28	56,44	11,48	0,85	13,40	56,03	16,40	2,10
Ср.	2,21	0,07	5,19	1,19	307	16,349	30,90	25,9	2,92	16,92	2,70	0,33	3,67	12,84	2,29	0,37
Приустьевое взморье – поверхностный слой																
Min	0,40	0,04	5,18	0,90	0	4,629	0,65	1,7	0,68	0,00	0,56	0,00	0,00	1,88	0,00	0,00
Max	8,17	0,34	10,64	3,00	1904	103,448	67,18	34,3	3,62	50,13	2,65	1,22	4,45	63,37	3,08	0,93
Ср.	2,96	0,10	7,12	1,64	274	19,973	27,57	13,1	2,28	11,34	1,39	0,31	1,37	13,09	1,06	0,29
Приустьевое взморье – придонный слой																
Min	0,50	0,03	3,88	0,35	0	1,598	0,07	2,5	0,35	0,00	0,61	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
Max	7,12	0,39	8,20	3,05	1322	21,602	98,20	163,8	6,12	65,12	11,44	12,37	12,83	40,67	10,44	0,91
Ср.	2,13	0,10	5,16	1,09	122	6,744	28,70	18,0	2,51	12,70	2,62	0,57	2,12	9,37	1,52	0,25

Таблица 3. Уровень загрязнения донных отложений по районам (за период 1993-1997 гг.)

	Хл. "а", Мкг/г с. гр.	Феофитин, (% от Хл. "а")	С, (%)	НП, (мг/г с. гр.)	Cu	Zn	Ni	Cd
					(мкг/г с. гр.)			
Дельта								
min	0.895	0.15	1.5	0.1	2.0	25.2	23.0	0.0
max	128.455	96.53	3.6	4.5	102.8	242.8	396.0	13.2
Ср.	24.443	55.24	2.5	0.9	46.2	129.6	62.8	6.6
Жебриянская бухта								
min	4.886	22.70	1.2	0.1	3.4	6.0	7.2	0.0
max	148.210	96.56	3.8	3.7	131.8	186.8	80.4	12.2
Ср.	38.236	75.72	2.5	1.4	43.3	110.0	40.8	5.9
Приусъевое взморье								
min	4.926	37.73	1.3	0.1	0.0	50.8	20.2	0.0
max	107.245	95.14	5.9	5.2	201.6	516.2	144.4	17.0
Ср.	29.602	73.35	3.0	1.8	48.9	138.5	50.8	6.2

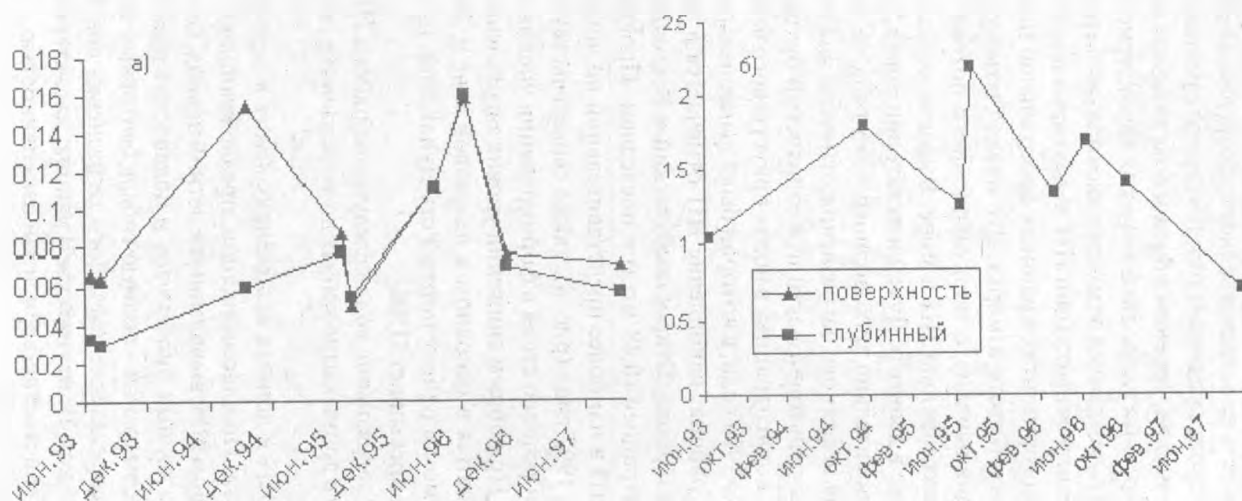


Рис. 2. Временная изменчивость среднего по съёмкам содержания ПП в воде (а), мг/л и донных отложениях (б), мг/г сухого вещества.

Неравномерность пространственного распределения НП (рис. 3-4) обусловлена их происхождением (поступлением с речным стоком или от местных источников, уровнем фонового загрязнения морских вод), а также особенностями гидродинамических характеристик районов. Так в июне 1996 г., когда был отмечен максимальный уровень загрязнения, наибольшие концентрации НП зафиксированы в поверхностном и придонном горизонтах в районах фронтальной зоны Жебриянской бухты и приустьевого взморья. Это может быть следствием прижимного действия основного циркуляционного потока СЧЗМ, препятствующего рассеиванию НП в море. Высокие концентрации НП отмечаются также в дельте р. Дунай и акватории порта Усть-Дунайский. В июне относительно маловодного 1995 года на фоне общего снижения уровня нефтяного загрязнения отмечено аналогичное распределение НП в дельтовой части и Жебриянской бухте, при значительно меньших концентрациях в водах приустьевого взморья. В сентябрьской съемке 1994 года, в которой были выполнены только станции дельтового района, накопление НП отмечается в замыкающих створах рукавов Прорва, Старостамбульский и Восточный, с максимальной концентрацией (0,48 мг/л) в последнем. Пространственное распределение НП в наиболее представительной по числу станций в съемке сентября 1997 года (рис. 4), также свидетельствует о преимущественной роли речного стока в формировании уровня загрязнения района в целом. При общем снижении уровня загрязнения, превышения ПДК отмечаются в основном в дельтовой зоне и Жебриянской бухте с максимумом в районе порта Усть-Дунайский, на взморье содержание НП не превышает ПДК.

Хроническое загрязнение вод исследуемого района НП приводит к их накоплению в донных отложениях до экологически опасных уровней.

Содержание НП в донных отложениях лежит в диапазоне 0,1-5,2 мг/г сухого грунта. По классификации, предложенной О.Г. Мироновым [12] содержания НП, выявленные в летний период, способны вызвать деградацию донных биоценозов и подавление процессов самоочищения, а максимальные - полную гибель бентосных экосистем.

Уровень и распределение нефтяного загрязнения донных отложений так же, как и вод Придунайского района, характеризуются значительной пространственно-временной изменчивостью.

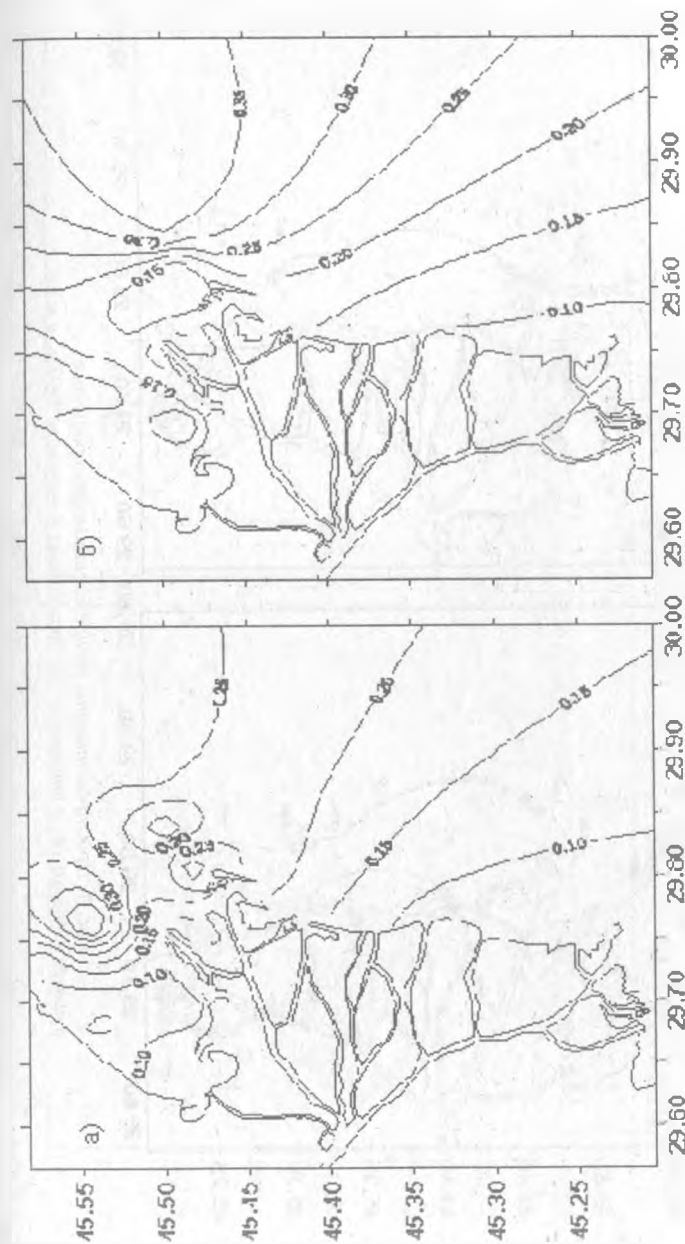


Рис. 3. Пространственное распределение нефтепродуктов в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах в июне 1996 г., мг/л

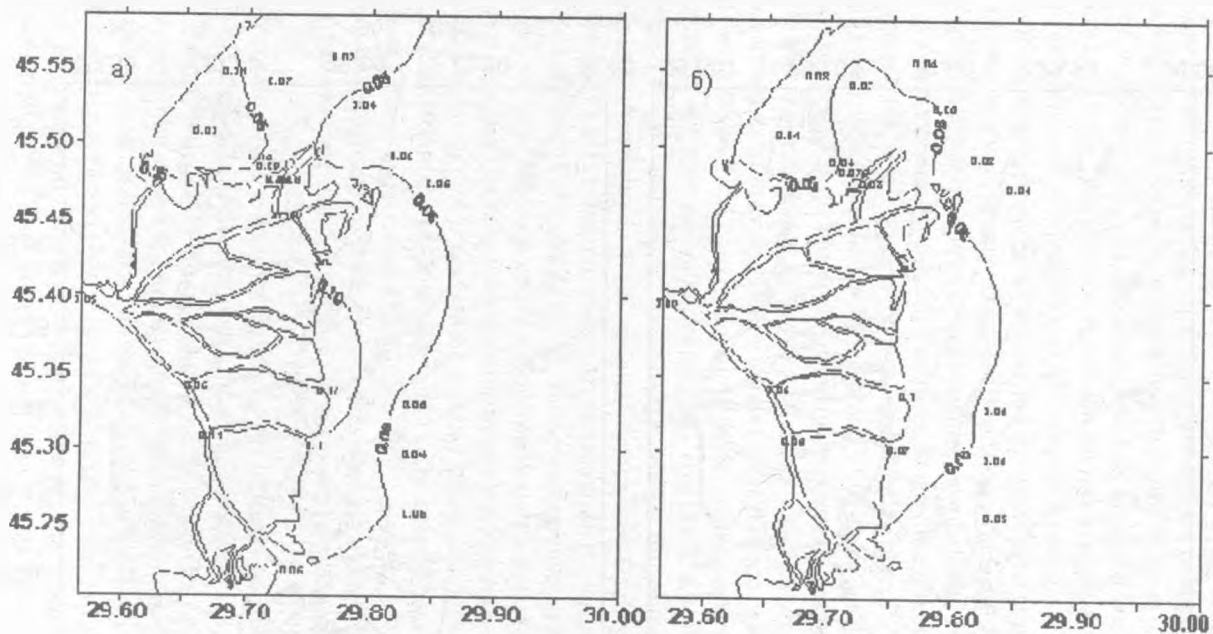


Рис. 4. Пространственное распределение нефтепродуктов в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах в сентябре 1997 г., в мг/л.

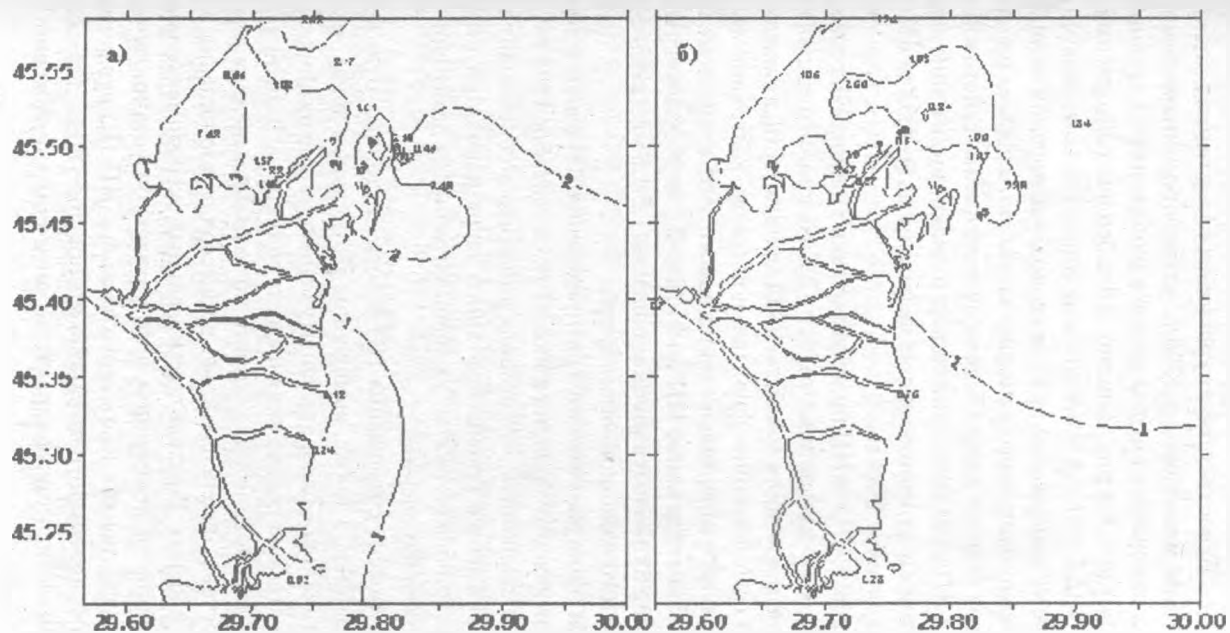


Рис. 5. Пространственное распределение нефтепродуктов в донных отложениях в июне 1996 г. (а) и в сентябре 1996 г. (б), мг/г сухого грунта.

Многолетняя динамика накопления НП в донных отложениях в основном (рис. 2б) соответствует уровню их содержания в воде, за исключением июля маловодного 1995 г., когда при минимальном загрязнении вод отмечается максимальное накопление НП в донных отложениях. Из табл. 3 и рис. 5 видно, что абсолютный максимум накопления НП (5,2 мг/г сухого грунта) в донных отложениях и самое высокое среднее содержание за весь период наблюдений зафиксировано в районе приустьевого взморья, за счет интенсивно протекающих процессов седиментации. В донных отложениях дельтовой зоны аккумуляция НП в среднем минимальна, однако, здесь в зоне слияния малых рукавов Полуденного гирла зафиксировано 4,52 мг/г сухого грунта НП в октябре 1994 г.

В Жебрианской бухте НП преимущественно накапливаются в донных отложениях акватории порта Усть-Дунайский, что связано с непосредственным влиянием хозяйственной деятельности, а также в зоне интенсивной седиментации - фронтальной северо-восточной. В период летней межени относительно маловодного 1995 г. в районе порта Усть-Дунайский содержание НП достигало 2,5 мг/г сухого грунта; а также отмечено их значительное накопление (1,2-1,6 мг/г сухого грунта) в кутовой юго-западной части бухты.

Сравнение пространственного распределения НП в воде и донных отложениях изучаемого района в июне 1996 и сентябре 1997 г.г. (рис. 3-5) позволяет заключить, что осенняя динамика вод приводит к значительному снижению уровня нефтяного загрязнения приустьевого взморья и Жебрианской бухты. Уровень загрязнения дельтовой зоны менее подвержен изменениям.

Высокий уровень содержания НП в водах и донных отложениях изучаемого района, а также, выявленное в отдельных зонах, их аномальное вертикальное распределение (увеличение содержания ко дну) могут объясняться не только влиянием источников загрязнения и особенностями гидрологических условий, но также изменением их качественного состава, интенсивностью процессов самоочищения и вторичного загрязнения. В результате модельных экспериментов по определению скорости деструкции нефтепродуктов установлено, что значение коэффициентов неконсервативности НП (К) существенно различаются в зависимости от района отбора проб воды для моделирования, горизонта, а также характеристик донных отложений.

При повсеместно высокой обеспеченности вод биогенными веществами, характерной для приустьевых районов, развитию микроорганизмов-деструкторов и интенсификации биодеградации НП способствует относительно высокое содержание кислорода по всей глубине и хорошо аэрируемые песчаные грунты большинства участков дельты р. Дунай. Значения К, установленные в экспериментах с водой, отобранной в поверхностном горизонте на станциях 5-8 и 11, лежат в диапазоне 0,49-0,35 сут.⁻¹ и незначительно изменяются в опытах с придонной водой. На станциях, расположенных в местах разветвления рукавов (1, 4, 40), отмечается снижение К до 0,11-0,23 сут.⁻¹, что может быть связано с избыточным содержанием легкоокисляющегося органического вещества, предпочтительного для организмов-деструкторов, (по БПК₅, достигающего здесь величин 5,8-6,4 мг/л), а также и локальным ингибированием процесса деструкции НП не идентифицированными ЗВ (станция 1 находится под влиянием сбросов с рисовых чеков).

В Жебрианской бухте и приустьевом взморье в результате плотностной стратификации, связанной с наличием вертикальных градиентов солености и температуры, ухудшается аэрация придонного слоя и зачастую в летний период устанавливается гипоксия. Кроме того, вследствие интенсивной седиментации взвешенного и, в том числе, аллохтонного органического вещества, в застойных и фронтальных зонах формируются обогащенные органическим веществом и загрязненные илистые грунты. С этими факторами связано снижение интенсивности деструкции НП в этих зонах. Так, в Жебрианской бухте в воде поверхностного горизонта значения К лежат в диапазоне от 0,39 до 0,12 сут.⁻¹, а в придонном снижаются до 0,19-0,17 сут.⁻¹. В районе приустьевого взморья (ст. 21, 22, 27) скорость деструкции НП еще ниже. В поверхностном горизонте величина К составляет 0,25-0,09 сут.⁻¹, а в придонном уменьшаются до 0,15-0,09 сут.⁻¹. Следует также отметить, что относительно высокая скорость деструкции НП в районе порта Усть-Дунайский (0,39-0,31 сут.⁻¹), связанная с адаптацией микроорганизмов-деструкторов к хроническому нефтяному загрязнению, не обеспечивает достаточной эффективности самоочищения вод при существующей нагрузке. Это проявляется не только в постоянном сохранении здесь высокого уровня нефтяного загрязнения, но и в особенностях его качественного состава. На УФ-спектрограммах нефтепродуктов, выделенных из воды, отобранной на ст. 50 и 57, помимо

основного пика в области 0,225 мкм, присутствует равновеликий дополнительный пик в области 0,21 мкм, характерный для алифатических и ароматических кислот, фенолов, полициклических ароматических соединений и продуктов их полимеризации (смолы, альфатены и проч.). Это свидетельствует о незавершенности процессов деструкции НП и накопление продуктов их неполного распада. Аналогичные явления наблюдаются на ст. 27 (взморье, зона дампинга грунтов ремонтного черпания порта Усть-Дунайский и подходных каналов), а также при взмучивании илистых донных отложений фронтальных и застойных зон. Придонный слой вод при этом обогащается частично трансформированными нефтепродуктами, трудно окисляющимися углеводородами тяжелых фракций. В дельтовом районе преимущественно фиксируются свежие нефтепродукты, соответствующие поглощению УФ-излучения при длине волны 0,225 мкм, что свидетельствует о непосредственном влиянии источников загрязнения.

Следует отметить, что как средний уровень нефтяного загрязнения дельты р. Дунай, так его качественный состав соответствуют характеристикам, установленным авторами в низовье реки во время международной экспедиции "Голубой Дунай-90" (сентябрь, 1990) [13].

Тяжелые металлы. За весь период наблюдений на содержание тяжелых металлов (медь, цинк, никель, кадмий) проанализировано 324 пробы воды, т.е. с учетом растворенной и взвешенной формы, выполнено 2592 элемент-определения и 131 проба донных отложений (524 элемент-определения).

Из таблиц 2 и 3 видно, что содержание растворимых и взвешенных форм металлов в воде, а также уровень их накопления в донных отложениях изучаемого района изменяются в широких пределах. Тем не менее, различия средних по выделенным районам уровней содержания растворенных (регламентируемых) форм металлов незначительны. Однако, исходя из приведенных в табл. 1 ПДК, экологическая значимость уровня загрязнения речных и морских вод существенно различаются. Из 148 проб воды района дельты в 91,2 % зафиксировано превышение ПДК меди, в 46 % - цинка и в 1,35% - никеля. В 176 пробах из морских районов (Жебриянская бухта и приустьевое взморье) выявлено превышение ПДК меди в 5,1 %, цинка - в 2,3 % и никеля в 1,75, превышения ПДК кадмия не зафиксированы. Таким образом, очевидно, что дельтовая часть придунайского района может быть отнесена к хронически загрязненным медью и цинком. По сравнению с

уровнем загрязнения нижнего течения р. Дунай по данным [13] содержание растворенной и взвешенной формы меди в районе дельты несколько выше, а цинка значительно ниже. Это позволяет предположить наличие местных источников обогащения вод медью. Известно, что медь может поступать в водотоки в результате смыва с сельскохозяйственных территорий, занятых под виноградарство и садоводство, в то время как цинк связан преимущественно с техногенными источниками. Подтверждением влияния сельского хозяйства на уровень загрязнения района может служить также более высокое, хотя и экологически не значимое, содержание кадмия, связанное, как правило, с использованием на водосборной площади фосфорных удобрений [14].

Пространственное распределение и временная изменчивость изучаемых характеристик зависят от комплекса природных и антропогенных факторов, среди них основной - влияние стока реки Дунай. Согласно [15,16] в годовом ходе уровня воды в устьевой области р. Дунай выделяются весеннее половодье, осенний и зимний паводки, низкая летне-осенняя и зимняя межень. Отмечается связь внутригодового изменения мутности (содержания взвешенного вещества) с режимом стока реки. Воды р. Дунай характеризуются высоким уровнем и незначительной изменчивостью мутности и состава взвеси по рукавам. Повышенное содержание взвешенного вещества, как правило, отмечается в весенне-летний период, внутри которого выделяются 2 пика: первый - в апреле (обусловленный весенним половодьем) и второй - в июне-июле (ниже первого). На фоне относительно низкого содержания взвеси в осенне-зимний период отмечается некоторое повышение мутности в октябре.

Следует отметить, что данные съемок, анализируемые в настоящей работе, недостаточно представительны по сезонам. Максимум весеннего половодья в них практически не представлен. Судя по динамике средних по съемкам величин содержания взвешенного вещества (рис. 6), можно предположить, что в марте 1996 г было зарегистрировано лишь его начало, а в июне 1996 и 1997 гг. спад. Съемка октября 1997 г. совпала с пиком осеннего паводка. В целом период 1994-1995гг характеризовался пониженной водностью реки, что соответствующим образом отразилось на распределении изучаемых характеристик. Из таблицы 2 видно, что, при чрезвычайно высоком диапазоне колебаний мутности, среднее содержание взвешенного вещества в водах дельты в 3-4 раза выше, чем в Жебриянской бухте и приустьевом взморье.

Ко дну содержание взвеси возрастает, особенно резко (в 1.5 раза) в дельте. Средний минимальный уровень мутности отмечается в районе приустьевого взморья.

Одной из особенностей изучаемого района является перераспределение миграционных форм металлов на границе река-море. В дельте отмечается безусловное доминирование взвешенных форм над растворенными, связанное с избыточным содержанием взвешенных веществ минеральной и органической природы. При выносе речных вод в Жебриянскую бухту и взморье за счет интенсивной седиментации во фронтальных зонах, вклад взвешенных форм снижается вдвое и более раз и становится соизмеримым, а иногда меньше, чем растворенных.

Многолетняя динамика содержания металлов не имеет выраженных тенденций. Уровень их содержания, доминирующие формы, а также пространственное распределение в воде или донных отложениях существенно изменяются от съемки к съемке в связи с гидрологической ситуацией и содержанием взвешенного вещества (рис. 7-8).

Однако, если динамика взвешенных форм всех металлов в целом по району в основном аналогична изменению содержания взвешенных веществ, что объясняется ее преимущественной связью с речным стоком, то концентрации растворенных форм характеризуются более специфической пространственно-временной изменчивостью. Так, содержание растворенных форм меди и кадмия в большинстве съемок находится в обратной связи с вертикальным распределением взвешенного вещества, а растворенной формой никеля во всех съемках обогащен придонный горизонт, что обнаруживает его связь с водами морского генезиса. Этим же можно объяснить максимальное содержание растворенного цинка в период июльской межени 1995 г, а также его пространственное распределение в марте 1996 г. На фоне относительно низкого содержания взвешенного вещества и общего снижения содержания металлов в районе в целом при минимальных (вплоть до нулевых) концентрациях растворенной формы цинка в поверхностном горизонте дельты, в Жебриянской бухте и фронтальной зоне приустьевого взморья зафиксированы значимые уровни (10 мкг/л в районе порта Усть-Дунайский и 18 мкг/л на ст. 26). Ко дну содержание растворенного цинка несколько возрастает в дельте, значительно (в 2-3 раза) в Жебриянской бухте и снижается в приустьевом взморье. Взвешенной формой цинка закономерно обогащены воды дельты, в

Жебриянской бухте и приустьевом взморье, она преимущественно аккумулируется во фронтальных зонах и районе порта.

Здесь же отмечено повышение уровня содержания цинка в донных отложениях с максимумом на траверсе наиболее полноводного судоходного Очаковского гирла. В отличие от цинка, пространственное распределение растворенной и взвешенной форм меди в этой съемке аналогично, отмечается преимущественное обогащение дельтовой и фронтальных зон. Следует отметить, что съемки 1993 и 1994 г.г. недостаточно представительны, т.к. не включали приустьевого взморья, что привело к некоторому завышению средних характеристик.

Пониженное содержание растворенных форм металлов при выравнивании распределения по вертикали, отмеченное в октябре 1996 г, обусловлено максимальным содержанием взвешенного вещества, как в дельтовой зоне, в связи с осенним паводком, так и приустьевой, под влиянием штормовой динамики вод.

Наибольший интерес для иллюстрации различий пространственно-временной изменчивости миграционных форм меди и цинка представляет сравнение съемок июня 1996 г и сентября 1997 г. (рис. 9-18). Из рис. 9 видно, что в июне концентрации растворенной формы меди в поверхностном слое дельты в 1,5-2 раза выше, чем в Жебриянской бухте и приустьевом взморье, за исключением выхода из судоходного канала и Прорвы, где отмечены максимальные уровни (5,2 мкг/л). Ко дну ее содержание повсеместно снижается, локально высокие концентрации фиксируются в замыкающем створе гирла Восточное (5,8 мкг/л) и в застойной юго-западной части Жебриянской бухты (7,8 мкг/л). Концентрации растворенной формы цинка (рис. 14) в поверхностном горизонте Жебриянской бухты и приустьевого взморья более чем на порядок превышают содержание в водах дельты. В районе порта Усть-Дунайский (ст. 57) зафиксирован абсолютный максимум содержания цинка за весь период наблюдений (72 мкг/л). Повышенные концентрации отмечаются также во фронтальных зонах взморья (44 мкг/л) и Жебриянской бухты (22 и 26 мкг/л). С глубиной содержание растворенного цинка в дельтовой зоне возрастает, особенно значительно (от 1 до 14 мкг/л) в устье р. Дунай (ст. 1), на выходе из Очаковского гирла в судоходный канал и замыкающем створе гирла Быстрое (от 0 до 9 мкг/л). При этом, на ст. 57 отмечается снижение концентрации втрое, а максимум фронтальной зоны перемещается на траверс выхода из Прорвы (ст. 51-38 мкг/л).

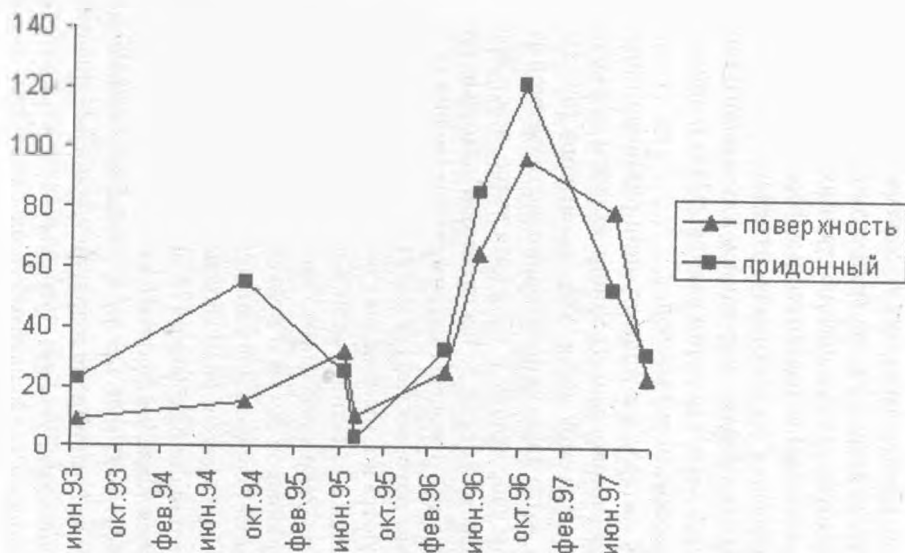


Рис. 6. Временная изменчивость содержания взвешенного вещества в поверхностном и придонном горизонтах приустьевой зоны р. Дунай (осреднение по съемкам), мг/л.

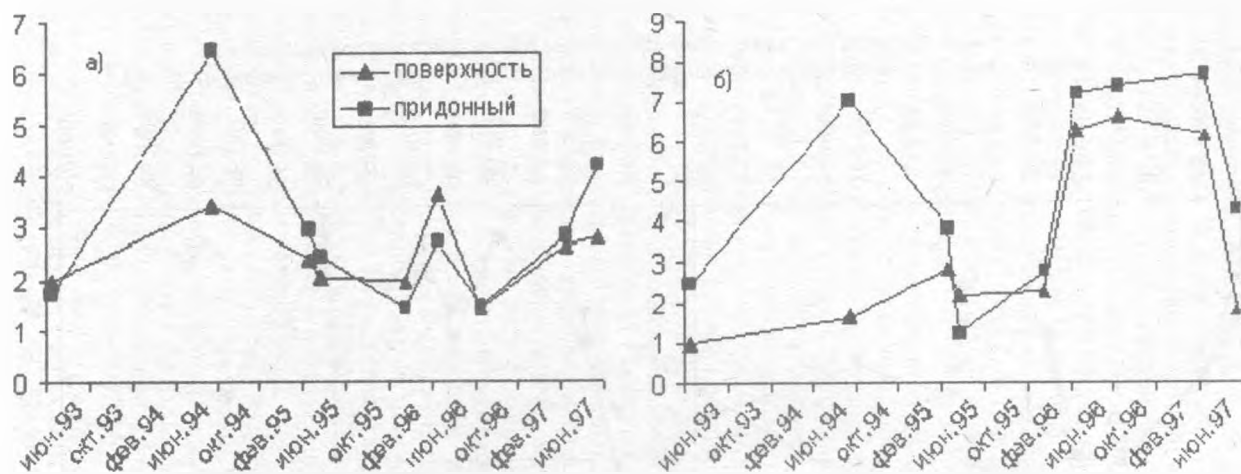


Рис. 7. Временная изменчивость содержания растворенной, (а) и взвешенной (б) форм меди в поверхностном и придонном горизонтах (осреднение по съемкам), мг/л.

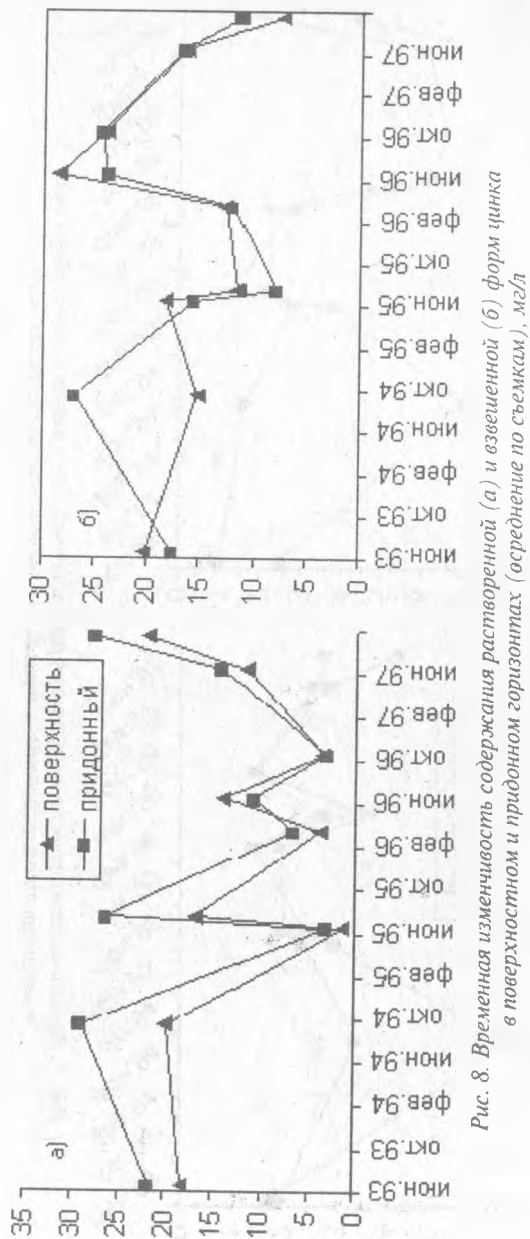


Рис. 8. Временная изменчивость содержания растворенной (а) и взвешенной (б) форм цинка в поверхностном и придонном горизонтах (среднее по съемкам), мг/л

Содержание взвешенной формы меди (рис. 10) в районе дельты в 2-3 раза выше, чем растворенной как в поверхностном, так и в придонном горизонтах. В поверхностном слое вод Жебриянской бухты преобладает растворенная форма меди, а в придонном - взвешенная. В районе порта Усть-Дунайский и на выходе из Прорвы (ст. 12) взвешенная форма доминирует как в придонном, так и в поверхностном горизонтах, ее содержание достигает 13,4 и 11,8; 13,2 и 10 мкг/л соответственно. На остальной части акватории Жебриянской бухты содержание взвешенной меди минимально. В поверхностном слое вод приустьевой зоны оно несколько выше, но с глубиной снижается до минимальных по району величин.

Зоны аккумуляции меди и цинка в донных отложениях практически совпадают (рис. 13, 18). На ст. 30 (в зоне влияния выноса речных вод из гирла Прорва и Очаковского) зарегистрированы самые высокие за весь период наблюдений уровни содержания меди (201,6 мкг/л сухого грунта) и цинка (516,2 мкг/г сухого грунта) в донных отложениях. В сентябре 1997 г. уровень загрязнения вод медью (рис. 11, 12) в целом несколько ниже, чем в июне 1996 г., при близком пространственном распределении растворенной формы в поверхностном горизонте, с преимущественным загрязнением района дельты.

В отличие от июня отмечается повсеместное обогащение придонного слоя вод растворенной формой меди с максимальной концентрацией в северо-восточной фронтальной зоне Жебриянской бухты (ст. 52).

Значительно ниже содержание взвешенной формы меди при сохранении преимущественного загрязнения дельты. Как в поверхностном, так и придонном слое содержание растворенной формы становится соизмеримо с взвешенной, а в приустьевой взморье и фронтальной зоне Жебриянской бухты даже доминирующим.

Распределение растворенной формы цинка (рис. 16) в поверхностном горизонте выравнивается по площади за счет значительного увеличения концентраций (более чем на порядок) в дельтовой зоне, а также снижения (в 2-3 раза) в юго-западной части Жебриянской бухты и на взморье. Максимальные концентрации (39-38 мкг/л) отмечаются на выходе из судоходного канала (ст. 7) и северо-восточной части бухты. С глубиной содержание растворенного цинка несколько возрастает при практически неизменном пространственном распределении. Содержание взвешенной формы цинка (рис. 17) в поверхностном слое дельты вдвое ниже, чем растворенной, а в Жебриянской бухте и приустьевом взморье в 2-5 раз. Ко дну в дельте вклад взвешенной формы цинка возрастает и его содержание становится соизмеримо с растворенной формой; в Жебриянской бухте, несмотря на некоторое увеличение, содержание взвешенной формы в 2-5 раз ниже, чем растворенной. В приустьевой зоне вклад взвешенного цинка в придонном горизонте минимален.

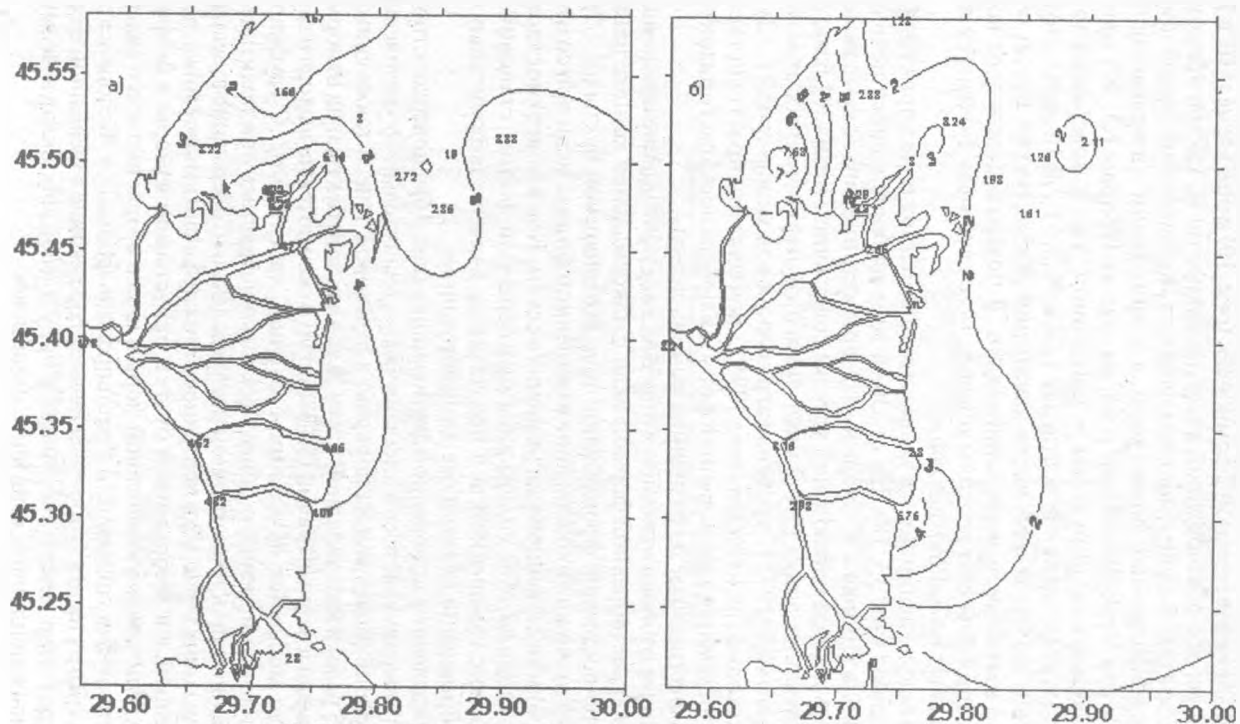


Рис. 9. Пространственное распределение растворенной формы меди в июне 1996 г. в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах, мкг/л.

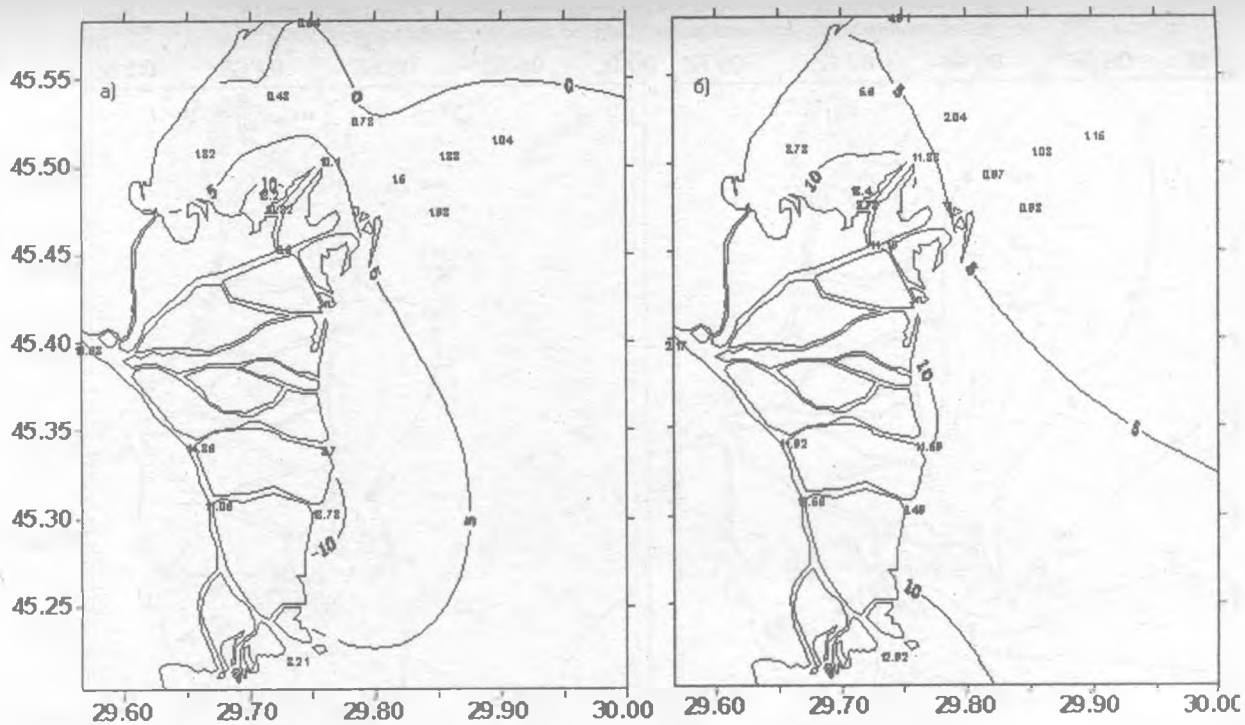


Рис. 10. Пространственное распределение взвешенной формы меди в июне 1996 г. в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах, мкг/л.

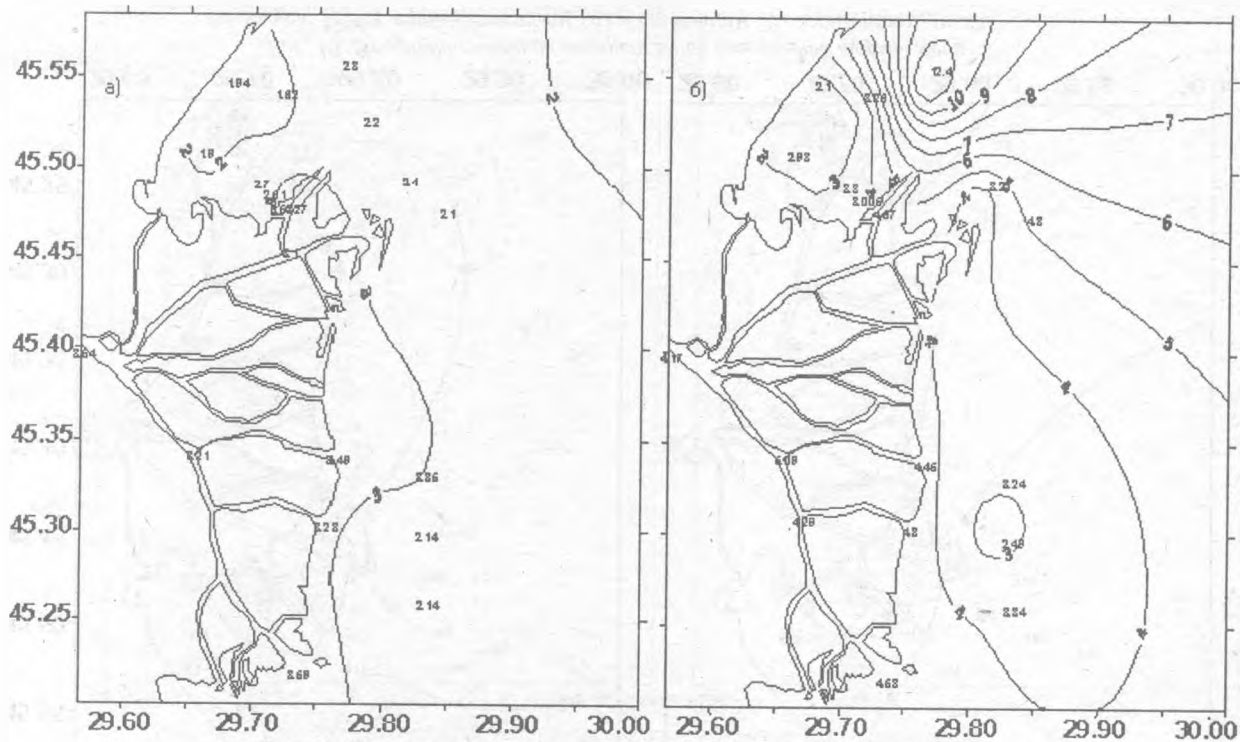


Рис. 11. Пространственное распределение растворенной формы меди в сентябре 1997 г. в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах, мкг/л

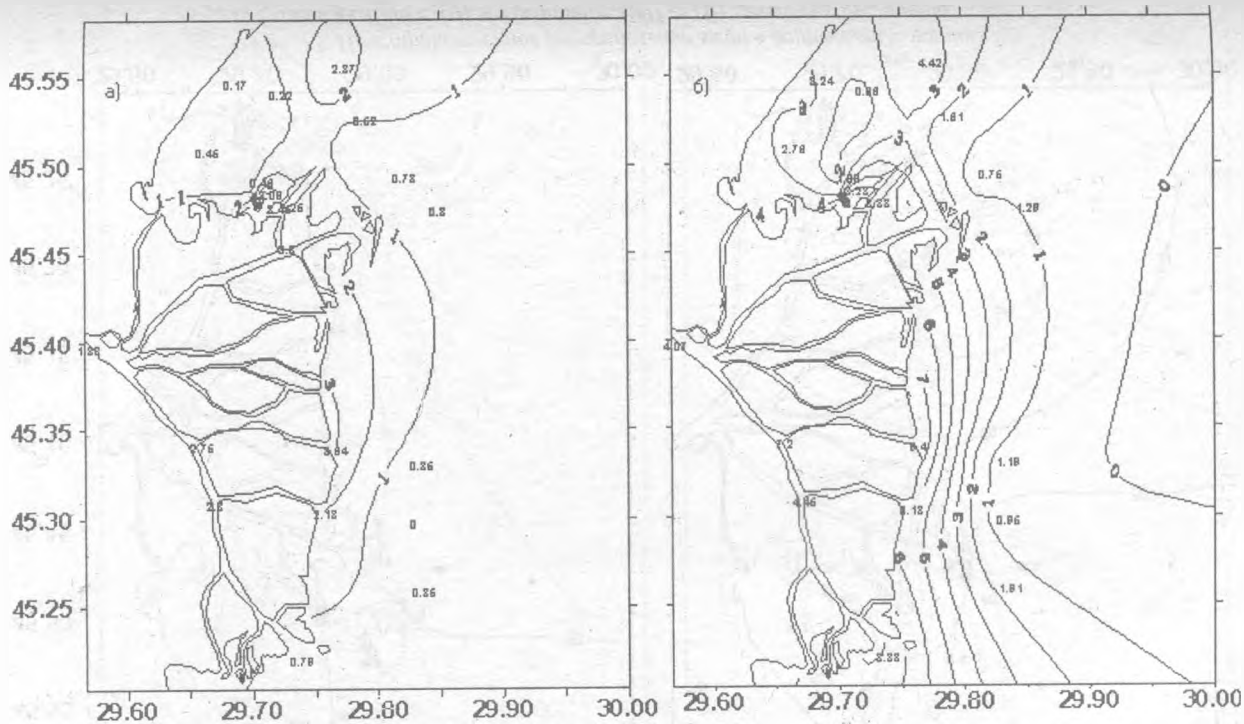


Рис. 12. Пространственное распределение взвешенной формы меди в сентябре 1997 г. в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах, мкг/л.

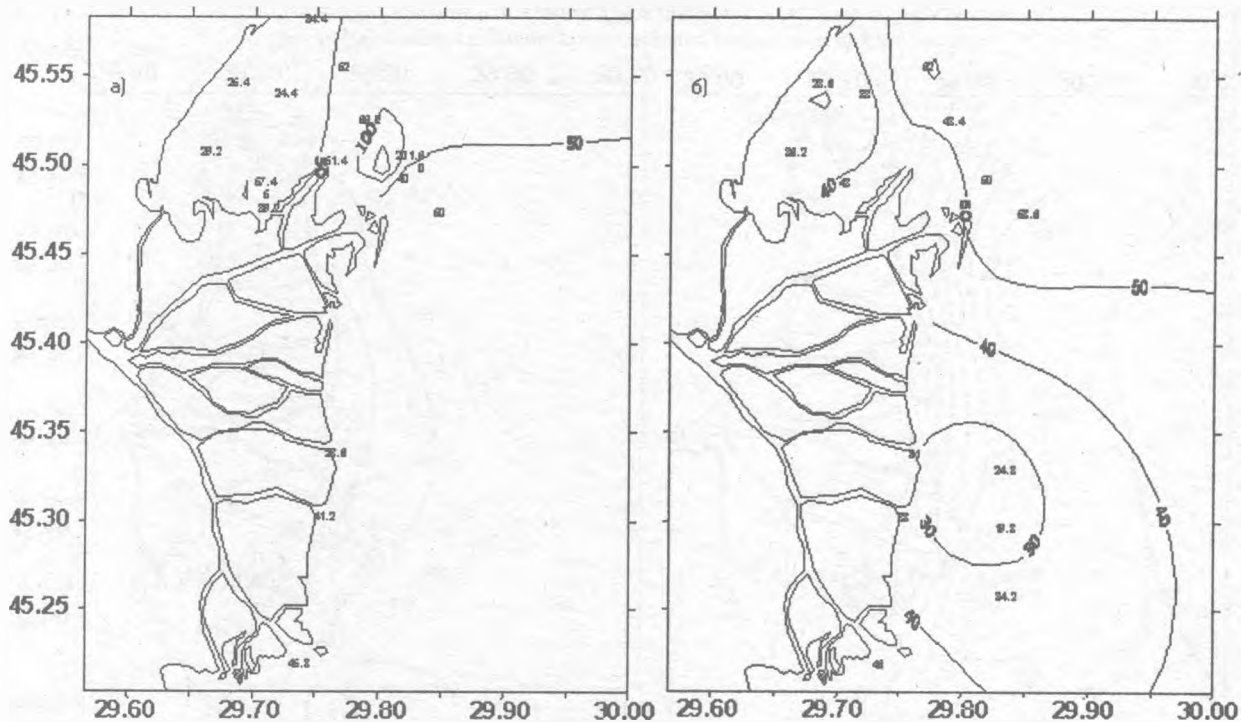


Рис. 13. Пространственное распределение меди в донных отложениях в июне 1996 г. (а) и в сентябре 1997 г. (б), мкг/г сухого грунта.

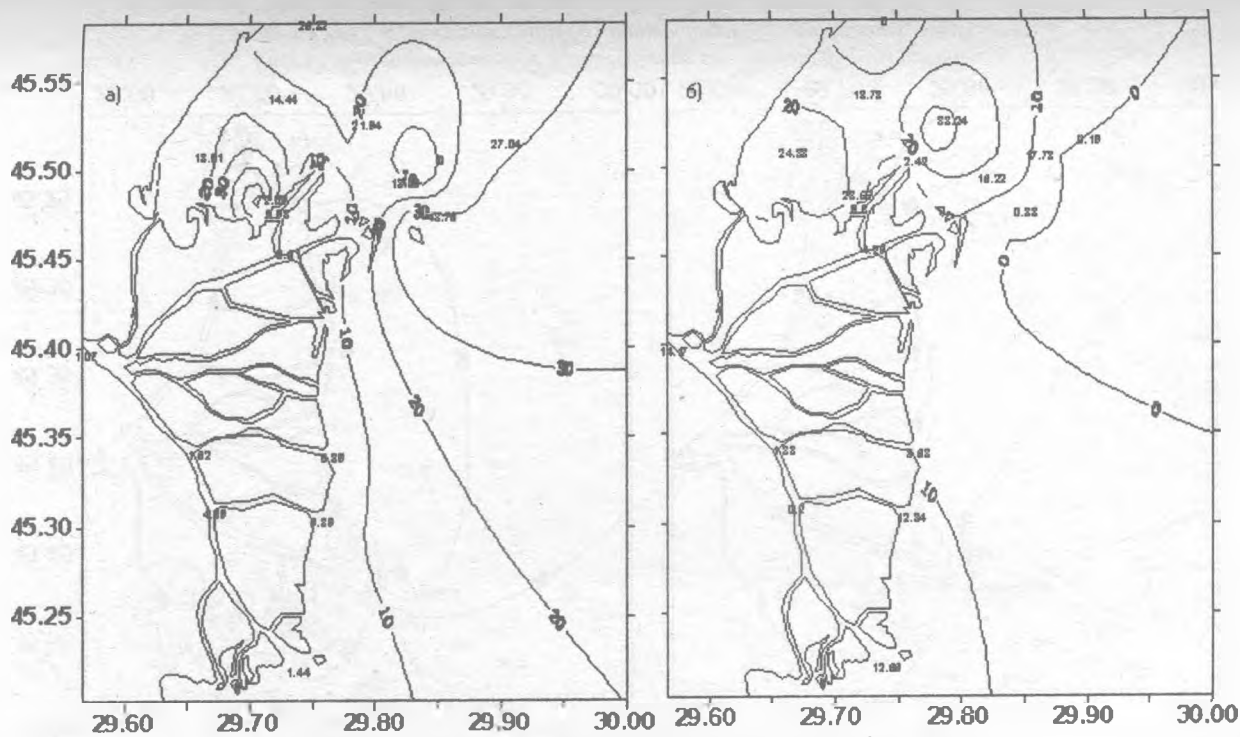


Рис. 14. Пространственное распределение растворенной формы цинка в июне 1996 г. в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах, мкг/л

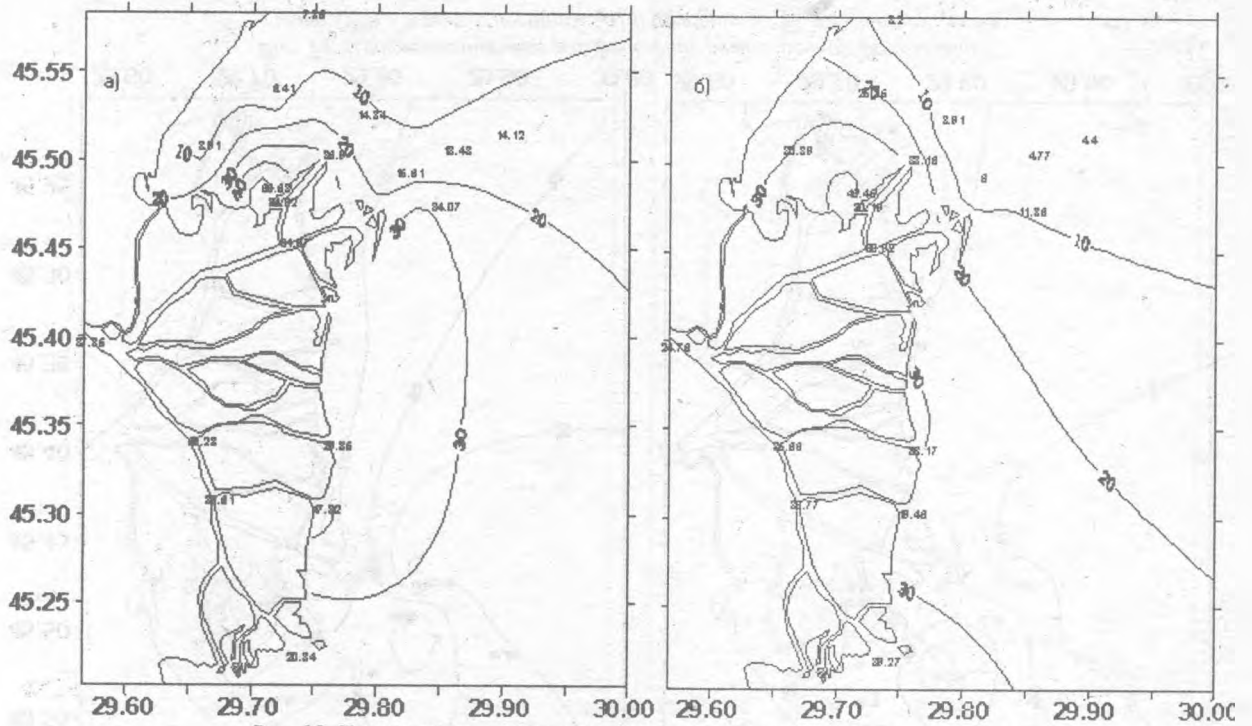


Рис. 15. Пространственное распределение взвешенной формы цинка в июне 1996 г. в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах, мкг/л.

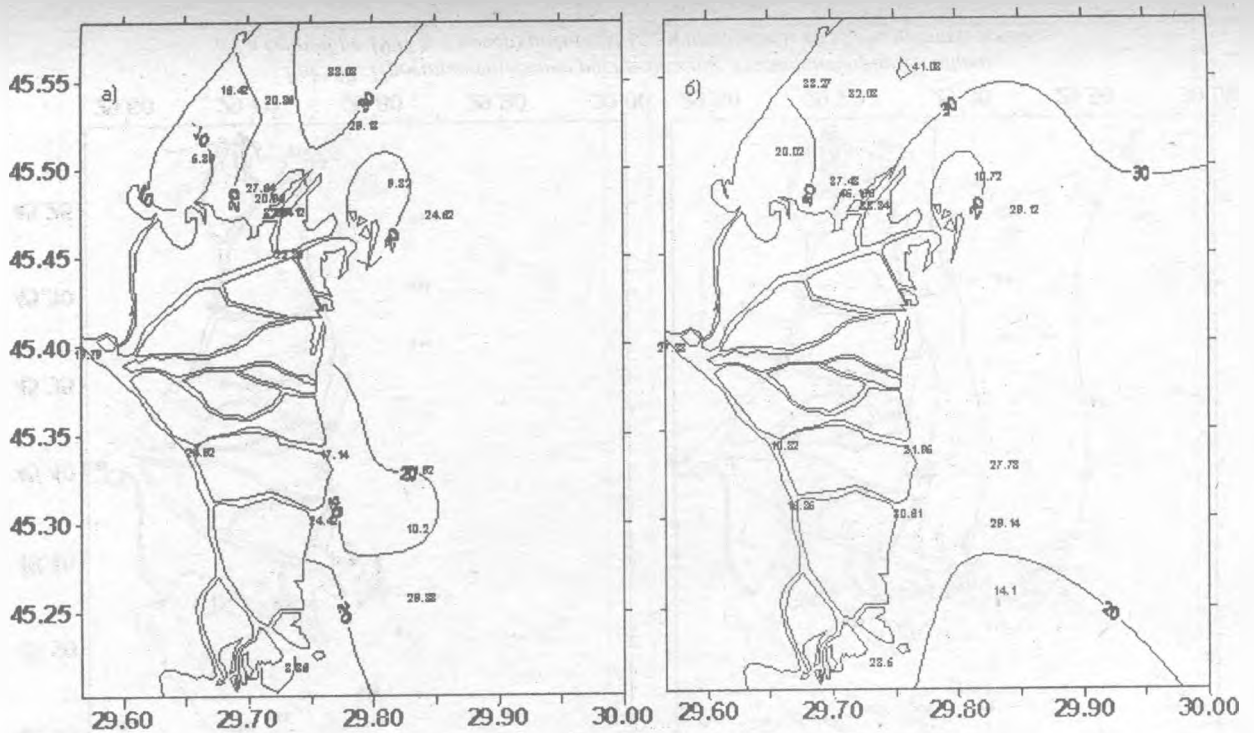


Рис. 16. Пространственное распределение растворенной формы цинка в сентябре 1997 г. в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах, мкг/л.

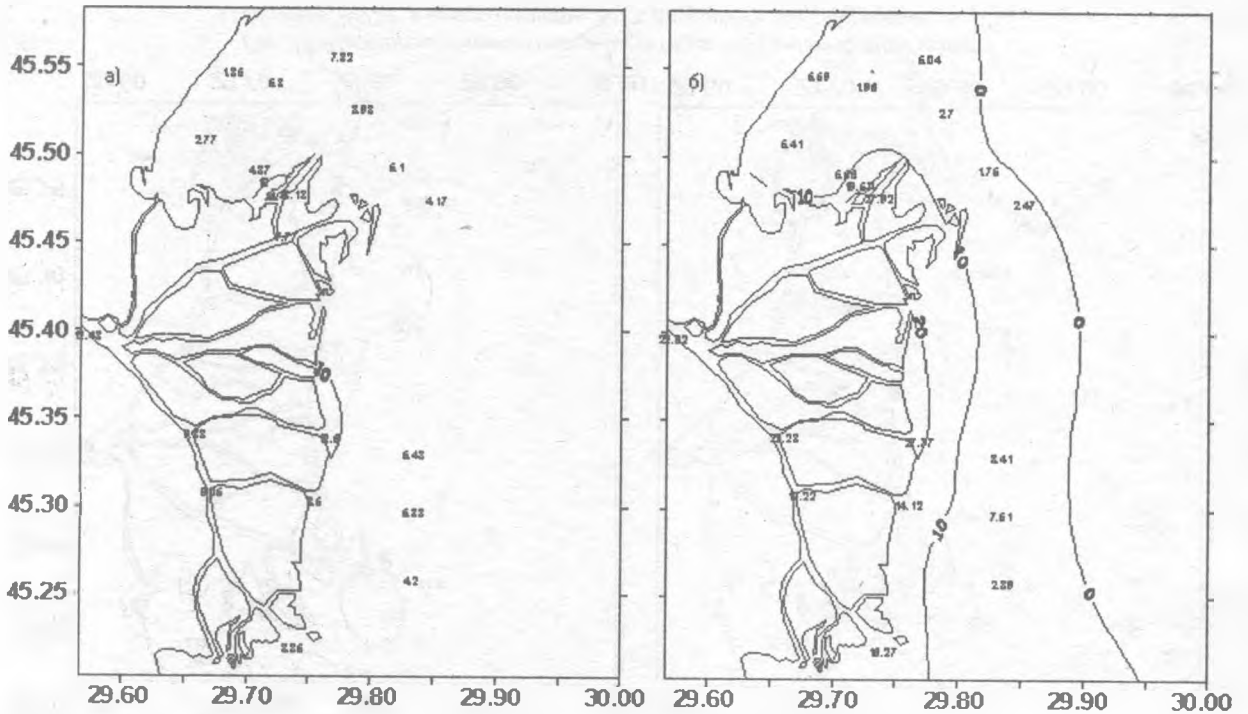


Рис. 17. Пространственное распределение взвешенной формы цинка в сентябре 1997 г. в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах, мг/л

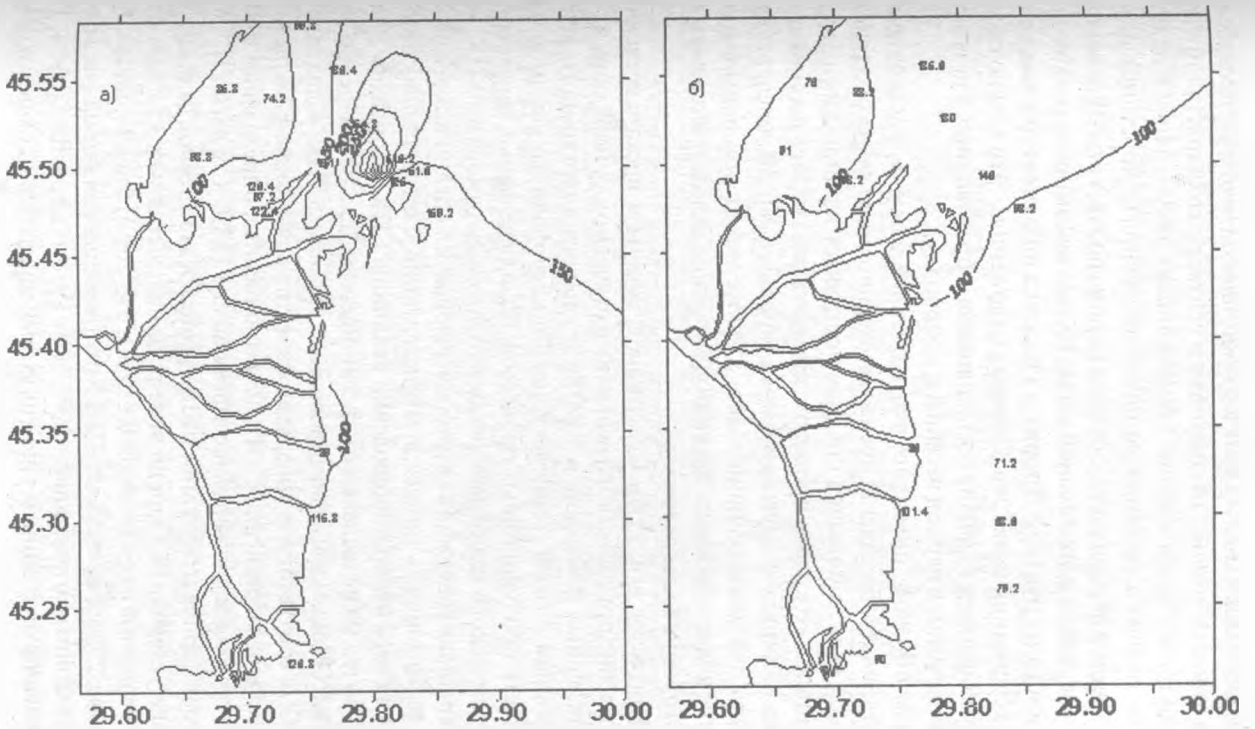


Рис. 18. Пространственное распределение цинка в донных отложениях в июне 1996 г. (а) и в сентябре 1997 г. (б), мг/г сухого грунта.

Уровень содержания и характер пространственного распределения меди и цинка в донных отложениях в сентябре сохраняется практически такой же, как и в июне. Максимальная аккумуляция в дельтовой зоне отмечается в замыкающих створах гирл Старостамбульское и Восточное, в Жебриянской бухте в районе порта Усть-Дунайский и северо-восточной фронтальной зоны. Только на взморье в районе влияния выноса из рукавов Прорва и Очаковский отмечено резкое снижение содержания металлов в донных отложениях. Это можно объяснить размыванием к началу осени наносов, образованных в результате седиментации в период весеннего половодья.

Таким образом, очевидно, что в отличие от меди, растворенной формой цинка, обогащены преимущественно воды морского генезиса. Речной сток, в большей степени, поставляет в район взвешенную форму цинка, которая в процессе седиментации оседает в донные отложения и, наряду с другими аккумулярованными ЗВ, представляет опасность для донных биоценозов, а также может при повышенной динамике вод и изменении физико-химических условий вызывать явления вторичного загрязнения.

Органическое вещество. Содержание, формы и пространственное распределение органического вещества в изучаемом районе зависят от многочисленных факторов, в том числе, выноса аллохтонного вещества с речным стоком, температурного и кислородного режимов, интенсивности продукционных процессов. Из определяемых характеристик органического вещества к регламентируемым относится БПК₅, характеризующая содержание легкоокисляющегося органического вещества и интенсивность процесса его деструкции бактериопланктоном. Средние за весь период наблюдений величины БПК₅ позволяют классифицировать воды выделенных регионов (табл.2) как "умеренно загрязненные". Локально зафиксированные величины БПК₅ в диапазоне 4-10 мг О₂/л соответствуют разрядам качества воды "сильно загрязненная" и "весьма загрязненная". Из 308 выполненных определений БПК₅ в 31,5% случаев зафиксировано превышение ПДК. Согласно [17, 18] среднее суммарное содержание растворенной и взвешенной форм органического углерода (Σ Сорг) в воде р. Дунай составляет 8,53 мг/л при $\approx 20\%$ взвешенной формы. В водах верхнего (0-200 м) слоя Черного моря содержание Σ Сорг составляет 3,2-3,5 мг/л, взвешенная форма - не более 1-2 %, а в донных отложениях - до 1 % от сухого вещества грунта. Из сопоставления этих данных с результатами определений Сорг в изуча-

емом районе (табл. 2-4) видно, что в районе дельты содержание всех миграционных форм Сорг несколько выше, что вполне соответствует отмечаемой в последнее десятилетие тенденции к обогащению вод р. Дунай органическим веществом [16].

Таблица 4. Характеристики органического вещества вод, рассчитанные по усредненным данным за весь период наблюдений.

Районы	Горизонт	Σ Сорг, мг/л	$C_{\text{орг взв}}$ % от $\Sigma C_{\text{орг}}$	$C_{\text{орг}}$ взв., % от M^*	$\Sigma C_{\text{орг}}/$ БПК ₅	ПП/Д**
Дельта	Поверхностный	9,53	23,18	3,7	3,44	1,56
	Придонный	7,7	33,60	2,76	3,39	2,06
Жебриянская бухта	Поверхностный	9,57	16,30	5,2	3,03	1,92
	Придонный	6,38	18,60	4,6	2,88	1,73
Приустьевое взморье	Поверхностный	8,76	18,72	12,6	2,96	1,15
	Придонный	6,25	17,44	6,0	2,93	0,51

M^* - содержание взвешенного вещества (мутность).

D^{**} - суточная деструкция (суточное БПК в пересчете на углерод).

Значительная обогащенность вод Жебриянской бухты и приустьевого взморья растворенной и, в особенности, взвешенной (в 10 раз) формой Сорг по сравнению с открытым морем, а также высокий уровень аккумуляции Сорг в донных отложениях (3% от сухого грунта) является следствием влияния выноса аллохтонного органического вещества с речным стоком.

Характерной особенностью пространственного распределения Сорг в изучаемом районе является возрастание относительной доли Сорг во взвеси в ряду: дельта - Жебриянская бухта - приустьевое взморье, на фоне обратного распределения общего содержания взвешенного вещества. Это связано с тем, что крупные минеральные фракции взвеси в большей степени осаждаются на выходе из рукавов, а мелкодисперсные илистые, обогащенные органическим веществом, выносятся в море и осаждаются во фронтальных зонах. Обогащению взвеси и донных отложений органическим веществом способствуют, кроме того, процессы флокуляции и коагуляции, протекающие в зоне смешения речных и морских вод. Подтверждением этому может служить пространственное распределение Сорг в донных отложениях (рис.

19). Снижение относительной доли Сорг во взвеси ко дну закономерно связано с менее интенсивной седиментацией легких органических частиц, а также с преимущественным развитием фито- и бактериопланктона в поверхностном горизонте. В этом ряду отмечается также постепенное уменьшение величины соотношения Σ Сорг/БПК₅, что свидетельствует об увеличении вклада легкоокисляющегося органического вещества в общее содержание Сорг.

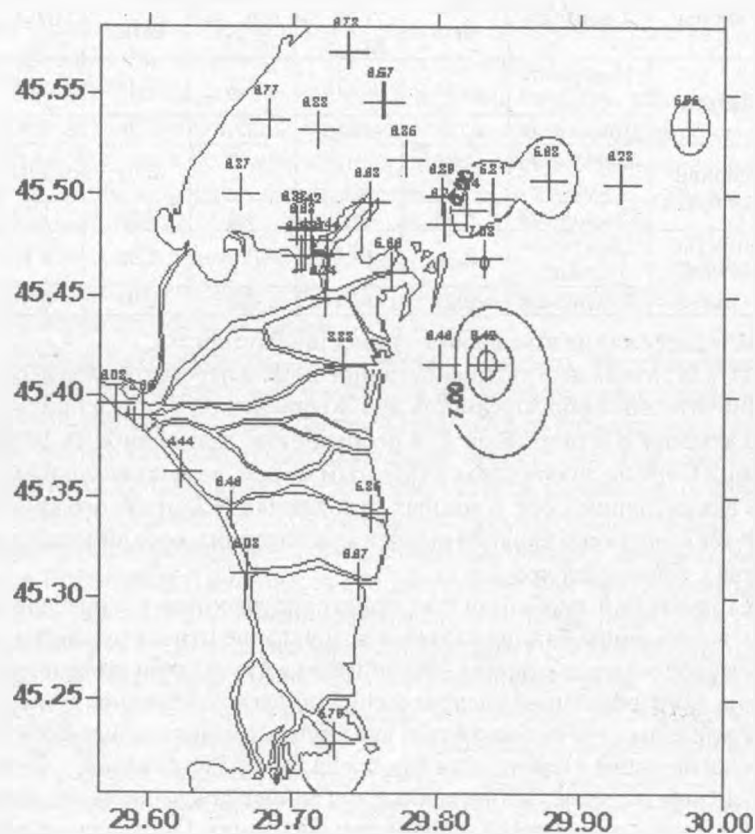


Рис. 19. Пространственное распределение Сорг в донных отложениях за весь период наблюдений, % сухого вещества грунта.

Причем, если в Жебриянской бухте это в большей степени связано с повышенной интенсивностью процесса продукции органического ве-

щества фитопланктона, то в районе приустьевого взморья со снижением ингибирующего влияния избыточной мутности на активность микроорганизмов-деструкторов.

В относительно мелководном районе дельты отмечены минимальные средние вертикальные градиенты БПК₅ (0,5 мг/л) и ПП (29 мг С/м³ сутки), причем, в отличие от Жебриянской бухты и взморья, здесь уровень ПП у дна несколько возрастает. Максимальное среднее снижение ко дну, как БПК₅ (0,93 мг/л), так и ПП (176 мг С/м³сутки) фиксируется в Жебриянской бухте.

Минимальный средний уровень ПП в районе взморья, на фоне более высокого содержания хлорофилла "а", в поверхностном горизонте и меньшего % феофитинизации (табл. 2) может быть обусловлен рядом причин. Это и меньшее, чем в водах дельты и Жебриянской бухты содержание биогенных веществ, более высокий уровень загрязнения, а также преобладание здесь морских, менее продуктивных по сравнению с речными, видов микроводорослей. Последний фактор, наряду с высокой обеспеченностью вод минеральными формами биогенных веществ и снижением мутности, объясняет не только максимальный уровень, но и вертикальное распределение ПП в Жебриянской бухте. В связи с особенностями циркуляции вод здесь в распресненном поверхностном горизонте, очевидно, выживают и сохраняют фотосинтетическую активность пресноводные виды фитопланктона.

Величины соотношения ПП/Д показывают, что в районах дельты и Жебриянской бухты продукция фитопланктона преобладает над деструкцией органического вещества, т. е. автохтонное вещество вносит дополнительный вклад в общий запас Сорг. В районе же приустьевого взморья в поверхностном горизонте интенсивности этих процессов соизмеримы, а в придонном слое - доминирует процесс деструкции. Это свидетельствует о том, что здесь активно потребляется микроорганизмами, помимо автохтонного, нестойкое органическое вещество аллохтонного происхождения.

Таким образом, очевидно, что нагрузка по органическому веществу на исследуемую акваторию настолько велика, что процессы биологического самоочищения с ней не справляются. В результате в СЗЧМ поступает избыток органического вещества, сформированный, с одной стороны, выносом с речным стоком, а, с другой - автотрофными процессами непосредственно в районе дельты и Жебриянской бухты.

По ряду объективных (связь с многочисленными природными и антропогенными факторами) и субъективных (недостаточная частота и сезонная обеспеченность съемок) причин, закономерностей и тенденций внутри- и межгодовой изменчивости изучаемых характеристик выявить не удалось. Уровень ПП, в отсутствие лимитирования содержанием биогенных веществ, определяется сезонностью развития фитопланктона и наличием факторов ингибирующих процесс фотосинтеза. К последним могут быть отнесены высокая мутность и загрязненность вод. Согласно [17] концентрация хлорофилла является показателем напряженности биологических процессов, развивающихся в водоеме и критерием уровня эвтрофирования, в том числе, антропогенного. В соответствии с классификацией, предложенной Г.Г. Винбергом, по среднему содержанию хлорофилла (> 10 мг/л) трофический статус исследуемого района оценивается как эвтрофный. Однако из сопоставления кривых, представленных на рис.20 видно, что средний по съемкам уровень ПП определяется не столько концентрацией в воде хлорофилла, сколько содержанием в нем феофитина. Так, например, абсолютному минимуму ПП в марте 1996 г. соответствует высокое содержание хлорофилла с максимальным уровнем феофитинизации, что свидетельствует об аллохтонном генезисе хлорофилла. Периоды осеннего развития фитопланктона характеризуются высокой фотосинтетической активностью хлорофилла (минимальными уровнями феофитинизации). Причем, при близких уровнях ПП в сентябре 1994 и 1997 гг. концентрации хлорофилла существенно различаются. В октябре 1996 г., на исходе осенней вегетации фитопланктона отмечается снижение, по сравнению с сентябрем, уровня ПП, при близких концентрациях хлорофилла и феофитина. Здесь, очевидно, сказывается как сезонность развития фитопланктона, так и ингибирующее влияние мутности (абсолютный максимум), связанное с осенним паводком. При этом, наблюдается закономерное обогащение феофитином придонного слоя, обусловленное интенсивной седиментацией отмерших клеток фитопланктона. Таким образом, очевидно, что только по концентрации хлорофилла судить о фактическом или потенциальном развитии фитопланктона не корректно. Интенсивность ПП в отсутствие ингибирующих факторов определяется содержанием "свежего", фотосинтетически активного хлорофилла.

От съемки к съемке значительно изменяются как уровни содержания, так и пространственное распределение, и соотношение между раз-

личными формами органического вещества. Из рис. 20а и 21 видно, что среднее содержание растворенного и взвешенного органического углерода в целом соответствует уровню ПП. Высокое содержание углерода отмечается в основном в дельтовой зоне (преимущественно в замыкающих створах рукавов), а также в центре Жебриянской бухты и фронтальных зонах. Однако в большей степени с автотрофными процессами, естественно, связано содержание легкоокисляющегося органического вещества. Максимальные величины БПК₅, как правило, фиксируются в зонах локального "цветения" фитопланктона (например, в июне 1995 г., рис. 22, 23). В октябре 1996 г. на фоне общего снижения и относительно равномерного распределения уровня ПП (рис. 24) отмечается выравнивание распределения БПК₅ как по площади, так и по вертикали (рис. 25). В периоды низкого стока (например, сентябрь 1997 г.) гидрофронты, а с ними и зоны "цветения" смещаются вглубь Жебриянской бухты и в северо-восточный район дельты (рис. 26).

Самая высокая средняя величина ПП в этой съемке объясняется тем, что осеннее развитие фитопланктона совпало с относительным снижением мутности и уровня нефтяного загрязнения вод района. Низкий уровень ПП в июне 1996 г. по сравнению с другими июньскими съемками можно объяснить ингибирующим действием нефтепродуктов, содержание которых было самым высоким за весь период наблюдений (рис. 3а) в сочетании с повышенной мутностью. В районе Жебриянской бухты и взморья, где содержание НП достигало 3-10 ПДК, зафиксированы нулевые значения ПП.

Заключение

В результате исследований, проведенных в период 1993-1997 гг. в приустьевой зоне р. Дунай, удалось выявить особенности пространственно-временной изменчивости распределения органических и загрязняющих веществ в связи с влиянием природных и антропогенных факторов. Выделено три района (дельта, Жебриянская бухта и взморье), гидрологические особенности которых определяют перераспределения миграционных форм веществ природного и антропогенного происхождения. Основным фактором, ответственным за уровень содержания и временную изменчивость распределения веществ в изучаемом районе, является обогащенный взвешенным и, в том числе аллохтонным органическим веществом, загрязненный сток р. Дунай.

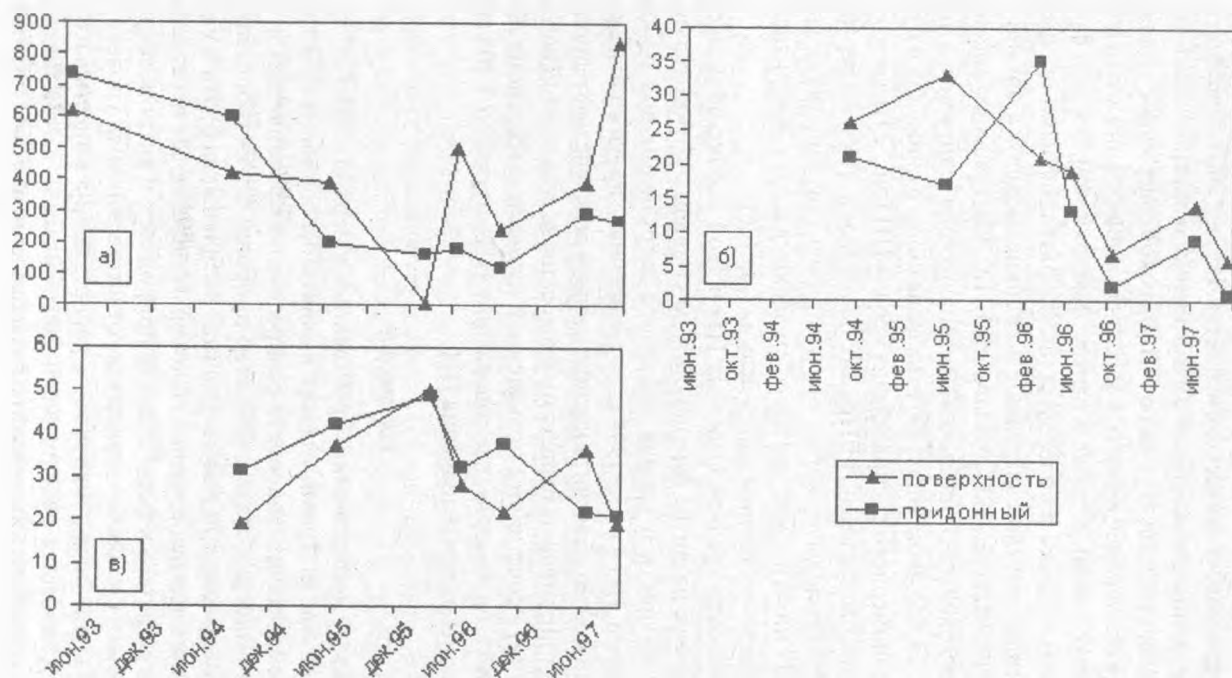


Рис. 20. Временная изменчивость средних по съёмкам уровня ПП, мг C/m³ сут. (а), содержания хлорофилла "а" мг/м³ (б), и феофитина (в), % от хлорофилла в воде поверхностного и придонного горизонтов.

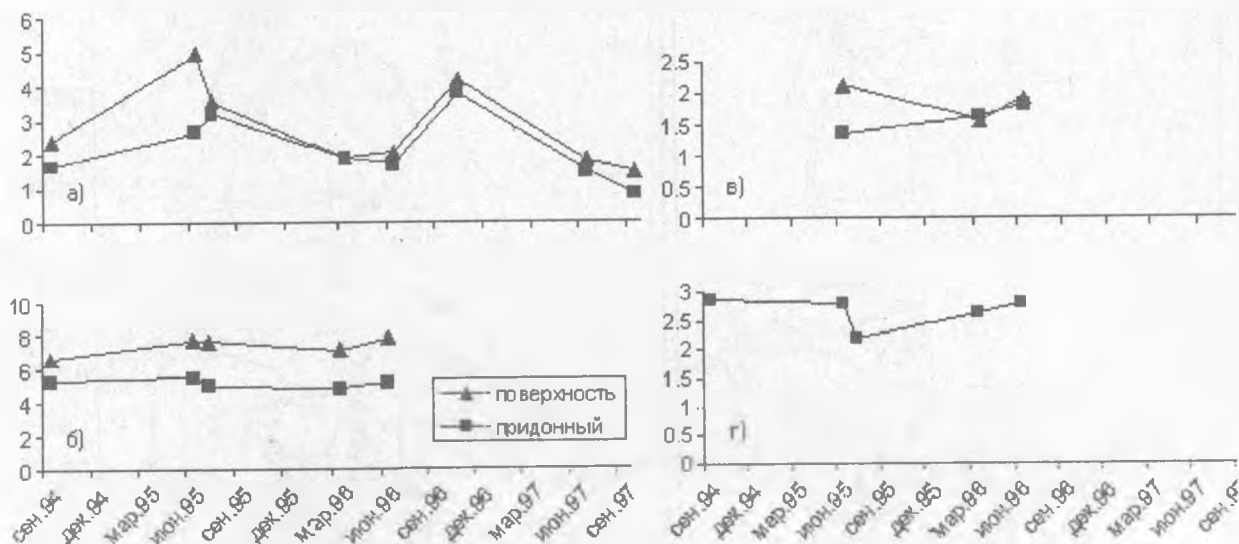


Рис. 21. Временная изменчивость средних по съёмкам величин БПК₅, мг/л (а), растворенного (б), взвешенного (в) углерода в воде, мг/л и донных отложениях (г), % сухого грунта

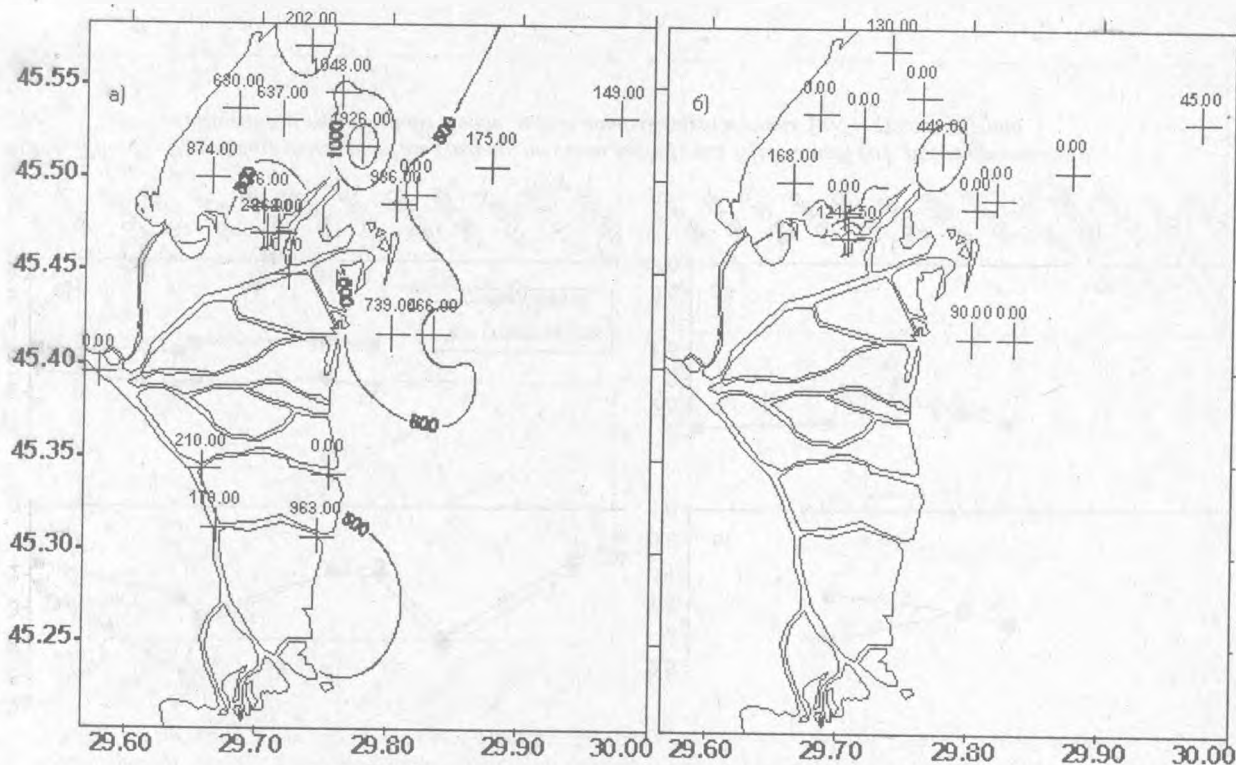


Рис. 22. Пространственное распределение первичной продукции в поверхностном (а) и придонном (б) слоях в июне 1995 г., мг C/m^3 сут.

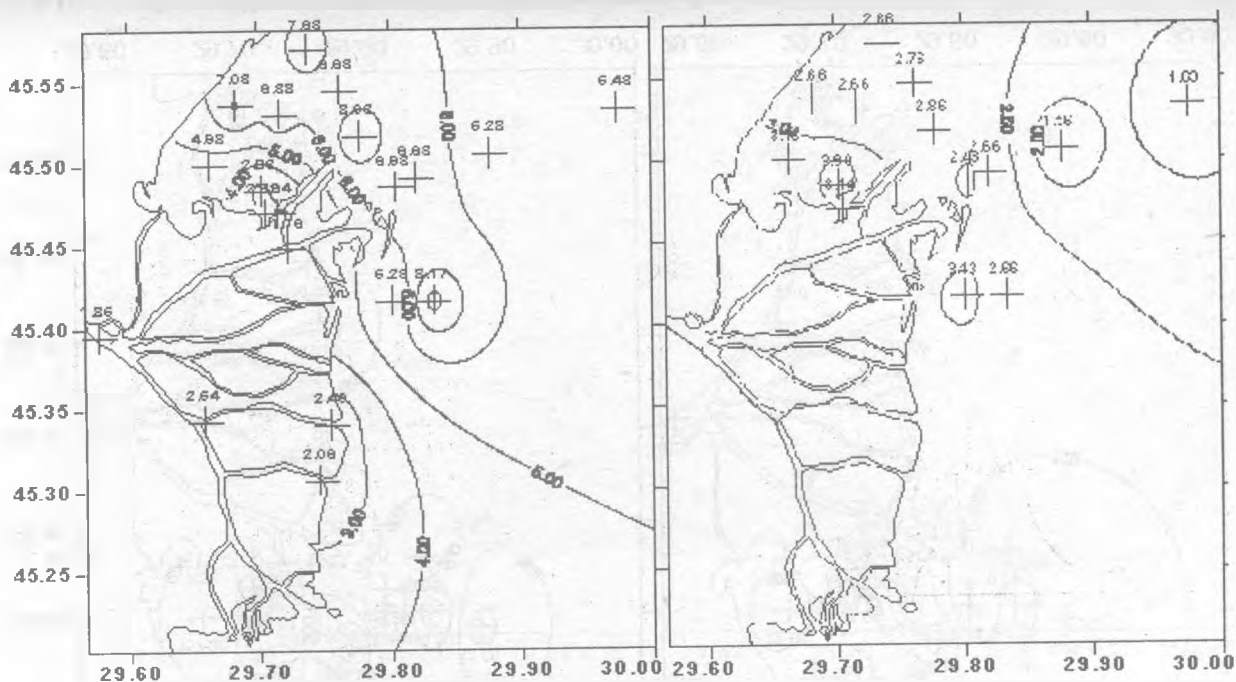


Рис. 23. Пространственное распределение БПК₅ в поверхностном (а) и придонном (б) слоях в июне 1995 г., мг O_2/l .

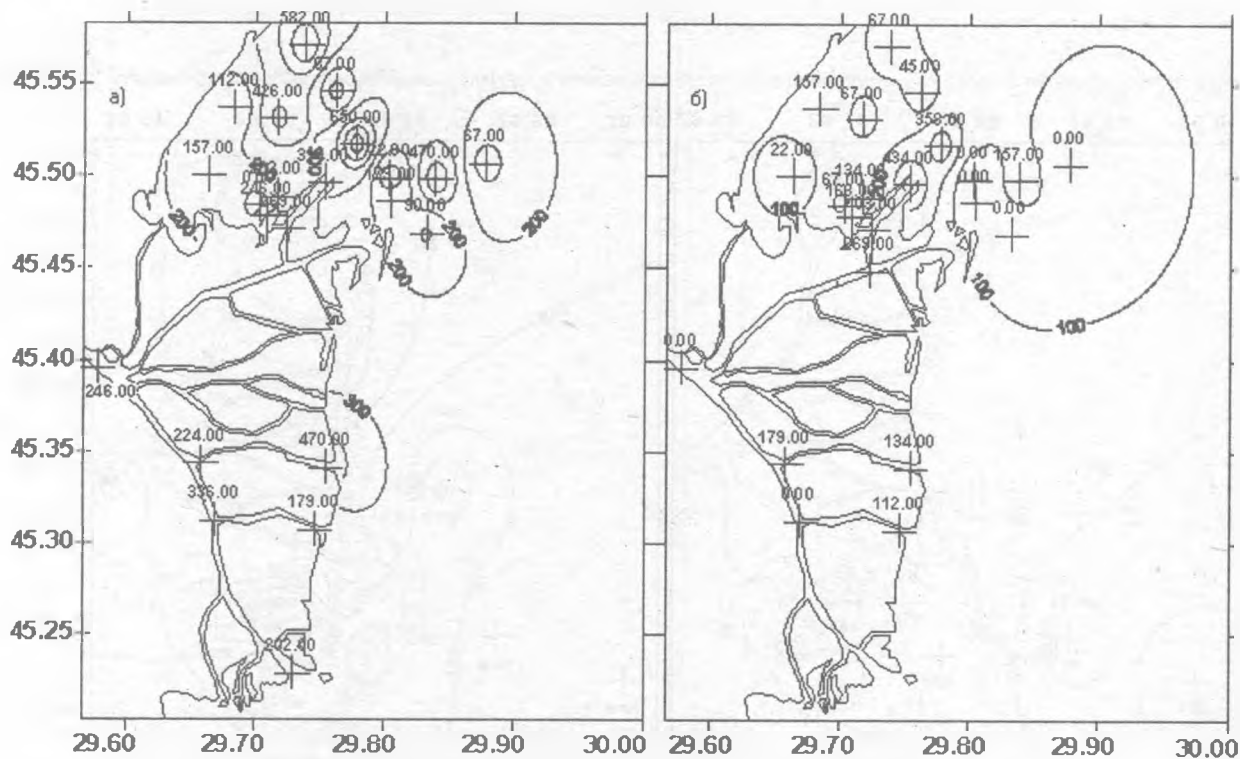


Рис. 24. Пространственное распределение первичной продукции в поверхностном (а) и придонном (б) слоях в октябре 1996 г., мг С/м³ сут.

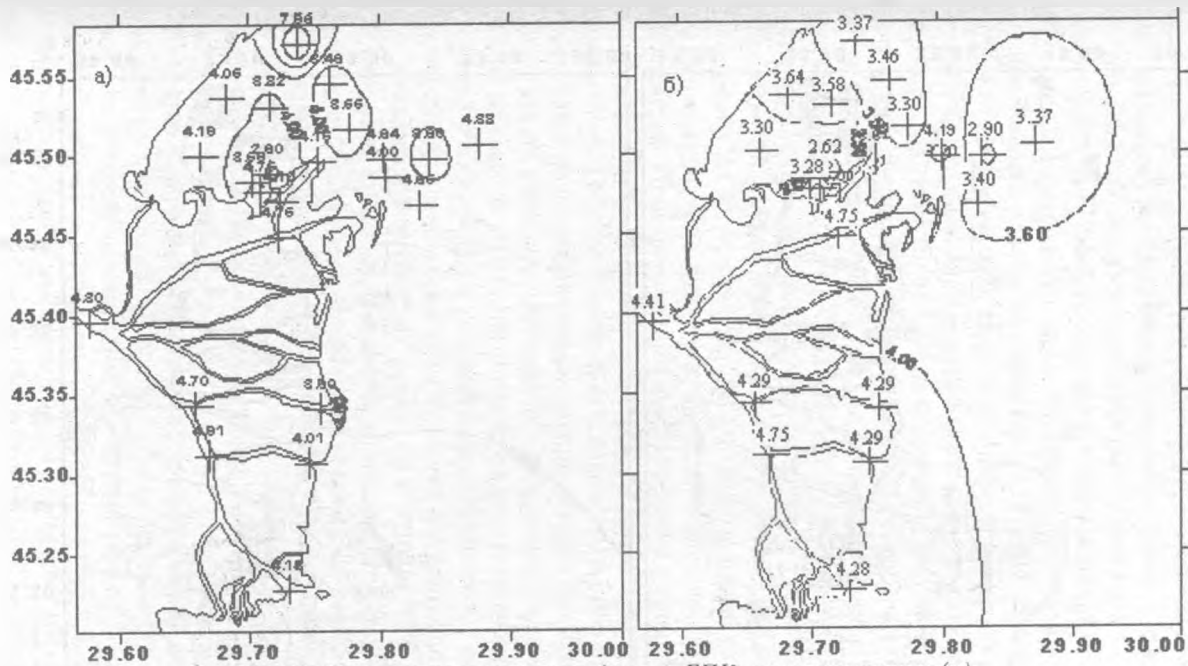


Рис. 25. Пространственное распределение BPK₅ в поверхностном (а) и придонном (б) слоях в октябре 1996 г., мг О/л.

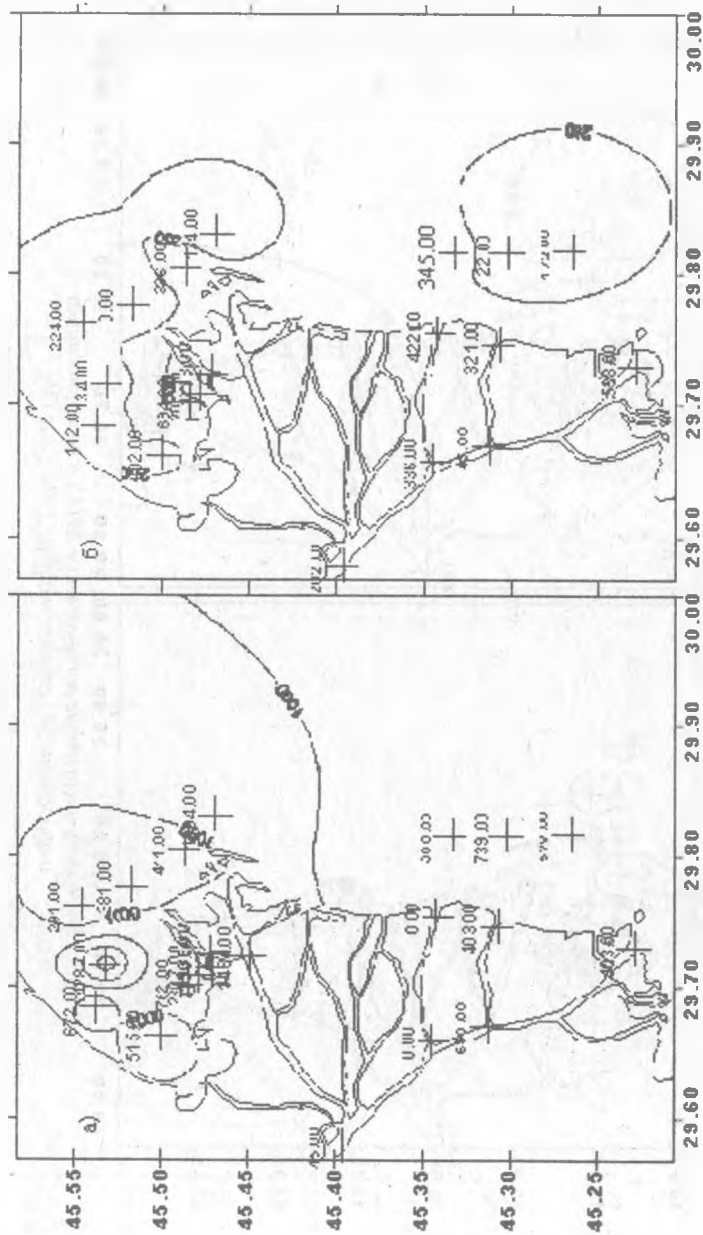


Рис. 26. Пространственное распределение первичной продукции в поверхностном (а) и придонном (б) слоях в сентябре 1997 г., мг С/м³ сут.

Выявленное хроническое нефтяное загрязнение связано с активным судоходством как по р. Дунай, так и непосредственно приустьевой зоне. Высокие концентрации НП, зафиксированные в воде и донных отложениях, локально ингибируют развитие фитопланктона и могут быть причиной деградации донных биоценозов в замыкающих створах рукавов Прорва, Старостамбульский, Восточный и фронтальных зонах Жебриянской бухты и приустьевого взморья. Наиболее интенсивно и эффективно деструкция НП протекает в пределах участков дельты, характеризующихся высоким содержанием кислорода по всей глубине и хорошо аэрируемыми песчаными грунтами. Высокое содержание легкоокисляющегося органического вещества в воде, а также обогащенность донных отложений Сорг, на фоне двухслойной структуры вод и дефицита кислорода в придонном слое, приводит к снижению скорости и эффективности процессов деструкции НП в застойных и фронтальных зонах Жебриянской бухты и приустьевого взморья.

Из металлов экологически значимо содержание растворенных форм меди и цинка, причем загрязнение ими дельтовой зоны имеет хронический характер. Пространственное распределение и временная изменчивость содержания меди свидетельствует о преимущественной связи с водами речного генезиса и смывом с сельскохозяйственных территорий, занятых под садоводство и виноградарство. Загрязнение цинком имеет техногенное происхождение и в большей степени связано с морскими водами. В дельте доминируют взвешенные формы металлов, в связи с избыточным содержанием взвешенного вещества. В Жебриянской бухте и взморье их содержание снижается вдвое и более раз и становится соизмеримым, а иногда и меньше, чем растворенных. Следствием процесса седиментации металлов, адсорбированных на взвешенном веществе, во фронтальных зонах является их накопление в донных отложениях. Максимальные уровни зафиксированы в замыкающих створах рукавов, в районе порта Усть-Дунайский, во фронтальных зонах Жебриянской бухты и взморья (на траверсе гирл Прорва и Очаковское).

По уровню содержания органического вещества воды изучаемого района можно характеризовать как эвтрофные, а локально как гипертрофные. В том числе по БПК, они варьируют от "умеренно загрязненные" до "весьма загрязненные". Помимо выноса аллохтонного органического углерода с речным стоком значительный вклад в обогащение вод и донных отложений органическим веществом вносят

автохтонные процессы, наиболее интенсивно протекающие в районе дельты и Жебриянской бухты.

Уровень и пространственное распределение ПП, в отсутствие лимитирования продукционного процесса содержанием биогенных веществ, определяется сезонностью развития фитопланктона и ингибирующим влиянием мутности и загрязненности вод. Кроме того, интенсивность ПП связана с содержанием "свежего" фотосинтетически активного хлорофилла, с низким уровнем феофитинизации. Зоны локального "цветения" фитопланктона, как правило, совпадают с гидрофронтами, где происходит выведение из водной толщи избытка взвешенного вещества минерального и органического происхождения, с адсорбированными на нем ЗВ.

В целом же нагрузка по органическому веществу на экосистемы изучаемого района настолько велика, что процессы биологического самоочищения с ней не справляются, в результате чего в СЗЧМ поступает избыток органического вещества, определяющий напряженность кислородного режима в условиях плотностной стратификации.

Литература

1. *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши.* - Л.: Гидрометеиздат. - 1977, - с.335-340.
2. *Унифицированные методы исследования качества вод. Часть 1 // Методы химического анализа вод. Т.1.* М.: Гидрометеиздат. - 1982. - С. 1055-1057.
3. *Методические указания по определению токсических загрязняющих веществ на фоновом уровне.* - М.: Гидрометеиздат. - 1982, - № 45. - с.
4. *Методические указания по определению загрязняющих веществ в морских донных отложениях.* - М.: Гидрометеиздат. 1979. №43. с.38.
5. *Зареукас С.А. Процессы седиментации и круговорота осадочного материала в Куриском заливе. 2. Комплекс методических процедур экстракции и концентрирования углеводов при исследовании морских экосистем. // Труды Академии наук Литовской ССР. Серия Б. 1989. - Т.1 (170). - с.128-133.*
6. *Временная инструкция по определению тяжелых металлов в морской взвеси непламенным атомно-абсорбционным методом.* - М.: ГОИН. - 1987. - с. 198.

7. *Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений.* - Л.: Гидрометеиздат. - 1986. - с.100-105.
8. *Бронфман А.М., Рясинцева Н.И., Савин П.Т. Пространственно-временные особенности деградации нефтепродуктов в море // Химия и биология моря.* - М.: Гидрометеиздат. - 1987. - с.79-99.
9. *Савин П.Т. Самоочищение морских вод от нефтепродуктов и вопросы регламентации их сброса в Азовское море и СЗЧМ / Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.г.н. - Ростов-на-Дону. - 1988. - с.18.*
10. *СанПиН № 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения.* - М.: 1988.
11. *СанПиН № 4631-88 Санитарные правила и нормы охраны прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования.* - М.: 1980.
12. *Миронов О.Г., Миловидова Н.Ю., Кирюхина Л.Н. О предельно-допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Черного моря // Гидробиологический журнал.* - 1986. - Т. 22. - № 6. - с.76-78.
13. *Рясинцева Н.И., Саркисова С.А. Уровень загрязнения и первичной продукции органического вещества фитопланктона р. Дунай // Водные ресурсы.* - 1993. - Т. 20, № 4. - с. 505-509.
14. *Герлах С.А. Загрязнение морей: диагноз и терапия.* - Л.: Гидрометеиздат. 1985. с. 262.
15. *Тимченко В.М. Эколого-гидрологические исследования водоемов северо-западного Причерноморья.* - Киев.: Наукова думка. - 1990. - С. 338.
16. *Харченко Т.А., Тимченко В.М., Ковальчук А.А. Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов.* Киев.: Наукова думка. - 1993. - С. 328.
17. *Скопичев Б.А. Формирование современного химического состава вод Черного моря.* - Л.: Гидрометеиздат. - 1975. - с. 67-72.
18. *Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане.* - М.: Изд-во наука. - 1977. - с. 22.
19. *Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов.* - Санкт-Петербург.: Гидрометеиздат. - 1993 - С. 227.

РАЗВИТИЕ БЕЛОКСИНТЕЗИРУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В ЭКОСИСТЕМЕ ЖЕБРИАНСКОЙ БУХТЫ

В. К. Головенко, В. П. Полудина

Эвтрофикация северо-западной части Черного моря вызвала существенные изменения межорганизменных связей морских биоценозов, из-за чего нарушился баланс продукционно-деструкционных процессов в экосистеме (Зайцев и др., 1987, Зайцев, 1990). Основой продуктивности служит биологическое превращение потока органического вещества (взвешенного и растворенного) в результате жизнедеятельности гидробионтов. Носителями важнейших биологических функций, определяющих способность системы к утилизации и биотрансформации органики, являются белки и нуклеиновые кислоты. Они относятся также к числу важнейших органических соединений, поступающих в морскую среду благодаря экологическому метаболизму (Агатова, 1989). Именно все выше сказанное определяет эти компоненты органического вещества как биохимические показатели качества водных масс и оценки состояния гидробиоценозов в конкретных условиях каждого региона моря.

Исходя из этого, были исследованы приустьевые районы реки Дунай и Жебриянская бухта на содержание белка и нуклеиновых кислот, растворенных в воде и сконцентрированных в грунтах (Методики опубликованы в книгах: "Методы исследования органического вещества в океане", 1990, Д. К. Шапиро "Практикум по биологической химии", 1972).

Распространение важнейших компонентов органического вещества (белка и нуклеиновых кислот) в экосистеме Жебриянской бухты сохраняет общую для всей северо-западной части Черного моря закономерность: максимальные их концентрации в воде и грунте обнаруживаются в разгар весеннего периода, когда начинаются интенсивные процессы продуцирования и преобразования растворенного органического вещества. В последующие сезоны в экосистеме бухты отмечены свои особенности в развитии белоксинтезирующих процессов. Так,

в отличие от пелагиали северо-западного шельфа в поверхностном слое воды бухты на протяжении всего теплого периода (весна, лето, осень) отмечено постоянное преобладание нуклеиновых кислот над белком в 1,3-1,7 раза, в то время как в придонном горизонте их больше только весной (рис. 1а). Такое протекание продукционно-деструкционных процессов в водной толще бухты свидетельствует о том, что ее пелагические сообщества особенно в верхнем слое несут мощную нагрузку по сохранению баланса продукции и деструкции растворенного органического вещества. В результате, возможно, здесь сформировался такой видовой набор гидробионтов, состоящий в большей мере из микроформ планктона, быстро воспроизводимых и обладающих способностью интенсивной трансформации растворенной органики. Это можно объяснить и тем, что в водах бухты обнаружены, на протяжении изученных сезонов года, относительно высокие уровни свободных мононуклеотидов (рис. 1б), наличие которых в водной толще указывает на загрязнение акваторий растворенными органическими веществами различного происхождения, в том числе, в результате лизиса отмирающих клеток, выделяющих в окружающую среду значительное количество нуклеиновых кислот. В водах северо-западного шельфа моря такие процессы характерны, в основном, осеннему, деструкционному периоду, в то время как в другие сезоны встречаются лишь локально фоновые значения свободных мононуклеотидов.

Одним из важных факторов определяющих распределение белка и нуклеиновых кислот в экосистеме Жебриянской бухты является речной сток Дуная, с водами которого приносится органическое вещество качественно отличное от такового морских вод. Поэтому на фоне относительно стабильного среднегодового содержания белка в грунте (1,7 мг/г сырой массы) по мере приближения к устью Дуная количество компонента достигает в некоторых точках 4,5 мг/г. Особенно это касается зоны смешения речных и морских вод (гидрофронта). При этом здесь, как правило, интенсивность процессов синтеза белка в 1,7 раза превышает таковую удаленных участков. Это, в первую очередь, связано с увеличением численности микрозообентосных форм, принимающих участие в трансформации оседающего на дно органического вещества (Себастьян, А. Герлах, 1985). Подтверждением сказанного служат литературные данные, согласно которым вблизи устья Дуная количественное развитие крупного бентоса уже многие годы обеднено (Полищук, 1973), а в грунте наблюдается высокая числен-

ность сапрофитных бактерий с их максимальной микробиологической активностью (Нижегородова и др., 1980, Мицкевич и др., 1992).

Было установлено, что и в пелагиали Жебриянской бухты в районе реки Дунай развитие белоксинтезирующих процессов находится в прямой зависимости от численности сапрофитных бактерий, максимальное количество которых приходится на приустьевый район (рис. 2; см. тут же ст. Теплинской Н. Г.). При этом в поверхностном горизонте воды данных районов преобладание нуклеиновых кислот над белком, свидетельствующее об интенсивном делении клеток микропланктона, в большей мере приурочено к участку между 5-10 м изобатой.

Многолетние периодические наблюдения за белоксинтезирующими процессами в донных отложениях Жебриянской бухты указывают на то, что их развитие имеет некоторые особенности по сравнению с другими участками прибрежной зоны северо-западного региона Черного моря. Так, если до 1991 года в грунтах бухты среднегодовые показатели суммарного белка были ниже чем в других районах моря, то за последние годы они выросли в 1,2-1,9 раза (рис. 3). Вероятно, за последние годы в Жебриянской бухте произошли изменения в видовом составе бентосного сообщества, отразившиеся на содержании компонентов белкового синтеза. На примере двух летних съемок (рис. 4) можно сказать, что ранее, вероятно, в донных отложениях бухты преобладали представители макробентоса, которые в вегетационный период при относительно невысокой численности и биомассе обеспечивали свое функционирование за счет метаболической активности.

Аналогичная картина, но менее выраженная, наблюдается и в осадках Одесского залива. При этом, на большей акватории моря, в том числе и в той, что прилегает к реке Дунай, в течение 1992-96 гг., в грунтах произошло снижение количества белка.

В последние же годы сформировалось такое бентосное сообщество, метаболические возможности которого обусловлены высокой биомассой и численностью форм, а также короткоциклическостью их развития. Так как количество суммарного белка в большей мере отражает биомассу микробентоса, особенно бактериального, то увеличение его концентрации свидетельствует о преобладании в грунтовых сообществах мелких видов гидробионтов. Подтверждением сказанного служит то, что до 1990 г. количество белка в грунтах колебалось в значительных пределах в зависимости от сезона года. Максимальные их величины соответствовали весеннему и осеннему пикам физиологической активности мелкобентосных организмов (рис. 5).

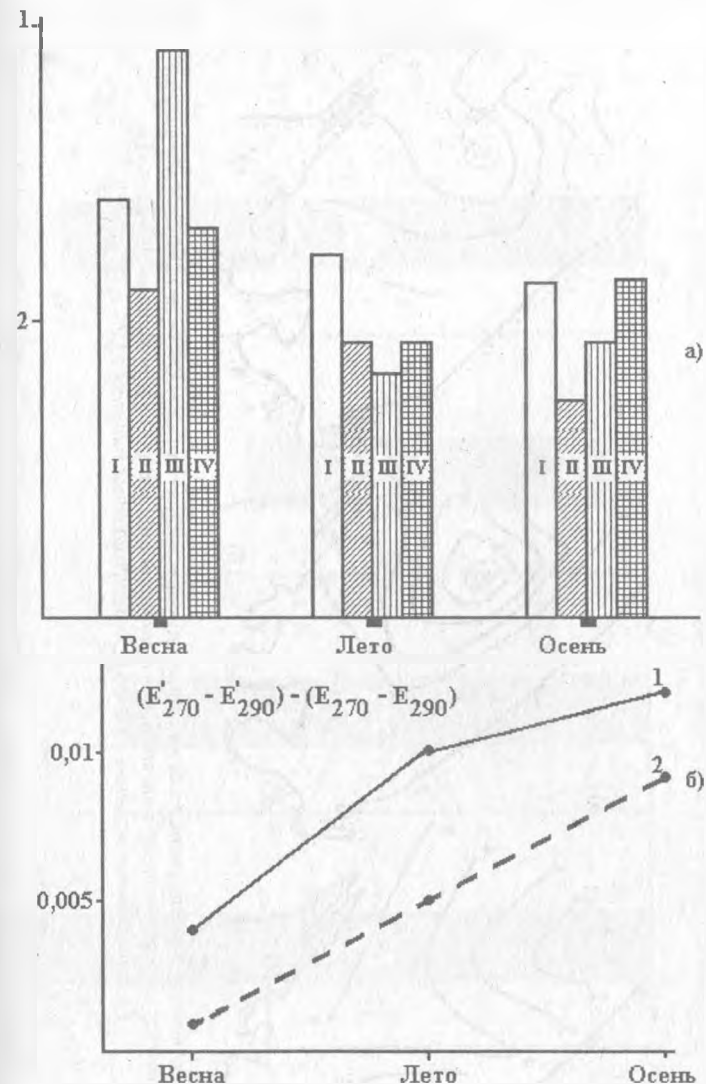


Рис. 1. Развитие белоксинтезирующих процессов в толще воды Жебриянской бухты (1; I - поверхностный слой, II - придонный слой) и северо-западного шельфа Черного моря (2; III - поверхностный слой, IV - придонный слой): а) соотношение растворенных в воде нуклеиновых кислот (НК) и белка (НК/Б), б) - уровень свободных мононуклеотидов.

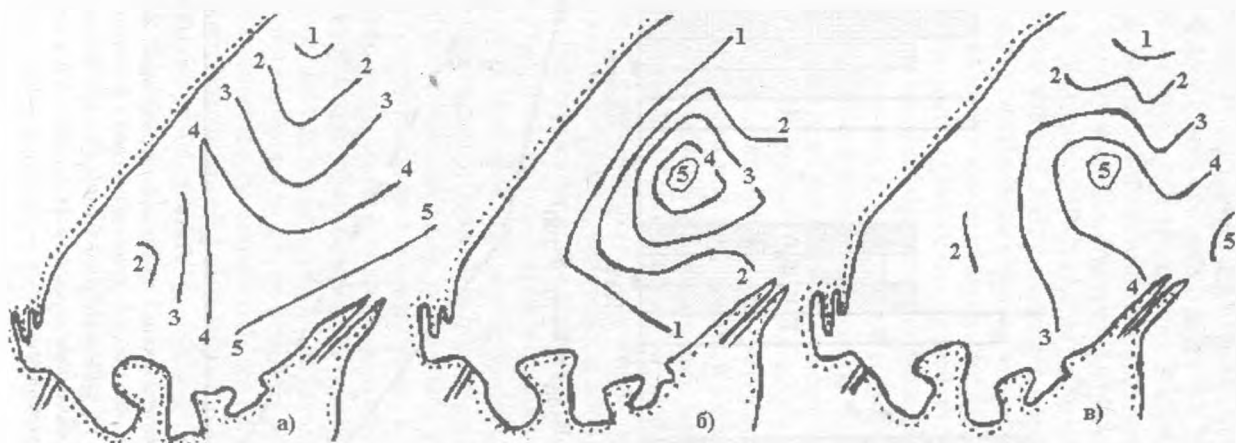


Рис. 2. Количественная характеристика белоксинтезирующих процессов (по НК/Б) в пелагиали Жебриванской бухты: а) - поверхностный слой воды, б) - придонный слой воды, в) - усредненные значения, 1 - минимальные значения (0,4-0,6), 5 - максимальные значения (1,2 - 1,7).

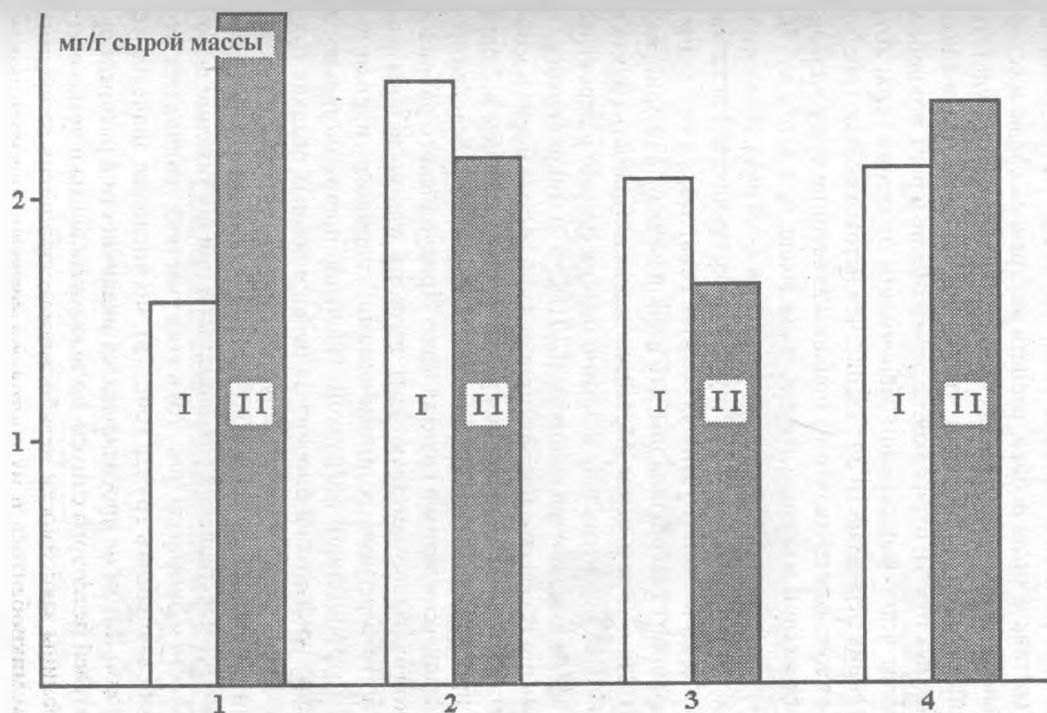


Рис. 3. Среднегодовое содержание суммарного белка в донных отложениях некоторых районов северо-западной части Черного моря: 1 - Жебриванская бухта, 2 - Придунайский район, 3 - северо-западная часть, 4 - Одесский залив, I - 1981-1991 гг., II - 1992-1996 гг.

В последние годы наибольшие концентрации белка отмечены лишь весной, в то время как летом и осенью они находятся почти на одном уровне. Продукционный, весенний период как бы закладывает на весь год возможность микробентосного сообщества в изменяющихся условиях данного региона сохранять свой гомеостаз, т.е. постоянство видового состава и числа особей, свойств внутренней среды и устойчивость основных физиологических функций организма. Результаты исследования 1992-96 гг. показали, что развитие синтеза белка в донных отложениях бухты, отражающие размножение и рост микробентоса не имеют четко выраженной зависимости от сезона года, хотя НК/Б в весенний период на 10-30% выше, чем летом и осенью (рис. 6). При этом следует отметить, что на большей акватории северо-западного шельфа весной и осенью эти значения выше, чем летом в 1,5-2 раза, а по сравнению с Жебриянской бухтой - в 2-3,4 раза. Аналогично протекают и продукционно-деструкционные процессы в пелагиали бухты на протяжении изученных сезонов года, лишь с той разницей по сравнению с северо-западом, что весной в пелагиали прибрежной зоны НК/Б в 1,5 раза выше. Метаболическая активность грунта в бухте (РНК/ДНК) максимальна в летний период (рис. 6) и вероятнее всего благодаря высокой численности (Б/ДНК=6,2) микробентоса.

По сравнению с северо-западной прибрежной частью моря способность к метаболизму у биоценозов грунта бухты более чем в 2 раза меньше на протяжении всего года, тем не менее, развитие белоксинтезирующих процессов летом в грунтах всего Придунайского района и Жебриянской бухты соответствуют друг другу, т.к. взаимосвязаны особенностями этого региона: климатическими, гидролого-гидрохимическими и антропогенной нагрузкой. Изучение пространственного распределения показателей биосинтеза белка в донных осадках бухты на протяжении последних лет показали, что размножение микробентоса ранней весной максимально в глубине бухты в 5 м изобате (рис. 7). По мере прекращения размножения и при достижении высокой численности и биомассы (рис. 7б) в этих участках усиливается метаболическая активность грунта (рис. 7в), но числовые значения ее пока невысоки. Летом не прослеживается мозаичности в распределении показателей белкового синтеза по акватории бухты и четко обозначены границы зависимости метаболических процессов от численности форм микробентоса и их состояний физиологического покоя (рис. 8).

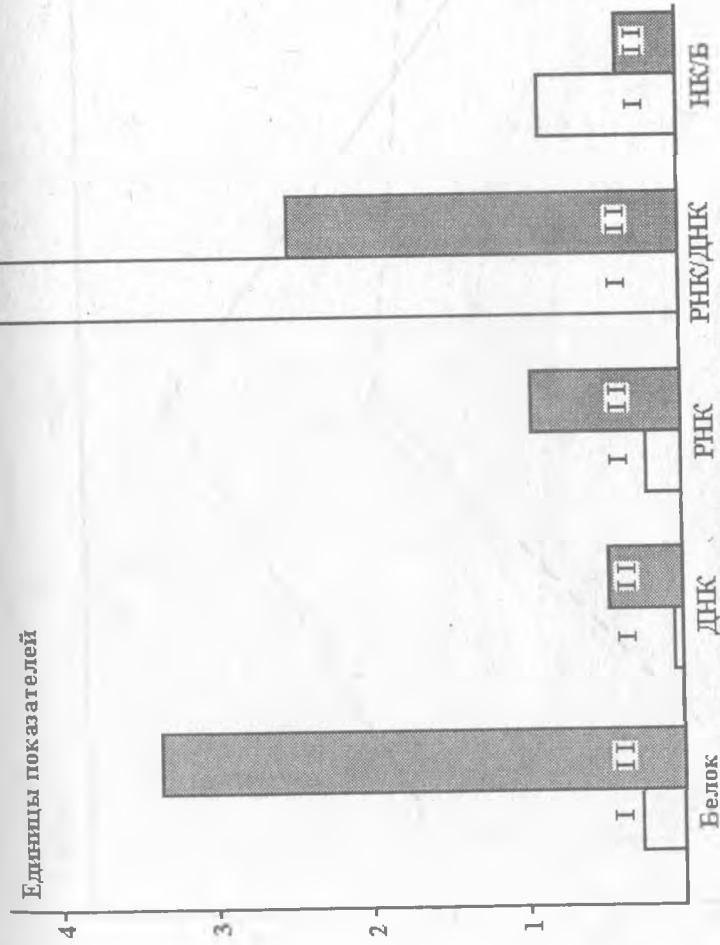


Рис. 4. Количественные показатели компонентов белкового синтеза в грунтах Жебриянской бухты: I - июль 1987 г., II - июль 1993 г. Белок, ДНК и РНК - в мг/г сырой массы.

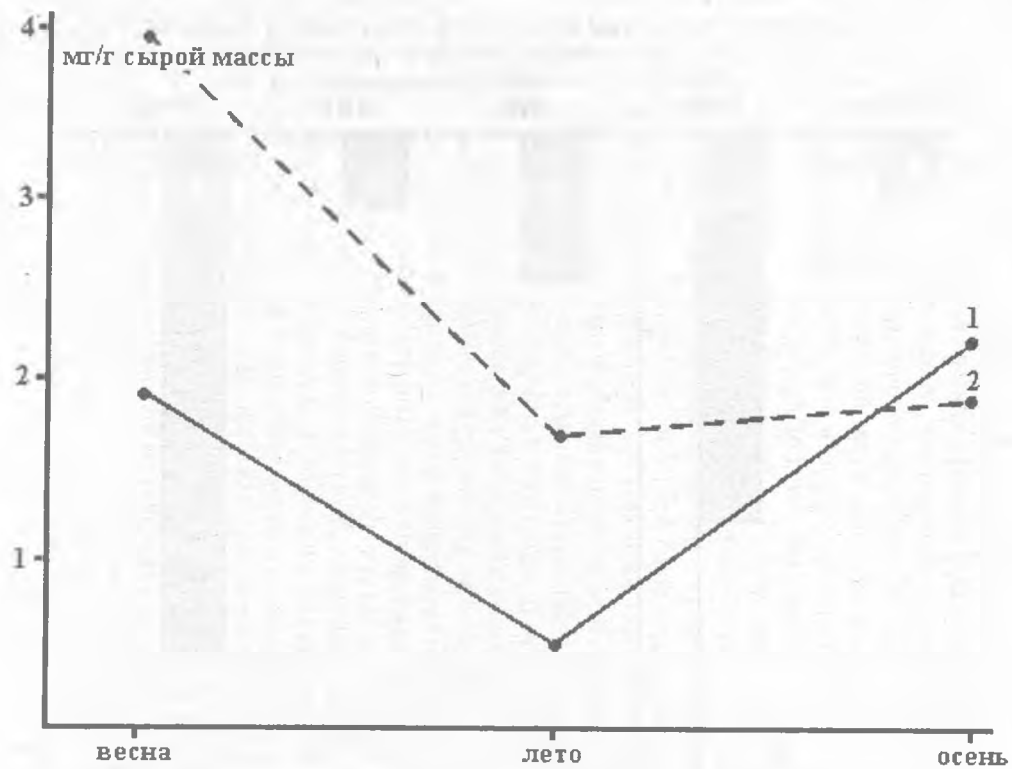


Рис. 5. Содержание суммарного белка в грунтах Жебриянской бухты: 1 - в период 1982-1990 гг., 2 - в период 1991-1996 гг.

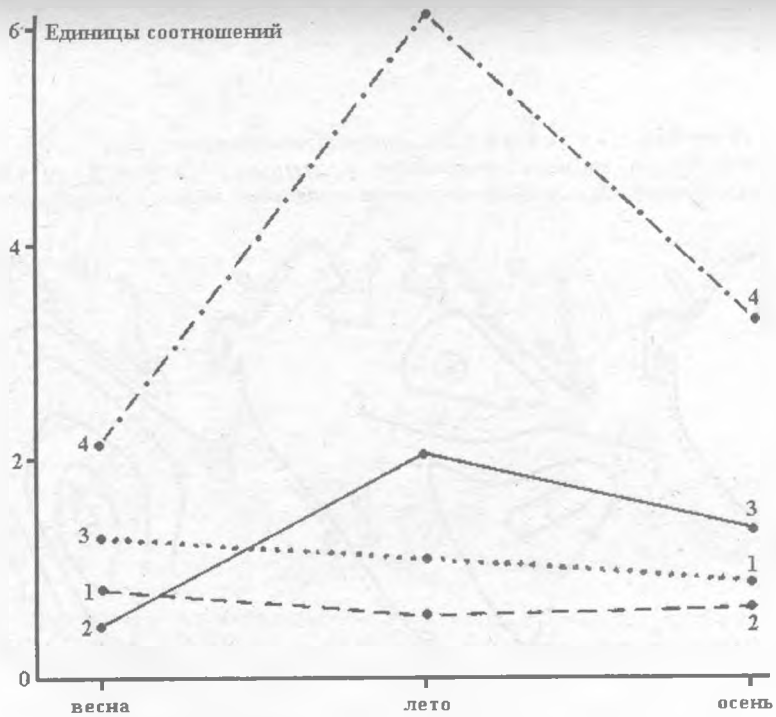


Рис. 6. Белоксинтезирующие процессы в экосистеме Жебриянской бухты: 1 - НК/Б в водной толще, 2 - НК/Б в донных отложениях, 3 - РНК/ДНК в грунтах, 4 - Б/ДНК в грунтах.

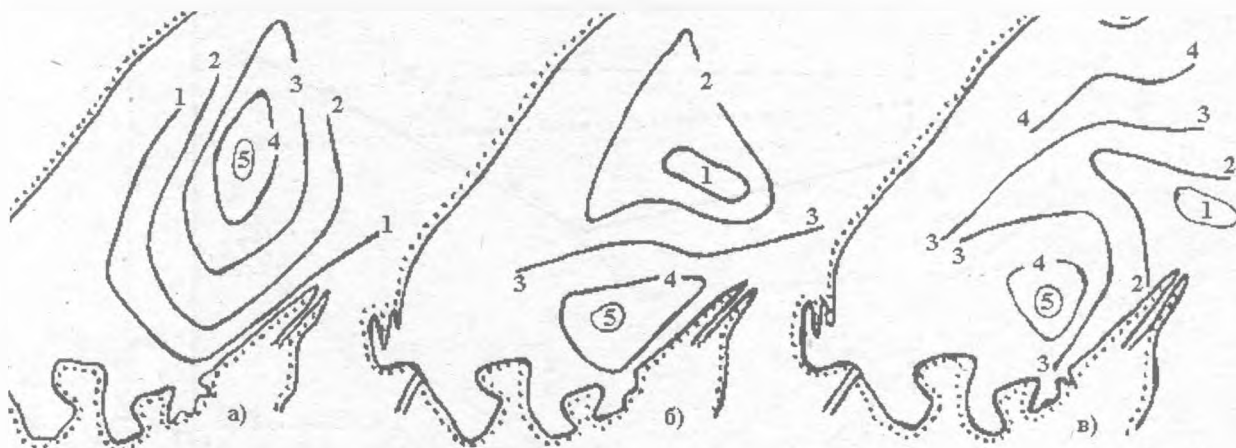


Рис. 7. Среднегодовые весенние показатели белоксинтезирующих процессов в грунтах Жебриянской бухты: а) - НК/Б, б) - Б/ДНК, в) - РНК/ДНК; 1 - минимальные значения (0,2-0,4 для а). и в)., 1,0 - для б).), 5 - максимальные значения (1,0-1,6 для а). и в)., 4,6 - для б).).

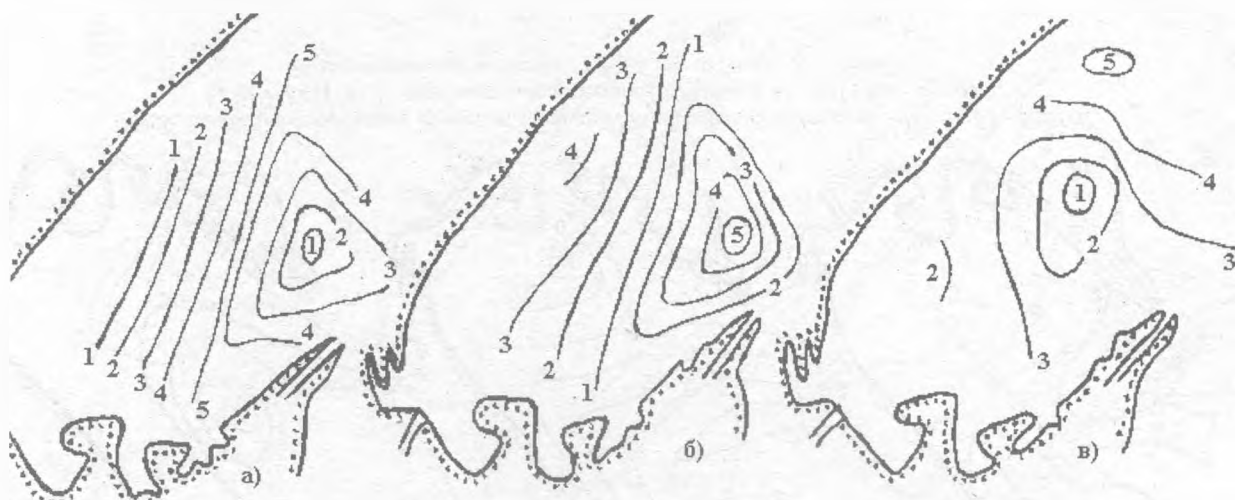


Рис. 8. Среднегодовые летние показатели белоксинтезирующих процессов в грунтах Жебриянской бухты: а) - НК/Б, б) - Б/ДНК, в) - РНК/ДНК; 1 - минимальные значения (0,3-1,6 для а). и в)., 3,1 - для б).), 5 - максимальные значения (0,8-2,5 для а). и в)., 10,7 - для б).).

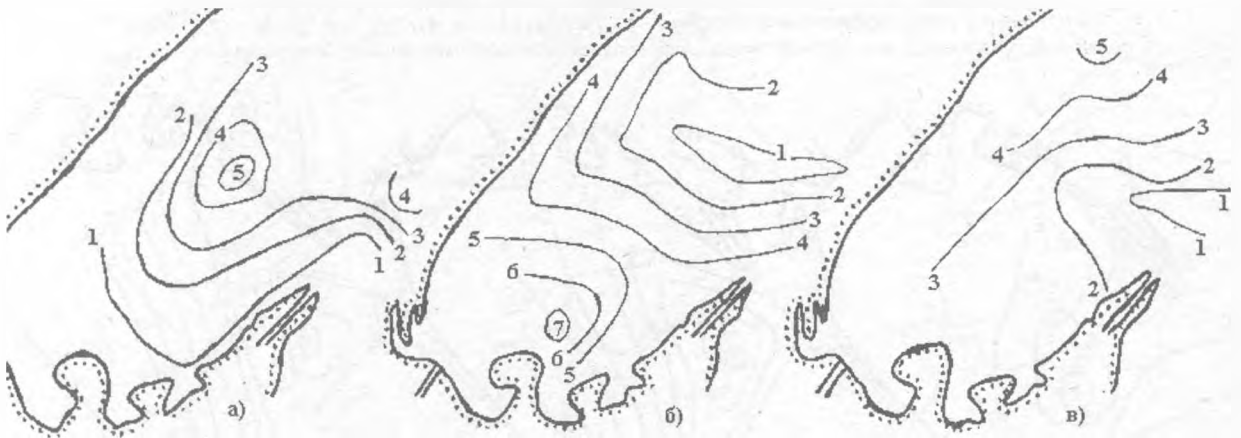


Рис. 9. Белоксинтезирующие процессы в грунтах Жебриянской бухты: а) - НК/Б, б) - Б/ДНК, в) - РНК/ДНК; 1 - минимальные значения (0,2-0,4 для а) и в)., 0,9 - для б).), 5 - максимальные значения (1,1-1,6 для а) и в)., 3,4 - для б).).

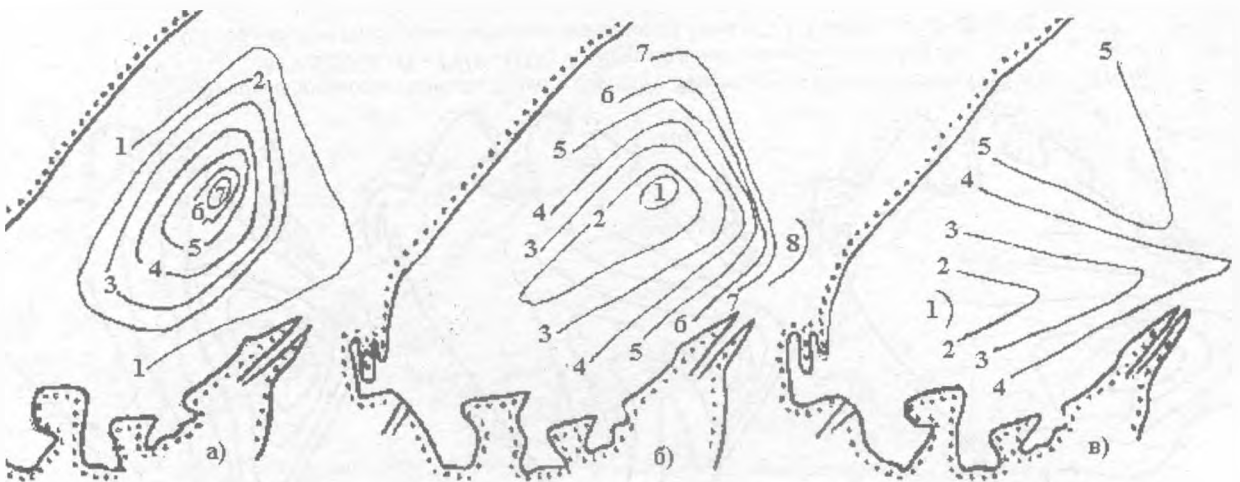


Рис. 10. Развитие процессов синтеза белка в грунтах Жебриянской бухты летом 1992 г. а) - НК/Б, б) - Б/ДНК, в) - РНК/ДНК; 1 - минимальные значения (0,4-1,2), 5-8 - максимальные значения (2,3-6,6).

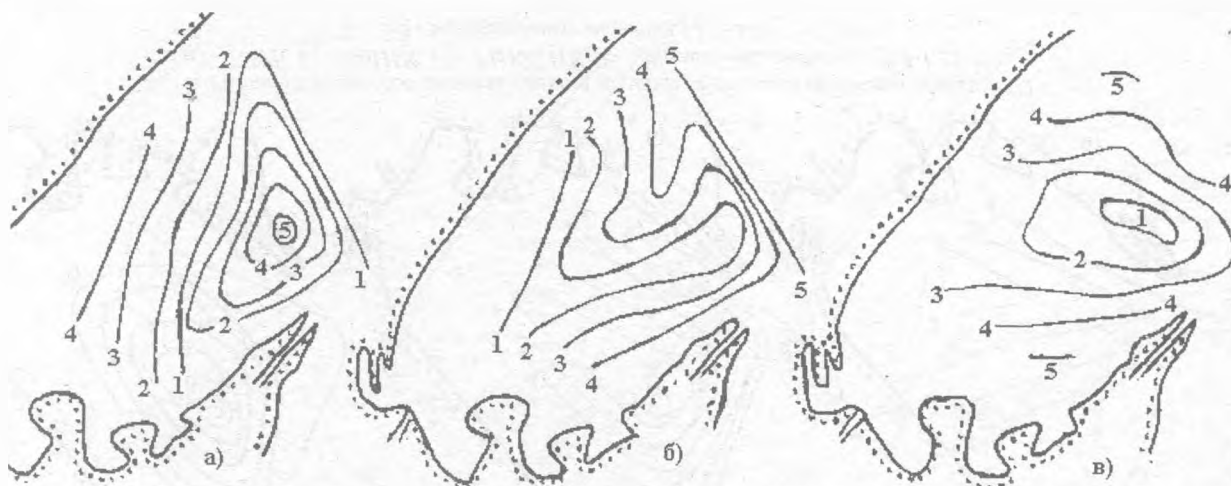


Рис. 11. Развитие процессов синтеза белка в грунтах Жебриянской бухты летом 1993 г. а) - НК/Б, б) - Б/ДНК, в) - РНК/ДНК; 1 - минимальные значения (4,2 - для а), 0,2-1,3 для б) и в), 5 - максимальные значения (0,7-для б), 3,0-для в), 15,5-для а).).

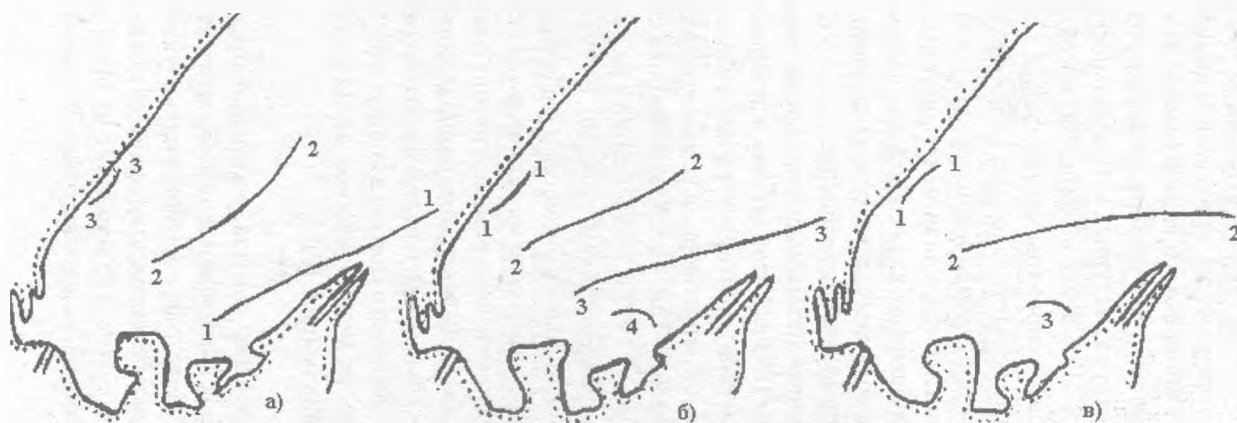


Рис. 12. Осенние (1994 г.) показатели белоксинтезирующих процессов в грунтах Жебриянской бухты: а) - Б/ДНК, б) - НК/Б, в) - РНК/ДНК; 1 - минимальные значения (0,2-0,8), 5 - максимальные значения (1,6-1,7 для б) и в), 6,2 - для а).).

Тем не менее, следует обратить внимание на то, что среднегодовые показатели белоксинтезирующих процессов в донных отложениях бухты отличаются от конкретного года и сезона, что в первую очередь зависит от климатических условий текущего года. Так, например, весной 1996 г., которая наступила мгновенно после суровой, продолжительной зимы и отличалась необычайно высокими температурами воздуха, были зафиксированы максимальные значения метаболической активности, которые только бывают в этом сезоне года (рис. 9). Вероятно, активные продукционные процессы в грунтах бухты были в сжатый, более ранний период, а на момент наших исследований синтез белка в донных биоценозах характеризовал интенсификацию защитных механизмов и обменных процессов, направленных на биотрансформацию потока органического вещества.

Кроме того, сравнивая развитие белоксинтезирующих процессов в грунтах бухты летом 1992 г., которое было в рамках среднегодовых климатических параметров, с летом 1993 г., наступившем после очень суровой зимы и затяжной, многоводной весны, необходимо отметить их существенные различия. Так, распределение показателей биосинтеза белка в грунте в июле 1992 г. очень близко с их среднегодовыми пространственными характеристиками (рис. 10). В 1993 г., по мере удаления вглубь бухты, уменьшалась биомасса и численность микробентоса, по НК/Б и Б/ДНК, а также его метаболическая активность, в то же время у входа в бухту отмечено резкое усиление синтеза белка, вероятнее всего в результате вспышки размножения какого-то вида микробентоса (рис. 11). Осенью мозаичности в пространственном распределении компонентов белкового синтеза в донных отложениях не прослеживается, и уровень их метаболической активности четко привязан к небольшим глубинам (рис. 12).

Таким образом, процессы синтеза, распределения и трансформации органического вещества в экосистеме Жебриянской бухты наблюдаются как в мелководных, так и глубоководных участках. Количественные характеристики белоксинтезирующей активности пелагических и бентических сообществ, указывающие на преобладание в них мелких форм гидробионтов, находятся в тесной зависимости от речного стока Дуная.

Литература

1. Агатова А.И., Сапожников В.В., Торгунова Н.И. Новые данные по биогеохимии органического вещества в Черном море // Дан АН СССР. - 1989. - Т.309, №3. - С.706-7010.
2. Герлах С.А. Загрязнение морей. Диагноз и терапия. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. - 263 с.
3. Зайцев Ю.П., Гаркавая Г.П., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н. Цокур А.Г. Современное состояние экосистемы северо-западной части Черного моря // Современное состояние экосистемы Черного моря. М.: Наука, 1987. - С.216-230.
4. Зайцев Ю.П., Воробьева Л.В., Гаркавая Г.П., Настенко Е.В., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н., Богатова Ю.И., Кулакова И.И., Синегуб И.А. Северо-западная часть Черного моря. Современное состояние и тенденции изменения экосистемы // Практическая экология морских регионов. Черное море. - Киев: Наук. думка, 1990. - С.192-200.
5. Методы исследования органического вещества в океане. - М.: ВНИРО, 1980. - 272 с.
6. Мицкевич И.Н., Кужиновский В.А., Русанов И.И. Микробиологическая активность в воде и донных осадках Черного моря // Экология прибрежной зоны Черного моря. М.: ВНИРО, 1992. - С.174-197.
7. Нижегородова Л.Е., Теплинская Н.Г., Нидзведская Л.М. Бактериальная флора воды грунтов, и гидробионтов придунайского взморья / / Материалы XX Междунар. конф. по исслед. Дуная. - Киев, 1982. - С.110-112.
8. Шапиро Д.К. Практикум по биологической химии. - Минск: Вышэйшая школа, 1972. - С.45-55.

БАКТЕРИАЛЬНОЕ НАСЕЛЕНИЕ ВОДНОЙ ТОЛЩИ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЖЕБРИЯНСКОЙ БУХТЫ

Н.Г. Теплинская

Первые микробиологические исследования Жебриянской бухты относятся к концу 40-х (Лебедева М.Н., 1953) и началу 60-х годов (Цыбань А. В., 1970), когда эта бухта представляла собой типичный морской залив северо-западной части Черного моря, расположенный в непосредственной близости от устья рукава Прорва р. Дунай. Эти исследования показали, что в районах, прилегающих к устью Дуная, Днестра и Днепра общее число микроорганизмов было в 3-5 раз больше, чем в районах, где сток рек отсутствует, а распределение бактериопланктона в северо-западной части Черного моря в какой-то степени отражало распространение пресных вод в этом районе. В сезонном аспекте наибольшее обилие микроорганизмов в 60-е годы наблюдалось в приустьевых районах осенью, а наименьшее - весной (в зоне влияния стока р. Дунай 160 и 57 тыс. клеток в 1 мл воды соответственно). По мнению А. В. Цыбань, интенсивное развитие бактерий осенью было обусловлено тем, что в Дунае в это время года происходит затухание процессов вегетирования и начинается массовое отмирание водных организмов. Примечательно, что летом и зимой численность бактериопланктона в зоне влияния стока р. Дунай была практически одинаковой - соответственно 80 и 75 тыс. кл./мл. С данными общей численности бактериопланктона совпадали и результаты изучения гетеротрофных бактерий, а наиболее богатым оказался бактерионейстон.

Исследования приустьевых зон северо-западной части Черного моря, которые были продолжены нами в 70-е годы (Теплинская Н. Г., 1979; Нижегородова Л.Е., Теплинская Н. Г., Ковалева Н. Н., 1981; Теплинская Н. Г., Бондаренко Н.С., 1985), позволили выявить увеличение общей численности микроорганизмов, их биомассы, количества гетеротрофных бактерий в воде и донных отложениях в среднем на

порядок величин. Кроме того, было обнаружено появление в морской среде не свойственных ей бактерий группы кишечной палочки (БГКП), всегда сопутствующих хозяйственно-бытовым стокам. Все это явилось следствием начавшегося в 70-е годы прогрессирующего эвтрофирования северо-западной части Черного моря (Зайцев Ю. П., 1976), связанным с загрязнением органическими веществами рек, и особенно Дуная, дающего до 80% пресноводного стока этого района.

Непосредственно в Жебриянской бухте микробиологические исследования стали осуществляться нами только с конца 80-х годов, уже в тот период, когда сюда, помимо основных дунайских рукавов, поступали также воды из Соединительного канала, введенного в эксплуатацию в 1977 году при строительстве порта Усть-Дунайский. Этот канал оказывает значительное влияние на динамическую структуру вод бухты, как в период весеннего половодья, так и при осеннем и зимнем паводках. Это в свою очередь отражается на обилии и функционировании бактериального населения Жебриянской бухты, превратившейся под действием канала из морского залива в приустьевую зону Дуная.

В осенний период (сентябрь-ноябрь) 1987 года (133 рейс НИС "Миклухо-Маклай") при изучении бактериального загрязнения воды и грунтов на двух станциях в Жебриянской бухте БГКП были выявлены только в поверхностном слое воды 0-5 метров, где Коли-индекс (количество БГКП в 1 л воды) составлял от 60 до 620, а в придонном слое воды и грунте эти микроорганизмы отсутствовали.

В июле 1988 года (136 рейс НИС "Миклухо-Маклай") на станции № 65 в бухте численность сапрофитных бактерий была равна в поверхностном и придонном слоях 1100 и 2500 кл./мл, что характерно для эвтрофных вод, а Коли-индекс - соответственно 24 и 240 тысяч, что соответствует полисапробным водам.

В сентябре 1988 года (139 рейс НИС "Миклухо-Маклай") при изучении плотности бактериопланктона и Коли-индекса на шести станциях в Жебриянской бухте было установлено, что в поверхностном слое воды наиболее обильный бактериопланктон (до 1,8 млн. кл./мл) был приурочен к прибрежной зоне, а по мере продвижения к авандельте его обилие закономерно снижалось (до 1,1 млн. кл./мл). В придонном же слое воды, наоборот, общая численность микроорганизмов снижалась от авандельты к центру бухты, причем почти вдвое: от 726 до 327 тыс. кл./мл. Наи-

большее бактериальное загрязнение соответствовало центру бухты, как у поверхности, так и у дна, с постепенным его "разбавлением" к берегу и авандельте. Рассчитанные значения Коли-индекса (до 70 тысяч у поверхности и 7 тысяч у дна) свидетельствовали о значительном бактериальном загрязнении вод бухты в этот период наблюдений, что было отмечено нами и летом этого года.

В июле и августе 1989 года (144 рейс НИС "Миклухо-Маклай") распределение численности сапрофитных и кишечных бактерий в водной толще бухты имело существенные различия по месяцам, касающиеся, в основном, сапрофитного бактериопланктона. Так, в июле сапрофитные бактерии наибольшим числом были представлены в центральной части бухты, как у поверхности, так и у дна, с постепенным его снижением в западном и юго-западном направлениях. В августе, наоборот, самая низкая численность сапрофитного бактериопланктона отмечалась в центре бухты с постепенным возрастанием, в основном, к авандельте. Анализ распределения численности БГКП показал, что в июле и августе наибольший Коли-индекс, как правило, соответствовал району п. Усть-Дунайский, а при незначительном удалении от него бактериальное загрязнение водной толщи Жебриянской бухты достаточно резко (на порядок) снижалось.

В сравнительном с 70-ми годами аспекте, микробиологические наблюдения, осуществленные в конце 80-х годов, позволили выявить еще большее увеличение обилия микроорганизмов и рост бактериального загрязнения водной толщи как в Жебриянской бухте, так и в других приустьевых зонах северо-западной части Черного моря, что, несомненно, связано с усилением антропогенной нагрузки на эти районы и прогрессирующим эвтрофированием моря.

В начале 90-х годов микробиологические исследования Жебриянской бухты были дополнены изучением функциональных характеристик бактериопланктона, таких как время генерации, суточная бактериальная продукция и деструкция органического вещества, Р/В-коэффициент метаболизма бактериального сообщества и выедание биомассы бактерий организмами зоопланктона. Кроме того, было начато исследование количественных характеристик бактериобентоса, необходимое для микробиологического контроля при проведении в п. Усть-Дунайский дноуглубительных работ и последующего дампинга грунтов в море за пределами бухты.

В июле 1991 года (26 рейс НИС "Мечников") бактериопланктон Жебриянской бухты был представлен общей численностью, равной в среднем для водной толщи 24 млн. кл./мл, биомассой - 2,1 г С/м³, временем генерации - 7 часов, суточной продукцией биомассы - 1,4 г С/м³, Р/В-коэффициентом - 0,7 и очень низким потреблением биомассы бактерий микрзоопланктоном (Теплинская Н.Г., 1993). Эти значения количественных и продукционных показателей бактериального сообщества бухты практически ничем не отличались от таковых придунайского взморья и в целом были характерны для высокоэвтрофных вод.

В апреле 1992 года (2 рейс НИС "Спрут") бактериальное сообщество на станциях в авандельте и взморье Дуная было более обильным и менее активным по сравнению с летним периодом 1991 года (Теплинская Н.Г. и др., 1993). Его общая численность достигала 40 млн. кл./мл, а биомасса - 8 г С/м³, и то время как темпы генерации - 22 часа, суточная продукция биомассы - 5 г С/м³ и Р/В-коэффициент - 0,60. Анализ распределения этих количественных и продукционных характеристик бактериопланктона позволил выявить существование при паводковом речном стоке обратной связи между обилием и метаболической активностью бактериального сообщества, что указывало на ингибирование деструктивных процессов при повышенных концентрациях органического вещества в водной толще.

Сапрофитный бактериобентос Жебриянской бухты весной, в отличие от бактериопланктона, был представлен низкой численностью (в среднем 1500 кл./г), что могло служить косвенным показателем незначительного содержания в поверхностном слое донных отложений органического вещества в этот период года.

В июле 1992 года (30 рейс НИС "Мечников") средние значения количественных и продукционных характеристик бактериопланктона Жебриянской бухты практически совпадали с таковыми, выявленными нами в июле 1991 года, с той лишь разницей, что бактериальное сообщество было чуть более обильным и функционально активным. Кроме того, летом 1992 года бактериопланктон активно выедался зоопланктоном и служил весьма существенной добавкой к его суточному пищевому рациону. Примечательно, что снова в летний период года бактериальное сообщество Жебриянской бухты ни по обилию, ни по активности метаболизма не отличалось от приуроченного к придунайскому взморью.

Численность сапрофитного бактериобентоса Жебриянской бухты в июле 1992 года колебалась в очень широких пределах: от 9500 до 7500000 кл./г, составляя в среднем 90000 кл./г. Максимум его численности соответствовал району п. Усть-Дунайский с постепенным снижением к центру бухты. Широкие пределы колебаний численности летнего сапрофитного бактериобентоса Жебриянской бухты могут служить свидетельством, с одной стороны, крайней неравномерности распределения концентрации органического вещества в донных отложениях на сравнительно небольшой по площади бухте и, с другой стороны, его накоплении в значительных количествах на отдельных участках.

Весной 1993 года, как и в апреле 1992 года, бактериопланктон Жебриянской бухты был более обильным по сравнению с предыдущими летними периодами наблюдений, сохраняя раннее выявленную нами обратную связь между обилием и метаболической активностью бактериального сообщества при максимальном стоке р. Дунай. Также следует отметить, что количественные и продукционные характеристики весеннего бактериопланктона Жебриянской бухты несколько отличались от таковых в придунайском взморье. Его обилие было в среднем чуть ниже, а метаболическая активность - выше. Этот факт может свидетельствовать об относительно меньших концентрациях органического вещества в водной толще самой бухты по сравнению с придунайским взморьем, куда течениями выносятся весенний сток реки.

При высоком обилии бактериопланктона, численность сапрофитного бактериобентоса Жебриянской бухты весной 1993 года, как и в 1992 году, была сравнительно низкой, достигая 15000 кл./г грунта, что может служить показателем низкой насыщенности грунтов органическим веществом в весенний период года.

В июле 1993 года бактериопланктон Жебриянской бухты (Теплинская Н.Г., 1994), в отличие от лета 1991 и 1992 годов, характеризовался такой же высокой плотностью, как и в период наибольшего стока р. Дунай при весенних паводках. Вместе с тем метаболическая активность бактериального сообщества к лету 1993 года существенно снизилась, что и сказалось на его конструктивном и деструктивном обмене. Если в апреле 1993 года бактериальная деструкция органического вещества в среднем для водной толщи бухты составляла 59,2 г/

м³, то в июле этого же года - лишь 22 г/м³. По-видимому, в водной толще бухты к лету сформировалось и накопилось такое количество автохтонного и аллохтонного органического вещества, которое не могло быть в полном объеме утилизировано бактериями в процессе их жизнедеятельности и его явный переизбыток негативно сказался на функциональной активности бактериопланктона. Анализ распределения количественных и продукционных характеристик общего бактериопланктона и его сапрофитной компоненты в июле 1993 года (рис. 1) показал, что обилие микроорганизмов было тесно связано с поступлением речных вод из Очаковского рукава Килийской дельты Дуная. По мере удаления от района, подверженного наибольшему влиянию его стока, к центру Жебриянской бухты и к югу в приустьевой зоне моря, плотность и биомасса бактериопланктона закономерно снижались. Аналогичным было и распределение суточной продукции биомассы бактериопланктона, его Р/В-коэффициента, а также бактериальной деструкции органического вещества.

Такой характер распределения количественных и продукционных характеристик бактериального сообщества летом 1993 года не соответствовал наличию выявленной нами в весенние периоды обратной связи между обилием и метаболической активностью бактериального сообщества, наоборот, эта связь летом оказалась прямой. Этот факт, по-видимому, можно объяснить тем, что в июле 1993 года функционирование бактерий зависело не столько от суммарной концентрации органического вещества в водной толще придунайского района, сколько от его качественного состава, иными словами, доступности к утилизации бактериями. Это предположение подтверждается и распределением темпов генерации бактериопланктона, когда на участках акватории, к примеру, в центральной части Жебриянской бухты, где обилие и функциональная активность бактериального сообщества были относительно низкими, время удвоения числа клеток было самым продолжительным, и наоборот.

У сапрофитных бактерий, являющихся первичными деструкторами мертвого органического вещества, связь между численностью и скоростью размножения летом была обратной, т. е. наиболее активно сапрофитный бактериопланктон размножался именно на тех участках исследуемой акватории, где его численность была самой низкой (напри-

мер, в центральной части Жебриянской бухты). Поскольку сапрофитные бактерии могут служить косвенным показателем степени насыщенности вод легкоразрушаемыми фракциями органического вещества, обратная связь между обилием и скоростью роста микроорганизмов свидетельствует о накоплении в водной толще придунайского района летом 1993 года именно такого вида органического вещества, чей переизбыток негативно сказывался на функционировании как общего бактериопланктона, так и его сапрофитной компоненты.

В июле 1995 года обилие сапрофитного бактериопланктона и бактериобентоса колебалось в Жебриянской бухте в широких пределах: от 2600 до 58000 кл./мл и от 700000 до 3,5 млн. кл./г, что указывает на значительные концентрации, как в воде, так и донных отложениях органического вещества, преимущественно аллохтонного происхождения. Об этом свидетельствовало и высокое бактериальное загрязнение, когда количество БГКП достигало в воде 7000 кл./мл, а грунте - 85000 кл./г. Сапрофитный бактериопланктон, приуроченный к поверхностному слою воды, наибольшим числом был представлен вблизи устья р. Дунай (рис. 2) с последующим его уменьшением к центру Жебриянской бухты в северо-восточном направлении.

В придонном слое воды распределение этих микроорганизмов было прямо противоположным, т.е. вблизи устья реки присутствовал наименее обильный бактериопланктон с последующим его увеличением к центру бухты. Распределение численности сапрофитного бактериобентоса почти повторяло таковое в поверхностном слое воды, но с более резким уменьшением числа микроорганизмов к центру бухты. В результате донные отложения практически на всей акватории бухты характеризовались самой низкой для июня 1995 года численностью сапрофитных бактерий. Аналогичным распределению сапрофитных бактерий было и бактериальное загрязнение водной толщи и донных отложений Жебриянской бухты (рис. 2), что свидетельствовало о преимущественном значении в формировании летних микробиоценозов аллохтонного органического вещества в составе речного стока.

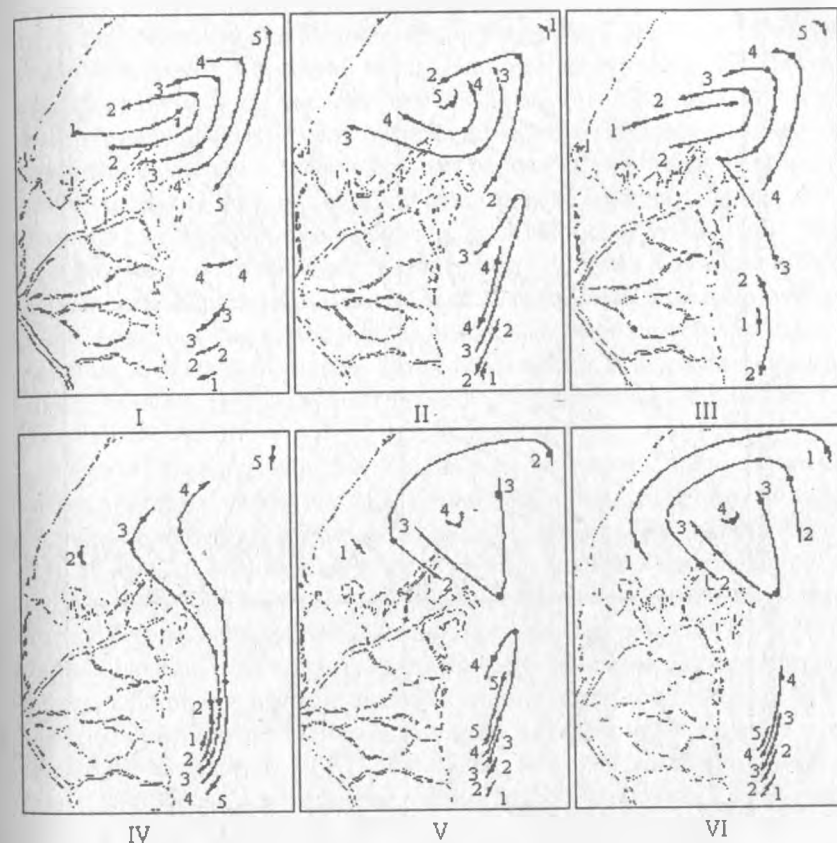


Рис. 1. Распределение биомассы (I), темпов генерации (II), суточной продукции биомассы (III), P/B-коэффициента метаболизма бактериопланктона (IV), численности (V) и темпов генерации сапрофитного бактериопланктона (VI) в придунайском секторе северо-западной части Черного моря в июне 1993 года: для I - 1 - 2,60-2,64, 2 - 2,64-2,68, 3 - 2,68-2,72, 4 - 2,72-2,76, 5 - 2,76-2,80 lg г/м³, для II - 1 - 0,95-1,0, 2 - 1,0-1,05, 3 - 1,05-1,10, 4 - 1,10-1,15, 5 - 1,15-1,20 lg час, для III - 1 - 1,08-1,13, 2 - 1,13-1,19, 3 - 1,19-1,25, 4 - 1,25-1,3, 5 - 1,3-1,36 lg г/м³; для IV - 1 - 1,49-1,53, 2 - 1,53-1,58, 3 - 1,5-1,62, 4 - 1,62-1,66, 5 - 1,66-1,71 lg %, для V - 1 - 2,24-2,44, 2 - 2,44-2,64, 3 - 2,64-2,84, 4 - 2,84-3,04, 5 - 3,04-3,24 lg кл./мл; для VI - 1 - 0,43-0,50, 2 - 0,5-0,57, 3 - 0,57-0,64, 4 - 0,64-0,71, 5 - 0,71-0,78 lg час.

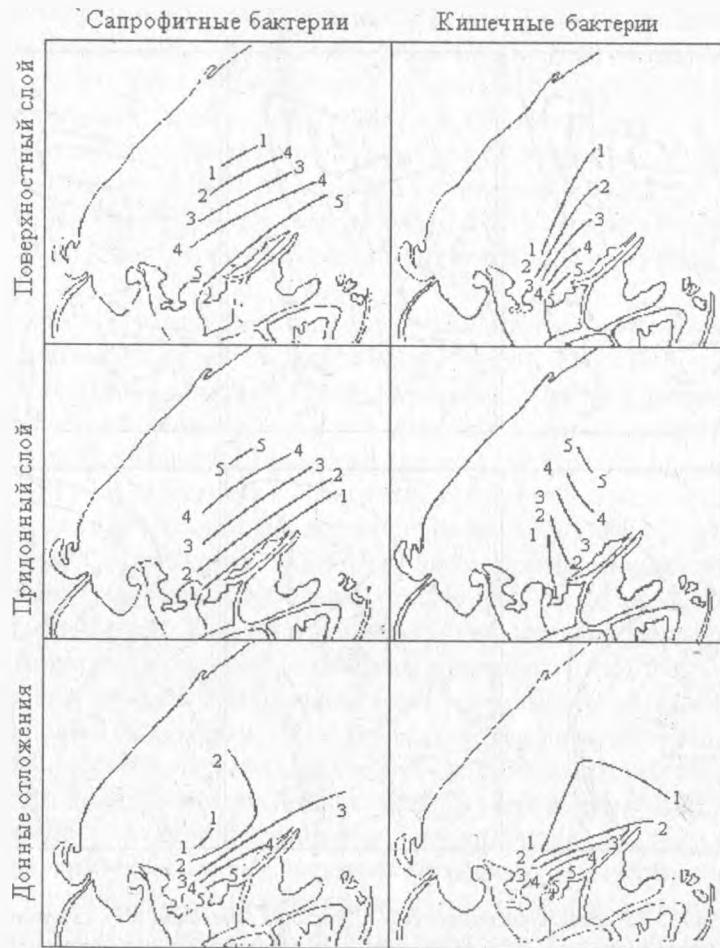


Рис. 2. Распределение численности сапрофитных и кишечных бактерий в водной толще и донных отложениях (10^3 кл./г) Жебриянской бухты в июле 1995 года: сапрофиты у поверхности 1 - 3, 40-3,66, 2 - 3,66-3,92, 3 - 3,92- 4,18, 4 - 4,18-4,44, 5 - 4,44-4,7, у дна 1 - 1, 2-1,44, 2 - 1,44-1,58, 3 - 1,58-1,72, 4 - 1,72-1,86, 5 - 1,86-2,0 и в грунте 1 - 2,8-3,14, 2 - 3,14-3,48, 3 - 3,48-3,2, 4 - 3,82-4,16, 5 - 4,16-4,5; кишечные у поверхности 1-2,8-3,0, 2 - 3,0-3,2, 3 - 3,2-3,6, 4 - 3,4-3,6, 5 - 3,6-3,8, у дна 1 - 0,84-1,04, 2 - 1,04-1,24, 3 - 1,24-1,44, 4 - 1,44-1,64, 5 - 1,64-1,84 и в грунте 1 - 0,9-1,16, 2 - 1,16-1,42, 3 - 1,42-1,68, 4 - 1,68-1,94, 5 - 1,94-2,2 lg кл./мл, кл./г.

В ноябре 1995 года обилие сапрофитного бактериопланктона Жебриянской бухты снизилось по сравнению с летним периодом на порядок, а сапрофитного бактериобентоса - в три раза. Между тем бактериальное загрязнение водной толщи и донных отложений оставалось все столь же высоким: численность БГКП достигала в воде 6200 кл./мл и грунте - 170000 кл./г. Распределение численности сапрофитных и кишечных бактерий в воде и донных отложениях в поздне-осенний период года (рис. 3) указывало на влияние рукава Прорва, вблизи стока которого бактериальные сообщества были наиболее обильными. По мере удаления от него к берегу количество бактерий резко уменьшалось, в связи с чем практически на всей акватории Жебриянской бухты наблюдалось как самое низкое обилие сапрофитного бактериопланктона и бактериобентоса, так и наименьшее для этого периода наблюдений бактериальное загрязнение водной толщи и донных отложений.

В марте 1996 года сапрофитный бактериопланктон, приуроченный к поверхностному слою воды Жебриянской бухты, был представлен численностью в пределах 860-4900 кл./мл и придонному слою воды - от 50 до 2500 кл./мл, что было почти на порядок ниже по сравнению с ноябрем 1995 года. Обилие сапрофитного бактериобентоса варьировало в бухте от 74000 до 1800000 кл./г, составляя в среднем 475000, что также было в 1,5 раза ниже по сравнению с осенью предыдущего года. Бактериальное загрязнение водной толщи и донных отложений бухты весной также существенно снизилось: средняя для поверхностного слоя воды численность БГКП составляла 36 кл./мл, а для придонного слоя - 19 кл./мл, за исключением района п. Усть-Дунайский, где количество БГКП у дна достигало 4100 кл./мл. По-прежнему большее количество БГКП аккумулировалось в грунте (в среднем 80000 кл./г), но и там весной оно несколько снизилось по сравнению с осенью (в среднем 97000 кл./г). Распределение численности сапрофитных и кишечных бактерий в воде и донных отложениях Жебриянской бухты в марте 1996 года (рис. 4) носило более сложный и мозаичный, по сравнению с летним и осенним периодами 1995 года, характер, обусловленный, по-видимому, усилением влияния не только речного, но и береговых стоков. Так, наиболее высокая численность сапрофитного бактериопланктона, приуроченного к поверхностному слою воды, соответствовала северной части бухты с последующим ее уменьшением в

южном направлении. В придонном слое воды сапрофитные бактерии наибольшим числом были представлены в мористой части бухты и центре (ст. № 65-3), где, кстати, наиболее обильным был и сапрофитный бактериобентос. Бактериальное загрязнение экосистемы бухты весной было в большей степени связано с влиянием речного стока, что проявилось в приуроченности наибольшего содержания БГКП как в воде, так и в донных отложениях к стоку Соединительного канала. Кроме того, в поверхностном слое воды ощущалось также и влияние берегового стока.

В июне 1996 года численность сапрофитного бактериопланктона колебалась в Жебриянской бухте в широких пределах: в поверхностном слое воды - от 700 до 7800 кл./мл и придонном слое - от 750 до 6800 кл./мл, составляя в среднем соответственно 3000 и 4420 кл./мл.

Эти значения превышали таковые для марта 1996 года и приравнивались к полученным в ноябре предыдущего года. Обилие сапрофитного бактериобентоса летом также колебалось в очень широких пределах: от 65000 до 620000 кг/г, составляя в среднем 308000 кл./г, что, в отличие от водной толщи, было в 1,5 раза ниже, по сравнению с весной.

Численность БГКП в водной толще и донных отложениях Жебриянской бухты заметно возросла в июне 1996 года, по сравнению со всеми предыдущими периодами наблюдений, достигая в поверхностном слое воды 18500 кл./мл, в придонном слое - 14600 кл./мл и в грунте - 1700000 кл./г. Столь высокое бактериальное загрязнение экосистемы бухты и, к тому же, широкие пределы колебаний численности как сапрофитных, так и кишечных бактерий свидетельствовали о формировании здесь летом 1996 года весьма напряженной экологической обстановки, связанной, скорее всего, со значительным обогащением акватории аллохтонным органическим веществом. Это отмечалось нами и летом 1995 года, но в 1996 году все происходило в еще более ощутимых масштабах.

Анализ распределения численности сапрофитного бактериопланктона и бактериобентоса в июне 1996 года (рис. 5) показал, что оно было связано с влиянием как речного, так и берегового стоков, а распределение численности БГКП определялось, в основном, речным стоком, поступающим в бухту из Соединительного канала.

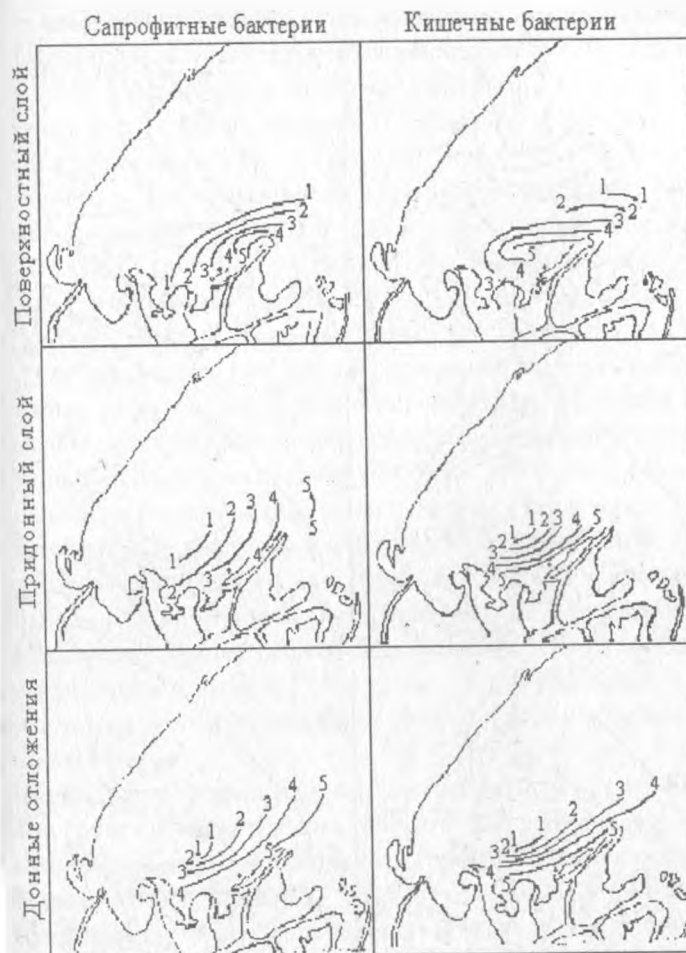


Рис. 3. Распределение численности сапрофитных и кишечных бактерий в водной толще и донных отложениях (10^3 кл./г) Жебриянской бухты в ноябре 1995 года: сапрофиты у поверхности 1 - 3,2-3,32, 2 - 3,32-3,4, 3 - 3,44-3,56, 4 - 3,56-3,68, 5 - 3,63-3,80, у дна 1 - 2,3-2,66, 2 - 2,66-3,02, 3 - 3,02-3,38, 4 - 3,38-3,74, 5 - 3,74-4,10 и в грунте: 1 - 2,30-2,44, 2 - 2,44-2,53, 3 - 2,58-2,72, 4 - 2,72-2,86, 5 - 2,86-3,00, кишечные у поверхности 1 - 2,20-2,52, 2 - 2,52-2,84, 3 - 2,84-3,16, 4 - 3,16-3,48, 5 - 3,48-3,80, у дна 1 - 2,00-2,34, 2 - 2,34-2,68, 3 - 2,68-3,02, 4 - 3,02-3,36, 5 - 3,36-3,70 и в грунте 1 - 1,8-2,2, 2 - 2,2-2,6, 3 - 2,6-3,0, 4 - 3,0-3,4, 5 - 3,4-3,8 lg кл./мл, кл./г.

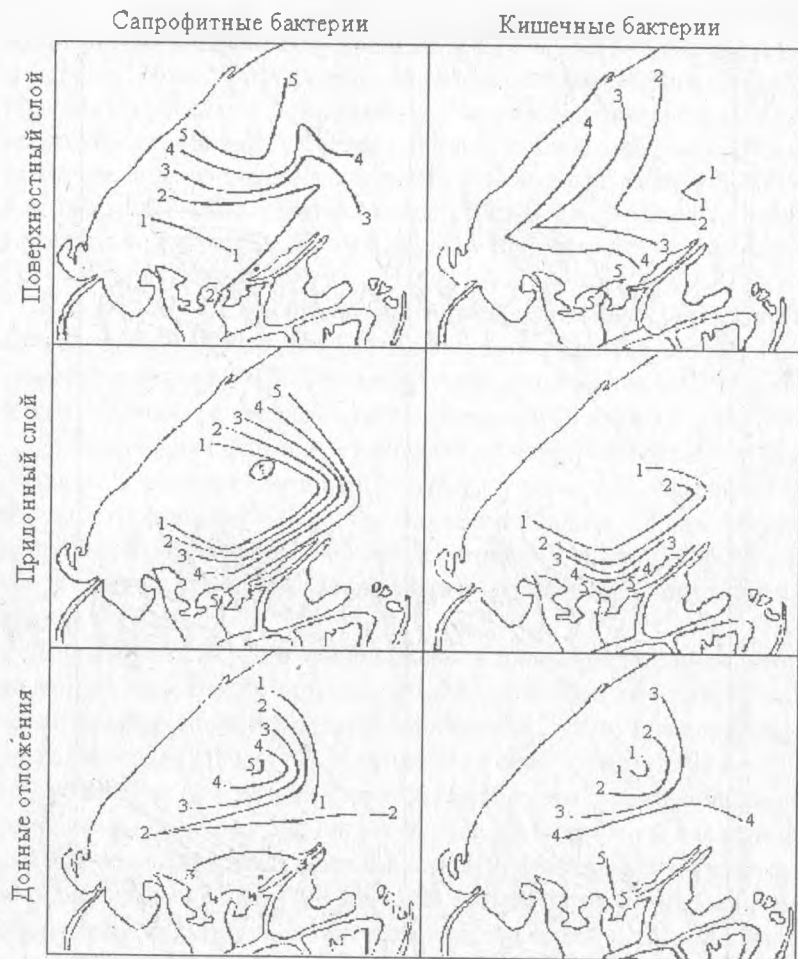


Рис. 4. Распределение численности сапрофитных и кишечных бактерий в водной толще и донных отложениях (10^3 кл./г), Жебриянской бухты в марте 1996 года: сапрофиты у поверхности 1 - 2,90-3,06, 2 - 3,06-3,22, 3 - 3,22-3,38, 4 - 3,38-3,54, 5 - 3,54-3,70; у дна 1 - 1,70-2,04, 2 - 2,04-2,38, 3 - 2,38-2,72, 4 - 2,72-3,06, 5 - 3,06-3,40 и в грунте 1 - 1,80-2,09, 2 - 2,09-2,38, 3 - 2,38-2,67, 4 - 2,67-2,96, 5 - 2,96-3,25; кишечные у поверхности 1-0,70-0,98, 2 - 0,98-1,26, 3 - 1,26-1,54, 4 - 1,54-1,82, 5 - 1,52-2,10, у дна 1 - 1,0-1,52, 2 - 1,52-2,04, 3 - 2,04-2,56, 4 - 2,56-3,08, 5 - 3,08-3,60 и в грунте 1 - 6,95-1,21, 2 - 1,21-1,47, 3 - 1,47-1,73, 4 - 1,73-1,99, 5 - 1,99-2,25 lg кл./мл, кл./г.

В октябре 1996 года было установлено, что обилие сапрофитного бактериопланктона и бактериобентоса Жебриянской бухты существенно снизилось (на порядок и более) по сравнению с весенним и летним периодами этого года, но при этом сохранялись достаточно широкие пределы его колебаний на относительно небольшой по площади акватории бухты. Так, численность сапрофитных бактерий в поверхностном слое воды варьировала от 200 до 1800 кл./мл, составляя в среднем 950 кл./мл, в придонном слое воды - от 50 до 360 кл./мл (в среднем 160 кл./мл) и в донных отложениях - от 29000 до 130000 кл./г (в среднем 71400 кл./г). Распределение численности сапрофитных бактерий (рис. 6) определялось, как и в другие сезоны, преимущественно поступлением речных вод из Соединительного канала и рукава Прорва, но немаловажное влияние на характер распределения этих микроорганизмов осенью оказывал также и п. Усть-Дунайский, что особенно ощущалось в придонном слое воды и донных отложениях.

Бактериальное загрязнение Жебриянской бухты осенью 1996 года в отличие от органического, если судить по обилию сапрофитных бактерий, не только не уменьшилось по сравнению с летом этого года, но даже в целом возросло. Средняя численность БГКП составила осенью в поверхностном слое воды 5500 кл./мл, тогда как летом в среднем 3850 кл./мл, а в донных отложениях - 29000 и 25000 кл./г соответственно осенью и летом.

Исключение составил район п. Усть-Дунайский, где количество БГКП в грунте и летом и осенью достигало максимальных значений, на несколько порядков превышающих средние (летом и осенью соответственно 1700000 и 540000).

Распределение численности БГКП в водной толще и донных отложениях Жебриянской бухты осенью в основном совпадало с таковым сапрофитных бактерий и было связано с влиянием речного стока и п. Усть-Дунайский. Кроме того, в поверхностном слое воды распределение БГКП, как и сапрофитных бактерий, зависело также и от береговых стоков. Следует подчеркнуть, что если летом и, частично, весной бактериальное загрязнение бухты носило локальный характер, то осенью оно широко распространилось, охватывая значительную часть акватории бухты.

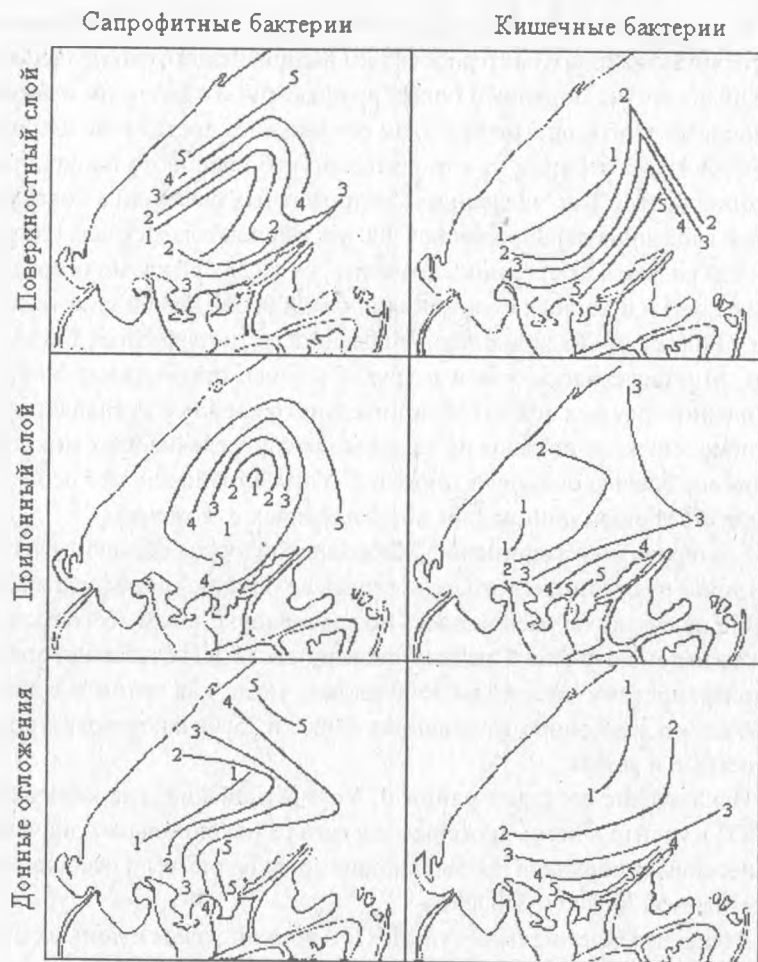


Рис. 5. Распределение численности сапрофитных и кишечных бактерий в водной толще и донных отложениях: (10^3 кл./г) Жебриянской бухты в июне 1996 года: сапрофиты у поверхности 1 - 2,70-2,94, 2 - 2,94-3,18, 3 - 3,18-3,42, 4 - 3,42-3,66, 5 - 3,66-3,90, у дна 1 - 2,8-3,0, 2 - 3,6-3,2, 3 - 3,2-3,4, 4 - 3,4-3,6, 5 - 3,6-3,8 и в грунте 1 - 1,8-2,9, 2 - 2,0-2,2, 3 - 2,2-2,4, 4 - 2,4-2,6, 5 - 2,0-2,8, кишечные у поверхности 1 - 1,8-2,28, 2 - 2,28-2,76, 3 - 2,76-3,24, 4 - 3,24-3,72, 5 - 3,72-4,20, у дна 1 - 1,0-1,62, 2 - 1,62-2,24, 3 - 2,24-2,86, 4 - 2,86-3,48, 5 - 3,48-4,10 и в грунте 1 - 3,00-3,64, 2 - 3,64-4,28, 3 - 4,28-4,92, 4 - 4,92-5,56, 5 - 5,56-6,20, lg кл./мл, кл./г.

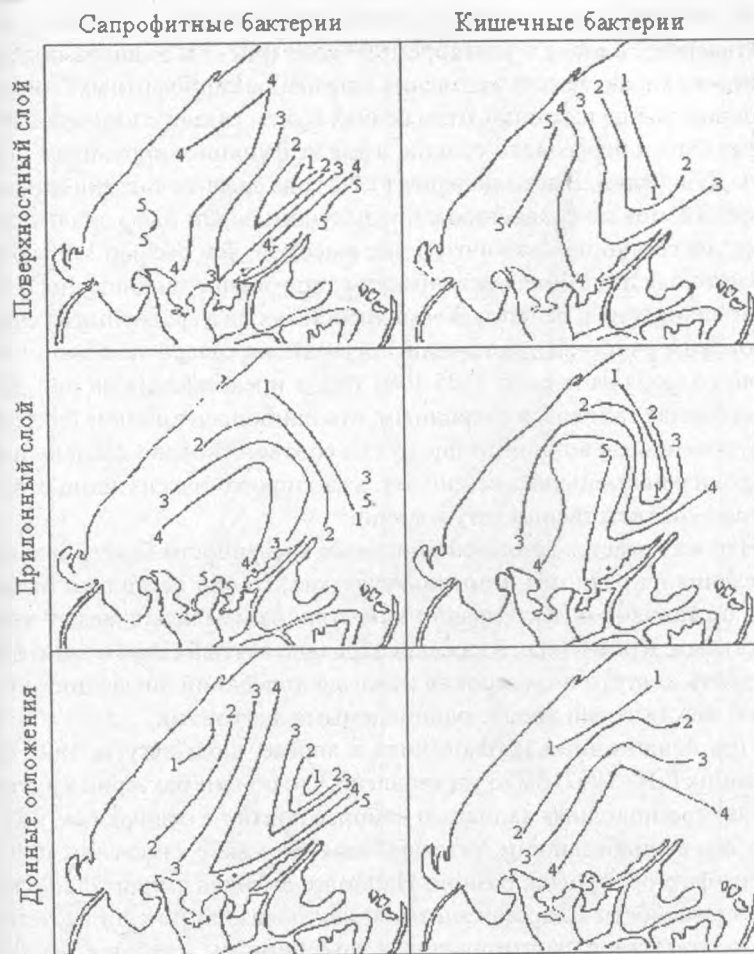


Рис. 6. Распределение численности сапрофитных и кишечных бактерий в водной толще и донных отложениях Жебриянской бухты в октябре 1996 года: сапрофиты у поверхности 1 - 2,30-2,49, 2 - 2,49-2,68, 3 - 2,68-2,87, 4 - 2,87-3,06, 5 - 3,06-3,25, у дна 1 - 1,70-1,87, 2 - 1,87-2,04, 3 - 2,04-2,21, 4 - 2,21-2,38, 5 - 2,38-2,55 и в грунте 1 - 4,46-4,59, 2 - 4,59-4,72, 3 - 4,72-4,85, 4 - 4,85-4,98, 5 - 4,98-5,11, кишечные у поверхности 1 - 1,70-2,23, 2 - 2,23-2,76, 5 - 2,76-3,29, 4 - 3,29-3,82, 5 - 3,82-4,35, у дна 1 - 1,3-1,59, 2 - 1,59-1,86, 3 - 1,88-2,17, 4 - 2,17-2,46, 5 - 2,46-2,75 и в грунте 1 - 3,47-3,86, 2 - 3,86-4,25, 3 - 4,25-4,64, 4 - 4,64-5,03, 5 - 5,03-5,42 lg кл./мл, кл./г.

И, наконец, аналогичные микробиологические исследования, осуществленные в июне и сентябре 1997 года (рис. 7 и 8) вновь подтвердили, что характер распределения кишечных и сапрофитных бактерий в водной толще и донных отложениях бухты связан с взаимовлиянием речного и берегового стоков, а также функционированием порта Усть-Дунайский. В летний период 1997 года средняя численность микроорганизмов по сравнению с предыдущим годом была значительно ниже, а в сентябре, наоборот, более высокой, чем осенью 1996 года.

Сезонная динамика численности сапрофитного и кишечного бактериопланктона и бентоса Жебриянской бухты в сравнении с речным и морским участками придунайского района северо-западной части Черного моря за период 1995-1997 годов представлена на рис. 9. Из его анализа становится очевидным, что наибольшее обилие бактерий, приуроченных к водной толще бухты соответствовало летнему периоду года и наименьшее - весеннему, а изолированных из донных отложений - соответственно лету и осени.

Что же касается сезонной динамики численности бактериального населения на речном и морском участках, то она несколько отличалась от таковой в бухте, равно как отличия имелись и между этими участками. Кроме того, в каждый отдельно взятый сезон можно было отметить достаточно широкие пределы колебаний численности бактерий между этими тремя сравниваемыми экотонами.

При аналогичных наблюдениях в апреле, июле-августе 1992 года (Олейник Г.Н., 1997) было установлено, что обилие бактерий в рукавах Дуная, пресноводных заливах и взморье почти не отличалось, но степень его вариабельности, указывающая на резкие изменения абиотических факторов, была разной. Наиболее высокая амплитуда колебаний численности микроорганизмов, как показали и наши исследования, соответствовала взморью, где, по-видимому, наиболее быстро и часто происходит смена в условиях их обитания и жизнедеятельности.

В связи с вышеизложенным особый интерес представило изучение качественного разнообразия сапрофитного бактериопланктона и бентоса придунайского района северо-западной части Черного моря. По морфологическому составу выделенные из воды и донных отложений штаммы бактерий относились к трем основным группам, а именно: кокковым формам, неспорообразующим и спорообразующим палочковидным формам, среди которых явно доминировали кокки (рис. 10).

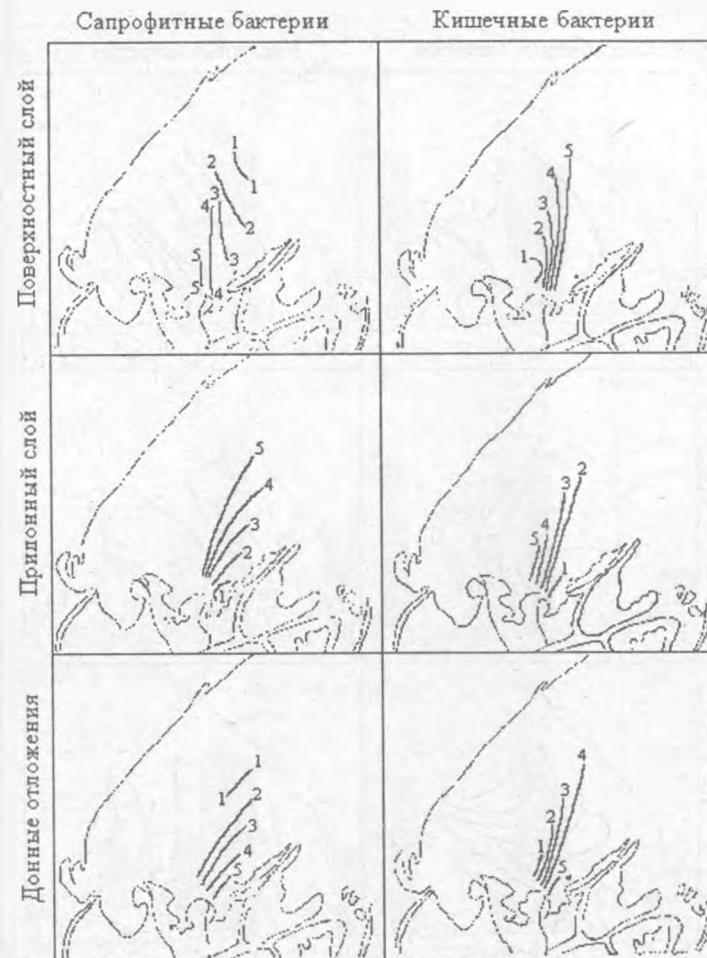


Рис. 7. Распределение численности сапрофитных и кишечных бактерий в водной толще и донных отложениях Жебриянской бухты в июне 1997 года: сапрофиты у поверхности 1 - 2,70-2,87, 2 - 2,87-3,04, 3 - 3,04-3,21, 4 - 3,21-3,38, 5, 3,33-3,55, у дна 1 - 2,17-2,29, 2 - 2,29-2,41, 3 - 2,41-2,53, 4 - 2,53-2,65, 5 - 2,65-2,77 и в грунте 1 - 5,37-5,43, 2 - 5,43-5,49, 3 - 5,49-5,54, 4 - 5,54-5,59, 5 - 5,59-5,64, кишечные у поверхности 1 - 2,00-2,23, 2 - 2,23-2,46, 3 - 2,46-2,69, 4 - 2,69-2,92, 5 - 2,92-3,15, у дна 1 - 1,0-1,17, 2 - 1,17-1,34, 3 - 1,34-1,51, 4 - 1,51-1,68, 5 - 1,68-1,35 и в грунте 1 - 4,95-5,05, 2 - 5,05-5,15, 3 - 5,15-5,25, 4 - 5,25-5,35, 5 - 5,35-5,45 лг.кл./мл, кл.г.

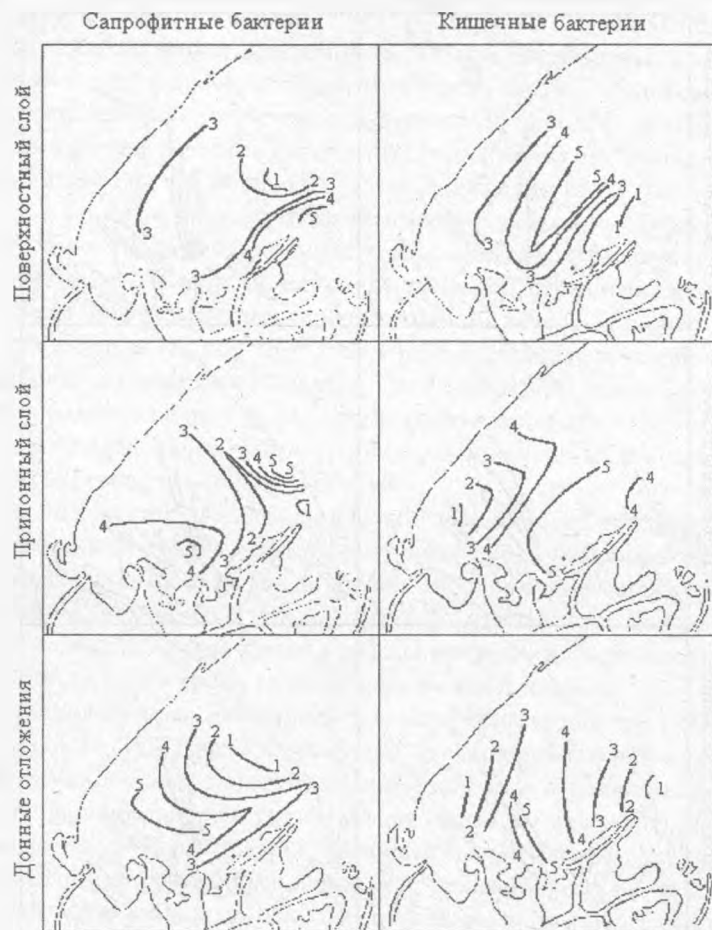


Рис. 8. Распределение численности сапрофитных и кишечных бактерий в водной толще и донных отложениях Жебриянской бухты в сентябре 1997 года: сапрофиты у поверхности 1 - 2,76-2,96, 2 - 2,96-3,16, 3 - 3,16-3,36, 4 - 3,36-3,56, 5 - 3,56-3,76, у дна 1 - 2,8-3,0, 2 - 3,0-3,2, 3 - 3,2-3,4, 4 - 3,4-3,6, 5 - 3,6-3,8 и в грунте 1 - 5,04-5,10, 2 - 5,10-5,16, 3 - 5,16-5,22, 4 - 5,22-5,28, 5 - 5,28-5,34; кишечные у поверхности 1 - 2,70-2,79, 2 - 2,79-2,88, 3 - 2,88-2,97, 4 - 2,97-3,06, 5 - 3,06-3,15 у дна 1 - 1,00-1,49, 2 - 1,49-1,98, 3 - 1,98-2,47, 4 - 2,47-2,96, 5 - 2,96-3,45 и в грунте 1 - 4,57-4,68, 2 - 4,68-4,79, 3 - 4,79-4,90, 4 - 4,90-5,01, 5 - 5,01-5,12 lg кл./мл, кл./г.

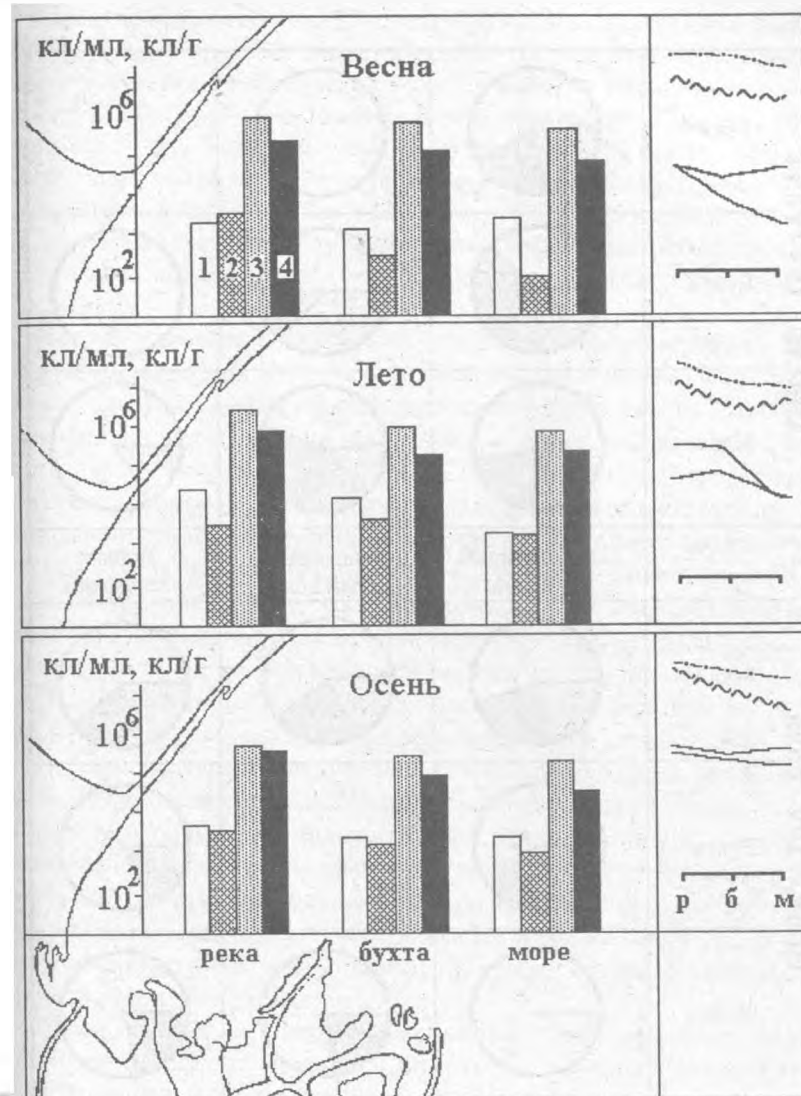


Рис. 9. Сезонная динамика численности сапрофитных и кишечных бактерий в водной толще и донных отложениях придунайского участка северо-западной части Черного моря за период 1995-1997 годов: 1 и 3 - сапрофитный бактериопланктон и бентос, 2 и 4 - БГКП в водной толще и донных отложениях.

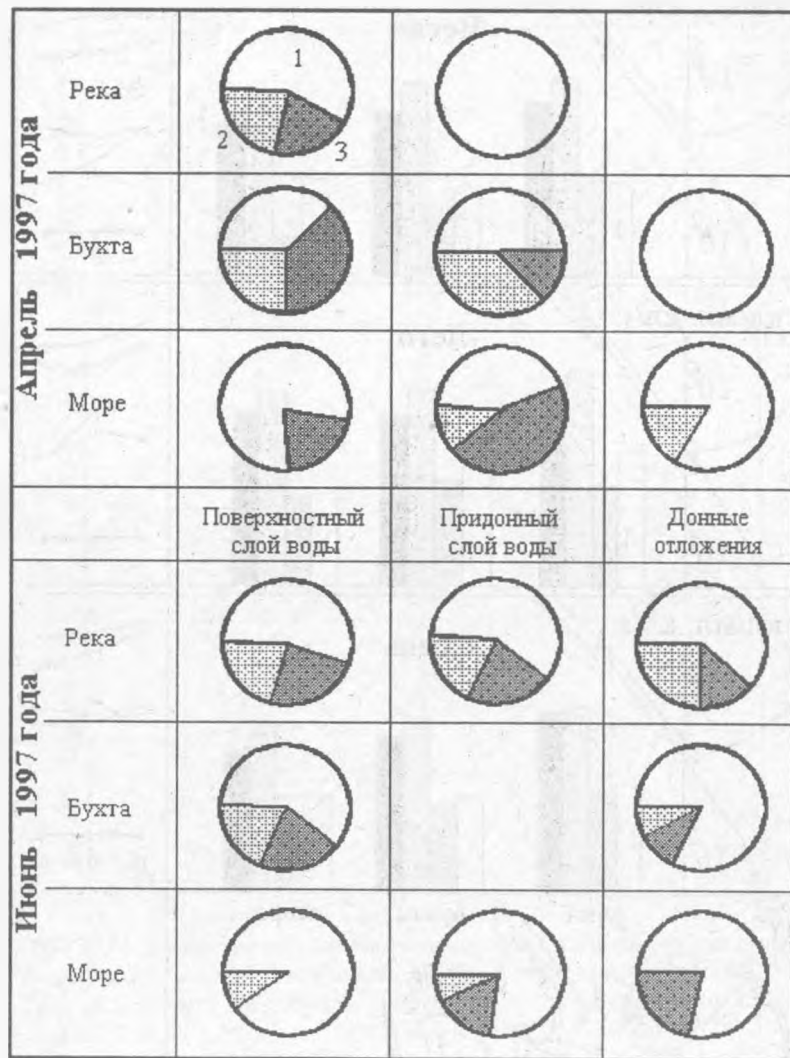


Рис. 10. Морфологический состав бактериопланктона и бактериобентоса придунайского участка северо-западной части Черного моря: 1 - кокковые формы, 2 - неспорообразующие палочки, 3 - спорообразующие палочки.

Идентификация до рода (Берги, 1980) коллекции штаммов сапрофитных бактерий, выделенных из водной толщи и донных отложений речного участка, Жебриянской бухты и взморья показала, что при общем для всех районов доминирования кокков, преобладание того или иного рода было различным. Так, весной 1997 года (рис. 11) в речных водах наиболее часто встречались микрококки и педиококки, в водах бухты - планококки и на взморье - планококки и микрококки, а в донных отложениях - соответственно микрококки и стафиллококки, стафиллококки и стрептококки, педиококки и стафиллококки (рис. 12).

Примечательно, что такое преимущественное доминирование как по частоте встречаемости, так и по численности кокковых форм в составе сапрофитного бактериопланктона и бентоса еще не наблюдалось в ни в приустьевых, ни в прибрежных районах северо-западной части Черного моря (Терлинская N.G., 1995). До начала эвтрофирования северо-западной части моря кокковые формы в составе сообществ сапрофитных бактерий могли составлять не более 10-15%, а основная часть была представлена неспорообразующими Грамо-трицательными палочками. Предполагалось, что кокки чаще могут встречаться в приустьевых и прибрежных районах, поскольку они вроде бы большей частью терригенного происхождения, а не типично морские формы. Однако наши исследования полностью не подтвердили это мнение, но, вместе с тем, с достаточной достоверностью мы показали, что при прогрессирующем эвтрофировании северо-западной части Черного моря в составе бактериопланктона и бентоса увеличивается доля спорообразующих Грам-положительных палочек. Они как, известно, являются наиболее устойчивыми к воздействию негативных факторов среды обитания. Столь существенные перестройки в структуре бактериальных сообществ придунайского участка северо-западной части моря могут найти свое объяснение при рассмотрении взаимосвязей гидробионтов в экосистеме.

Таким образом, многолетние микробиологические исследования в Жебриянской бухте позволили сделать ряд выводов и заключений относительно тенденций изменения количественных и функциональных характеристик бактериопланктона и бактериобентоса, связанных как с общим прогрессирующим эвтрофированием северо-западной части Черного моря, так и своеобразием этого участка придунайского взморья.

Установлено неуклонное, из года в год, увеличение плотности и биомассы бактериопланктона, а также численности сапрофитных и кишечных бактерий в водной толще и донных отложениях Жебриянской бухты, как одного из типичных приустьевых участков северо-западной части Черного моря.

Наряду с этим отмечено постепенное снижение метаболической активности бактериальных сообществ, поскольку их метаболизм жестко сбалансирован в пределах экосистемы. Это, в свою очередь, приводит к снижению конструктивного и деструктивного обменов бактериопланктона и бактериобентоса, ответственных за круговорот веществ в водной толще и донных отложениях. В результате нарушается, а в экосистеме бухты и уже нарушен, естественный баланс органического вещества с постоянно растущей тенденцией накопления трудноразрушаемых фракций, не вовлекаемых в круговорот.

Поскольку автохтонные бактерии в условиях эвтрофирования функционируют на пределе своих потенциальных возможностей, вполне объяснимо, что процессы самоочищения за счет деятельности микроорганизмов в бухте резко снижены, особенно в летнее время, когда концентрация накопившегося в бухте органического вещества сопоставима с таковой в придунайском взморье. Весной же условия для функционирования бактерий в бухте не столь напряженные, поскольку сюда при паводке поступает меньшее, по сравнению с придунайским взморьем, количество органического вещества, включенного в весенний сток реки.

Столь же существенные изменения претерпела и сезонная динамика обилия бактерий в Жебриянской бухте при превращении ее из типичного морского залива в приустьевую зону моря. Если до 70-х годов наибольшее обилие бактериопланктона наблюдалось осенью, а наименьшее - весной, то в настоящее время - соответственно в весенне-летний и осенний периоды года. Наибольшая численность сапрофитного бактериобентоса характерна для летнего периода, а наименьшая - для весны и поздней осени.

Бактериальное загрязнение водной толщи и донных отложений бухты, которое до 70-х годов было незначительным или же вовсе не наблюдалось в отдельные сезоны года, в настоящее время, будучи напрямую связанным с антропогенной нагрузкой, приобрело угрожающие масштабы и при этом ощущается круглогодично.

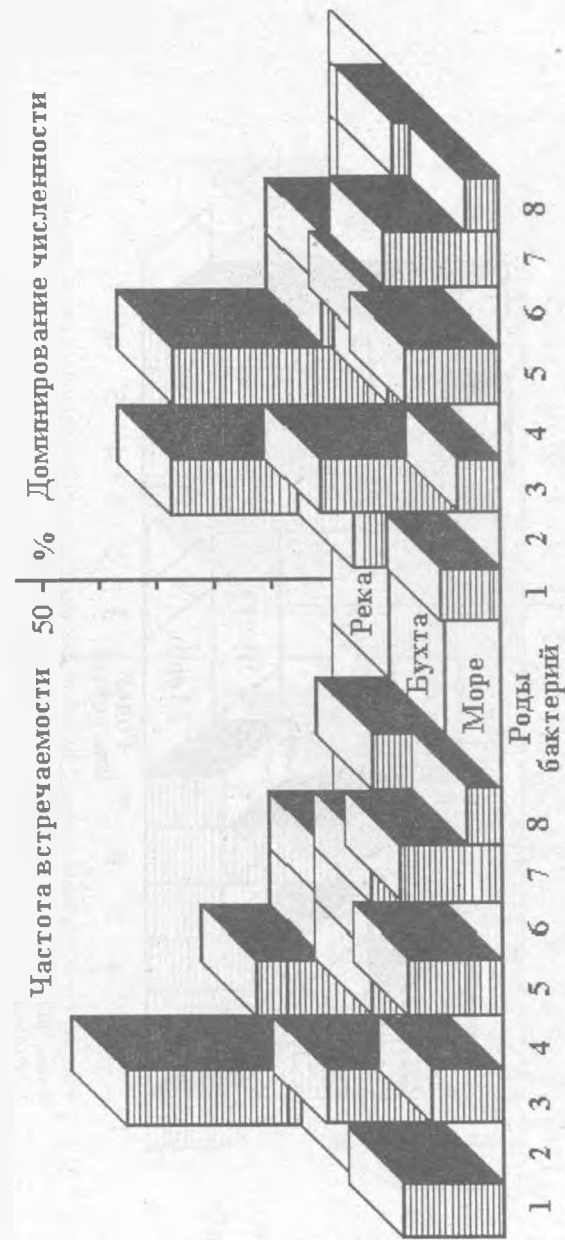


Рис. 11. Качественный состав сапрофитного бактериопланктона придунайского участка северо-западной части Черного моря в апреле 1997 года. 1 - *Micrococcus*, 2 - *Planococcus*, 3 - *Pediosoccus*, 4 - *Arlingobacter*, 5 - *Bacillus*, 6 - *Lactobacillus*, 7 - *Sporolactobacillus*, 8 - *Listeria*.

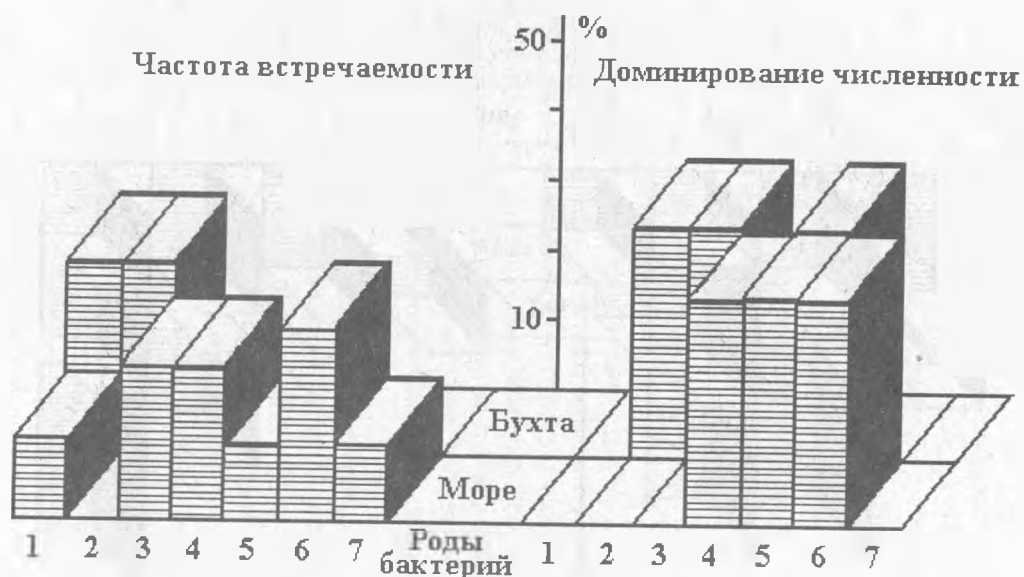


Рис. 12. Качественный состав сапрофитного бактериобентоса придунайского района северо-западной части Черного моря в апреле 1997 года. 1 - *Planococcus*, 2 - *Pediosoccus*, 3 - *Peptococcus*, 4 - *Staphylococcus*, 5 - *Micrococcus*, 6 - *Microbacterium*; 7 - *Arthrobacter*.

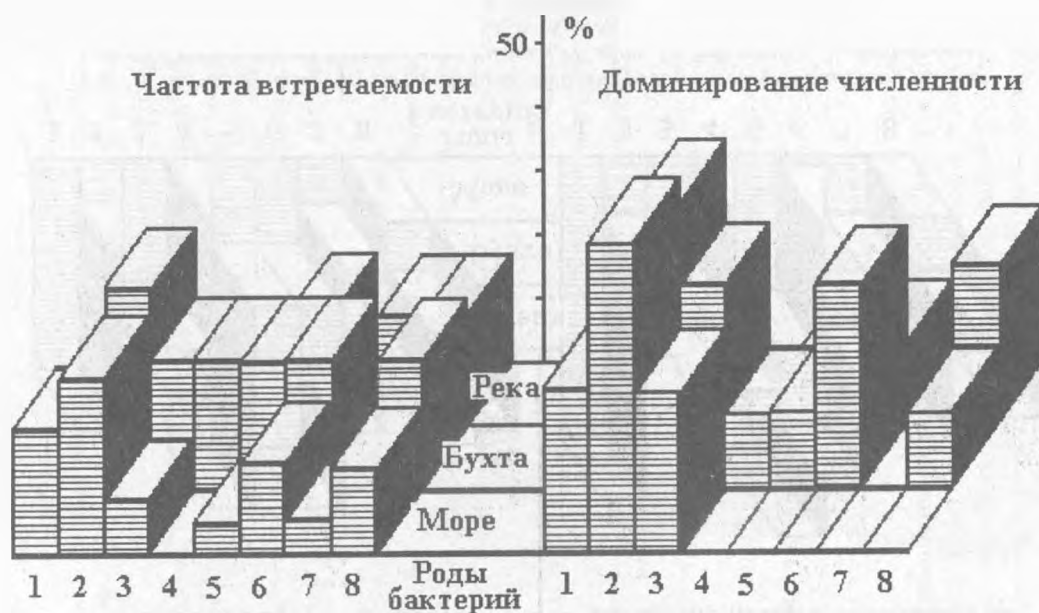


Рис. 13. Качественный состав сапрофитного бактериопланктона придунайского района северо-западной части Черного моря в июне 1997 года. 1 - *Micrococcus*, 2 - *Planococcus*, 3 - *Pediosoccus*, 4 - *Arthrobacter*, 5 - *Bacillus*, 6 - *Streptococcus*, 7 - *Listeria*, 8 - *Staphylococcus*.

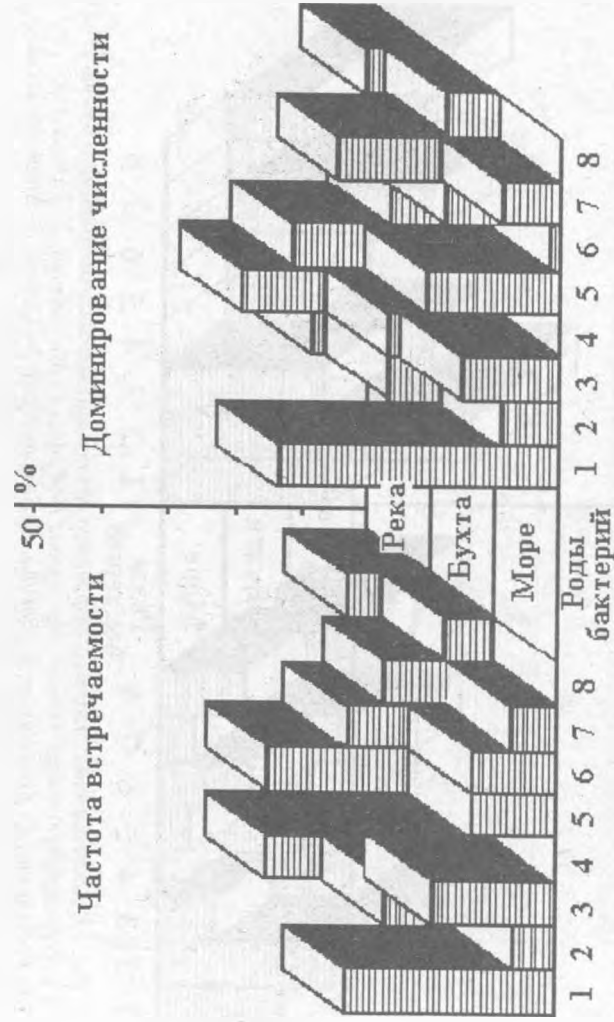


Рис. 14. Качественный состав сапрофитного бактериобентоса придунайского района северо-западной части Черного моря в июне 1997 года. 1 - *Pediosoccus*, 2 - *Pertosoccus*, 3 - *Staphylococcus*, 4 - *Micrococcus*, 5 - *Bacillus*, 6 - *Sporolactobacillus*, 7 - *Streptococcus*, 8 - *Listeria*.

Учитывая, что обилие аллохтонных бактерий зачастую превышает численность автохтонных микроорганизмов, угроза необратимых перестроек в бактериальных сообществах, когда их участие в процессах самоочищения может полностью прекратиться, вполне реальна не только в Жебриянской бухте, но и во всей приустьевой зоне р. Дунай. О необратимых перестройках в структуре бактериальных сообществ могут свидетельствовать и существенные изменения в качественном разнообразии сапрофитного бактериопланктона и бактериобентоса с ярко выраженным в настоящее время доминированием кокковых форм, что ранее никогда не наблюдалось.

Литература

1. Зайцев Ю.П. Современные формы антропогенного воздействия на население моря // Тез. докл. III съезда ВГБО (Рига, 11-15 мая 1976 г.). - Рига, "Зинатне", 1976. - С.146-148.
2. Краткий определитель бактерий Берги. - М.: Из-во "Мир", 1980. - 495 с.
3. Лебедева М.Н. Характеристика численности и биомассы микроорганизмов Черного моря // Автореф. канд. дисс., М., 1953.
4. Нижегородова Л.Е., Теплинская Н.Г., Ковалева Н.В. Новые данные о микрофлоре Черного моря // Биология моря. - 1981. - №1. - С. 24-28.
5. Олейник Г.Н. Бактериопланктон и бактериобентос в экотонных экосистемах // Гидробиологический журнал. - 1997. - 33, №1. - С.51-62.
6. Теплинская Н.Г. Липолитическая микрофлора северо-западной части Черного моря // Автореф.дисс.на соиск.уч.степ.к.б.н., Одесса, 1979.
7. Теплинская Н.Г. Бактериопланктон северо-западной и северо-восточной частей Черного моря летом 1991 года. / Депон.рукопись №528-В93. - М.: ВИНТИ, 1993. - 15 с.
8. Теплинская Н.Г. Летний бактериопланктон придунайского участка северо-западной части Черного моря/ Депон.рукопись № 639-В94. - М.: ВИНТИ, 1994. - 16 с.
9. Теплинская Н.Г., Бондаренко Н.С. Бактериальная продукция в приповерхностных слоях воды западной области Черного моря // Гидробиологический журнал. - 1985, №3. - С. 46-50.
10. Теплинская Н.Г., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н. Планктонные сообщества дунайского приустьевого участка северо-западной части

Черного моря в весенний период / Депон.рукопись №1996-В93. - М.: ВИНТИ, 1993. - 46 с.

11. Цыбань А.В. Бактерионейстон и бактериопланктон шельфовой области Черного моря // - Киев: Наукова думка, 1970.

12. Teplinskaja N.G. Bacteria. - In report on the Biodiversity of the Ukraina Black Sea area. - Odessa, 1995, p. 29-35.

УДК 581.526.325 {262.5}

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФИТОПЛАНКТОНА ЖЕБРИЯНСКОЙ БУХТЫ

Нестерова Д.А.

Мелководная Жебриянская бухта, максимальная глубина которой не превышает 12 м., принимает воды Килийского рукава р. Дунай. Бухта, как и вся прибрежная зона северо-западной части Черного моря, находится под влиянием стгонно-нагонных процессов, оказывающих существенное влияние на функционирование пелагических сообществ. При нагонных явлениях дунайские воды вытесняют морскую с населяющей ее флорой и фауной и, наоборот, при стгонных явлениях с компенсационным течением в бухту поступает холодная придонная вода с представителями морской флоры и фауны. Через периодически открывавшуюся пересыпь бухта соединялась с Шаболатским лиманом.

Происходящее в последние десятилетия расширение судоходства и ирригационные мероприятия привели к увеличению антропогенного влияния на бухту. Во вновь создающемся порту Усть-Дунайск периодически производится перегрузка сыпучих грузов, в частности, фосфоритов, открытым способом. В процессе строительства дунайско-днестровской оросительной системы Шаболатский лиман отделен от бухты дамбой и превращен в пресное озеро. Вместе с тем литературные сведения о фитопланктоне Жебриянской бухты, наиболее чутко реагирующем на изменения, происходящие в окружающей среде, немногочисленны и дают только общую характеристику современного состояния микрофитов бухты (1).

Материал и методика. Количественные пробы фитопланктона отбирали с поверхностного и придонного слоев бухты ежемесячно в сентябре-декабре 1988 г., в январе-апреле, июле и сентябре 1989 г., в апреле, июне, августе, и сентябре 1990 г., июне, июле и ноябре 1995 г., марте и июне 1996 г. Пробы объемом 1 л., фиксированные 40 % нейтрализованным формалином, сгущали осадочным методом. Микроскопические растительные клетки просчитывали в 0,1 мл фильтрата. Био-

массу рассчитывали по индивидуальным клеточным объемом. Всего собрано и обработано 280 проб.

Видовое разнообразие. На видовое разнообразие фитопланктона Жебриянской бухты, как и всего придунайского района моря, оказывает существенное влияние сток Дуная, вместе с которым в бухту поступают многочисленные пресноводные виды. Многолетними исследованиями фитопланктона северо-западной части Черного моря установлено (3), что в придунайской устьевой области в отличие от приднепровско-бугской, пресноводный комплекс представлен значительно беднее. Здесь реже встречаются сине-зеленые и зеленые водоросли, обильные в зоне влияния вод Днепра, чувствительные к механическому и экранирующему воздействию минеральной взвеси, концентрации которой в дунайской воде высоки.

За период наших исследований в фитопланктоне бухты найдено 192 вида и разновидностей водорослей. По числу видов и разновидностей доминировали диатомовые (34,2%), перидиниевых найдено меньше (18,4%). Разнообразно представлены пресноводные зеленые (24,2%) и синезеленые (11,6%). Золотистые и эвгленовые насчитывали от 1 до 4 видов.

По отношению к солености в бухте преобладали виды морские, солоноватоводно-морские и солоноватоводные, составившие 52,8% всего видового разнообразия фитопланктона, пресноводных видов найдено меньше (47,2%).

Среди диатомовых водорослей круглогодично встречались представители морского комплекса видов (*Skeletonema costatum*, *Cylindrotheca closterium*, *Thalassiosira parva* и *Th. subsalina*), нередко формировавшие "цветение" воды. Развитие многих видов диатомовых происходило в определенные сезоны года. Так, зимой найдены *Nitzschia longissima*, *Melosira sulcata*, весной - *Melosira moniliformis*. эндемик северо-западной части Черного моря *Diatoma elongatum* и обычный представитель микрофитобентоса *Licmophora erenbergii*, вероятно, имеющий пелагическую стадию развития. В конце лета начале осени развивалось большинство видов р. *Chaetoceros* (*Ch. wighamii*, *Ch. affinis*, *Ch. compressus*) и *Nitzschia* (*Cylindrotheca closterium*), *Rhizosolenia* (*Rh. calcar avis*, *Rh. fragilissima*). В Жебриянской бухте, как и в других мелководных заливах северо-западной ча-

сти Черного моря (Егорлыцком, Гендровском) часто можно обнаружить диатомовые свойственные бентосу и обрастаниям (виды родов *Synedra* и *Navicula*), попадающие в водную толщу при вертикальном перемешивании водных масс. Эти виды, встречаясь единично обычно зимой и весной, не играли заметной роли в образовании общего количества фитопланктона.

Перидиниевые водоросли, видовое разнообразие которых увеличивалось летом и ранней осенью, представляли круглогодично встречавшиеся и широко распространенные в северо-западной части моря *Prorocentrum cordata*, *Scriposiella trochoidea*, *Heterocapsa triquetra*. Летом и осенью вместе с этими видами найдены *Glenodinium najadeum* *Gl. rotundatum*, *Prorocentrum micans*.

Обычным видом фитопланктона бухты была эвгленовая *Eutreptia lanovii* - возбудитель "цветения" воды в лиманах северо-западного Причерноморья (4), а в последние годы и в северо-западной части моря (7).

Сравнение видового разнообразия фитопланктона Жебриянской бухты и северо-западной части Черного моря показало, что в бухте по числу видов доминируют диатомовые водоросли, в то время как в море перидиниевые (8).

В литературе широко распространено мнение о том, что перидиниевые водоросли, среди которых большинство океанических видов, предпочитают воды с высокой соленостью. В приустьевых пространствах морей и в прибрежных водах с часто меняющейся соленостью их видовое разнообразие уменьшается. Так, у побережья Одессы, на которое во время осеннего и весеннего половодья оказывают влияние воды Днепо-Бугского лимана, перидиниевые по числу видов также уступали место диатомовым (10). Вместе с тем можно предположить, что на уменьшение видового разнообразия перидиниевых в прибрежном планктоне, кроме меняющейся солености, оказывает влияние целый ряд факторов, среди которых следует выделить частое вертикальное перемешивание водных масс, увеличение мутности и др.

При анализе видового разнообразия важно проследить межгодовые и межсезонные сукцессии фитопланктона. Если в макрофитобентосе сукцессия предполагает полную смену видов, то в фитопланктоне происходит их частичная замена, отражающаяся в первую очередь, на изменениях его массовых видов, часто образующие комплексы,

которые наиболее полно характеризуют фитоценоз и составляют основу его численности и биомассы.

Согласно таблице 1 в Жебриянской бухте за весь период исследований выделено 19 комплексов и 18 вариантов, образованных 31 видом водорослей (табл. 1), среди которых доминировали диатомовые морского генезиса. Сравнение фитопланктонных комплексов и вариантов, доминировавших в планктоне в 1988-1990 гг. и в 1995-1996 гг. показано упрощение их структуры в последние годы и полное отсутствие, за исключением *Stephanodiscus hantzschii*., пресноводных видов.

Таблица 1. Состав фитопланктонных комплексов Жебриянской бухты в 1988-1996 г.

Месяц, год	Комплекс	Вариант
1	2	3
Сентябрь 1988	<i>Nitzschia seriata</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i>	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>p. Oscillatoria</i> , <i>Cerataulina pelagica</i>
Октябрь 1988	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Skeletonema costatum</i> .	<i>p. Oscillatoria</i>
Декабрь 1988	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Chaetoceros socialis</i> .	
Январь 1989	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i>	<i>Thalassiosira parva</i> + <i>Thalassiosira subsalina</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Melosira granulata</i>
Февраль 1989	<i>Diatoma elongatum</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i>	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Ankistrodermus longissimus</i>
Март 1989	<i>p. Cyclotella</i> , <i>Diatoma elongatum</i>	<i>Skeletonema costatum</i> .
Апрель 1989	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Diatoma elongatum</i> .	<i>Thalassiosira parva</i> + <i>Thalassiosira subsalina</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i>
Июль 1989	<i>Cerataulina pelagica</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>Chaetoceros socialis</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Prorocentrum cordata</i> .	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Eutreptia lanovii</i> .
Август 1989	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Prorocentrum micans</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Melosira granulata</i> , <i>Actinastrum hantzschii</i> .
Сентябрь 1989	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Melosira granulata</i> .	<i>Cerataulina pelagica</i> , <i>Skeletonema costatum</i> .

Продолжение таблицы 1. Состав фитопланктонных комплексов Жебриянской бухты в 1988-1996 г.

1	2	3
Апрель 1990	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Asterionella formosa</i>	<i>p. Oscillatoria</i> , <i>p. Microcystis</i> , <i>Chaetoceros socialis</i> , <i>Skeletonema subsalsum</i> .
Июнь 1990	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> ,	<i>Melosira granulata</i> , <i>p. Cyclotella</i> , <i>Crucigenia tetrapedia</i>
Август 1990	<i>Melosira granulata</i> .	<i>p. Gleocapsa</i> , <i>Cerataulina pelagica</i> , <i>Skeletonema costatum</i> .
Сентябрь 1990	<i>Emiliana huxleyi</i> , <i>Chaetoceros socialis</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i>	<i>Cylindrotheca closterium</i> .
Июнь 1995	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Cyclotella caspia</i>	<i>Prorocentrum cordata</i> , <i>Peridinium triquetrum</i> .
Июль 1995	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Chaetoceros affinis</i> , <i>Cylindrotheca closterium</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> .
Ноябрь 1995	<i>Leptocylindrus minimus</i>	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Melosira granulata</i> .
Апрель 1996	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Chaetoceros socialis</i> , <i>Diatoma elongatum</i>	<i>Dinobryon sp.</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> .
Июнь 1996	<i>Nitzschia delicatissima</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Skeletonema costatum</i> .	<i>Chaetoceros curvisetus</i> , <i>Rhizosolenia fragilissima</i> .

"Цветения" воды. В Жебриянской бухте, как и в северо-западной части Черного моря (7), с февраля по ноябрь при колебаниях температуры от 3°C до 22°C происходят "цветения" воды, вызванными вспышками развития одного или нескольких видов водорослей. За период наблюдений "цветения" воды в бухте вызывал 21 вид (11% всего видового разнообразия фитопланктона), в том числе 13 диатомовых, 3 синезеленых и по одному представителю перидиниевых, кокколитофорид, золотистых, зеленых, эвгленовых (табл. 2). Одни виды формировали "цветение" воды почти постоянно, вспышки развития других наблюдались не столь часто, либо эпизодически. Поэтому по частоте вспышек развития виды - возбудители "цветения" можно условно разделить на три группы.

В первую группу вошли виды, "цветение" которых наблюдалось

не менее шести раз. Это массовые виды диатомового фитопланктона северо-западной части Черного моря *Skeletonema costatum* и *Chaetoceros socialis*, а также постоянно встречающаяся в бухте пресноводная диатомея *Stephanodiscus hantzschii*, поступающая в бухту с водами р. Дунай. По всей вероятности из-за сходства *Stephanodiscus hantzschii* с видами р. *Melosira* возможны ошибки в его определении. Среди перечисленных видов особенно следует выделить *Skeletonema costatum* - возбудитель "цветения" воды у побережья Одессы (10). Это дает основание предположить, что эта наннопланктонная водоросль с небольшими размерами клеток (50-400 мкм³) наиболее чутко реагирует на изменения, происходящие в водной среде. В приустьевых пространствах рек, впадающих в северо-западную часть моря, часто встречается другой представитель этого рода - *Skeletonema subsalsum* отличающаяся от *Skeletonema costatum* длинной щетинок, соединяющие клетки и зачастую мало заметные при микроскопировании, что затрудняет их видовую идентификацию.

Виды летнего фитопланктона северо-западной части моря (*Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia delicatissima*, *Diatoma elongatum*, *Cerataulina pelagica*), вызывавшие "цветение" воды бухты не менее 3-4 раз образовали вторую группу.

Третья группа объединила виды, часто встречающиеся в планктоне, но редко (1-2 раза) достигавшие уровня "цветения".

Среди видов входящих в состав этой группы следует отметить показатель качества воды эвгленовую *Eutreptia lanovii*, предпочитающую для своего развития воды с гниющим органическим веществом, диатомею *Cylindrotheca closterium* - возбудителя воды в Сухом и Григорьевском лиманах северо-западного Причерноморья (9), а также золотистую *Dinobryon* sp., которая в весенние месяцы последних лет вызывала "цветение" воды северо-западной части Черного моря.

В Жебриянской бухте не обнаружены новые, не известные ранее для северо-западной части виды-возбудители "цветения" воды, за исключением *Chaetoceros affinis*. Вместе с тем максимальные величины численности диатомовых *Nitzschia delicatissima*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros socialis*, *Cyclotella caspia* в бухте оказались больше, чем в море. (7) Это дает основание допустить, что в мелководной бухте создаются благоприятные условия для развития мелкоклеточных видов фитопланктона, т.к. объемы клеток перечисленных видов колеблются в пределах 300-800 мкм³.

Если северо-западная часть Черного моря находится под влиянием пресноводного стока Дуная, Днестра и Днепра с Бугом, и выделить влияние каждой из перечисленных рек на возникновение «цветений» воды сложно, то побережье Румынии также как и Жебриянская бухта находится под влиянием вод Дуная. Согласно данным, полученным в 1981 - 1990 гг. "цветение" воды у берегов Румынии вызывали 15 видов фитопланктона, из которых 8 были общими(11). Следует отметить, что у берегов Румынии возбудителями «цветений» воды вместе с диатомовыми были перидиниевые, а в бухте в основном - диатомовые. Постоянным возбудителем "цветения" воды, как у берегов Румынии, так и в Жебриянской бухте была *Skeletonema costatum*., максимальная численность которой укладывалась в рамках колебаний ее численности, установленной у побережья Румынии в эти годы. Вспышки развития других видов в сравниваемых районах происходили в разные годы, что могло зависеть от сроков проведения исследований, не совпадавших во времени. Вместе с тем одновременные исследования фитопланктона Жебриянской бухты и побережья Румынии были выполнены в июле и августе 1989 г. Список видов - возбудителей "цветения" воды и их максимальная численность в этих районах приведен в таблице 3. Согласно таблице только два вида - *Cylindrotheca closterium* и *Eutreptia lanovii* оказались общими. Причем численность первого вида была равной, а второго в 6 раз большей у румынских берегов.

Пространственное распределение. Пространственное распределение фитопланктона Жебриянской бухты наиболее подробно изучали весной (март 1996 г.), летом (июнь 1990 г., июль 1989, 1995 г.) в начале осени (сентябрь 1988 г. и 1990 г.) и в конце осени (ноябрь 1995 г.).

Ранней весной (март 1996 г.) во время "цветения" диатомеи *Skeletonema costatum* численность и биомасса фитопланктона, распределяясь на большей части бухты равномерно, сокращались в районе Прорвы, что, вероятно, было вызвано значительным распреснением и большой мутностью воды, ограничивающих развитие фитопланктона (рис. 1).

В начале лета (июнь 1996 г.), когда на всей акватории бухты происходило "цветение" диатомовых (*Chaetoceros socialis*, *Skeletonema costatum*), численность фитопланктона постепенно уменьшалась от восточной открытой части бухты к западной, кутовой, где численность видов, ответственных за возникновение "цветения" уменьшались. Биомасса фитопланктона распределялась аналогичным образом, за ис-

ключением отдельных станций, где развивались крупные виды перидиниевых, что привело к увеличению (рис. 2).

Таблица 2. Максимальная численность (млн. кл./л) видов-возбудителей "цветения" воды в Жебриянской бухте в 1988-1996 гг.

№	Виды	Численность
1.	<i>Melosira granulata</i>	8,9
2.	<i>Skeletonema costatum</i>	30,0
3.	<i>Cyclotella caspia</i>	6,3
4.	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	7,3
5.	<i>Leptocylindrus minimus</i>	1,4
6.	<i>Leptocylindrus danicus</i>	7,1
7.	<i>Chaetoceros affinis</i>	1,9
8.	<i>Chaetoceros socialis</i>	11,9
9.	<i>Cerataulina pelagica</i>	3,6
10.	<i>Diatoma elongatum</i>	3,6
11.	<i>Asterionella formosa</i>	2,3
12.	<i>Nitzschia delicatissima</i>	12,4
13.	<i>Cylindrotheca closterium</i>	13,0
14.	<i>Prorocentrum cordata</i>	2,5
15.	<i>Merismopedia glauca</i>	1,0
16.	<i>Merismopedia minima</i>	2,0
17.	<i>Oscillatoria kisselevi</i>	4,2
18.	<i>Ponthosphaera huxleyi</i>	1,1
19.	<i>Dinobryon sp.</i>	1,3
20.	<i>Eutreptia lanovii</i>	1,7
21.	<i>Micractinium posillum</i>	6,6

В июле 1989 максимальная численность фитопланктона отмечалась у Прорвы, где происходило одновременное "цветение" диатомовых (*Cylindrotheca closterium*, *Skeletonema costatum*) и зеленых (*Micractinium pusillum*) водорослей. На остальной части бухты численность, образованная диатомовыми и перидиниевыми, распределялась равномерно. Биомасса, наоборот, постепенно сокращалась от кутовой части бухты, где доминировали перидиниевые, к открытой ее части (рис. 3).

Во время сильного "цветения" диатомовых водорослей (*Skeletonema costatum*, *Chaetoceras socialis*), происходившего в июле 1995 г., численность и биомасса фитопланктона концентрировались в районе Прорвы.

Пространственное распределение фитопланктона в сентябре раз-

ных лет почти повторяло его распределение в летние месяцы. Последовательное увеличение численности и биомассы фитопланктона от восточной части бухты к западной наблюдалась в 1988 г. (1), а в 1990 г. численность уменьшалась от восточной, открытой части бухты к ее западным берегам (рис. 4), биомасса, наоборот, концентрировалась в центральной ее части. В ноябре 1995 г. фитопланктон, распределяясь на большей части бухты равномерно, скапливался у Прорвы.

Таблица 3. Максимальная численность (млн. кл./л) видов-возбудителей "цветения" воды в Жебриянской бухте и у побережья Румынии в июле-августе 1989 г. (11).

№	Виды	Жебриянская бухта	Побережье Румынии
1.	<i>Melosira granulata</i>	2,1	--
2.	<i>Skeletonema costatum</i>	6,9	--
3.	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	6,6	--
4.	<i>Leptocylindrus danicus</i>	7,1	--
5.	<i>Chaetoceros socialis</i>	1,3	--
6.	<i>Cerataulina pelagica</i>	8,9	--
7.	<i>Nitzschia tenuirostris</i>	--	74,8
8.	<i>Cylindrotheca closterium</i>	13,0	13,1
9.	<i>Prorocentrum cordata</i>	2,5	--
10.	<i>Prorocentrum scutellum</i>	--	7,2
11.	<i>Scripsiella trochoideae</i>	--	25,8
12.	<i>Merismopedia minima</i>	2,0	--
13.	<i>Emilania huxleyi</i>	--	213,3
14.	<i>Eutreptia lanovii</i>	1,7	108,0

Таким образом, несмотря на разнообразие пространственного распределения фитопланктона Жебриянской бухты, можно сделать вывод о том, что наиболее часто фитопланктон концентрировался в районе Прорвы и значительно реже в восточной, сообщаемой с морем части бухты. Несмотря на небольшую величину бухты и ее частичную изолированность от моря количество пресноводных видов возрастало в основном в районе Прорвы.

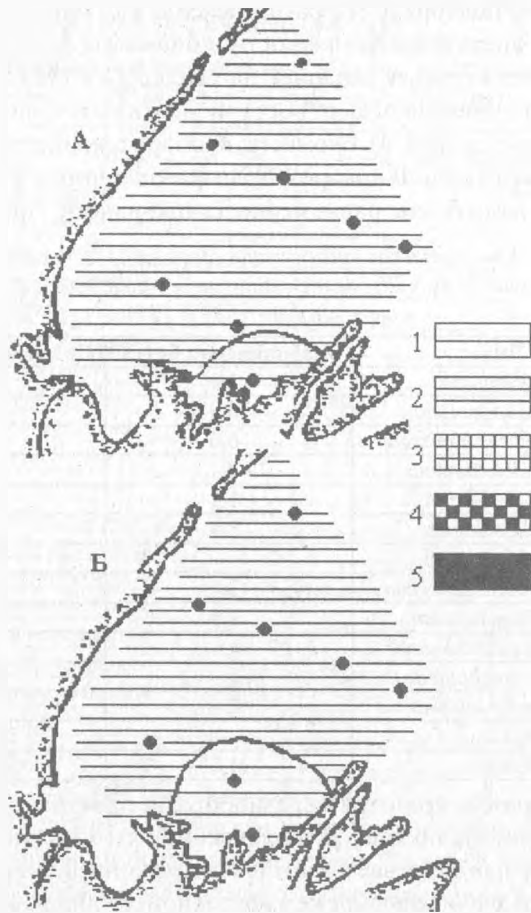


Рис. 1. Распределение численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона Жебриянской бухты в марте 1996 г.

А. 1. менее 1 млрд. кл. · м³; 2. 1-5 млрд. кл. · м³; 3. 5-10 млрд. кл. · м³; 4. 10-50 млрд. кл. · м³; 5. более 50 млрд. кл. · м³. Б. 1. менее 1 г · м³; 2. 1-5 г · м³; 3. 5-10 г · м³; 4. 10-50 г · м³; 5. более 50 г · м³.

Следовательно, распределение фитопланктона по акватории бухты повторяло его распределение в северо-западной части Черного моря, которая характеризуется высокой плотностью фитопланктона в зонах влияния речного стока (3, 7).

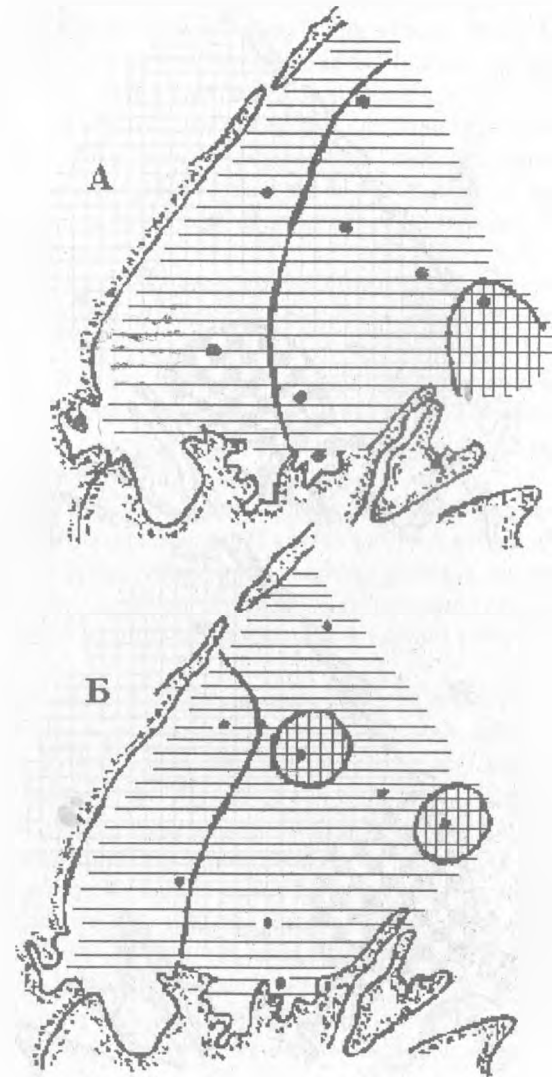


Рис. 2. Распределение численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона Жебриянской бухты в июне 1996 г. Обозначения те же, что на рис. 1.

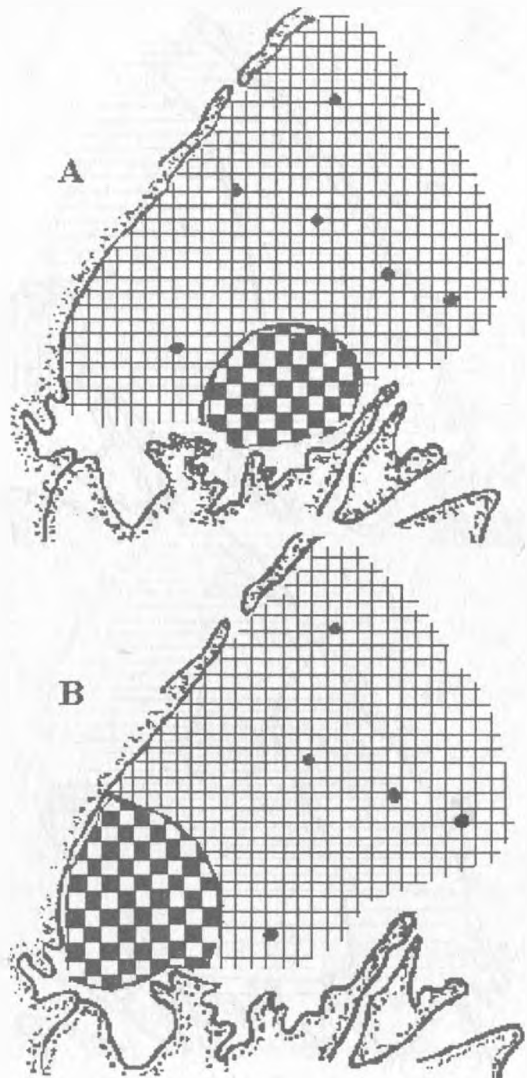


Рис. 3. Распределение численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона Жебриянской бухты в июле 1989 г. Обозначения те же, что на рис. 1.

Вертикальное распределение. Согласно литературным данным (3), распределение фитопланктона по вертикали придунайского района северо-западной части Черного моря, куда входит Жебриянская бухта, имеет свои особенности, отличающие этот район от приднепровско-бугского и приднестровского. Если в последних двух районах отмечен поверхностный максимум фитопланктона, то в зоне влияния вод Дуная - часто наблюдается придонный. Такие особенности вертикального распределения фитопланктона авторы объясняли механическим воздействием минеральной взвеси, концентрации которой велики в дунайской воде.

Вертикальное распределение фитопланктона Жебриянской бухты наиболее подробно изучали в те же сроки, что и его пространственное распределение.

В начале весны (март 1996 г.) фитопланктон скапливался в поверхностном слое, где его количество возрастало на порядок по сравнению с придонным слоем. Только в районе Прорвы скопления фитопланктона отмечены у дна.

Летом (июнь 1995, 1996, июль 1989 и 1995 г.) также как и весной, фитопланктон на большей части бухты концентрировался в поверхностном слое. Вместе с тем увеличивалась разница на один-три порядка между поверхностным и придонным слоями. Скопления фитопланктона в придонном слое также как и весной обнаруживались в районе Прорвы.

Редко, как это наблюдалось в июне 1995 г., в центральной части залива фитопланктон равномерно распределялся в водной толще.

Более сложно, чем летом, фитопланктон по вертикали распределялся в начале осени (сентябрь 1988 г.). В районе Прорвы скопление фитопланктона вновь отмечены в придонном слое, где найдены пресноводные синезеленые и диатомовые морского (*Leptocylindrus danicus*) и пресноводного (*Stephanodiscus hantzschii*) генезиса. В центральной части залива доминировал морской комплекс диатомей, концентрировавшейся в поверхностном слое бухты. У ее западных берегов, при равномерном вертикальном распределении фитопланктона, наблюдалась слоистость в распределении диатомовых и синезеленых: диатомовые скапливались у поверхности, а синезеленые у дна.

Осенью (ноябрь 1995 г.) во время «цветения» диатомеи *Leptocylindrus minimus* численность фитопланктона на порядок возросла в придонном слое.

Таким образом, фитопланктон Жебриянской бухты чаще всего концентрировался в поверхностном слое. Здесь его численность, возрас-тавшая от весны к лету, была на один-три порядка выше, чем в придонном слое. В районе Прорвы концентрация фитопланктона часто наблюдались в придонном слое, особенно ранней весной и в начале лета. Значительно реже в основном в центральной части залива микрофиты от поверхности до дна распределялись равномерно. При таком характере вертикального распределения четко прослеживалась слоистость: у поверхности доминировали диатомовые, у дна - пресноводный комплекс.

Сезонная динамика фитопланктона. Многолетние исследования мелководной и распресненной Жебриянской бухты дали возможность описать усредненную годовую динамику численности и биомассы фитопланктона.

Первый подъем численности начинается зимой, в феврале во время доминирования в планктоне пресноводного комплекса видов и "цветения" их представителя - диатомеи *Stephanodiscus hantzschii*, вместе с которой отмечена вспышка другой диатомеи - эндемика северо-западной части Черного моря *Diatoma elongatum* (рис. 5). От зимы к лету, как следствие постоянных "цветений" воды, сформированных в основном диатомовыми водорослями (*Skeletonema costatum*, *Chaetoceros socialis*, *Cerataulina pelagica*), происходило постоянное увеличение численности. Ее максимальное значение наблюдалось в июле, когда вместе с диатомовыми "цветения" вызывали перидиниевые (*Prorocentrum cordata*). Снижение интенсивности "цветений" диатомовых (*Cerataulina pelagica*, *Chaetoceros socialis*, пресноводная *Melosira granulata*), привело к уменьшению численности фитопланктона в августе-октябре. После ее спада в ноябре, в декабре наблюдался второй зимний максимум, образованный перидиниевыми (р. *Ceratium*) и синезелеными (р. *Oscillatoria*). Вслед за которым в декабре зарегистрировано минимальная численность фитопланктона.

Годовая динамика численности диатомовых водорослей, доминировавших в планктоне и составивших 54,7-91 % от общей численности фитопланктона, в общих чертах повторила годовой ход общей численности фитопланктона. В наименьшем количестве диатомовые найдены зимой, в наибольшем - весной.

Перидиниевые водоросли (0,1-13,9%), встречавшиеся в бухте постоянно, образовывали две максимальные численности: первый, более

сильный летний (июль) во время "цветения" *Prorocentrum cordata* и второй незначительный - зимний (декабрь), когда в планктоне доминировали виды р. *Ceratium*.

Сезонная динамика численности пресноводного комплекса фитопланктона Жебриянской бухты находится в прямой зависимости от его сезонной динамики в речной воде, а также экологической валентности отдельных видов, дающей возможность приспосабливаться к существованию в воде с более высокой соленостью. Поэтому максимум численности синезеленых и зеленых водорослей часто не совпадали во времени. Так, у синезеленых (0,1-34,1 %) выявлено четыре максимума: два немногочисленных зимних (февраль, декабрь) и два более сильных - летних (июнь, август), а зеленых (0,1-9,9 %) - два равных по абсолютной величине в феврале и ноябре и один более сильный - летний (июнь).

Биомасса фитопланктона Жебриянской бухты образовала 5 максимумов (рис. 5). Первый и самый незначительный зимний (февраль) совпадал во времени с "цветением" *Stephanodiscus hantzschii*. Второй наиболее сильный максимум биомассы наблюдался весной (апрель) во время "цветения" диатомовых водорослей. Вспышка развития *Prorocentrum cordata* и диатомовых формировали второй по силе (летний) и третий по последовательности максимум биомассы. Два последних максимума наблюдались осенью (сентябрь и ноябрь).

Сезонный ход биомассы диатомовых (59,2-98,7 %) соответствовал сезонному ходу суммарной биомассы фитопланктона. Динамика биомассы перидиниевых (0,1-40,5 %), синезеленых (0,1-0,3 %) и зеленых (0,1-0,6 %) совпадали с динамикой их численности.

Таким образом, в сезонной динамике численности фитопланктона, а также диатомовых водорослей отмечен бициклический тип развития в результате слияния зимне-весенне-летнего максимума в один и второй - зимний. В динамике биомассы фитопланктона, а так же динамике численности и биомассы перидиниевых, синезеленых и зеленых установлена полициклическость.

Оценивая в среднем сезонную динамику фитопланктона, следует отметить, что незначительные величины численности и биомассы были в зимние месяцы, а максимальные - во время весенней вспышки развития диатомовых (рис. 6). От весны к осени численность постепенно сокращалась, а биомасса не менялась. Средняя численность фитопланктона за весь период наблюдений равнялась 4,3 млрд. кл. m^{-3} , биомасса - 30,5 г m^{-3} . Используя годовой Р/В коэффициент, который принят равным 300 (5), рассчитали годовой запас фитопланктона бухты, оказавшийся равным 9,1 кг m^{-3} .

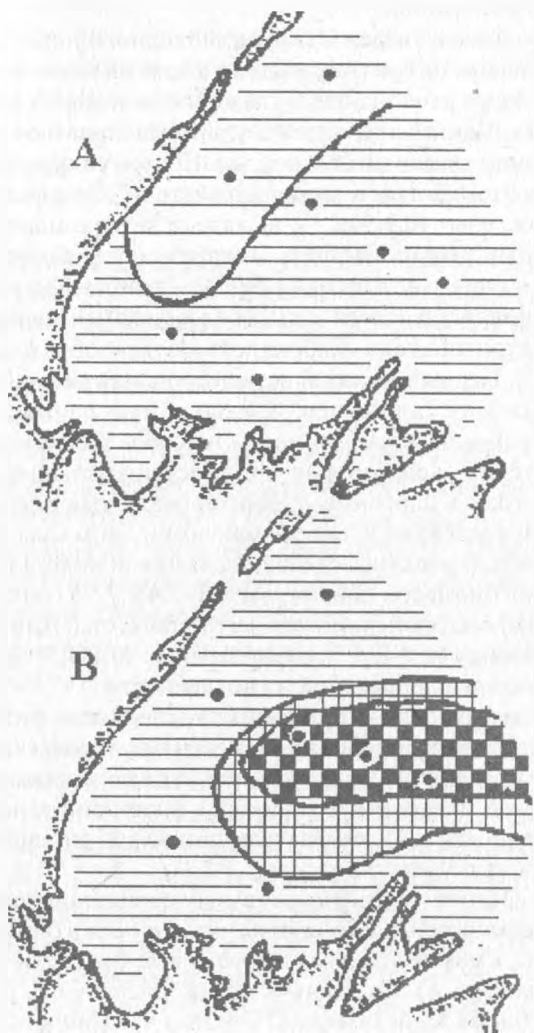


Рис. 4. Распределение численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона Жебриянской бухты в сентябре 1990 г. Обозначения те же, что на рис. 1.

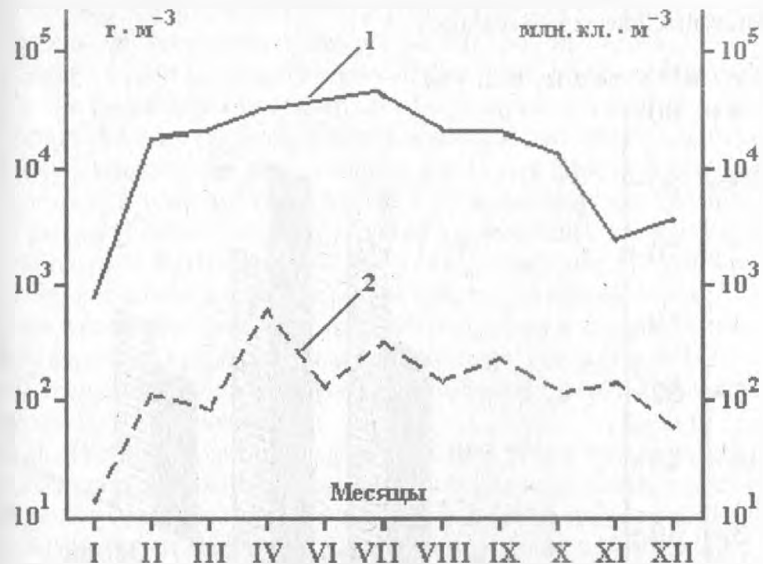


Рис. 5. Годовая динамика численности и биомассы фитопланктона Жебриянской бухты: 1 - численность, 2 - биомасса.

Межгодовая изменчивость. Численность и биомасса фитопланктона Жебриянской бухты претерпевают значительные межгодовые изменения. Согласно рис. 7 в 1988, 1990 и 1993 годах количественные показатели развития фитопланктона были примерно одинаковыми. В эти годы сокращалась вегетация диатомовых водорослей, составлявших, например, в 1990 г. 41,5 % от общей численности и увеличение роли пресноводных синезеленых (22,2 % в 1988 г.) и зеленых (23,8 % в 1990 г.). Возрастание роли диатомовых водорослей (97,4 % в 1995 г.) и уменьшение вегетации пресноводного комплекса, отмеченное в 1989, 1995, 1996 годах, сопровождалось увеличением численности фитопланктона с максимумом в 1995 г.

Флюктуации биомассы фитопланктона, основу которой во все годы составляли диатомовые, были больше, чем численности. В 1988 и 1990 годах ее показатели были одинаковыми, а значение роли диатомового комплекса в ее образовании были минимальными (83,6 % в 1990 г.) за все годы наблюдений. Максимальные величины биомассы отмечены в 1989 и 1990 годах, когда ее основу составляли диатомовые (98,4 % в 1995 г.), господствовавшие в планктоне. Минимальная величина

была в 1996 во время развития мелкоклеточных видов (*Skeletonema costatum*, *Chaetoceros socialis*).

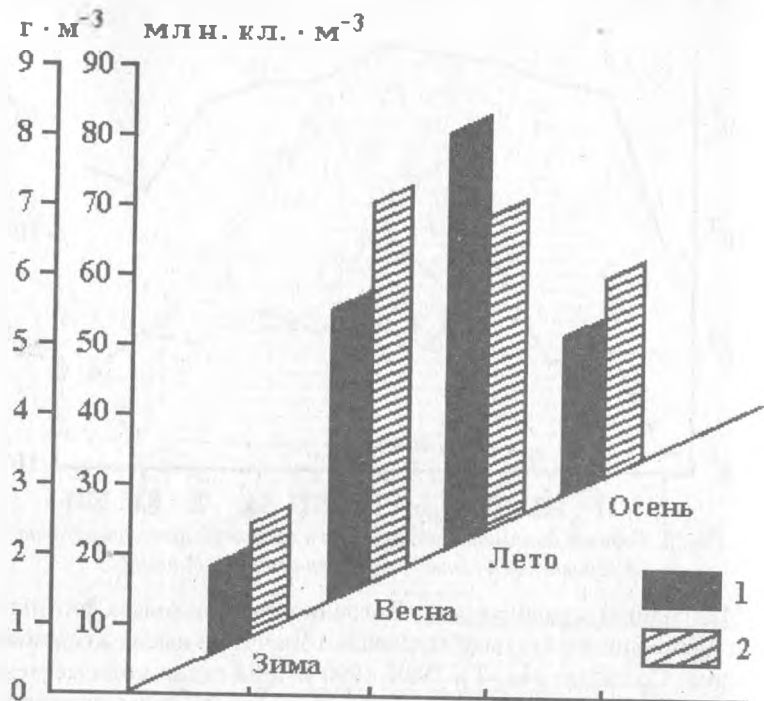


Рис. 6. Сезонная динамика численности и биомассы фитопланктона Жебриянской бухты в 1988-1990 гг., 1993 г. и в 1995-1996 гг.
1. - численность; 2. - биомасса.

Сравнивая количественное развитие Жебриянской бухты в 1988-1990 годах и 1993-1996 годах следует отметить, что численность фитопланктона в результате усиления "цветений" диатомовых была выше в 1993-1996 г. (рис. 8) и составляла 5,9 млрд. кл. · м³ против 2,8 - в 1988-1990 годах, основу которой во все периоды исследований создавали диатомовые водоросли. (96,5 % и 71,5 %, соответственно). Средняя биомасса (33,7 г · м³) фитопланктона, наоборот, в 1988-1990 г. была больше, чем в 1993-1996 г. (25, 1), также образованная диатомовыми (91,6 % и 98,8 %, соответственно).

Известно, что биомасса фитопланктона является производной объема клеток. Произведенные расчеты среднего объема клеток показали,

что если в 1988-1990 годах средний объем равнялся 1200 мкм³, то в последние годы он сократился в 3 раза, составляя 400 мкм³, т. е. преимущественное развитие получили мелкоклеточные виды.

Согласно данным гидрохимических исследований в последние годы отмечено уменьшение концентрации биогенных элементов в Дунае (2), а количество поступлений в бухту речной воды значительно уменьшилось. Только у Прорвы соленость равнялась 9,33 ‰, увеличиваясь на остальной акватории до 14,14-17,8 ‰. Изменения в гидрохимическом режиме бухты авторы объясняют уменьшением количества пресноводного стока, отмечено в 1995 и 1996 годах. Вместе с тем в эти же годы происходили сильные "цветения" представителей морского комплекса фитопланктона. Вероятно, что вспышки развития отдельных видов фитопланктона (*Skeletonema costatum*, *Chaetoceros socialis*) в эти годы стимулировались биогенными элементами, регенерировавшими из отмершего планктона.

Следовательно, при уменьшении влияния речного стока на бухту и, как следствие, сокращение поступления биогенных элементов, возрастает роль вторичного загрязнения бухты, а также значение биогенных элементов, поступающих в водную толщу из донных отложений.

На основании многолетних исследований можно сделать вывод, что фитопланктон Жебриянской бухты носит явно морской характер. Вместе с тем в частично изолированной от моря, мелководной и распресненной бухте создаются специфические условия для его развития. В этой связи представляло интерес сравнить количественные показатели фитопланктона в бухте и в дунайской устьевой области, для чего использовались данные 80-х годов и наиболее полные, полученные в 1995-1996 гг.

Ранней весной (март 1983 г) численность 21 млн. и биомасса 9 г · м³ в бухте были низкими и не отличались от величин, которые регистрировались в море. Весной и летом в бухте происходили "цветения" воды, превосходящие по абсолютным величинам таковые в море. Так, летом 1986 г максимальная численность диатомовых в бухте составила 9 млн. кл/л против 1 млн. кл/л в море. Аналогичная ситуация наблюдалась летом 1979 г. во время "цветения" перединиевых, когда численность оказалась на два-три порядка выше в бухте, чем в прилегающей части моря. Иногда в море и бухте "цветение" воды вызывали представители разных систематических отделов водорослей. Подобное явление отмечено в ноябре 1985 г., когда в море интенсивно развивались диатомовые и перединиевые, а в бухте - диатомовые.

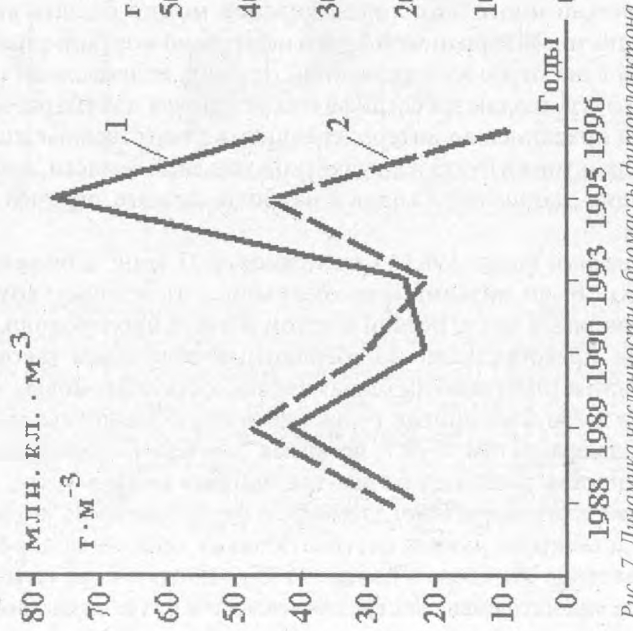


Рис. 7. Динамика численности и биомассы фитопланктона Жебриянской бухты в 1988-1990 гг., 1993 г. и в 1995-1996 гг. 1. - численность; 2. - биомасса

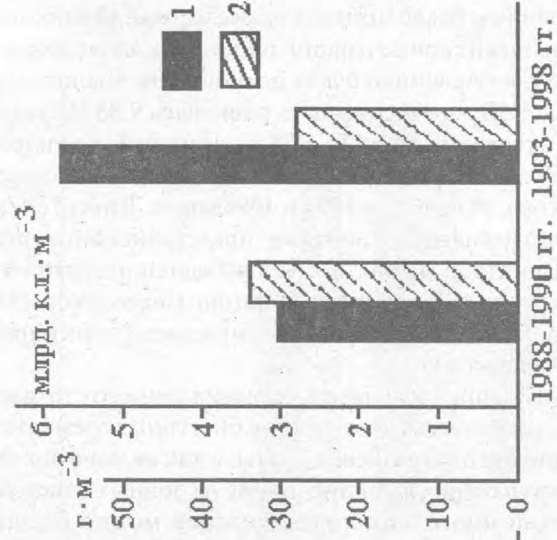


Рис. 8. Численность и биомасса фитопланктона Жебриянской бухты в 1988-1990 гг. и в 1993-1996 гг. 1. - численность; 2. - биомасса.

Исследования, проведенные в 1995-1996 гг., показали, что видовое разнообразие фитопланктона Жебриянской бухты и дунайской устьевой области почти не отмечались, а количественные показатели его развития из-за неравномерных всплесков развития отдельных видов часто не совпадали.

Весной (март 1996 г.) средняя численность фитопланктона (5,6 млрд. кл. · м⁻³) и биомасса (2,6 г · м⁻³) в бухте были в 1,5 раза больше, чем в море. Доминирование диатомовых водорослей (98,3 % численности и 99,2% биомассы) наблюдалось в море, в то время как в бухте их удельный вес снижался (94,2 % и 97,2 %, соответственно) и возрастало значение золотистых (5,7 % численности против 1,5% - в море).

В летние месяцы, когда отбор проб производился чаще, чем весной, различия в степени развития фитопланктона бухты и моря часто были больше, чем весной. Так, в июле 1995 г. во время "цветения" диатомовых численность (8,4 млрд. кл. · м⁻³) и биомасса (72 г · м⁻³) превышали их значение в море в 3,8 и 3,3 раза соответственно. В бухте "цветения" воды вызывали такие виды, как *Chaetoceros socialis*, *Ch. affinis*, *Cylindrotheca closterium*, встречавшиеся в море в небольших количествах. В июне 1996 г. количество фитопланктона в море и в бухте было равным.

Осенью (ноябрь 1995 г.) биомасса в море, где развивались крупноклеточный фитопланктон (*Ditylum brightwellii*) возрастало по сравнению с бухтой в два раза, а численность не менялась.

Таким образом, количественные показатели развития фитопланктона в Жебриянской бухте были больше, чем в дунайской устьевой области. Эти различия увеличивались от весны к лету и нивелировались осенью, т. е. следовали за ходом сезонной динамики фитопланктона бухты. Видовое разнообразие фитопланктона бухты и моря было единичным. Вместе с тем в бухте происходят "цветения" отдельных видов водорослей, численность которых в море невелика.

Литература

1. Воробьева Л. В., Гаркавая Г. П., Нестерова Д. А., Полищук Л. Н., Синегуб И. А., Теплинская А. Г. Жебриянская бухта как модель экологических процессов в импактных зонах северо-западной части Черного моря. // Сб. Исследования шельфовой зоны Северо-Черноморского бассейна. МТИ, НАН Украины, 1995, с. 44-54.
2. Гаркавая Г. П., Богатова Ю. И. Многолетняя динамика гидрохими-

ческих показателей в дельте Дуная и на некоторых участках взморья. См. наст. сборник

3. Иванов А. И. Фитопланктон. // Биология северо-западной части Черного моря Киев; Наукова Думка 1967. - с. 59-75.
4. Иванов А. И. Фитопланктон устьевых областей рек северо-западного Причерноморья. - Киев: Наукова думка, 1982- 211с.
5. Морозова-Водяницкая Н. В. Фитопланктон Черного моря. - Тр. Севастоп. биол. станции, 1954, т. 8, ч. 2, с. 11-99.
6. Нестерова Д. А. Вертикальное распределение фитопланктона северо-западной части Черного моря. // Гидробиол. журнал., 1980, Т. 16, N 2, с. 124-125.
7. Нестерова Д. А. Некоторые особенности сукцессии фитопланктона северо-западной части Черного моря. // Гидробиол. журнал., - 1987 - 23. N 11, с. 16-21.
8. Нестерова Д. А. Пелагическая микрофлора западной части Черного моря. // Актуальные проблемы современной альгологии. Тезисы докладов I Всесоюзной конф., Черкассы, 23-25 сентября 1987 г., Киев, с. 73.
9. Нестерова Д. А. Фитопланктон Сухого лимана в летне-осенний период. Деп. в ВИНТИ 08. 04. 96, N1111-96. с. 17.
10. Теплинская Н.Г., Нестерова Д. А., Полищук Л. Н. К вопросу о современном состоянии планктонных сообществ Одесского залива и смежных акваторий северо-западной части Черного моря. Деп. в ВИНТИ 18. 04. 95, N 1054-B 95.
11. Bodeanu N. Microalgal blooms in the Romanian area of the Black Sea and contemporary eutrophication conditions. - Toxic phytoplankton blooms in the Sea. Proceedings of the Fifth International Conference on Toxic Marine Phytoplankton, Newport, Rhode Island, U.S.A., 28 October - 1 November 1991, pp 203-209.

УДК 581.526.325 {262.5}

ВЗАИМОСВЯЗИ БАКТЕРИО- И ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИДУНАЙСКОМ РАЙОНЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Н.Г. Теплинская, Д. А. Нестерова

Вопрос о взаимоотношениях морского бактерио- и фитопланктона совершенно недостаточно освещен в современной литературе, не смотря на то, что именно взаимосвязи и взаимовлияния этих двух компонентов экосистемы пелагиали моря определяют формирование трофической цепи гидробионтов.

В экспериментальных условиях показано, что одноклеточные водоросли могут подщелачивать среду (Телитченко М.М., Федоров В.Д., 1962) или выделять антибактериальные вещества (Телитченко и др., 1962) и подавлять рост кишечных бактерий. Наряду с этим есть сведения об улучшении роста бактерий в присутствии водорослей (Lagarde E., Castellvi J., 1965). В ряде работ (Антипчук А.Ф., 1970; Anbert et all 1970) подчеркивается антимикробное действие токсических метаболитов некоторых сине-зеленых водорослей. Установлено (Леонова Л.И. и др., 1970), что бактерии не влияют на рост водорослей, но иногда выделяют вещества, стимулирующие или угнетающие их развитие. Убитые нагреванием водоросли сразу подвергаются разложению под действием бактерий, причем сине-зеленые быстрее, чем зеленые (Кудрявцев В.М., 1974).

Помимо экспериментальных работ определенное представление о взаимоотношениях бактерий и фитопланктона было получено также при комплексном исследовании этих сообществ непосредственно в морских условиях (Лебедева М.Н., 1959; Теплинская Н.Г., Нестерова Д.А., 1986; Теплинская Н.Г. и др., 1993; Anbert M. et all 1970; Fuhrman J.A. et all, 1980), когда их взаимосвязи выявлялись преимущественно с помощью корреляционного анализа.

Предпринятое нами с конца 80-х годов изучение взаимосвязей бактерио- и фитопланктона придунайского участка северо-западной части Черного моря, включая преимущественно акваторию Жебрианской бухты, не позволило, из-за малых выборок данных для конкрет-

ных периодов наблюдений, использовать корреляционный анализ. Поэтому было применено несколько других подходов к исследованию взаимосвязей между этими двумя пелагическими сообществами, а именно: сопоставление пространственного распределения количественных и продукционных характеристик бактериопланктона с таковыми численности и биомассы фитопланктона; сравнение соотношения между обилием бактерио- и фитопланктона с учетом автотрофной и гетеротрофной биомассы, суммарной биомассы и доли гетеротрофной биомассы первичных продуцентов и, наконец, анализ качественного разнообразия сапрофитного бактериопланктона с точки зрения доминирования тех или иных видов фитопланктона в каждый конкретный период наблюдений.

В результате использования нами в комплексных наблюдениях вышеперечисленных подходов к исследованию взаимосвязей между бактерио и фитопланктоном придунайского района северо-западной части Черного моря было установлено, что в сентябре 1988 года (рис. 1) в поверхностном слое воды Жебриянской бухты прослеживалась прямая связь между плотностью общего бактериопланктона и количественными характеристиками (численностью и биомассой) фитопланктона, а также обратная связь между численностью аллохтонных бактерий группы кишечной палочки (БГКП) и обилием фитопланктонных организмов. Поскольку в составе фитопланктона, приуроченного к поверхностному слою воды бухты, доминирующая роль принадлежала диатомовым водорослям морского генезиса, а цветение воды вызывали *Leptocylindrus danicus* и *Nitzschia seriata*, можно предположить, что влияние речного стока в этот период наблюдений было незначительным. Поэтому выявленные связи могут указывать на то, что метаболиты диатомовых водорослей оказывали стимулирующее влияние на развитие автохтонных бактерий, ингибируя при этом численность аллохтонных бактерий.

В придонном же слое воды Жебриянской бухты в сентябре 1988 года, где численность диатомовых водорослей сокращалась, и одновременно увеличивалось обилие пресноводных сине-зеленых форм ("цветение" видов р. *Oscillatoria*), судя по наличию обратной связи между плотностью бактериопланктона и численностью, а также биомассой фитопланктона, наблюдалось ингибирование развития общего бактериопланктона. Кишечные бактерии, приуроченные к придонному слою воды, испытывали со стороны фитопланктона, опять же, судя по наличию как прямой, так и обратной связи (соответственно в направлении от центра бухты к морю и к берегу), как ингибирующее,

так и стимулирующее их развитие влияние. Это, несомненно, связано с различиями видового состава фитопланктона в прибрежной и морской частях бухты.

Расчеты соотношений между автотрофной и гетеротрофной биомассами в Жебриянской бухте в сентябре 1988 года показали (табл. 1), что при массовом развитии водорослей, когда их биомасса составляла в среднем 57 г/м^3 , а обилие бактерий достигало 1 г/м^3 , суммарная биомасса бактерио- и фитопланктона была равна 58 г/м^3 , а соотношение биомасс - 57. В поверхностном и придонном слоях воды Жебриянской бухты средняя биомасса фитопланктона составляла 73,5 и 40,4 г/м^3 соответственно, средняя биомасса бактериопланктона - 1,1 и 0,6 г/м^3 и, следовательно, суммарная биомасса приравнивалась к 75 и 41 г/м^3 , а соотношение биомасс - к 49 и 81.

Таким образом, при наблюдаемом в сентябре 1988 года численном доминировании водорослей в поверхностном слое воды бухты, биомасса бактерий там также была выше по сравнению с придонным слоем воды, но соотношение биомасс этих сообществ по значению ниже, чем у дна, причем почти в 2 раза. Совершенно очевидно, что связь между биомассами бактерио- и фитопланктона в этот период наблюдений при незначительном речном стоке была, как и между их численностью, прямой. Иными словами, на акватории бухты в сентябре 1988 года наблюдалось взаимное стимулирующее влияние друг на друга этих двух пелагических сообществ. В июле 1989 года, исходя из сравнительного анализа пространственного распределения ряда переменных на акватории Жебриянской бухты (рис. 2), была выявлена обстановка, когда развитие сапрофитных бактерий явно угнеталось фитопланктоном. В его составе в это время доминировал комплекс диатомовых водорослей *Skeletonema costatum*, *Cerataulina pelagica*, *Leptocylindrus danicus* и перидиниевые *Prorocentrum cordata*. Численность же аллохтонных БГКП, обнаруженных в водной толще Жебриянской бухты в это время при минимальном речном стоке, напрямую была связана с численностью фитопланктона, причем, как в поверхностном, так и придонном слоях воды. Биомасса тотального фитопланктона оказывала на распределение численности БГКП ингибирующее воздействие в поверхностном слое воды и стимулирующее влияние у дна. Эти различия выявленных нами связей численности сапрофитных и кишечных бактерий с численностью и биомассой фитопланктона, по-видимому, могут определяться не только видовым разнообразием фитопланктона, но также и обычно высоким в летнее время года антропогенным воздействием на экосистему бухты.

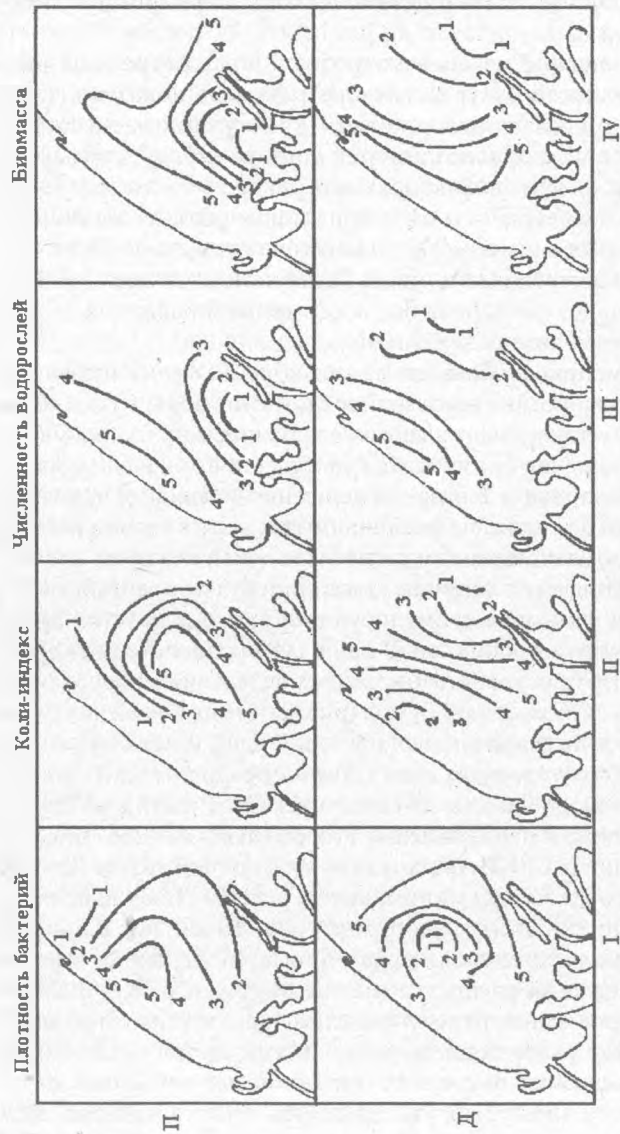


Рис. 1. Распределение количественных показателей бактерио- и фитопланктона в поверхностном (П) и придонном (Д) слоях воды Жебриянской бухты в сентябре 1988 года: I П - 1-3, 06-3, II - 2-3, II - 3, 16; 3-3, 16-3, 21; 4-3, 21-3, 26; 5-3, 26-3, 31 и I Д - 1-2, 5-2, 56; 2-2, 56-2, 62; 3-2, 62-2, 68; 4-2, 68-2, 74; 5-2, 74-2, 8, lg 106 кл/мл; II П - 1-3, 4-3, 68; 2-3, 68-3, 96; 3-3, 96-4, 24; 4-4, 24-4, 52; 5-4, 52-4, 8 и II Д - 1-2, 3-2, 6; 2-2, 6-2, 9; 3-2, 9-3, 2; 4-3, 2-3, 5; 5-3, 5-3, 8, lg кл/л; III П - 1-4, 03-4, 63; 2-4, 63-5, 23; 3-5, 23-5, 83; 4-5, 83-6, 43; 5-6, 43-7, 03 и III Д - 1-5, 04-5, 44; 2-5, 44-5, 84; 3-5, 84-6, 24; 4-6, 24-6, 64; 5-6, 64-7, 04 lg, кл/л; IV П - 1-2, 97-3, 37; 2-3, 37-4, 17; 3-4, 17-4, 57; 4-4, 57-4, 97 и IV Д - 1-4, 06-4, 24; 2-4, 24-4, 42; 3-4, 42-4, 60; 4-4, 60-4, 78; 5-4, 78-4, 96 lg, мг/м³.

Таблица 1. Соотношение между автотрофной (Ф) и гетеротрофной (Г) биомассами (г/м³) в Жебриянской бухте в сентябре 1988 года.

№ станции	Слой воды	Биомасса бактерий	Биомасса водорослей	Ф+Г	Ф : Г
65	Поверхность	1,4	0,95	22,35	0,7
	Дно	0,6	61,2	61,8	102,0
65-1	Поверхность	1,5	97,4	98,9	64,9
	Дно	0,7	11,6	12,3	16,6
65-2	Поверхность	1,3	92,4	93,7	71,1
	Дно	0,6	24,2	24,8	40,3
65-3	Поверхность	1,7	98,9	100,1	58,2
	Дно	0,3	24,7	25,0	82,5
65-4	Поверхность	2,0	92,4	94,4	46,2
	Дно	0,4	91,8	92,2	229,5
65-6	Поверхность	1,1	59,1	60,2	53,7
	Дно	0,6	28,9	29,5	48,2

В апреле 1992 года в придунайском районе северо-западной части Черного моря нами была отмечена ситуация, когда количественное доминирование принадлежало бактериопланктону (Н.Г. Теплинская и др., 1993). Организмы фито- и зоопланктона, как пресноводного, так и морского происхождения, пребывая в это время в широком диапазоне солености, были малочисленнее и физиологически угнетенными. На этом фоне расчеты суммарной автотрофной и гетеротрофной биомасс, а также их соотношения показали (табл. 2), что в период весеннего половодья реки Дунай наиболее высокая суммарная биомасса бактерио- и фитопланктона соответствовала району авандельты и основной зоне трансформации речных вод, а наименьшая - взморью и гидрофронтальной зоне.

Таблица 2. Соотношение между автотрофной (Ф) и гетеротрофной (Г) биомассами (г/м³) в разных районах и зонах трансформации речных вод придунайского участка северо-западной части Черного моря в апреле 1992 года.

Показатель	Районы		Основная зона трансформации	Гидрофронтальная зона трансформации
	Авандельта	Взморье		
Биомасса Ф	6,6	6,2	7,6	1,8
Биомасса Г	84,0	57,5	79,5	44,4
Ф + Г	90,7	63,8	87,1	46,2
Ф : Г	0,08	0,11	0,09	0,04

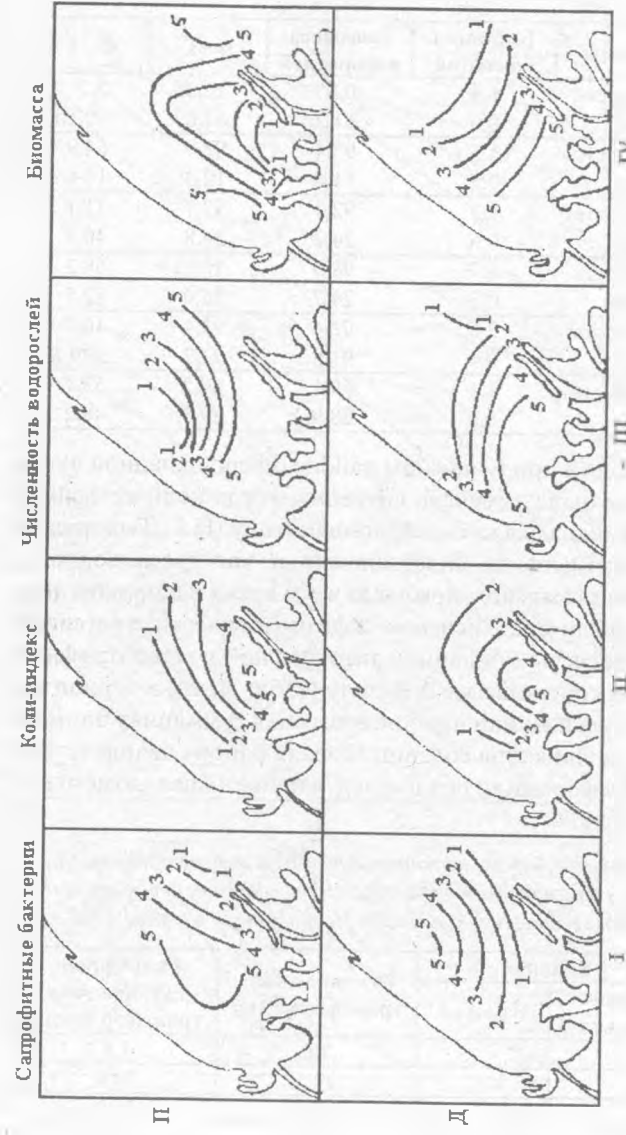


Рис. 2. Распределение количественных показателей бактерий и фитопланктона в поверхностном (II) и придонном (Д) слоях воды Жербианской бухты в июле 1989 года: I П-3,65-3,73; 2-3,73-3,81; 3-3,81-3,89; 4-3,89-3,97; 5-3,97-4,05 и I Д-1,3-4,3,53; 2-3,53-3,66; 3-3,66-3,79; 4-3,79-3,92; 5-3,92-4,05; II П-1,2-3,2, 7,2; 2-2,72-3,14; 3-3,14-3,56; 4-3,56-3,98; 5-3,98-4,4 и II Д-1,1,8-2,2; 2-2,2-2,6; 3-2,6-3,0; 4-3,0-3,4; 5-3,4-3,8; III П-1,6-2,7-6,50; 2-6,50-6,73; 3-6,73-6,96; 4-6,96-7,19; 5-7,19-7,42 и III Д-1,5-0,3-5,23; 2-5,23-5,43; 3-5,43-5,63; 4-5,63-5,83; 5-5,83-6,03; IV П-1,4-86-4,73; 2-4,73-4,78; 3-4,78-4,83; 4-4,83-4,88; 5-4,88-4,93 и IV Д-1-4,15-4,25; 2-4,25-4,35; 3-4,35-4,45; 4-4,45-4,55; 5-4,55-4,65 (гг. м²/м³)

В последнем случае также самым низким было и значение соотношения автотрофной и гетеротрофной биомассы, что свидетельствует о том, что в гидрофронтальной зоне трансформации речных вод взаимосвязи между бактерио- и фитопланктоном, если они все же имели место в апреле 1992 года, наиболее слабо выражены. Более четкие взаимосвязи между этими пелагическими сообществами, исходя из данного анализа, могли существовать в основной зоне.

Анализ взаимосвязей количественных и продукционных характеристик бактериопланктона с численностью и биомассой фитопланктона, основанный на сравнении характера пространственного распределения этих переменных, который в апреле 1992 года определялся преимущественно речным стоком, выявил отсутствие какой-либо связи обилия и активности метаболизма бактериопланктона с биомассой фитопланктонных организмов и наличие таковых с их численностью. Этот факт достоверно свидетельствует об угнетенном физиологическом состоянии водорослей в период максимального стока реки Дунай при весеннем паводке. Относительно влияния численности фитопланктона нами было отмечено наличие прямой связи с плотностью и биомассой бактериального сообщества, его суточной продукцией биомассы и деструкцией органического вещества. Но эта связь стохастическая и указывает на преимущественное влияние при распределении сравниваемых переменных в придунайском районе северо-западной части Черного моря в апреле 1992 года стока реки Дунай.

Подобная стохастическая связь, но имеющая обратный характер, существовала между численностью фитопланктона и темпами размножения бактериального сообщества, а также Р/В-коэффициентом активности метаболизма бактерий. Помимо влияния речного стока, наличие обратной связи между этими характеристиками указывает еще и на тот факт, что возрастание обилия бактериопланктона при увеличении концентрации в водной толще органических веществ приводит к снижению метаболической активности бактериального сообщества, регулирующей конструктивный и деструктивный обмены. Следовательно, в таких условиях взаимосвязь бактерио- и фитопланктона сводится к тому, что массово отмирающие клетки фитопланктонных организмов непосредственно включаются в процессы бактериальной трансформации и деструкции органического вещества в экосистеме пелагиали моря.

В июне 1993 года нами были получены данные о соотношении меж-

ду содержанием бактерий и водорослей в Жебриянской бухте, которые позволили рассмотреть этот показатель наличия или отсутствия взаимосвязей двух сообществ экосистемы пелагиали в сезонном аспекте (табл. 3). Стало очевидным, что наибольшее его значение соответствовало периоду массового "цветения" фитопланктона в сентябре, на порядок ниже оно было летом, при менее обильном "цветении" водорослей, и на 2 порядка ниже - в период весеннего половодья реки Дунай, при численном доминировании бактериопланктона. В той же последовательности уменьшалась степень влияния метаболитов водорослей на бактериальное сообщество, и при этом возрастало значение микроорганизмов, как первичных деструкторов мертвого органического вещества автохтонного происхождения.

Таблица 3. Соотношение между автотрофной (Ф) и гетеротрофной (Г) биомассами (г/м³) в водной толще Жебриянской бухты в разные сезоны года.

Месяц, год	Средняя биомасса		Ф + Г	Ф : Г
	(Ф)	(Г)		
Сентябрь, 1988	57,0	1,0	58,0	57,0
Апрель, 1992	7,0	62,0	69,0	0,11
Июнь, 1993	19,8	3,1	23,0	6,4

При исследовании взаимосвязей бактерио- фитопланктона, осуществленных в Жебриянской бухте в июле 1995 года, было отмечено, что в составе фитопланктона, приуроченного в поверхностному слою воды, вновь, как и летом 1989 года, доминировала *Skeletonema costatum*, но сопутствующие виды были другими (*Chaetoceros affinis*, *Cylindrotheca closterium*, *Stephanodiscus hantzschii*). В придонном слое численность тотального фитопланктона резко снижалась, за исключением *Cylindrotheca closterium*, обилие которой в последние годы увеличилось в эвтрофных районах северо-западной части Черного моря. В этот период наблюдений ее численность на отдельных участках бухты была одинаковой от поверхности до дна. В этих условиях, в отличие от июля 1989 года, выявленные нами связи (рис. 3) количества сапрофитных и кишечных бактерий с численностью фитопланктона имели в поверхностном слое прямой характер и обратный - у дна. Взаимоотношения бактерий с биомассой фитопланктона проявились в виде четкой обратной связи во всей водной толще бухты. Отсюда, не вызывает сомнений тот факт, что водоросли вышеописанного видового состава угнетали развитие автохтонных и аллохтонных бактерий, осо-

бенно у дна. Следовательно, можно говорить об ингибирующем воздействии на бактериальное сообщество именно *Cylindrotheca closterium*, преобладающей в июле 1995 года в придонном слое воды бухты и массовой в поверхностном слое.

В ноябре 1995 года распределение численности фитопланктона в поверхностном слое воды Жебриянской бухты было равномерным, а само сообщество составляли диатомовые *Stephanodiscus hantzschii*, *Skeletonema subsalsum*, *Leptocylindrus minimus*. В придонном слое происходило "цветение" воды за счет массового развития диатомовой водоросли *Leptocylindrus minimus*. В этот период наблюдений четко проявилась обратная связь между количеством сапрофитных и кишечных бактерий с численностью и биомассой фитопланктона (рис. 4), что свидетельствует об ингибирующем влиянии водорослей вышеописанного состава на развитие бактериального сообщества в водной толще бухты.

В марте же 1996 года, при доминировании в составе фитопланктона поверхностного слоя воды Жебриянской бухты диатомовых водорослей *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros socialis*, связь их численности с количеством сапрофитных бактерий (рис. 5) носила прямой характер в направлении от центра бухты к Прорве и обратный - по направлению к берегу. По отношению к БГКП, наоборот, ингибирующем влиянии водорослей прослеживалась по направлению к рукаву Прорва, а стимулирующее - к берегу.

В придонном слое воды, даже при резком уменьшении численности тотального фитопланктона, его влияние на бактериальное сообщество можно было оценить как стимулирующее. Наличие прямой четкой связи между обилием сапрофитных и кишечных бактерий и биомассой фитопланктона в Жебриянской бухте в этот период, за исключением выявленной обратной связи для БГКП в поверхностном слое воды, свидетельствует о в целом благоприятном, или же нейтральном воздействии водорослей на развитие бактериопланктона. При этом не следует забывать и о том, что весной, когда распределение планктона определяется, главным образом, поступлением речного стока в бухту и это особенно ощутимо в поверхностном слое воды, взаимосвязи бактерио- и фитопланктона могут быть опосредованными, а выявить их достаточно сложно.

В июне 1996 года (рис. 6) взаимосвязи бактерий и фитопланктона, который был представлен диатомовыми водорослями *Nitzschia delicatissima* и *Skeletonema costatum*, во всей водной толще бухты также можно было бы определить как стимулирующие, поскольку наибольшему обилию фитопланктона соответствовала, как правило, самая высокая численность сапрофитных и кишечных бактерий. Вместе с тем относительно взаимосвязей бактериопланктона с биомассой водорослей, которая, как известно, служит в большей степени, нежели его численность, показателем активного выделения водорослевых метаболитов, можно сказать, что они были иными. Так, в поверхностном слое воды бухты четко проявлялась обратная связь биомассы фитопланктона с обилием сапрофитных и кишечных бактерий, а в придонном слое такой характер связи соответствовал только сапрофитному бактериопланктону, а не БГКП. Поэтому для данного периода наблюдений при минимальном стоке реки Дунай скорее следует утверждать об ингибирующем действии водорослей на развитие бактерий. В этой связи примечательно то, что в поверхностном слое воды вблизи рукава Прорва доминировали *Skeletonema costatum*, а в прибрежной зоне - *Nitzschia delicatissima*.

В июне 1997 года во всей водной толще Жебриянской бухты преобладали пресноводные (*Stephanodiscus hantzschii*) и морские (*Skeletonema costatum*, *Chaetoceros socialis*) виды диатомовых водорослей. Исключение составил небольшой участок у рукава Прорва, где встречались преимущественно пресноводные виды фитопланктона. Сравнение распределения численности сапрофитных и кишечных бактерий с количественными показателями фитопланктона (рис. 7) выявило, что на всей акватории бухты связи между этими переменными имели обратный характер, и только у Прорвы они были прямыми. Сказать однозначно о том, что именно на этом участке наблюдалось стимулирование развития сапрофитного бактериопланктона за счет метаболитов водорослей пресноводного генезиса затруднительно, поскольку поступающий через рукав Прорва в бухту сток реки Дунай - это многофакторная система. В целом же для бухты надо отметить ингибирование численности как сапрофитных, так и кишечных бактерий при массовом развитии в июне 1997 год пресноводного и морского комплексов видов фитопланктона.

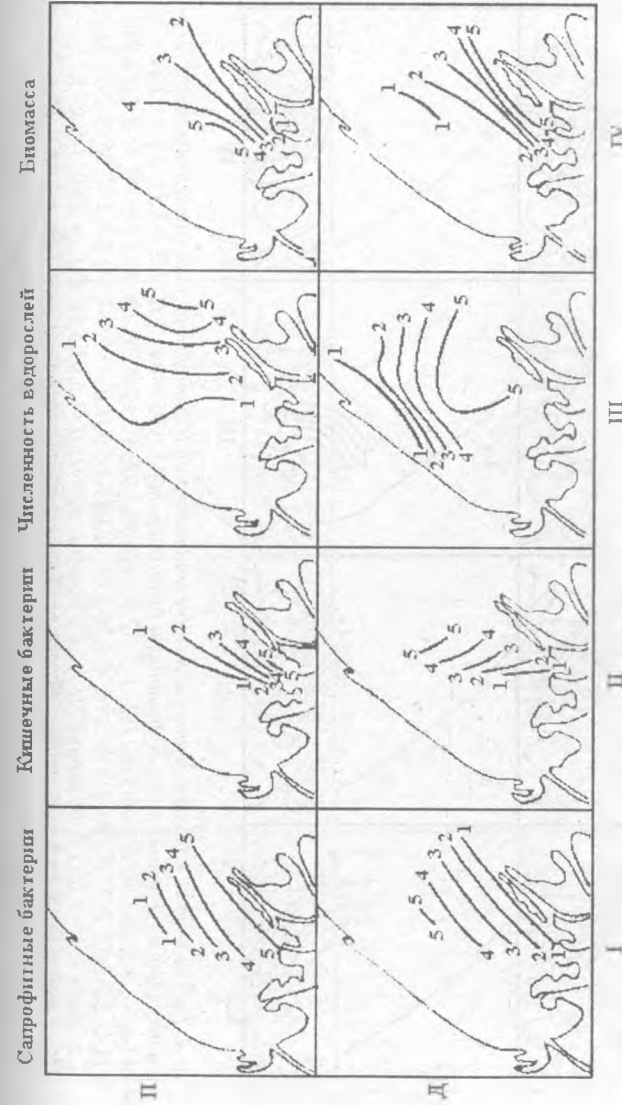


Рис. 3 Распределение количественных показателей бактерио- и фитопланктона в поверхностном (П) и придонном (Д) слоях воды Жебриянской бухты в июне 1995 года: I П-1-3,4-3,66; 2-3,66-3,92; 3-3,92-4,18; 4-4,18-4,44; 5-4,44-4,7 и I Д-1-1,2-1,44; 2-1,44-1,58; 3-1,58-1,72; 4-1,72-1,86; 5-1,86-2,0, кг, кг/мл; II П --1-2,8-3,0; 2-3,0-3,2; 3-3,2-3,4; 4-3,4-3,6; 5-3,6-3,8 и III Д-1-0,84-1,04; 2-1,04-1,24; 3-1,24-1,44; 4-1,44-1,64; 5-1,64-1,84, кг, кг/мл; III П-1-6,01-6,21; 2-6,21-6,41; 3-6,41-6,61; 4-6,61-6,81; 5-6,81-7,01 и III Д-1-5,02-5,22; 2-5,22-5,42; 3-5,42-5,62; 4-5,62-5,82; 5-5,82-6,02, кг, кг/мл; IV Д-1-4,31-4,79; 2-4,79-4,89; 3-4,89-5,08; 4-5,08-5,27; 5-5,27-5,46 и IV П-1-3,13-3,35; 2-3,35-3,57; 3-3,57-3,79; 4-3,79-4,01; 5-4,01-4,23, кг, кг/мл.



Рис. 4. Распределение количественных показателей бактерио- и фитопланктона в поверхностном (II) и придонном (Д) слоях воды Жебриянской бухты в ноябре 1995 года: I II - 1-3, 2-3, 32; 2-3, 32-3, 44; 3-3, 44-3, 56; 4-3, 56-3, 68; 5-3, 68-3, 8 и I Д - 1-2, 3-2, 66; 2-2, 66-3, 02; 3-3, 02-3, 38; 4-3, 38-3, 74; 5-3, 74-4, 1, lg кл/мл; II II - 1-2, 2-2, 52; 2-2, 52-2, 84; 3-2, 84-3, 16; 4-3, 16-3, 48; 5-3, 48-3, 8 и II Д - 1-2, 0-2, 34; 2-2, 34-2, 68; 3-2, 68-3, 02; 4-3, 02-3, 36; 5-3, 36-3, 7, lg, кл/мл; III II - 1-5-равномерно, III Д - 1-5, 03-5, 26; 2-5, 26-5, 49; 3-5, 49-5, 72; 4-5, 72-5, 95; 5-5, 95-6, 18; IV II - 1-2, 92-3, 11; 2-3, 11-3, 30; 3-3, 30-3, 49; 4-3, 49-3, 68; 5-3, 68-3, 87 и IV Д - 1-3, 50-3, 75; 2-3, 75-4, 0; 3-4, 0-4, 25; 4-4, 25-4, 5; 5-4, 5-4, 75, lg, кл/л, мг/м³.



Рис. 5. Распределение количественных показателей бактерио- и фитопланктона в поверхностном (II) и придонном (Д) слоях воды Жебриянской бухты в марте 1996 года: I II - 1-2, 9-3, 06; 2-3, 06-3, 22; 3-3, 22-3, 38; 4-3, 38-3, 54; 5-3, 54-3, 7 и I Д - 1-1, 7-2, 04; 2-2, 04-2, 38; 3-2, 38-2, 72; 4-2, 72-3, 06; 5-3, 06-3, 4, lg, кл/мл; II II - 1-0, 7-0, 98; 2-0, 98-1, 26; 3-1, 26-1, 54; 4-1, 54-1, 82; 5-1, 82-2, 1 и II Д - 1-1, 0-1, 52; 2-1, 52-2, 04; 3-2, 04-2, 56; 4-2, 56-3, 08; 5-3, 08-3, 6, lg, кл/мл; III II - 1-5, 01-5, 44; 2-5, 44-5, 87; 3-5, 87-6, 3; 4-6, 3-6, 73; 5-6, 73-6, 16 и III Д - 1-5, 01-5, 3; 2-5, 3-5, 59; 3-5, 59-5, 88; 4-5, 88-6, 17; 5-6, 17-6, 46, lg, кл/л; IV II - 1-2, 48-2, 71; 2-2, 71-2, 94; 3-2, 94-3, 17; 4-3, 17-3, 4; 5-3, 4-3, 63 и IV Д - 1-2, 86-3, 04; 2-3, 04-3, 22; 3-3, 22-3, 4; 4-3, 4-3, 58; 5-3, 58-3, 76, lg, мг/м³.

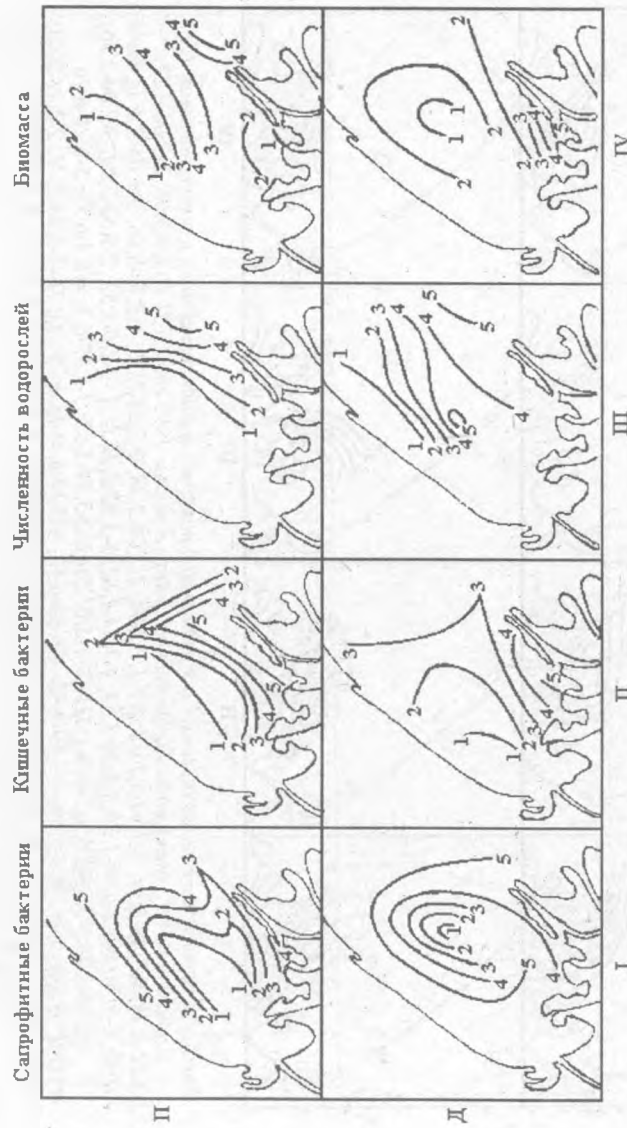


Рис. 6. Распределение количественных показателей бактерио- и фитопланктона в поверхностном (П) и придонном (Д) слоях воды Жебриянской бухты в июне 1996 года: I П - 1-2,7-2,94; 2-2,94-3,18; 3-3,18-3,42; 4-3,42-3,66; 5-3,66-3,9 и I Д - 1-2,8-3,0; 2-3,0-3,2; 3-3,2-3,4; 4-3,4-3,6; 5-3,6-3,8 lg, кл/мл; II П - 1-1,8-2,28; 2-2,28-2,76; 3-2,76-3,24; 4-3,24-3,72; 5-3,72-4,2 и II Д - 1-1,0-1,62; 2-1,62-2,24; 3-2,24-2,86; 4-2,86-3,48; 5-3,48-4,1 lg, кл/мл; III П - 1-6,01-6,22; 2-6,22-6,43; 3-6,43-6,64; 4-6,64-6,85; 5-6,85-7,06 и III Д - 1-5,02-5,22; 2-5,22-5,42; 3-5,42-5,62; 4-5,62-5,82; 5-5,82-6,02 lg, кл/мл; IV П - 1-3,13-3,41; 2-3,41-3,69; 3-3,69-3,97; 4-3,97-4,25; 5-4,25-4,53 и IV Д - 1-2,93-3,33; 2-3,33-3,73; 3-3,73-4,13; 4-4,13-4,53; 5-4,53-4,93 lg, мг/м³.

И, наконец, в сентябре 1997 года обстановка в экосистеме пелагиали Жебриянской бухты складывалась следующим образом. В поверхностном слое воды вблизи рукава Прорва преобладал пресноводный комплекс видов фитопланктона (*Stephanodiscus astrea* и *Melosira granulata*), а в придонном слое на всей ее акватории - морской комплекс видов (*Skeletonema costatum*, *Cerataulina pelagica*, *Cyclotella caspia*). Выявленные взаимосвязи бактериопланктона с численностью водорослей были прямыми для автохтонных бактерий и обратными для аллохтонных, а с биомассой фитопланктона имели противоположный характер. Поскольку взаимосвязи бактерио- и фитопланктона более достоверно определять именно по биомассе, а не численности водорослей, можно говорить о том, что в сентябре 1997 года развитие фитопланктонного сообщества преимущественно морского генезиса, ингибировало численность сапрофитного бактериопланктона и стимулировало обилие аллохтонных БГКП (рис. 8).

На основании вышеописанного сравнительного анализа пространственного распределения количественных характеристик бактерио- и фитопланктона Жебриянской бухты, осуществляемого в разные сезоны на протяжении последних 10 лет, предоставляется возможность прогнозирования различных ситуаций, которые могут складываться в трофической цепи пелагиали бухты при доминировании токсичных или благоприятных для жизнедеятельности бактерий видов водорослей. Совершенно очевидно, что при весеннем паводке р. Дунай взаимосвязи бактерио- и фитопланктона в придунайском районе северо-западной части Черного моря затушевываются мощным влиянием речного стока, а в остальное время года их вполне определенно можно выявить с помощью предложенного нами сравнительного анализа. За 10-летний период наблюдений при массовом "цветении" водорослей того или иного вида, нами было отмечено 4 характера взаимосвязей бактерио- и фитопланктона Жебриянской бухты.

Во-первых, это стимулирующее влияние водорослей на развитие сапрофитных бактерий, и одновременно, ингибирующее - на БГКП, которое прослеживалось при "цветении" диатомовых водорослей *Leptocylindrus danicus* и *Nitzschia seriata*.

Во-вторых, ингибирующее влияние водорослей на обилие сапрофитных бактерий и, одновременно, стимулирующее - на БГКП, которое наблюдалось при "цветении" *Skeletonema costatum* совместно с *Cerataulina pelagica* или *Skeletonema costatum* и *Cyclotella caspia*.

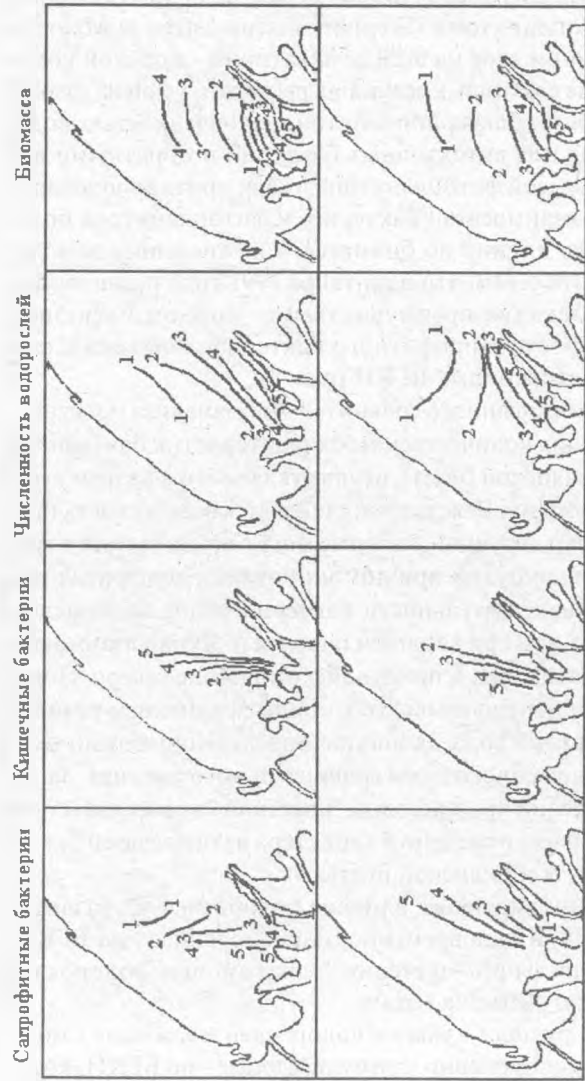


Рис. 7. Распределение количественных показателей бактерио- и фитопланктона в поверхностном (П) и придонном (Д) слоях воды Жебриянской бухты в июне 1997 года: I П -1-2,7-2,87; 2-2,87-3,04; 3-3,04-3,21; 4-3,21-3,38; 5-3,38-3,55 и I Д -1-2,17-2,29; 2-2,29-2,41; 3-2,41-2,53; 4-2,53-2,65; 5-2,65-2,77. Iг, кл/мл; II П -1-2,0-2,23; 2-2,23-2,46; 3-2,46-2,69; 4-2,69-2,92; 5-3,92-3,15 и II Д -1,0-1,17; 2-1,17-1,34; 3-1,34-1,51; 4-1,51-1,68; 5-1,68-1,85. Iг, кл/мл; III П -1-7,04-7,16; 2-7,16-7,28; 3-7,28-7,4; 4-7,4-7,52; 4-7,54-7,64 и III Д -1-5,25-5,73; 2-5,73-6,21; 3-6,21-6,69; 4-6,69-7,17; 5-7,17-7,65. Iг, кл/л; IV П -1-3,64-3,76; 2-3,76-3,88; 3-3,88-4,0; 4-4,0-4,12; 5-4,12-4,24 и IV Д -1-2,49-2,86; 2-2,86-3,23; 3-3,23-3,6; 4-3,6-3,97; 5-3,97-4,34. Iг, мг/м³.

В-третьих, ингибирующее влияние водорослей на развитие бактериального сообщества в целом, которое отмечалось при наибольшем видовом разнообразии фитопланктона. Это и цветение сине-зеленых р. *Oscillatoria*, и диатомовой водоросли *Skeletonema costatum* с сопутствующими видами *Chaetoceros affinis*, *Cylindrotheca closterium*, и "цветение" *Stephanodiscus hantzschii* совместно с *Skeletonema subsalsum* и *Leptocylindrus minimus* но, чаще всего при "цветении" *Skeletonema costatum*. Такая ситуация, когда "цветение" *Skeletonema costatum* приводило к снижению обилия бактериального сообщества, включая сапрофитных и кишечных бактерий, была отмечена нами и в августе 1994 года в Одесском заливе и смежной с ним акватории северо-западной части Черного моря (Теплинская Н.Г., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н., 1995).

Наконец, в-четвертых, выявлено стимулирующее влияние водорослей на развитие как сапрофитных, так и кишечных бактерий, которое, кстати, прослеживалось при совместном "цветении" *Skeletonema costatum* и *Chaetoceros socialis*. Именно последняя, по-видимому, играла в процессе стимулирования жизнедеятельности микроорганизмов первостепенную роль, поскольку другой вид этой водоросли (*Chaetoceros affinis*), сопутствуя "цветению" *Skeletonema costatum*, был, как мы уже показали, токсичным для бактериопланктона. Исходя из этого, есть все основания утверждать, что в периоды массового "цветения" фитопланктона определенного таксономического состава реакция бактериального сообщества также будет вполне определенной, а в периоды массового отмирания клеток водорослей они служат пищевым и энергетическим субстратом при бактериальной деструкции ОВ.

Поскольку взаимосвязи планктонных сообществ проявляются в первую очередь на структурном, качественном уровне, который может определять и их количественные показатели, особый интерес представило сравнение качественного состава бактерио- и фитопланктона Жебриянской бухты, что и было осуществлено в апреле и июне 1997 года. В апреле сапрофитный бактериопланктон, приуроченный к поверхностному слою воды бухты, был по морфологическому составу представлен на 37,5 % кокками и спорообразующими палочками, а неспорообразующими палочками - на 25 %. В то же время в придонном слое кокковые формы достигали 50 %, неспорообразующие палочки - 37,5 %, и спорообразующие палочки - 19,5 %. Отсюда, рассчитанный средний объем бактериальной клетки у поверхности составил 0,84 мкм³, а у дна был несколько выше (0,85 мкм³). Средний объем

клеток водорослей, наоборот, был больше в поверхностном слое воды бухты (5100 против 3300 мкм³).

Качественный состав бактериопланктона отличался в апреле значительным разнообразием, особенно в придонном слое воды бухты: помимо встречающихся во всей водной толще представителей родов *Planococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Listeria*, в поверхностном слое одним из самых массовых родов был *Lactobacillus*, а в придонном - *Streptococcus*, *Staphylococcus* и *Microbacterium*. Что касается видового разнообразия фитопланктона, то в апреле 90 % его численности и биомассы составляла солоновато-водная диатомовая водоросль *Diatoma elongatum* и пресноводная *Stephanodiscus hantzschii*, а также перидиниевая *Peridinium triquetrum*.

На отдельных станциях Жебриянской бухты (табл. 4) в апреле 1997 года качественный состав бактерио- и фитопланктона отличался достаточным своеобразием, которое, по-видимому, могло определяться наличием взаимосвязей между этими сообществами. Так, только в придонном слое воды на станции 65 (район п. Усть-Дунайский), где доминировали *Peridinium triquetrum* и *Stephanodiscus hantzschii*, встречались сапрофитные бактерии рода *Microbacterium*, а в поверхностном слое воды на ст. 65-3, при доминировании комплекса *Peridinium triquetrum*, *Diatoma elongatum*, *Stephanodiscus hantzschii* - представители рода *Lactobacillus* и, наконец, в придонном слое этого участка, где встречалась только *Peridinium triquetrum* - бактерии рода *Streptococcus*.

Средние же объемы клеток бактерий и водорослей на вышеуказанных станциях, скорее всего не были взаимоопределяющими в период весеннего паводка р. Дунай.

В июне, при минимальном летнем паводке р. Дунай, сапрофитный бактериопланктон поверхностного слоя воды Жебриянской бухты был представлен преимущественно кокковыми формами (75,6 %), а частота встречаемости неспоро- и спорообразующих палочек составляла по 12,2 %. Средние объемы клеток бактерий и водорослей были для акватории бухты соответственно равны 0,87 и 2500 мкм³.

Качественное разнообразие бактериального сообщества летом было меньшим, чем в апреле: это представители родов *Pediosoccus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, а фитопланктон представляли пресноводная *Stephanodiscus hantzschii* и морские *Skeletonema costatum* и *Chaetoceros socialis*. На отдельных станциях бухты (табл. 4), как и в апреле, качественный состав бактерио- и фи-

топланктона отличался своеобразием. В районе порта Усть-Дунайский (ст. 65) сапрофитные бактерии были представлены только кокками, а фитопланктонное сообщество - *Stephanodiscus hantzschii*, *Skeletonema costatum* и *Chaetoceros socialis*. Вблизи стока в бухту рукава Прорва (ст. 65-7) где доминировал *Stephanodiscus hantzschii*, морфологический и качественный состав сапрофитного бактериопланктона был совершенно иным, нежели в порту.

Примечательно, что летом, в отличие от весны, прослеживалась четкая связь между средними объемами клеток бактерио- и фитопланктона: более крупным водорослям соответствовали более крупные бактерии, а разница между средними объемами отдельно бактерий и водорослей на двух сравниваемых участках бухты составила для бактерий - 1,1, а водорослей - 1,8.

Таким образом, совершенно очевидно, что жизнедеятельность бактерио- и фитопланктона Жебриянской бухты и приустьевого участка северо-западной части Черного моря тесно связана. Это проявляется на количественном, функциональном, и, особенно, качественном уровнях в зависимости от видового разнообразия фитопланктона, продолжительности сроков вегетации того или иного вида и их физиологического состояния. По мере эвтрофирования морских акваторий появляются новые виды - возбудители "цветения" воды, относящиеся к разным систематическим отделам водорослей, которые могут оказывать как стимулирующее, так и ингибирующее влияние на развитие автохтонного и аллохтонного бактериальных сообществ. Тем самым формируется основа трофической цепи экосистемы пелагиали моря в каждый конкретный период времени взаимосвязанного функционирования бактерио- и фитопланктона, которая оказывает влияние на все последующие звенья этой цепи, начиная с простейших и оканчивая ихтиопланктоном.

Литература

1. Антипчук А.Ф. О связи бактериопланктона с фито- и зоопланктоном в рыбоводных прудах. - *Гидробиол. журн.*, 1970, - т. 6, - вып. 1, - с. 78.
2. Кудрявцев В.М. К вопросу о бактериальном разрушении клеток водорослей. - *Биология внутренних вод. Информ. бюл.*, 1974, - вып. 21, - с. 15.
3. Лебедева М.Н. Экологические закономерности распределения микроорганизмов в Черном море. - *Тр. Севастопольской биол. станции*, 1959, - т. 10, - с. 135.

Таблица 4. Видовое разнообразие и средний объем клетки ($\mu\text{м}^3$) бактерио- и фитопланктона на отдельных станциях в Жебриянской бухте в апреле и июне 1997 года.

№ станции	Горизонт	Доминирующие роды бактерий	Средний объем бактериальной клетки	Доминирующие виды водорослей	Средний объем клеток водорослей
Апрель					
65	пов.	<i>Arthrobacter, Listeria, Planococcus</i>	0,83	<i>Peridinium triquetrum, Diatoma elongatum</i>	2600
	Дно	<i>Arthrobacter, Listeria, Micrococcus, Microbacterium</i>	0,82	<i>Peridinium triquetrum, Stephanodiscus hantzschii</i>	2800
65-3	пов.	<i>Bacillus, Planococcus, Micrococcus, Lactobacillus</i>	0,85	<i>Peridinium triquetrum, Diatoma elongatum, Stephanodiscus hantzschii</i>	7100
	Дно	<i>Planococcus, Bacillus, Streptococcus, Staphylococcus</i>	0,87	<i>Peridinium triquetrum</i>	2500
Июнь					
65	пов.	<i>Streptococcus, Pediococcus</i>	0,9	<i>Stephanodiscus hantzschii, Skeletonema costatum, Chaetoceros socialis</i>	3900
65-7	пов.	<i>Arthrobacter, Staphylococcus, Bacillus</i>	0,83	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	2200

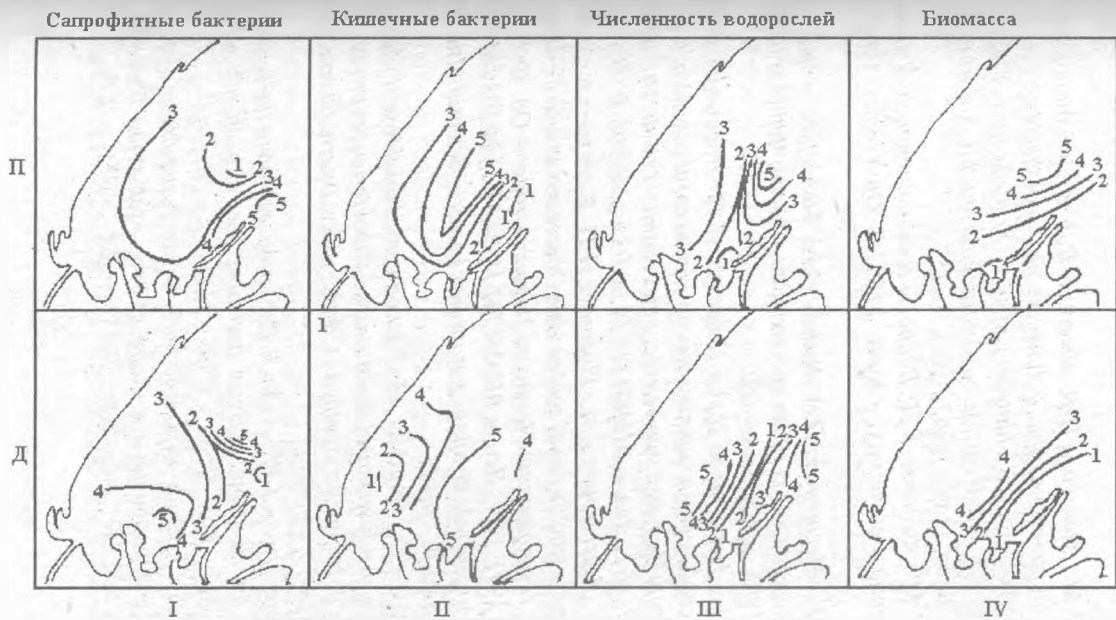


Рис. 8. Распределение количественных показателей бактерио- и фитопланктона в поверхностном (II) и придонном (D) слоях воды Жебриянской бухты в сентябре 1997 года: I П-1-2,76-2,96; 2-2,96-3,16; 3-3,16-3,36; 4-3,36-3,56; 5-3,56-3,76 и I Д-1-2,8-3,0; 2-3,0-3,2; 3-3,2-3,4; 4-3,4-3,6; 5-3,6-3,8 lg, кл/мл; II П-1-2,7-2,79; 2-2,79-2,88; 3-2,88-2,97; 4-3,97-3,06; 5-3,06-3,15 и II Д-1-1,0-1,49; 2-1,49-1,98; 3-1,98-2,47; 4-2,47-2,96; 5-2,96-3,45 lg, кл/мл; III П-1-5,76-5,9; 2-5,9-6,04; 3-6,04-6,18; 4-6,18-6,32; 5-6,32-6,46 и III Д-1-4,8-5,08; 2-5,08-5,36; 3-5,36-5,64; 4-5,64-5,92; 5-5,92-6,2 lg, кл/л; IV П-1-2,83-3,2; 2-3,2-3,57; 3-3,57-3,94; 4-3,94-4,31; 5-4,31-4,68 и IV Д-1-2,72-2,99; 2-2,99-3,26; 3-3,26-3,53; 4-3,53-3,8; 5-3,8-4,07 lg, мг/м³.

4. Леонова Л.И., Шевченко Н.С., Жарова Л.Г. О влиянии продуктов жизнедеятельности сопутствующих бактерий на рост некоторых штаммов хлореллы. - Микробиол. журн., 1970, - т. 32, - вып. 1 - с.111.
5. Телитченко М.М., Давыдова Н.В., Федоров В.Д. Взаимоотношения водорослей и микроорганизмов. // Влияние развивающихся культур протококковых водорослей *Chlorella vulgaris* и *Scenedesmus obliquus* на выживаемость возбудителя кишечного тифа *Salmonella typhimurium*. - Биол. науки, 1962, - №4, - с.157.
6. Телитченко М.М., Федоров В.Д. Вопросы взаимоотношений водорослей и бактерий в водоемах. - Биол. МОИП. Отд. биол., 1962, - вып. 3, - с.148.
7. Теплинская Н.Г., Нестерова Д.А. Взаимосвязь бактерио- и фитопланктона в поверхностных слоях воды западной части Черного моря. - Биол. науки, 1986, - №5, - с. 60-63.
8. Теплинская Н.Г., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н. Настенко Е.В. Планктонные сообщества дунайского приустьевого участка северо-западной части Черного моря в весенний период. - Од. Ф. Ин. БЮМ, Одесса, 1993, 46 с. Деп. в ВИНИТИ 14.07.93 г., №1996-В 93.
9. Теплинская Н.Г., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н. К вопросу о современном состоянии планктонных сообществ Одесского залива и смежных акваторий северо-западной части Черного моря. - Од. Ф. Ин. БЮМ, Одесса, 1995, 68 с. Деп. в ВИНИТИ 18.04.95 г., №1054-В 95.
10. Anbert M. Theorie generale de lautoe puration de la mer. - Scientia (Ital.), 1970, - v. 105, - № 3-4, - p.143.
11. Aubert M., Pesando D., Gauthier M. Phenomenes d'antibiose d'origine phytoplantonique en milieu marin. Substances antibacteriennes produites par une diatomee *Asterionella japonica* (Cleve). - Rev. Intern. Oceanogr. Med., 1970, - №18-19, - p.69.
12. Fuhrman J.A., Ammerman J.W., Azam F. Bacterioplankton in the coastal euphotic zone : distribution, activity and possible relationship with phytoplankton. - Mar. Biol., 1980, - v. 60, - № 2-3, - p.201.
13. Lagarde E., Castellvi J. Etude du pouvoir antagoniste d'organismes marins vis-a-vis de divers groupes bacteriens -Rapp. et Proc. - veb. reum. Commis. Intern. Expeorat. Sci. Mer. Mediterr., 1965, - v. 18, - № 3, - p. 619.

УДК 591.524.12(262.5)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ ЗООПЛАНКТОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ И ВХОДЯЩЕГО В ЕЕ СОСТАВ ПРИДУНАЙСКОГО ПРИУСТЬЕВОГО РАЙОНА

Полищук Л.Н., Настенко Е.В.

В последние более чем два десятка лет на развитие зоопланктона северо-западной части Черного моря оказывают влияние ряд различной природы антропогенных факторов, основными из которых являются евтрофирование шельфовой зоны моря, хроническое загрязнение мелководной и особенно прибрежной акватории промышленными, бытовыми водами и ядохимикатами, функционирование четырех крупных портов в регионе, вселение в бассейн в результате случайного заноса нового хищного вида из Атлантики - гребневика *Mnemiopsis mcgradyi*. Среди перечисленных факторов особая роль принадлежит процессу евтрофирования и мнемипсису, давшему в первые годы колонизации огромную вспышку численности. Большое значение в формировании структуры зоопланктона и в его развитии имеет объем поступающего речного стока, а также время его поступления. Зарегулирование стока рек, начавшееся в 50-х годах, в современных условиях приводит к отъему ежегодно 8 км³ пресных вод (Тимченко, 1989), в результате чего происходит нарастающее проникновение соленых вод на мелководье и уменьшение опресненного поверхностного слоя моря (Голтарев и др., 1984; Яковлев, 1991). Вместе с тем произошла определенная трансформация внутригодового расхода воды (Тимченко, 1989): уменьшение расходов в период весеннего половодья (в 2-3 раза) и увеличение их в межень. На фоне сокращения весеннего половодья решающее значение приобрел фактор неустойчивого режима стока. Сбрасывание воды идет неравномерно, волнообразно, как в пределах суток, так и в течение более длительного времени (дней, недель).

В результате хозяйственной деятельности человека на водосборной площади увеличилось содержание органических и минеральных соединений азота и фосфора в Дунае (Гавришова и др., 1977; Рожде-

ственский, 1979), наблюдается евтрофирование вод на водохранилищах Днепровского каскада (Денисова, 1979; Сиренко, Гавриленко, 1978; Сиренко, 1979), евтрофирование вод Днестра (Горбатенький и др., 1977) и Днестровского лимана (Гаврилова, Иванов, 1978). Поскольку основная масса пресноводного стока поступает в северо-западную часть, то количественно и качественно измененный речной сток вызвал наиболее глубокие изменения в водной среде и биоте этой акватории. Евтрофирование привело к интенсивному увеличению общей численности и биомассы зоопланктона. В конце 70-х и начале 80-х годов средняя биомасса зоопланктона северо-западной части, по сравнению с таковой за 50-60-е годы (Коваль, 1967, 1984; Федорина, 1978), когда наблюдалась "экологическая норма", т.е. северо-западный шельф представлял собой естественно сложившуюся экосистему (Миронов, 1978), увеличилась в 7-28 раз (1975-1980 гг. - 2700 мг · м⁻³, 1981-1982 гг. - 10920 мг · м⁻³). Северо-западная часть получала от впадающих в нее рек около 87 % всего материкового стока, поступающего в бассейн Черного моря (Гололобов, 1955).

Обильный речной сток, обогащенный биогенными веществами, органической и минеральной взвесью, обеспечивал на данной акватории благоприятное развитие биоты на всех ее уровнях, от бактерий до рыб. Внутригодовое распределение стока в устьевых областях было типичным для европейской территории, т.е. высокий сток в весенний период и сравнительно низкий в остальное время года (Тимченко, 1989). Высокое весеннее половодье являлось очень важным экологическим фактором природного режима, как для устьевых областей, так и для северо-западного шельфа и прилегающих к нему акваторий.

В период евтрофирования одновременно с повышением показателей общей численности и биомассы зоопланктона произошли глубокие изменения в его структуре. Если ранее (Коваль, 1967, 1984) ядро зоопланктона составляла группа организмов, состоящая, по крайней мере, из 10-12 видов, то в современных условиях доминантным стал один вид - ночесветка, *Noctiluca miliaris*, а иногда (особенно весной) в приустьевых районах - *Synchaeta baltica*. В 50-60-е годы (Коваль 1967) и в начале 70-х годов (Федорина, 1978) удельный вес ночесветки в общей биомассе зоопланктона северо-западной части составлял 35-42 %, а, начиная со второй половины 70-х и в течение 80-х годов, он возрос до 90-96 %. В отдельные годы развитие ночесветки было столь

значительным, что вызывало "красный прилив" (Полищук, 1988; Зайцев и др., 1988). Основной район развития ночесветки - Дунай-Днестровское междуречье (рис. 1). Интересно, что район ее высокой концентрации совпадает с повышенным развитием мелкой хищной кладоцеры *Pleopsis polyphemoides*, считавшейся показателем загрязненных вод, численность, которой в 1975-89 гг., по сравнению с 50-60-ми годами, возросла в 3,4 раза, а также зонами "цветения" перидиней *Euxuviella cordata* (рис. 2).

Усиленное развитие одних видов (*N. miliaris*, *P. polyphemoides*, *Oithona minuta*, *S. baltica*, *Oikopleura dioica*), сокращение других (*Pontella mediterranea*, *Anomalocera patersoni*, *Centropages ponticus*, *Penilia avirostris*, *Evadne spinifera*, *Pleopsis tergestina*, гидроидные медузы) или полное исчезновение третьих (*Paracartia latisetosa*, *Labidocera brunescens*, *Podon intermedius*, личинки мшанок, многие олигосапробные коловратки) привело к изменению их значения в сообществе и экосистеме в целом. Таким образом, в результате евтрофирования в сообществе зоопланктона северо-западной части Черного моря произошли те же изменения, что и в других сообществах, как здесь, так и в других шельфовых и эстуарных экосистемах: увеличение общей численности и биомассы, доминирование одного вида, видовое обеднение, сокращение численности длинноциклических и крупнотелых гидробионтов, увеличение значения короткоциклических, малорослых, обладающих большей удельной поверхностью организмов и организмов с широкой экологической валентностью, более пластичных.

Евтрофирование и снижение запасов планктоноядных рыб послужили причиной вспышки развития медузы *Aurelia aurita*. Пик ее развития приходился на 80-е годы. В начале 80-х годов ее запасы в северо-западной части составляли 41,6 млн. т. сырой массы (Зайцев, Полищук, 1984), а с учетом коэффициента уловистости сетей (Шушкина, Виноградов, 1991) они были значительно больше - 83,2 млн. т. Следовательно, возросло влияние медузы на зоопланктон - основную ее пищу. Обострилась пищевая конкуренция, поскольку количество зоопланктона, необходимое для покрытия пищевой потребности медузы, в несколько раз превышало его годовую продукцию. Высказывалось предположение, что недостающую часть пищи, она может компенсировать за счет возросшего количества растворенного органического вещества (Полищук и др., 1984).

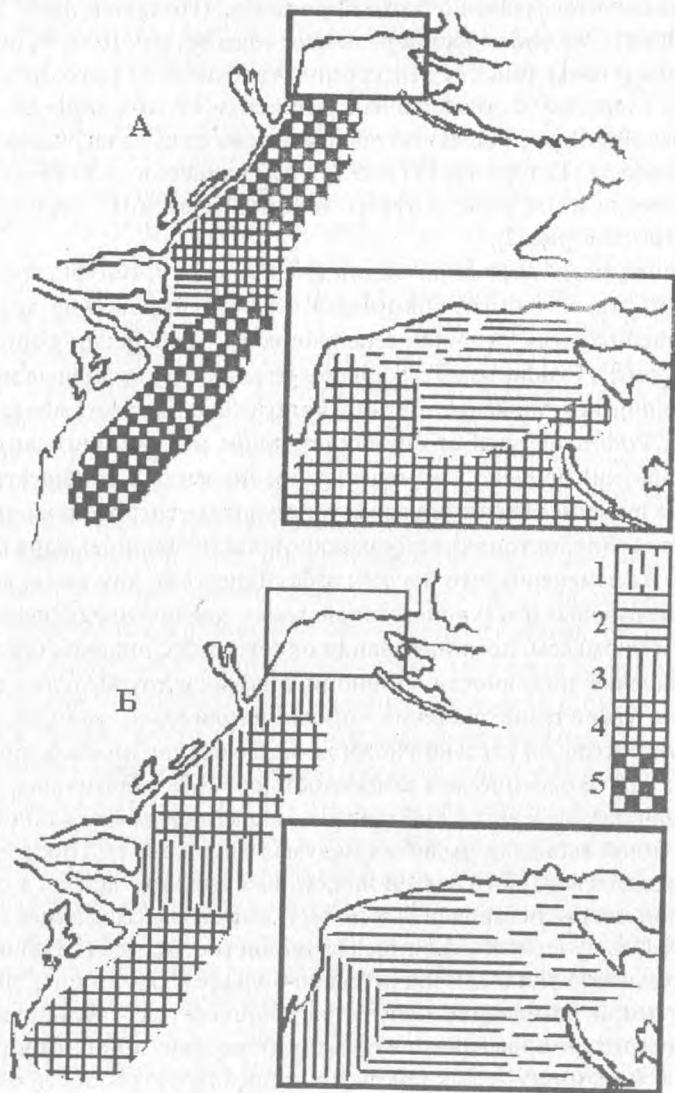


Рис. 1. Распределение численности *Noctiluca miliaris* в слое 0-10 м (а) и в слое 10-25 м (б) в северо-западной части Черного моря в июле 1986 г.: 1 - 1-102-1-103, 2 - 1-103-1-104, 3 - 1-104-5-104, 4 - 5-104-1-106, 5 - 1-106-3-106 экз. · м⁻³.



Рис. 2. Распределение зон массового развития *Euxiviella cordata* - (1) (Нестерова, 1985), *Noctiluca miliaris* (2) и *Pleopis polyphemoides* (3) в северо-западной части Черного моря в летний период 1978 г.

Впервые обнаруженный в 1982 г. в районе Крыма (Переладов, 1988), а затем и в других участках Черного моря (Зайцев и др., 1988) новый вселенец - гребневик мнемипсис, найдя в бассейне благоприятные условия для своего развития, очень скоро получил массовое развитие и распространение по всей акватории моря (Шушкина, Мусаева, 1988; Виноградов и др., 1989; Архипов, Малышев, 1990; Шушкина и др., 1990; Грузов и др., 1994). В начале 90-х годов средняя численность гребневика (с учетом коэффициента уловистости сетей) составляла 206 экз. · м⁻³, а масса - 66,72 г · м⁻³. Общие запасы оценивались в 42 млн. т. (Полищук и др., 1991). Гигантские концентрации хищного гребневика, потребляющего самые различные организмы зоопланктона (Цихон-Луканина и др., 1991) стали заметно изменять видовую и функци-

ональную характеристики планктонного зооценоза, уже преобразованного под воздействием евтрофикации и прессы медузы.

Начавшиеся в конце 70-х годов процессы перестройки в структуре сообщества зоопланктона северо-западной части, продолжали развиваться в течении 80-х годов, когда по данным Г.П. Гаркавой и соавторов (1991) наметилась некоторая стабилизация или незначительное нарастание уровня евтрофированности моря, который колебался в зависимости от интенсивности стока рек, возрастая в многоводные периоды (1977-1982 и 1987-1988 гг.) и сокращаясь в маловодные (1983-1986 гг.).

В начале 90-х годов, несмотря на то, что наметившаяся ранее тенденция уменьшения поступлений биогенных элементов в море сохранилась (Гаркавая, Богатова, 1994), перестроечные процессы в сообществе зоопланктона продолжались. Евтрофирование, развитие медузы и гребневика постоянно удерживают экосистему северо-западной части в динамическом состоянии. Современное развитие зоопланктона находится в прямой зависимости от их сочетания или от того, какой из этих факторов превалирует.

Вышеизложенные особенности развития зоопланктона северо-западной части непосредственно относятся к его развитию в ее составных, в частности, в Жебриянской бухте и, в целом, в придунайском приустьевом районе. Вместе с тем развитие зоопланктона этих участков имеет свои отличительные черты, что обусловлено их местоположением и спецификой гидрологических характеристик, а также в значительной мере статусом бухты, как приустьевой зоны Дуная благодаря прорытию Соединительного канала Прорва - бухта и функционированием порта Усть-Дунайск. В то же время большое значение на формирование зоопланктона бухты имеет система ее течений и постоянная вдольбереговая циркуляция циклонического характера, идущая вдоль берегов северо-западной части в южном направлении, а также водообмен с открытыми участками моря.

Специальных работ по состоянию зоопланктона придунайского приустьевого района и Жебриянской бухты практически нет. Между тем многие исследователи как отечественные (Петипа и др., 1959, 1963; Коваль, 1967, 1969, 1984), так и зарубежные (Димов, 1963; Margineanu, 1965; Консулов, 1975, 1986; Rogumb, 1979, 1980), отмечали влияние дунайских вод на формирование и развитие зоопланктона. Роль водного стока на повышение продуктивности приустьевых районов об-

щезвестна. При этом о развитии зоопланктона в приустьевых районах единого мнения среди исследователей нет. С одной стороны имеются сведения, что на данных участках, благодаря обогащению этих акваторий биогенными элементами, зоопланктон имеет наиболее богатое развитие. В то же время указывалось, что на стыках речных и лиманных вод с морскими, происходит гибель как пресноводных и солоноватоводных, так и морских представителей, в результате чего здесь образуются "кладбища" планктонных организмов.

Непосредственно распределению зоопланктона в зонах трансформации вод Дуная и Днестра посвящено исследование Л.В. Воробьевой (1970). Автором вскрыты закономерности его распределения. Показано, что распределение зоопланктона в приустьевых районах неравномерное и зависит от степени трансформации речных вод в морскую. Наиболее обедненной как в качественном, так и в количественном отношении, является основная зона трансформации речных вод, где треть организмов составляют пресноводные виды. Значительное увеличение численности и биомассы зоопланктона наблюдается в гидрофронтальной зоне, но наиболее богатой по числу видов и общей биомассе является заключительная зона трансформации. В целом зоопланктон приустьевых районов имеет морской характер с небольшой примесью пресноводных форм.

Сведения о развитии зоопланктона дунайского приустьевого участка в районе Килийского гирла (рукава Прорва, Потаповский), включающего в себя все зоны трансформации речной воды в морскую, в весенний период 1992 года имеются в нашей с соавторами работе (Теплинская и др., 1993), которая является первой попыткой комплексного подхода к решению вопроса о современной структуре и особенностям функционирования планктонных сообществ (бактерио-, фито- и зоопланктон) в приустьевых районах. Поскольку соленость представляет собой один из наиболее важных лимитирующих факторов, то фаунистический облик района определяется ею в первую очередь. В состав сообщества зоопланктона входят пресноводные, солоноватоводные и морские виды. Отмечается, что представители пресноводного и солоноватоводного комплексов по численности преобладают в авандельте. По биомассе, как в авандельте, так и на морском участке, преобладают виды морского происхождения. Здесь следует иметь в виду то обстоятельство, что в разделении фаун разного облика особую роль играет близкий к зоне минимума видов Ремане (1934) соле-

вой диапазон примерно 5-8 %, считающийся многими исследователями своеобразным экологическим барьером, препятствующим смешению пресноводной и морской фаун. Многие из пресноводных видов не могут преодолеть солевой барьер. Наши данные по влиянию трансформации речных вод на развитие и распределение зоопланктона не в полной мере согласовались с данными Л.В. Воробьевой (1970), отмечавшей, что в качественном и количественном отношении зоопланктон гидрофронтальной зоны богаче основной. Наиболее высокие показатели как численности, так и биомассы, как правило, были приурочены к участку, граничащему с Жебриянской бухтой, т.е. к акватории Дунай-Днестровского междуречья, выделенной нами ранее как наиболее евтрофной на северо-западном шельфе.

Более поздняя публикация (Воробьева и др., 1995) также содержит некоторые сведения по зоопланктону Жебриянской бухты. В частности, в работе отмечается, что развитие зоопланктона в бухте в последние годы имеет ту же тенденцию, что и на северо-западном шельфе, а по состоянию зоопланктона бухта выделялась, как наиболее неблагоприятный в экологическом отношении район.

В начальные годы евтрофикации, как уже отмечалось ранее, основным почти постоянным районом повышенных концентраций доминантного вида ночесветки в северо-западной части моря являлось Дунай-Днестровское междуречье. Так, например, в летний период 1975 г. ее максимальная биомасса здесь достигала $54 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ (Настенко, 1978), а по нашим данным летом многоводного 1981 г. она составляла $63 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ (средняя биомасса в северо-западной части - $7 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$), а летом маловодного 1984 г. - $175 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ (средняя биомасса в северо-западной части - $4,7 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$). Нередко наблюдались и весенние вспышки. Так, в мае многоводного 1989 г. после аномально теплой зимы максимальные показатели развития ночесветки в междуречье составляли $2,6 \text{ млн. экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ и $227 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$. При этом интересно отметить, что в 60-е годы в приустьевом районе Дуная и в Жебриянской бухте также отмечались повышенные концентрации ночесветки. В летний период 1967-1968 гг. количество ночесветки на некоторых точках приустьевого района Дуная составляло $217000-510000 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$, а в Жебриянской бухте - $2000-30550 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ (Воробьева, 1970), что по нашим расчетам составляло $18879-44370$ и $174-2658 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$, соответственно.

О соотношении развития зоопланктона в северо-западной части

моря, в придунайском районе и в Жебриянской бухте в конце 70-х и 80-х годах дает представление табл. 1.

Из анализа многолетней динамики общей численности зоопланктона в этих акваториях следует, что вклад как приустьевого района, так и бухты, в общее развитие зоопланктона северо-западного шельфа довольно существенный. Это значение особенно возрастает в многоводные годы и, как правило, четко проявляется в летние месяцы. Обычно в это время здесь в сообществе преобладает ночесветка (табл. 2). В маловодные и средние по водности годы развитие зоопланктона как в северо-западной части, так и в бухте, имеет более низкие показатели, роль ночесветки уменьшается (табл. 3).

Для бухты характерными являются не только высокие концентрации зоопланктона, но и представителей желетелых. В начале 80-х годов, когда в северо-западной части моря наблюдался пик развития медузы аурелии при средней биомассе $23 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$, ее биомасса в междуречье доходила до $50 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$.

В летне-осенний период 1990 г. в результате пресса гребневика (общая масса с учетом уловистости сетей составляла 42 млн. т) и возможно из-за снижения евтрофирования средняя биомасса зоопланктона составляла $340 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$, т.е. приблизилась к среднемноголетней за 50-60-е годы, а по сравнению с началом 80-х годов, уменьшилась в 34 раза. Запасы медузы, по сравнению с 80-ми годами, сократились в 8 раз, составив $9,7 \text{ млн. тонн}$.

Зоопланктон бухты приобрел также новые качественные и количественные характеристики (табл. 4). Из-за пресса гребневика и медузы, то ли по другим причинам, из сообщества исчезла *Oithona minuta*, которая в начальные годы процесса евтрофирования относилась к массовым видам. Сократилось развитие и других эпипланктонных форм.

Развитие зоопланктона в бухте было несколько выше, чем в смежном участке северо-западной части. Запасы гребневика в бухте составляли $603,85 \text{ т}$., а медузы - $432,81 \text{ т}$. При этом запасы общего зоопланктона оценивались в $4,47 \text{ т}$., а кормового - 567 ц .

О роли приустьевых участков в формировании общих показателей зоопланктона северо-западной части Черного моря в весенний период дает представление табл. 5. Как видно из приведенных материалов, наибольший вклад принадлежит Жебриянской бухте. Приднепровско-бугский район имеет значительно меньшую роль.

Таблица 1. Многолетняя динамика численности (экз. · м⁻³) зоопланктона Жебриянской бухты, придунайского приустьевоего района и северо-западной части Черного моря

Год, месяц	Жебриянская бухта	Приустьевой район Дуная	Северо-западная часть
Многоводный период			
1978, май	39246	41964	67284
Август	349217	187859	147656
1979, апрель	21843	26169	116635
Июнь	131203	76474	55801
Октябрь	196525	107563	99088
1980, июль	3509	31074	40200
Октябрь	57766	66163	218780
1981, июль	1109270	387563	342417
Октябрь-ноябрь	48227	43571	41089
1982, июль	735951	—	156395
Октябрь	26792	28332	51679
Маловодный период			
1983, март	6705	8913	10224
Сентябрь	39682	68412	95070
1984, май	65802	40858	138669
1985, октябрь-ноябрь	25248	25248	197075
1986, март	2420	10223	7291
Апрель	12585	—	12209
Июль	172025	274650	535239
Многоводный период			
1987, июнь	38106	40953	50272
Сентябрь	10973	42040	43856
Ноябрь	11998	—	10087

Возможно, что это обстоятельство связано с трансформацией внутригодового распределения расхода пресной воды в Приднепровско-бугском районе: уменьшение в период весеннего половодья и увеличение в межень, в зимне-весенний период года (Тимченко, 1989). Как в бухте, так и на придунайском взморье, увеличение показателей численности и биомассы зоопланктона наблюдается у прибрежной зоны, в местах выхода речных вод, т.е. в первой зоне трансформации (рис. 3). В летний период этого же года общее развитие зоопланктона в бухте несколько уменьшилось, а на восточной акватории придунайского взморья возросло (табл.

6) Если на придунайском взморье распределение численности и биомассы осталось таким же как весной, то в бухте, оно изменилось коренным образом (рис. 4). Там, где весной наблюдались высокие показатели численности и биомассы, отмечалось самое низкое развитие зоопланктона и, наоборот, там, где были его низкие показатели (р-н Сасыка), численность и биомасса зоопланктона возросли. Возможно, в этом были повинны евтрофные воды Сасыка. В районе Усть-Дунайска регистрировались самые низкие показатели развития зоопланктона.

Таблица 2. Состав, численность (N, экз. · м⁻³) и биомасса (B, мг · м⁻³) зоопланктона Жебриянской бухты и смежного участка северо-западной части Черного моря в июне 1979 г.

Год, месяц	Жебриянская бухта	Приустьевой район Дуная	Северо-западная часть
Многоводный период			
1978, май	39246	41964	67284
Август	349217	187859	147656
1979, апрель	21843	26169	116635
Июнь	131203	76474	55801
Октябрь	196525	107563	99088
1980, июль	3509	31074	40200
Октябрь	57766	66163	218780
1981, июль	1109270	387563	342417
Октябрь-ноябрь	48227	43571	41089
1982, июль	735951	—	156395
Октябрь	26792	28332	51679
Маловодный период			
1983, март	6705	8913	10224
Сентябрь	39682	68412	95070
1984, май	65802	40858	138669
1985, октябрь-ноябрь	25248	25248	197075
1986, март	2420	10223	7291
Апрель	12585	—	12209
Июль	172025	274650	535239
Многоводный период			
1987, июнь	38106	40953	50272
Сентябрь	10973	42040	43856
Ноябрь	11998	—	10087

Таблица 3. Состав, численность (N , экз. \cdot м⁻³) и биомасса (B , мг \cdot м⁻³) зоопланктона Жебриянской бухты и смежного участка северо-западной части Черного моря в 1987 г.

Таксоны	Жебриянская бухта		Смежный участок	
	N	B	N	B
Июнь				
<i>Noctiluca miliaris</i>	507	50.02	428	38.30
<i>Rotatoria</i>	21679	49.85	10692	25.21
<i>Tintinnoinea</i>	2609	3.20	556	1.05
<i>Cladocera</i>	1359	12.20	1641	16.92
<i>Copepoda</i>	7353	64.00	14618	177.46
Личинки донных организмов	4521	14.42	1696	6.88
<i>Varia</i>	77	56.91	36	64.83
Всего	38106	250.61	29667	330.65
Сентябрь				
<i>Noctiluca miliaris</i>	2362	111.99	23049	1119.56
<i>Rotatoria</i>	834	11.49	3258	8.95
<i>Tintinnoinea</i>	113	0.20	481	1.47
<i>Cladocera</i>	739	7.65	2971	38.50
<i>Copepoda</i>	4061	15.58	6680	44.78
Личинки донных организмов	2481	13.02	3440	17.81
<i>Varia</i>	383	77.16	1034	21.20
Всего	10973	237.09	41256	1252.31
Ноябрь				
<i>Noctiluca miliaris</i>	—	—	375	17.78
<i>Rotatoria</i>	55	0.13	128	0.29
<i>Tintinnoinea</i>	—	—	92	0.22
<i>Copepoda</i>	166	0.45	6313	26.19
Личинки донных организмов	11777	70.50	2968	17.01
<i>Varia</i>	—	—	211	30.49
Всего	11998	71.08	10087	91.55

Летом 1995 г. в северо-западной части опять возросла роль ночесветки, биомасса которой составила 71,7 % при общей биомассе зоопланктона 678,53 мг \cdot м⁻³. Аналогично возросло ее значение в бухте и смежном придунайском районе (табл. 7). В бухте на ее долю приходилось 82,8 %, а в смежном районе - 93,6 %. В приднепровско-бугском районе она отсутствовала. Развитие зоопланктона на акватории бухты и в смежном районе имело неравномерный характер (рис. 5).

Самые высокие показатели численности отмечались в районе Усть-Дунайска и в районе Сасыка, а минимальные - в центральной части бухты. Показатели численности уменьшались также в направлении открытой части моря. Биомасса преобладала в районе Сасыка, а ее минимальные значения были приурочены центральной части бухты и району порта Усть-Дунайск.

Характерной особенностью для структуры зоопланктона бухты было наличие значительного количества представителей пресноводного и солоноватоводного комплексов, составлявших 40,9 % от общего числа обнаруженных видов.

По численности они имели 27,6 %, а по биомассе - 6,5 %. В то же время для восточного придунайского взморья было характерным обеднение структуры сообщества, а солоноватоводный и пресноводный комплексы представляли лишь 22,2 %. Их роль в общей численности и биомассе также была незначительной: 13,0 и 2,3 %, соответственно.

Интересно отметить, что в июне в приднепровско-бугском районе представители этих комплексов в структуре зоопланктона составляли 52 % и их роль в образовании общей численности и биомассы была довольно ощутимой: 56,4 и 57,0 %, соответственно.

В первой половине августа в северо-западной части началось развитие мнемипсиса, а к концу месяца он достиг 1127 экз. \cdot м⁻³ и 4810 мг \cdot м⁻³. При отсутствии ночесветки общая биомасса зоопланктона снизилась до 77,45 мг \cdot м⁻³. Возможно, что низкие показатели развития зоопланктона в бухте и на восточном участке придунайского взморья в осенний период (табл. 8), кроме сезонной динамики, были обусловлены его прессом.

Выше уже отмечалось, что развитие зоопланктона в бухте и придунайском взморье в течение года значительно изменяется. Более детально проследить его сезонную динамику можно на примере 1996 г.

Весной в структуру зоопланктона бухты входило 26 разного уровня таксономических единиц (табл. 9), из которых 53,8% составляли представители пресноводного и солоноватоводного комплексов. Основу сообщества как по видовому разнообразию, так и по обилию и биомассе, составляли коловратки, среди которых особое место занимала синхета. Общая численность зоопланктона - 6347 экз. \cdot м⁻³, а биомасса - 24,29 мг \cdot м⁻³. Распределение показателей численности и биомассы по акватории бухты очень неравномерное (рис. 6 а, б). Их увеличение идет от центральной части на юго-запад, т. е. в сторону Са-

сыка, Белгородского гирла и порта Юсть-Дунайск. Направленность изопланкт свидетельствует о неоднородности водных масс. Об этом говорит также распределение представителей пресноводного и морского комплексов (рис. 7 а, б).

Таблица 4. Состав, численность (N , экз. \cdot м³) и биомасса (B , мг \cdot м³) зоопланктона Жебриянской бухты и смежных участков северо-западной части Черного моря в сентябре 1990 г.

Таксоны	Жебриянская бухта		Смежные участки	
	N	B	N	B
<i>Noctiluca miliaris</i>	7850	372,08	4894	283,40
<i>Tintinninoinea</i>	67	0,16	1961	7,70
<i>Synchaeta</i>	—	—	489	1,13
<i>Varia rotatoria</i>	417	0,96	1278	2,93
<i>Acartia clausi</i>	142	0,26	666	3,27
<i>Calanus ponticus</i>	—	—	0,3	0,0003
<i>Oithona similis</i>	—	—	50	0,17
<i>Harpacticoida</i>	17	0,13	—	—
<i>Oikopleura dioica</i>	—	—	22	0,13
<i>Pleurobrachia rhodopis</i>	1	25,00	0,7	3,60
<i>Sagitta setosa</i>	0,3	0,07	6	2,83
<i>Gastropoda, larvae</i>	—	—	39	0,97
<i>Bivalvia, larvae</i>	300	0,90	567	1,73
<i>Polychaeta, larvae</i>	3917	23,50	728	4,37
<i>Balanus, larvae</i>	270	1,62	989	5,93
<i>Actinotrocha</i>	—	—	28	0,17
<i>Nematoda</i>	33	1,27	68	5,70
Всего	13014	425,95	11786	324,03
<i>Mnemiopsis mcradvi</i>	351	57510	145	40870
<i>Aurelia aurita</i>	0,4	41220	0,7	24800

Таблица 5. Численность (N , экз. \cdot м³) и биомасса (B , мг \cdot м³) зоопланктона в разных районах северо-западной части Черного моря в апреле 1993 г.

Районы	N	B
Приднепровско-бугский	27639	84,62
Приднестровский	58239	151,34
Придунайский*	46568	132,58
Жебриянская бухта	95703	175,11
Открытые участки СЗЧМ	15795	57,42
СЗЧМ в целом	44819	117,13

*без Жебриянской бухты.

Таблица 6. Состав, численность (N , экз. \cdot м³) и биомасса (B , мг \cdot м³) зоопланктона Жебриянской бухты и смежной акватории северо-западной части Черного моря в июне 1993 г.

Таксоны	Жебриянская бухта		Смежные участки (придунайское взморье)	
	N	B	N	B
<i>Noctiluca miliaris</i>	—	—	16	0,94
<i>Tintinnopsis cylindrica</i>	—	—	5	0,004
<i>Synchaeta</i>	3894	8,96	6589	15,15
<i>Brachionus calyciflorus</i>	10	0,06	20	0,14
<i>Acartia clausi</i>	26	0,02	252	2,16
<i>Eurytemora affinis</i>	37	0,05	140	0,33
<i>Pseudocalanus elongatus</i>	—	—	51	1,12
<i>Paracalanus parvus</i>	0,1	0,002	—	—
<i>Calanus ponticus</i>	—	—	4	0,01
<i>Oithona similis</i>	45	0,21	92	0,41
<i>Cyclopoida</i>	10	0,77	27	2,16
<i>Harpacticoida</i>	83	0,67	337	2,69
<i>Pleopis polyphemoides</i>	53	0,48	126	1,13
<i>Podon leuckarti</i>	—	—	7	0,14
<i>Diaphanosoma brachiurum</i>	—	—	0,1	0,01
<i>Daphnia sp.</i>	—	—	0,1	0,0005
<i>Oikopleura dioica</i>	—	—	4	0,02
<i>Pleurobrachia rhodopis</i>	0,3	25,79	0,3	21,83
<i>Bivalvia, larvae</i>	21112	63,33	27201	84,75
<i>Gastropoda, larvae</i>	77	0,54	174	1,22
<i>Polychaeta, larvae</i>	232	1,54	94	0,56
<i>Balanus, larvae</i>	711	4,27	1187	7,12
<i>Decapoda, larvae</i>	—	—	0,1	0,009
<i>Pisces ova, larvae</i>	0,2	0,08	0,6	0,3
Всего	26290	129,80	36327	142,20

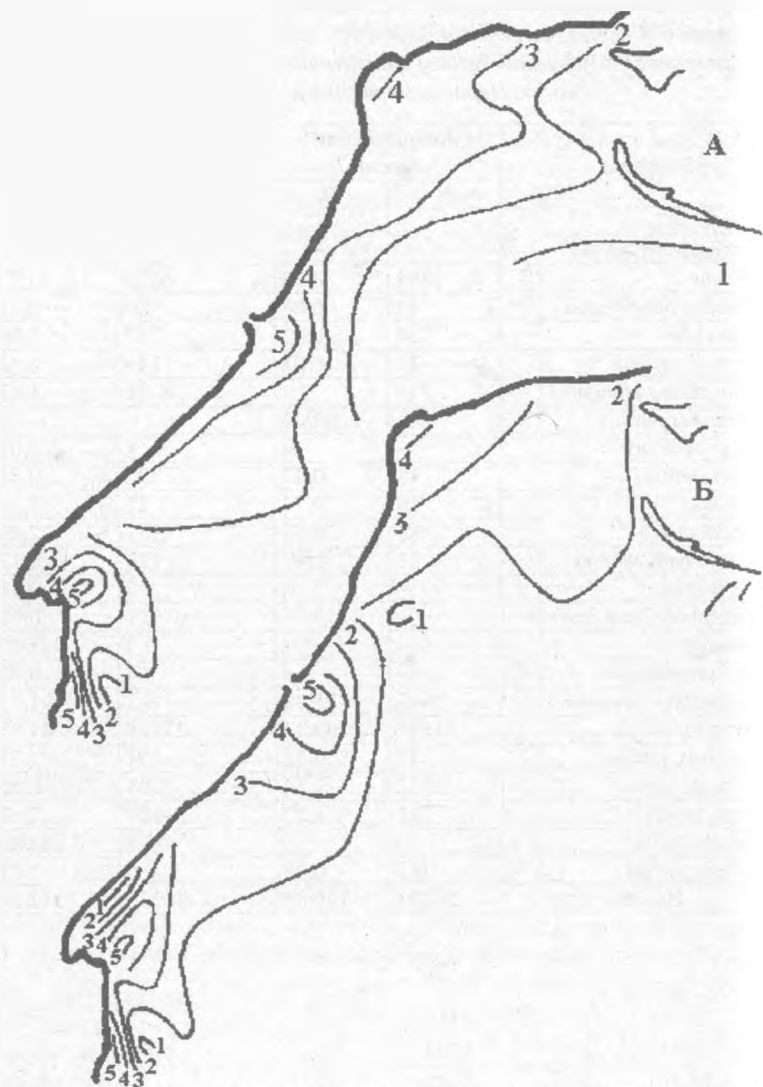


Рис. 3. Распределение численности (а, $\lg N$ экз. \cdot m^{-3}) и биомассы (б, $\lg B$ мг \cdot m^{-3}) зоопланктона в приустьевых районах и смежных акваториях северо-западной части Черного моря в апреле 1993 г.: а - 1 - 3,65-3,99, 2 - 3,99-4,33, 3 - 4,33-4,68, 4 - 4,68-5,02, 5 - 5,02-5,37; б - 1 - 1,41-1,66, 2 - 1,66-1,92, 3 - 1,92-2,17, 4 - 2,17-2,43, 5 - 2,43-2,68.

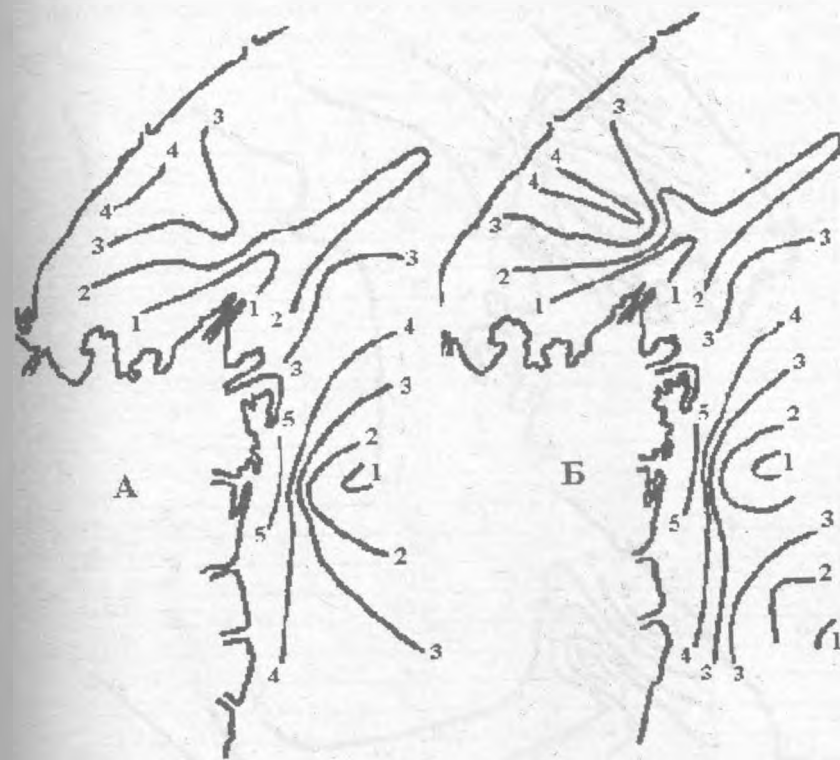


Рис. 4. Распределение численности (а, $\lg N$ экз. \cdot m^{-3}) и биомассы (б, $\lg B$ мг \cdot m^{-3}) зоопланктона в приустьевом районе Дуная в июне 1993 г.: а - 1 - 3,72-4,01, 2 - 4,01-4,30, 3 - 4,30-4,59, 4 - 4,59-4,88, 5 - 4,88-5,17; б - 1 - 1,25-1,53, 2 - 1,53-1,81, 3 - 1,81-2,09, 4 - 2,09-2,37, 5 - 2,37-2,65.

Таблица 7. Состав, численность (N , экз. \cdot м⁻³) и биомасса (B , мг \cdot м⁻³) зоопланктона Жебриянской бухты и смежной акватории северо-западной части Черного моря в июне 1995 г.

Таксоны	Жебриянская бухта		Смежные участки (придунайское взморье)	
	N	B	N	B
<i>Noctiluca miliaris</i>	11782	1020,47	10278	890,35
<i>Synchaeta</i>	8630	19,80	1353	3,12
<i>Tintinnopsis cylindrica</i>	589	0,41	—	—
<i>Keratella quadrata</i>	218	0,08	—	—
<i>Brachionus calyciflorus</i>	84	0,54	—	—
<i>Pleopsis polyphemoides</i>	6099	55,03	2542	22,87
<i>Bosmina longirostris</i>	33	0,33	—	—
<i>Alona quadridentata</i>	17	0,84	—	—
<i>Daphnia longispina</i>	0,3	0,03	—	—
<i>Acartia clausi</i>	1561	9,58	795	6,45
<i>Heterocope caspia</i>	0,1	0,006	—	—
<i>Cyclopoida</i>	2920	58,36	965	19,30
<i>Eurytemora affinis</i>	17	0,65	—	—
<i>Harpacticoida</i>	120	0,96	—	—
<i>Balanus, larvae</i>	7309	43,88	892	5,35
<i>Bivalvia, larvae</i>	3432	10,34	584	1,75
<i>Polychaeta, larvae</i>	328	1,84	141	0,85
<i>Decapoda, larvae</i>	0,7	0,07	—	—
<i>Nematoda</i>	0,7	0,03	—	—
<i>Cumacea</i>	7	0,76	—	—
<i>Isopoda</i>	0,3	0,03	—	—
<i>Pisces ova, larvae</i>	15	7,71	2	0,87
Всего	43164	1231,81	17553	950,95



Рис. 5. Распределение численности (а, $\lg N$ экз. \cdot м⁻³) и биомассы (б, $\lg B$ мг \cdot м⁻³) зоопланктона в Жебриянской бухте и смежной акватории в июне 1995 г.: а - 1 - 4,07-4,21, 2 - 4,21-4,35, 3 - 4,35-4,49, 4 - 4,49-4,63, 5 - 4,63-4,78, 6 - 4,78-4,92; б - 1 - 2,76-2,86, 2 - 2,86-2,97, 3 - 2,97-3,08, 4 - 3,08-3,19, 5 - 3,19-3,30, 6 - 3,30-3,41.

Таблица 8. Состав, численность (N , экз. \cdot м⁻³) и биомасса (B , мг \cdot м⁻³) зоопланктона Жебриянской бухты и смежных с ней речных и морских участков в ноябре 1995 г.

Таксоны	Жебриянская бухта		Смежные участки						
			р. Дунай, 18 км.		Прорва-Соед. Канал		Восточная акватория взморья		
	N	B	N	B	N	B	N	B	
<i>Noctiluca miliaris</i>	2	0,10	—	—	—	—	—	56	3,25
<i>Synchaeta</i>	159	0,37	71	0,16	—	—	—	356	0,82
<i>Keratella cochlearis</i>	9	0,002	—	—	—	—	—	—	—
<i>K. quadrata</i>	69	0,03	71	0,03	—	—	—	—	—
<i>K. valga</i>	—	—	71	0,03	—	—	—	—	—
<i>Brachionus calyciflorus</i>	43	0,28	71	0,46	—	—	—	—	—
<i>Chydorus sphaericus</i>	0,2	0,002	—	—	—	—	—	—	—
<i>Bosmina longirostris</i>	0,4	0,004	—	—	—	—	—	—	—
<i>Ceriodaphnia affinis</i>	—	—	1	0,01	—	—	—	—	—
<i>Acartia clausi</i>	10	0,30	—	—	—	—	—	330	6,75
<i>Eurytemora velox</i>	517	8,56	288	0,37	437	0,76	108	0,88	—
<i>Cyclopoida</i>	51	5,14	71	7,10	213	21,30	—	—	—
<i>Harpacticoida</i>	121	0,97	—	—	—	—	—	—	—
<i>Balanus</i> , larvae	551	3,31	—	—	—	—	—	525	9,15
<i>Bivalvia</i> , larvae	609	1,83	71	0,21	—	—	—	4252	12,76
<i>Gastropoda</i> , larvae	41	0,29	—	—	213	1,49	—	217	1,52
<i>Polychaeta</i> , larvae	453	2,72	—	—	—	—	—	978	5,87
<i>Nematoda</i>	43	1,62	3	0,11	—	—	—	—	—
<i>Oikopleura dioica</i>	—	—	—	—	—	—	—	0,3	0,003
<i>Sagitta setosa</i>	0,8	0,01	—	—	—	—	—	2	1,63
<i>Pisces ova</i> , larvae	36	17,80	—	—	—	—	—	2	1,17
Всего:	2714	43,31	718	8,48	863	23,55	6827	37,79	

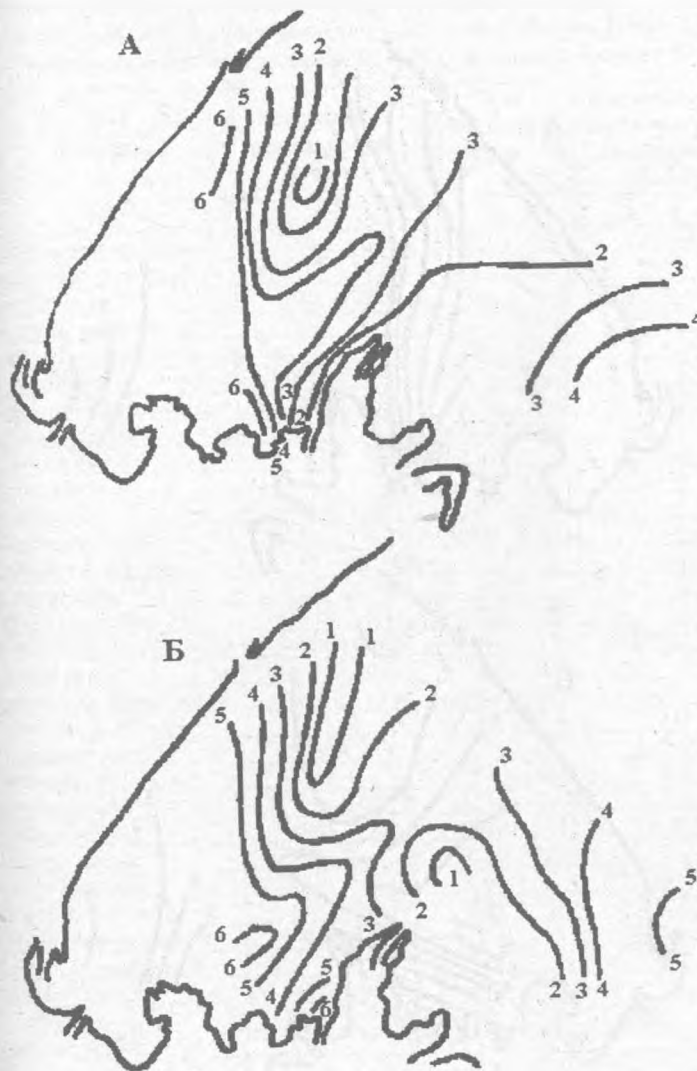


Рис. 6. Распределение численности (а, $\lg N$ экз. \cdot м⁻³) и биомассы (б, $\lg B$ мг \cdot м⁻³) зоопланктона в Жебриянской бухте и смежном придунайском районе в марте 1996 г.: а - 1 - 3,16-3,33, 2 - 2,33-3,50, 3 - 3,50-3,67, 4 - 3,67-3,84, 5 - 3,84-4,01, 6 - 4,01-4,20; б - 1 - 0,70-0,92, 2 - 0,92-1,14, 3 - 1,14-1,36, 4 - 1,36-1,58, 5 - 1,58-1,80, 6 - 1,80-2,05.

Таблица 9. Состав, численность (N , экз. \cdot м⁻³) и биомасса (B , мг \cdot м⁻³) зоопланктона Жебриянской бухты и смежных с ней речной (дельта Дуная) и морской (восточная часть придунайского взморья) акваторий в марте 1996 г.

Таксоны	Акватория реки (дельта Дуная)		Жебриянская бухта		Акватория моря (восточная часть придунайского взморья)	
	N	B	N	B	N	B
<i>Tintinnopsis mucicola</i>	652	1,96	365	1,08	336	1,00
<i>Asplanchna priodonta</i>	10949	25,18	4407	10,63	765	1,76
<i>Synchaeta</i> sp.	101	0,04	86	0,03	—	—
<i>Keratella quadrata</i>	—	—	14	0,003	—	—
<i>K. cruciformis</i>	—	—	88	0,02	—	—
<i>K. cochlearis</i>	101	0,66	11	0,07	—	—
<i>Brachionus calyciflorus</i>	25	0,05	6	0,01	—	—
<i>B. quadridentatus</i>	151	0,23	13	0,02	—	—
<i>B. plicatilis</i>	101	0,04	—	—	—	—
<i>B. angularis</i>	—	—	25	0,01	—	—
<i>B. a.bidens</i>	25	0,002	69	0,007	—	—
<i>Polyarthra remata</i>	51	0,05	104	0,11	—	—
<i>Notholca acuminata</i>	51	0,05	—	—	—	—
<i>N. squamulla</i>	25	0,007	—	—	—	—
<i>Filinia terminalis</i>	3	0,11	702	9,87	—	—
<i>Pseudocalanus elongatus</i>	0,2	0,005	—	—	2948	20,84
<i>Acartia clausi</i>	1	0,03	3	0,09	—	—
<i>Calanipeda aquae-dulcis</i>	—	—	106	0,57	44	0,07
<i>Eurytemora affinis</i>	—	—	6	0,04	18	0,02
<i>Diaptomus gracilis</i>	548	1,6	—	—	—	—
<i>Calanus ponticus</i>	—	—	14	0,12	48	0,15
<i>Harpacticoida</i>	—	—	135	1,08	21	2,63
<i>Cyclops vicinus</i>	490	2,42	171	0,41	1	0,004
<i>Oithona similis</i>	—	—	0,3	0,001	—	—
<i>Podon leuckarti</i>	—	—	—	—	31	0,19
<i>Chydorus sphaericus</i>	—	—	0,1	—	0,2	0,005
<i>Polyphemus pediculus</i>	76	6,06	—	—	—	—
<i>Bosmina longirostris</i>	1	0,005	—	—	—	—
<i>Daphnia</i> sp.	0,3	0,007	—	—	—	—
<i>Bivalvia, larvae</i>	—	—	6	0,02	—	—
<i>Balanus, larvae</i>	—	—	13	0,08	—	—
<i>Polychaeta, larvae</i>	—	—	0,2	0,001	—	—
<i>Nematoda</i>	1	0,05	0,5	0,02	2	0,87
Гидромедузы	1	0,5	—	—	—	—
Эфиры сцифомедуз	—	—	0,1	0,44	—	—
Pisces ova, larvae	—	—	0,1	0,06	0,2	0,13
Всего:	13354	39,05	6347	24,24	4214	29,42



Рис. 7. Распределение численности (а, $\lg N$ экз. \cdot м⁻³) *Calanipeda aquaedulcis* (а) и *Pseudocalanus elongatus* (б) в Жебриянской бухте и смежном придунайском районе в марте 1996 г.: а - 1 - 1,60-1,79, 2 - 1,79-1,96, 3 - 1,96-2,13, 4 - 2,13-2,30, 5 - 2,30-4,47, 6 - 2,47-2,64; б - 1 - 1,70-2,04, 2 - 2,04-2,38, 3 - 2,38-2,72, 4 - 2,72-3,06, 5 - 3,06-3,40, 6 - 3,40-3,74.

На восточном участке придунайского взморья структура комплекса, по сравнению с бухтой, была несколько обедненной. В состав зоопланктона входило 13 таксонов, из которых 3 пресноводно-солонатоводные формы. Доминирующее положение занимал морской представитель - *P. elongatus* (70% по численности и 71% по биомассе). Более высокие показатели численности и биомассы располагались со стороны открытых участков моря, т.е. в заключительной зоне трансформации (см. рис. 6 а,б). Несмотря на значительные отличия в видовом разнообразии, количественное развитие зоопланктона в бухте и на восточном взморье практически не имело существенных отличий (см. табл. 9). В дельте Дуная в структуру зоопланктона входило 21 таксон, подавляющая часть которых (76,2%) относилась к пресноводному и солонатоводному комплексам. Морской комплекс был представлен единичными экземплярами акарции и гидромедуз. По сравнению с бухтой и восточным участком придунайского взморья, здесь развитие зоопланктона было несколько выше: численность преобладала в 2 и 3 раза, соответственно. Различия по биомассе были менее значимыми.

В летний период структура зоопланктона бухты приобретает новые качественные и количественные характеристики (табл. 10).

Она значительно обедняется (17 таксонов против 26). Доля оставшихся весенних видов составляла 12%. Из сообщества исчезает подавляющее большинство представителей пресноводного и солонатоводного комплексов. Появляется целый ряд видов, не встречавшихся весной. Произошла также смена доминантного вида. Значительно возросла роль появившейся ночесветки, биомасса которой составила 84,6%. Однако, как отмечалось выше, бывают такие годы, когда в летний период, в силу особых условий здесь не наблюдается ее развития. По численности преобладают личинки двустворчатых моллюсков (61,08%). К лету происходит также увеличение общего развития зоопланктона: численность возросла почти в 20, а биомасса в 97 раз. Самые высокие показатели численности и биомассы располагались в южной части бухты (рис. 8), где особенно выделялся район порта Усть-Дунайск. Здесь же была высокая численность ночесветки (рис. 9а). При этом другой вид - *P. polyphemoides*, характерный для загрязненных и евтрофных вод, на акватории, прилегающей к порту, отсутствовал. Нарастание его численности происходило в направлении западного побережья (рис. 9 б).

На смежной акватории - восточном придунайском взморье, произошло увеличение общей численности и биомассы в 8,8 и 30,2 раза, соответственно. Однако качественное и количественное развитие зоопланктона здесь было значительно ниже, чем в бухте. Как и в бухте, по численности доминировали личинки двустворчатых моллюсков (52,9%), а по биомассе - ночесветка (90,0%). Обилие ночесветки, как и *P. polyphemoides*, увеличивалось в сторону открытых участков моря. В придунайском районе с удалением от прибрежной зоны в сторону открытых участков моря происходило нарастание общей численности зоопланктона (рис. 10а). Биомасса также уменьшалась с удалением от бухты, а нарастание ее происходило в районе о. Змеиный и восточнее (рис. 10б).

Распределение биомассы в придунайском районе было более мозаичным, чем численности. Общая численность зоопланктона здесь составляла 222592 экз. · м⁻³, а биомасса - 9772,79 мг · м⁻³, что значительно выше (в 2 и 4 раза, соответственно), чем в бухте. Как в бухте и прилегающем участке взморья, здесь преобладание по численности принадлежало личинкам двустворчатых моллюсков (59,5%), а по биомассе - ночесветке (95,3%).

Осенью структура зоопланктона резко обедняется (табл. 11). В ее состав входит почти в 2 раза меньшее количество таксонов, чем летом.

Как и летом, преобладают личинки бентосных организмов. По численности они составляли 80%, а по биомассе - 79%. Общая численность зоопланктона, по сравнению с летом, сократилась в 5,5, а биомасса - в 22,3 раза. Наиболее высокие показатели численности и биомассы располагались на северо-востоке от Прорвы и у Сасыка, а минимальные - в районе Усть-Дунайска (рис. 11). Аналогичные изменения произошли и на смежном участке моря: численность уменьшилась почти в 2 раза, а биомасса - в 11 раз. Увеличение показателей численности и биомассы шло от рукавов Прорва и Потаповского, а с удалением от берега они снижались. В дельте Дуная также наблюдалось уменьшение развития зоопланктона при значительном снижении видового разнообразия (в 2 раза). Общая численность зоопланктона сократилась почти в 3 раза, а биомасса осталась в тех же пределах, что и летом.

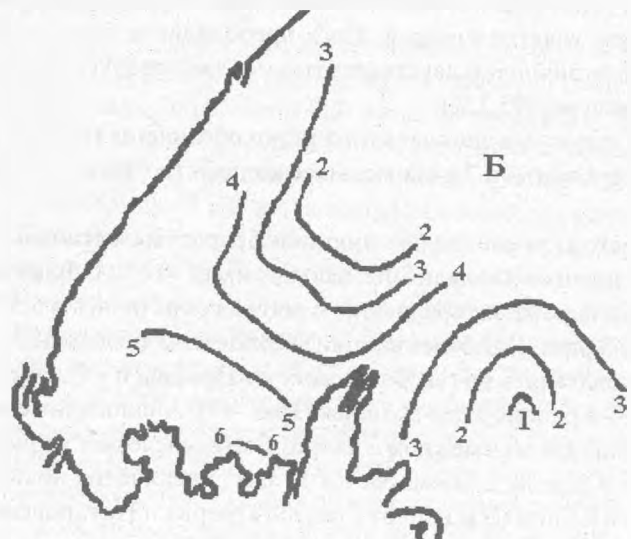
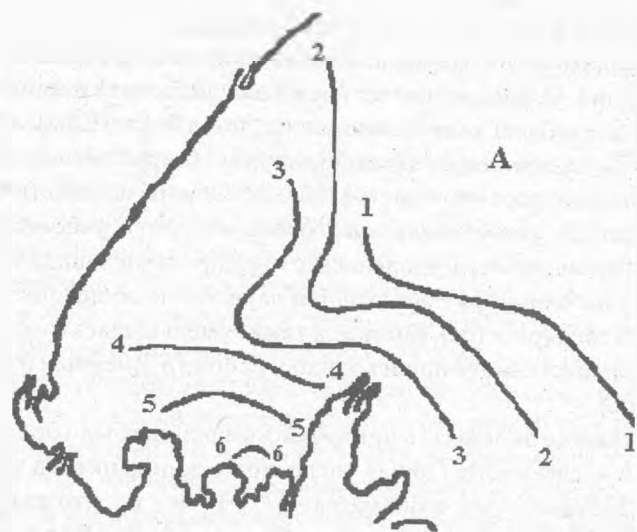


Рис. 8. Распределение численности (а, $\lg N$ экз. \cdot м⁻³) и биомассы (б, $\lg B$ мг \cdot м⁻³) зоопланктона в Жебриянской бухте и смежном придунайском районе в июне 1996 г.: а - 1 - 4,40-4,60, 2 - 4,60-4,80, 3 - 4,80-5,00, 4 - 5,00-5,20, 5 - 5,20-5,40, 6 - 5,40-5,60; б - 1 - 2,58-2,77, 2 - 2,77-2,97, 3 - 2,97-3,16, 4 - 3,16-3,36, 5 - 3,36-3,55, 6 - 3,55-3,75.



Рис. 9. Распределение численности ($\lg N$ экз. \cdot м⁻³) *Noctiluca miliaris* (а) и *Pleopsis polyrhethoides* (б) в Жебриянской бухте и смежном придунайском районе в июне 1996 г.: а - 1 - 3,54-3,76, 2 - 3,76-3,99, 3 - 3,99-4,21, 4 - 4,21-4,44, 5 - 4,44-4,66, 6 - 4,66-4,89; б - 1 - 2,38-2,68, 2 - 2,68-2,98, 3 - 2,98-3,28, 4 - 3,28-3,58, 5 - 3,58-3,88, 6 - 3,88-4,18.

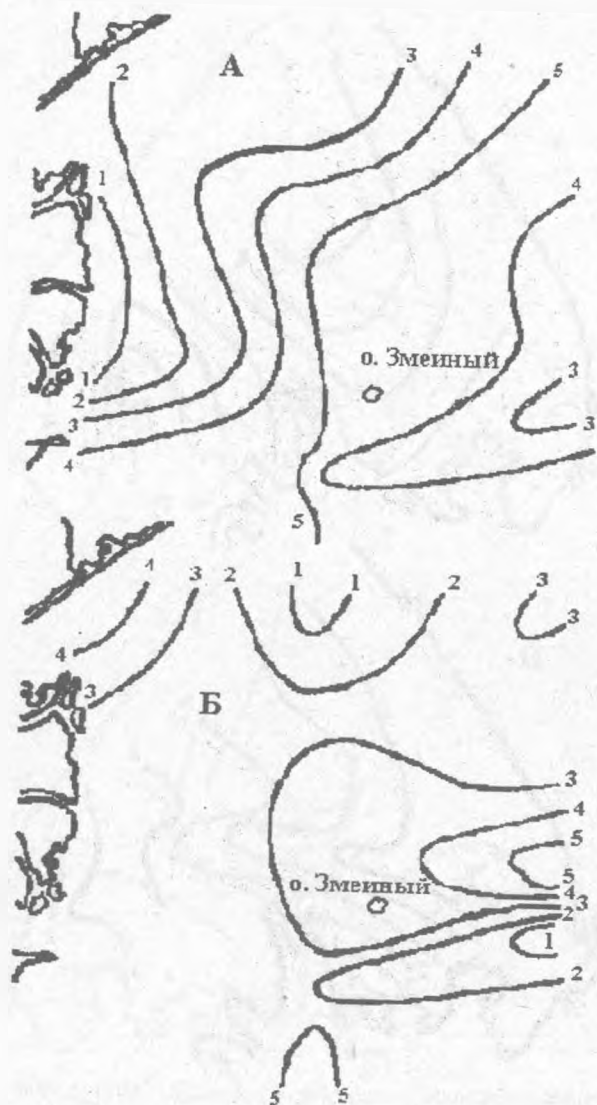


Рис. 10. Распределение численности (а, $\lg N$ экз. \cdot м⁻³) и биомассы (б, $\lg B$ мг \cdot м⁻³) зоопланктона в придунайском районе северо-западной части Черного моря в июне 1996 г.: а - 1 - 4,31-4,69, 2 - 4,69-5,07, 3 - 5,07-5,45 4 - 5,45-5,83, 5 - 5,83-6,22; б - 1 - 2,45-2,85, 2 - 2,85-3,25, 3 - 3,25-3,65, 4 - 3,65-4,05, 5 - 4,05-4,45.

Таблица 10. Состав, численность (N , экз. \cdot м⁻³) и биомасса (B , мг \cdot м⁻³) зоопланктона Жебриянской бухты и смежных с ней речных (дельта Дуная) и морских (восточная часть придунайского взморья) участков в июне 1996 г.

Таксоны	Жебриянская бухта		Смежные участки			
	N	B	реки		моря	
	N	B	N	B	N	B
<i>Noctiluca miliaris</i>	34224	1984,90	—	—	13777	799,08
<i>Tintinnopsis mucicola</i>	—	—	—	—	22	0,02
<i>Synchaeta</i> sp.	87	0,02	—	—	—	—
<i>Brachionus calyciflorus</i>	—	—	2264	14,73	—	—
<i>B. quadridentatus</i>	—	—	23	0,04	—	—
<i>Keratella cochlearis</i>	—	—	46	0,01	—	—
<i>K. quadrata</i>	—	—	1306	0,52	—	—
<i>Pleopis polyphemoides</i>	4547	40,93	23	0,21	618	5,56
<i>Bosmina longirostris</i>	—	—	68	0,68	—	—
<i>Acartia clausi</i>	542	8,63	—	—	357	5,68
<i>Pseudocalanus elongatus</i>	98	2,62	—	—	43	1,43
<i>Eurytemora affinis</i>	—	—	773	3,31	—	—
<i>Heterocore caspia</i>	—	—	—	—	22	0,69
<i>Oithona similis</i>	12	0,07	—	—	—	—
<i>Cyclops strenuus</i>	20	1,95	542	54,20	—	—
<i>Harpacticoida</i>	3598	28,79	68	0,54	62	0,49
<i>Balanus, larvae</i>	3214	19,29	—	—	2447	14,68
<i>Bivalvia, larvae</i>	75434	226,50	28086	84,26	19652	58,96
<i>Gastropoda, larvae</i>	1031	7,22	689	4,98	—	—
<i>Polychaeta, larvae</i>	577	3,46	—	—	99	0,60
— <i>Polydora ciliata</i>	538	3,23	—	—	77	0,47
— <i>Nereis succinea</i>	39	0,23	—	—	22	0,13
<i>Oikopleura dioica</i>	144	0,86	—	—	65	0,39
<i>Nematoda</i>	—	—	115	4,36	—	—
Эфиры сцифомедуз	0,7	2,33	—	—	—	—
<i>Pisces ova, larvae</i>	39	19,50	—	—	0,8	0,38
Всего:	123489	2347,07	34003	167,84	37165	887,96

Итак, как в дельте Дуная, так и в Жебриянской бухте и придунайском взморье, в развитии зоопланктона четко прослеживается сезонная динамика. Она проявляется в его качественных и количественных характеристиках. Весной в структуре зоопланктона реки отмечается высокое видовое разнообразие. Благодаря чему в этот период возрастает качественное обилие в бухте и на взморье. Наибольшего количественного развития во всех акваториях зоопланктон достигает летом,

т. е. спустя несколько месяцев после весеннего половодья и развития фитопланктона.

Таблица 11. Состав, численность (N, экз. \cdot м³) и биомасса (B, мг \cdot м³) зоопланктона Жебриянской бухты и смежных с ней речных и морских участков в октябре 1996 г.

Таксоны	Жебриянская бухта		Смежные участки			
	N	B	реки		морья	
			N	B	N	B
<i>Noctiluca miliaris</i>	112	5,61	-	-	-	-
<i>Favella ehrenbergi</i>	-	-	-	-	39	0,18
<i>Synchaeta sp.</i>	3735	9,73	-	-	3615	8,32
<i>Brachionus calyciflorus</i>	-	-	1160	7,54	-	-
<i>Pleopsis polyphemoides</i>	24	0,21	-	-	35	0,31
<i>Acartia clausi</i>	515	6,58	-	-	458	3,26
<i>Eurytemora affinis</i>	-	-	339	3,02	-	-
<i>Cyclops strenuus</i>	-	-	355	35,53	-	-
<i>Harpacticoida</i>	11	0,09	-	-	39	0,31
<i>Balanus, larvae</i>	4549	27,29	78	0,47	3392	20,35
<i>Bivalvia, larvae</i>	8312	24,91	-	-	8058	24,18
<i>Gastropoda, larvae</i>	-	-	10997	76,98	29	0,20
<i>Polychaeta, larvae</i>	5049	30,30	-	-	3635	21,82
<i>-Polydora ciliata</i>	3861	23,17	-	-	2214	13,29
<i>-Nereis succinea</i>	1188	7,13	-	-	1421	8,53
<i>Oikopleura dioica</i>	11	0,06	47	0,28	223	1,34
Всего:	22318	104,78	12976	123,82	19523	80,27

Годовые запасы общего зоопланктона в бухте составляют 866 т. Запасы кормового зоопланктона несколько меньше - 170 т. В сезонном аспекте запасы зоопланктона (общего и кормового) распределяются следующим образом: весна - 25 т., лето - 2464 т. (380 т.), осень - 110 т. (103 т.).

О видовом разнообразии зоопланктона в Жебриянской бухте, восточном участке придунайского взморья и в дельте Дуная в разные периоды года дает представление табл. 12.

Итак, в бухте зарегистрировано 32 таксона, на восточном участке придунайского взморья - 23 и в дельте Дуная - 30. Наиболее богат таксонами на всех участках является весенний зоопланктон, а самым бедным - осенний. Его богатство обуславливается, в основном, присутствием в структуре представителей пресноводного и солоноватоводного комплексов. На их долю в бухте приходилось 47%, а на взмо-

рье - 22%. За период 1990-1996 гг. количество встреченных таксонов на данных акваториях было значительно большим. Общее количество разного уровня таксонов, обнаруженных в дельте Дуная, бухте и восточном участке придунайского взморья, составляло - 62: дельта Дуная - 33, бухта - 49 и взморье - 36.

Таблица 12. Качественный состав зоопланктона дельты Дуная, Жебриянской бухты и придунайского взморья за период 1990 - 1995 гг. и в разные сезоны 1996 г.

Таксоны	Дельта Дуная			Жебриянская бухта			Придунайское взморье		
	В	Л	О	В	Л	О	В	Л	О
I									
<i>Noctiluca miliaris</i>					+	+			+
<i>Tintinnopsis cylindrica</i>					+				+
<i>T. miunieri</i>									
<i>T. mucicola</i>	+			+					
<i>Favella ehrenbergi</i>									+
<i>Asplanchna priodonta</i>	+								
<i>Brachionus angularis</i>									
<i>B. a.bidens</i>	+			+					
<i>B. calyciflorus</i>		+	+	+					
<i>B. quadridentatus</i>	+	+		+					
<i>B. plicatilis</i>	+			+					
<i>Filinia terminalis</i>	+								
<i>Keratella cochlearis</i>		+		+					
<i>K. cruciformis</i>				+					
<i>K. quadrata</i>	+	+		+					
<i>K. valga</i>									
<i>Notholca acuminata</i>	+			+					
<i>N. squamula</i>	+								
<i>Polyarthra remata</i>	+			+					
<i>Synchaeta</i>	+			+		+	+	+	+
<i>Alona quadrangularis</i>									
<i>Daphnia longispina</i>									
<i>D. sp.</i>	+								
<i>Diaphanosoma brachiurum</i>									
<i>Bosmina longirostris</i>	+	+							
<i>Chydorus sphaericus</i>				+					
<i>Ceriodaphnia affinis</i>									

Таблица 12 (продолжение). Качественный состав зоопланктона дельты Дуная, Жебриянской бухты и придунайского взморья за период 1990 - 1995 гг и в разные сезоны 1996 г.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Polyphemus pedicularis</i>	+						+		
<i>Podon leuckarti</i>								+	
<i>Pleopis polyphemoides</i>		+			+	+		+	
<i>Acartia clausi</i>	+			+	+	+	+	+	+
<i>Calanipeda aquae-dulcis</i>				+			+		
<i>Calanus ponticus</i>				+			+		
<i>Cyclops strenuus</i>		+	+		+				
<i>C. vicinus</i>	+			+					
<i>C. sp.</i>									
<i>Diaptomus gracilis</i>	+						+		
<i>Eurytemora affinis</i>		+	+						
<i>E. velox</i>									
<i>Heterocope caspia</i>								+	
<i>Harpacticoida</i>		+		+	+	+	+	+	+
<i>Oithona similis</i>				+	+		+		
<i>Paracalanus parvus</i>									
<i>Pseudocalanus elongatus</i>	+			+	+		+	+	
<i>Oikopleura dioica</i>			+		+	+		+	+
<i>Sagitta setosa</i>									
<i>Pleurobrachia rhodopis</i>									
<i>Mnemiopsis mccradyi</i>									
<i>Actinotrocha</i>									
<i>Balanus, larvae</i>			+	+	+	+		+	+
<i>Bivalvia, larvae</i>		+		+	+	+		+	+
<i>Gastropoda, larvae</i>		+	+		+				+
<i>Polychaeta, larvae</i>									
- <i>Polydora ciliata</i>				+	+	+		+	+
- <i>Nereis succinea</i>				+	+	+		+	+
<i>Decapoda, larvae</i>									
<i>Cumacea</i>									
<i>Isopoda</i>									
<i>Nematoda</i>	+	+		+					
Гидромедузы	+						+		
Эфиры сцифомедуз				+	+		+		
<i>Aurelia aurita</i>									
<i>Pisces ova, larvae</i>				+	+		+	+	

Примечание: В - весна, Л - лето, О - осень.

В мае и августе 1998 г. в северо-западной части Черного моря (включая придунайский район) обнаружен новый вселенец из *Stenophora* отряда *Beroidea* — *Beroe ovata*.

Одной из особенностей придунайского приустьевого района является также то, что в отличие от приднепровско-бугского приустьевого района, в годы с разной величиной речного стока в эту акваторию проникает значительно меньшее количество пресноводных таксонов и их распространение, за исключением солоноватоводной синхеты, более ограничено в пространстве (рис. 12-14).



Рис. 11. Распределение численности (а, $\lg N$ экз. \cdot m^{-3}) и биомассы (б, $\lg B$ мг \cdot m^{-3}) зоопланктона в Жебриянской бухте и смежном участке придунайского района в октябре 1996 г.: а - 1 - 3,43-3,66, 2 - 3,66-3,89, 3 - 3,89-4,12, 4 - 4,12-4,35, 5 - 4,35-4,58, 6 - 4,58-4,81; б - 1 - 1,28-1,47, 2 - 1,47-1,67, 3 - 1,67-1,86, 4 - 1,86-2,06, 5 - 2,06-2,25, 6 - 2,25-2,45.

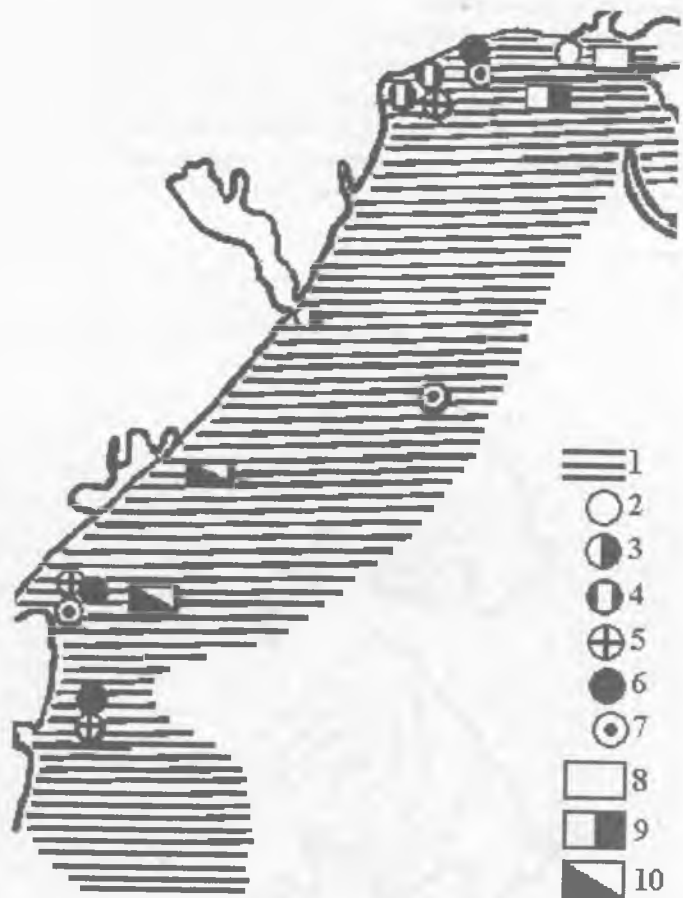


Рис. 12. Районы обнаружения представителей пресноводного и солоноватоводного комплексов зоопланктона в северо-западной части Черного моря весной в многогодный период (1983 г.): 1 - *Synchaeta*, 2 - *Eurytemora*, 3 - *Heterocope*, 4 - *Diaphanosoma*, 5 - *Keratella*, 6 - *Brachionus*, 7 - *Proales*, 8 - *Bosmina*, 9 - *Cyclopoida*, 10 - *Asplanchna*.

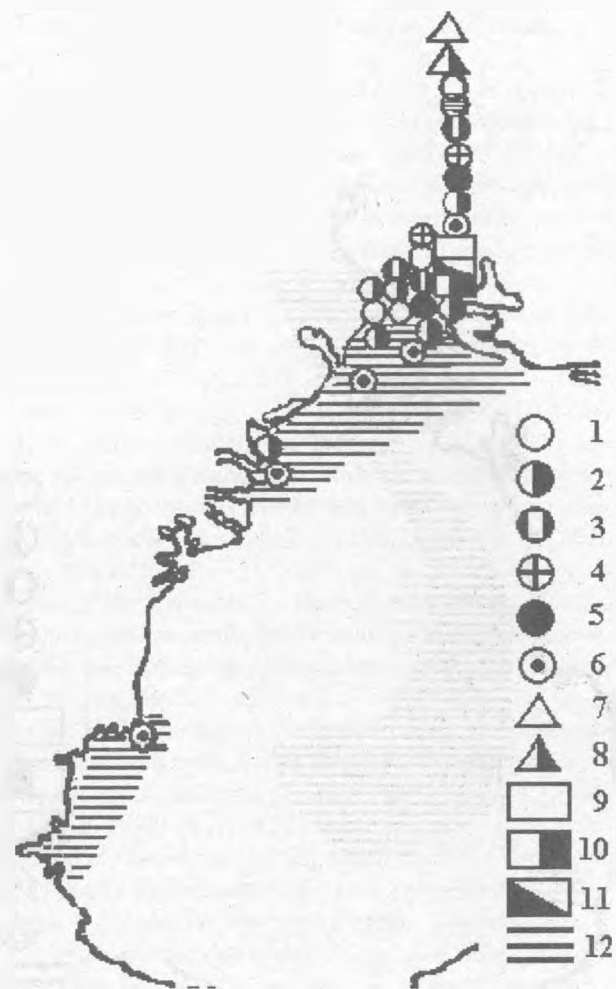


Рис. 13. Районы обнаружения представителей пресноводного и солоноватоводного комплексов зоопланктона в западной половине Черного моря весной в средний по водности период (1987 г.): 1 - *Calanipeda*, 2 - *Eurytemora*, 3 - *Asplanchna*, 4 - *Heterocope*, 5 - *Brachionus*, 6 - *Keratella*, 7 - *Podonevadne*, 8 - *Chydorus*, 9 - *Bosmina*, 10 - *Daphnia*, 11 - *Filinia*, 12 - *Synchaeta*.

Литература

1. Архипов А.Г., Мальцев В.И. Распределение и биомасса мнемипсиса в западной части Черного моря // Рыбное хозяйство. - 1990. - №10. - С.30-33.
2. Виноградов М.Е., Шушкина Е.А., Мусаева Э.И., Сорокин П.Ю. Новый вселенец в Черное море - гребневик *Mnemiopsis leidyi* (A. Agasiz) (stenophora: Lobata) // Океанология. - 1989. - Т.29, №2. - С.293-299.
3. Воробьева Л.В. Влияние трансформации водных масс предгорных районов северозападной части Черного моря на распределение зоопланктона // Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов УРСР. - К.: Наукова думка, 1970. - С.49-54.
4. Воробьева Л.В. Особенности распределения зоопланктона в зонах трансформации вод Дуная и Днестра. // Автореферат диссертации канд. биол. наук. - Одесса, 1970а. - 30с.
5. Воробьева Л.В., Гаркавая Г.П., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н., Синегуб И.А., Теплинская Н.Г. Жербянская бухта как модель экологических процессов в импактных зонах северо-западной части Черного моря // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. Сборник научных трудов. - Севастополь: МГИ НАН Украины, 1995. - С.44-55.
6. Гавришова Н.А., Енаки И.Г., Иванов А.И. Бактерио- и фитопланктон как показатели эвтрофирования Дуная на советском участке / Антропогенное эвтрофирование природных вод. Тез. докл. Черно-голова: Наука, 1977. - Сер.2. - С.175-179.
7. Гавришова Н.А., Иванов А.И. Бактерио- и фитопланктон устьевых областей Днестра и Дуная в многолетней динамике // 2 Всесоюз. конф. по биологии шельфа (Севастополь, 1978 г.). Тез. докл. -К.: Наук. думка, 1978. - ч. 1. - С.27-28.
8. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Буланая З.Т. Современные тенденции изменений гидрохимических условий северо-западной части Черного моря // Изменчивость экосистемы Черного моря: Естественные и антропогенные факторы // Отв. ред. М.Е. Виноградов. - М.: Наука, 1991. - С.299-306.
9. Гаркава Г.П., Богатова Ю.И. Влияние урбанизации на гидрохимические особенности украинского шельфа Черного моря // Урбанизация как фактор изменений биогеоценологического покрова. Материалы конференции, Львів - Яремча 21-23 вересня 1994 р. - Львів: Академічний Експрес. - 1994. - С.74-75.



Рис. 14. Районы обнаружения представителей пресноводного и солоноватоводного комплексов зоопланктона в северо-западной части Черного моря весной в маловодный период (1986 г.): 1 - *Keratella*, 2 - *Eurytemora*, 3 - *Trichocerca*, 4 - *Heteroscope*, 5 - *Brachionus*, 6 - *Filinia*, 7 - *Polyarthra*, 8 - *Asplanchna*, 9 - *Podonevadne*, 10 - *Calanipeda*, 11 - *Synchaeta*.

10. Гололобов Я.К. О биогенных элементах в воде Черного моря и причинах изменений некоторых средних гидрохимических величин в трофическом слое водной толщи моря. // Тр. Аз.-Черномор. НИИ мор. рыб. хоз-ва и океанографии. - 1955. - Вып. 16. - С.3-23.
11. Голтарев Н.П., Бортник В.Н., Заклинский Г.В., Потаичук М.С. Современные и ожидаемые антропогенные изменения гидрологического и гидрохимического режимов южных морей СССР // Природная среда и биологические ресурсы морей и океанов. Материалы Всесоюз. конф. "Природная среда и проблемы изучения, освоения и охраны биологических ресурсов морей СССР и Мирового океана" (Ленинград, май 1984). - Л.: 1984. - С.32-33.
12. Горбатенький Г.Г., Бызгу С.Е. Зубкова Е.И. Влияние антропогенного эвтрофирования на состав и качество воды Дубоссарского водохранилища как водоема комплексного использования // Антропогенное эвтрофирование природных вод. Тез. докл. Черногловка: Наука. - 1977. - Ч.2. - С.110-115.
13. Денисова А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования. - К.: Наук. думка, 1979. - 292 с.
14. Грузов Л.Н., Люмкис П.В., Нападовский Г.В. Исследования пространственно-временной структуры планктонных полей северной половины Черного моря в 1992-93 гг. // Исследования экосистемы Черного моря. - Одесса: "ИРЭН-Полиграф", 1994. - Вып.1. - С.94-127.
15. Димов И. Формиране на състава и количеството на зоопланктона пред западните брегове на Черно море / Известия на Централния Н.И. ин-т по рибовъдство и риболов. - Варна, 1963. - № 3. - С.5-29.
16. Зайцев Ю.П., Полищук Л.Н. Вспышка численности медузы *Aurelia aurita* (L.) в Черном море // Экология моря. - К.: Наук. думка, 1984. - Вып. 17. - С.35-47.
17. Зайцев Ю.П., Воробьева Л.В., Александров Б.Г. Новый вид *Stenophora* в Черном море / Одесское отделение Ин-та биол. южн. морей. - Одесса, 1988. - Деп. в ВИНТИ 6.07.88, №5846. - 5 с.
18. Зайцев Ю.П., Полищук Л.Н., Настенко Е.В., Трофанчук Г.М. Сверхвысокие концентрации ночесветки *Noctiluca miliaris* Suriray в нейстали Черного моря // Докл. АН УССР. - Сер. Б. - 1988. - №10. - С.67-69.
19. Коваль Л.Г. Зоопланктон // Биология северо-западной части Черного моря. - К.: Наук. думка, 1967. - С.76-94.
20. Коваль Л.Г. Изучение южных морей и примыкающих к ним водоемов // Биологические проблемы океанографии южных морей. - К.: Наук. думка, 1969. - С.89-93.
21. Коваль Л.Г. Зоо- и некрозоопланктон Черного моря. - К.: Наук. думка, 1984. - 125 с.
22. Консулов А.С. Сезонна и годишна динамика на зоопланктона на Черно море пред българския бряг през периода 1967-1970 г. // Proceedings of the research Institute of Oceanography and Fisheries. - Varna. 1974. - Vol. XIII. - С.51-62.
23. Консулов А.С. Зоопланктонът на Черно море пред българския бряг / Автореф. дис. к.б.н. - София, 1975. - 47с.
24. Консулов А.С. Сезонна и годишна динамика на зоопланктона на Черно море пред българския бряг за времето от 1974-1984 г. // Океанология (Oceanology). - София, 1986. - Т.16. - С.26-34.
25. Маринов Т., Петрова-Караджова В.И., Консулов А. Съвременно състояние и насоки на хидробиологичните изследвания в Черно море // Известия на Института по рибни ресурси. - Варна, 1984. - Т. XXI. - С.55-68.
26. Настенко Е.В. Формирование планктонных комплексов предустьевых акваторий северо-западной части Черного моря в условиях влияния антропогенных факторов // Тез. докл. II Всесоюз. конф. по биологии шельфа (Севастополь, 1978). - К.: Наук. думка, 1978. - Ч.1. - С.70-71.
27. Нестерова Д.А. Развитие перидинеи *Euximiaella cordata* и явление "красного прилива" в северо-западной части Черного моря. - Биология моря, 1979. - № 5. - С. 24-29.
28. Петипа Т.С., Сажина Л.И., Делало Е.П. Вертикальное распределение зоопланктона в Черном море в связи с гидрологическими условиями // ДАН СССР. - 1959. - Т. 133, № 4. - С.964-967.
29. Петипа Т.С., Сажина Л.И., Делало Е.П. Распределение зоопланктона в Черном море в 1951-1956 гг. // Океанология. - 1963. - Т. 3. - Вып. 4. - С.110-129.
30. Полищук Л.Н., Настенко Е.В., Гаркавая Г.П. Некоторые особенности современного состояния пелагического и нейстонного зооценозов Черного моря // Экология моря. - 1984. - Вып. 18. - С.25-34.
31. Полищук Л.Н. "Красный прилив" в Черном море, вызванный *Noctiluca miliaris* Suriray / Одесское отд. Ин-та биологии южн. морей. - Одесса, 1988. - Деп. в ВИНТИ 27.04.88, № 3927. - 31с.

32. Полищук Л.Н., Настенко Е.В., Трофанчук Г.М. Современное состояние мезо- и макрозоопланктона северо-западной части и смежных акваторий Черного моря // *Материалы Всесоюзной конф. "Социально-экологические проблемы Черного моря"* (Керчь, 26-28 марта 1991 г.). - 1991. - Ч. 1. - С.18-19.
33. Переладов М.В. Некоторые наблюдения за изменением биоценозов Судакского залива Черного моря // *Тез. докл. 3 Всесоюз. конф. по морской биологии (Севастополь, 18-20 октября)*. - Киев: 1988. - Ч. 1. - С.237-238.
34. Рождественский А.В. Особенности гидрохимии нижнего Дуная в 1975 году (по наблюдениям в районе Русе и Рени) и их отражение в Черном море. - В кн. XIX Jubilaumstagung Donauforschung, Bulgarien, 26.IX-2 X. 1976, Sofia: V. Akad. Wiss., 1979. - P.81-86.
35. Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. "Цветение воды" и эвтрофирование. - К: *Наук. думка*, 1978. - 231 с.
36. Сиренко Л.А. Основные факторы естественного и антропогенного эвтрофирования водохранилищ и его последствия // *Вод. Ресурсы*. - 1979, № 4. - С.15-30.
37. Теплинская Н.Г., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н., Настенко Е.В. Планктонные сообщества дунайского приустьевое участка северо-западной части Черного моря в весенний период / *Ин-т биологии южн. морей АН Украины им. А.О. Ковалевского. Одесс. фил.* - Одесса, 1993. - *Деп. в ВИНТИ* 14.07.93, № 1996-В 93. - 46 с.
38. Тимченко В.М. Абиотические компоненты экосистемы. Гидрологический режим // *Днепроовско-Бугская эстуарная экосистема*. - Киев: *Наук. думка*, 1989. - С.13-30.
39. Федорина А.И. Динамика развития зоопланктона Черного моря и причины ее обуславливающие / *ВНИРО*, - М., 1978. - *Деп. в ВЦНИИ-ТЭЧРХ* 11.05.78. № 149. - 49 с.
40. Цихон-Луканина Е.А., Резниченко О.Г., Лукашева Т.А. Количественные закономерности питания черноморского гребневика *Mnemiopsis leidyi* // *Океанология*. - 1991. - Т. 31. - Вып. 2. - С.272-276.
41. Шушкина Э.А., Мусаева Э.И. Численность и биомасса гребневика *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) нового вселенца в Черное море (сентябрь 1988) // *Деп. в ВИНТИ* 26.12.88, № 8971. - 13 с.
42. Шушкина Э.А., Николаева Г.Г., Лукашева Т.А. Изменение структуры планктонного сообщества Черного моря при массовом развитии гребневика *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) // *Журнал общей биологии*. - 1990. - Т. 51, № 1. - С.54-60.
43. Шушкина Э.А., Виноградов М.Е. Изменения планктонного сообщества открытых районов Черного моря и воздействие на него гребневика мнемииопсиса (1978-1989 гг.) // *Изменчивость экосистемы Черного моря. Естественные и антропогенные факторы*. - М.: *Наука*, 1991. - С.248-262.
44. Яковлев В.Н. Социально-экологические проблемы Черного моря // *Материалы Всесоюзной конф. "Социально-экологические проблемы Черного моря"* (Керчь, 26-28 марта 1991 г.). - Керчь: 1991. - Ч. 1. - С.4-11.
45. Cautis J., Jliescu M., Luscan S. Observatii asupra repartitiei si dinamicii ihtioplanctonului in dreptul litoralului rominesc, in perioada 1960-1963 / *Buletinul Institutului de Cercetari si proiectari piscicole*. - 1964, n. 1.
46. Margineanu C. Sur l'ecologie de quelques especes du zooplancton de la Mer Noire, la Mediterranee et l'Ocean Atlantique / *Extrait travaux Museum d'histoire naturelle Grigoire Antina*. - Bucarest, 1968. -V. 8. - P.273-278.
47. Petran A. Sur la dynamique du zooplancton du littoral roumain de la Mer Noire (la zone jusqu'a 30 m de profondeur) // *Extrait de Travaux du Museum d'histoire Naturelle Grigoire Antina*. - Bucarest, 1968. - Т. 8. - p.265-271.
48. Petran A. Quelques caracteristiques et la dynamique du zooplancton de la zone de faible profondeur du littoral roumain de la Mer Noire // *Rapp Comm. int. Mer Medit.* - 1968a. - Vol. 19. - P. 411-413.
49. Petran A. Quelques considerations sur la structure des populations du littoral roumain de la Mer Noire (zone a petite profondeur) // *Rapp. et proc.-verb.reun. Comnis int. explor.sci Mer mediterr.*, - Monaco, 1977, 24, №10. - P.151-152.
50. Petran A. Evolution des biomass du zooplancton de la Mer Noire dans le secteur situe devant les embouchures du Danube, pendant les annees 1977-1980 // *Rapp. et proc.-verb. reun. Commis int. Explor. sci Mer mediterr.* - Monaco. -1985. -Т. 29, fasc. 9. -P.319-320.
51. Porumb F. Variations quantitatives du zooplancton dans les eaux neritiques roumaines de la Mer Noire // *Cercetari Marine*. - I.R.C.M. - Nr. 13. - 1980. - P.103-123.
52. Porumb F. Developpement du zooplancton dans les conditions d'eutrophisation les eaux du littoral Roumain de la Mer Noire // *V jurneles*

- Etud. Pollutions, cagliari, Commis int explor. sci Mer mediterr. - Monaco, Cagliari, 1980a. - P.881-886.*
53. Porumb F. *Presence de quelques especes mediterraneennes dans le zooplancton de la Mer Noire // Rev. roum. biol.ser.biol. animale. Acad R.S.R. - 1980b. - T. 25, № 2. - P.167-170.*
54. Porumb F. *Structure trophique du zooplancton dans les eaux du littoral Roumaine de la Mer Noire // Rapp.et proc.-verb. reun. Commis int explor sci Mer mediterr. - Monaco. - 1985. - T. 29, fasc. 9. - P.225-226.*
55. Remane A. *Die Bleck wasser fauna / Zool. Ans. Suppl. - 1934. - T.7. - P.34-74.*

УДК 574.583:551.465.7(262.5 + 282.243.7)

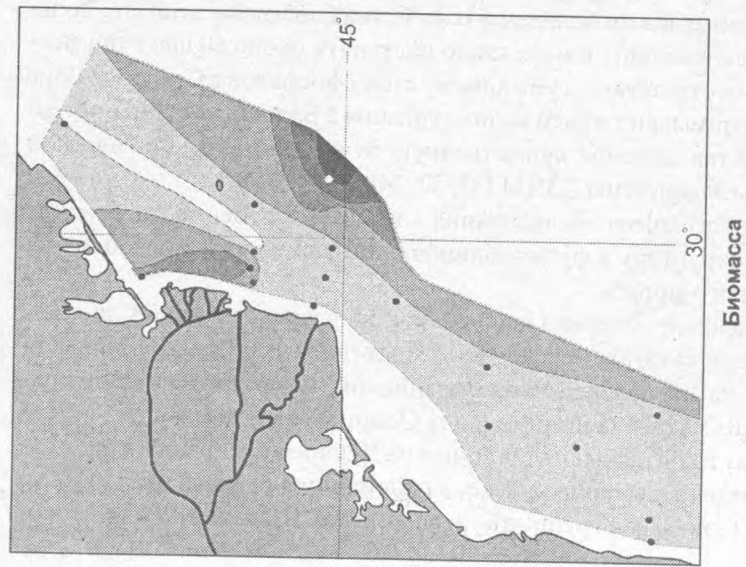
ВЛИЯНИЕ ДУНАЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ МЕЗОЗООПЛАНКТОНА ЧЕРНОГО МОРЯ

Б.Г. Александров

Известно, что высокая биологическая продуктивность северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) обусловлена значительными объемами стока впадающих рек: Дуная, Днестра, Южного Буга и Днепра, в среднем - около 270 км³ в год, что составляет 50 % суммарного притока для всего моря. На долю Дуная при этом приходится 77,4 % стока рек СЗЧМ, или 36 % естественного притока пресных вод Черного моря [14]. Широкомасштабное антропогенное эвтрофирование, отмечаемое в море с начала 70-х годов, в первую очередь стало характерным явлением для района Дунай-Днестровского междуречья и в последующие годы охватило более чем треть площади СЗЧМ [34]. Наблюдаемое при этом резкое увеличение первичной продукции было обусловлено выносом большого количества биогенных веществ. Только с Дунаем ежегодно в море стало поступать около 60,000 тонн фосфора, что соответствует суммарному стоку фосфатов в Северное море и в 4 раза превышает объем их поступления в Балтийское [29]. Биогенные вещества вызвали существенную перестройку биологической структуры экосистемы СЗЧМ [27, 32, 34].

Цель настоящего исследования - выявить особенности влияния Дуная на структуру и функционирование сообщества мезозoopланктона Черного моря.

Изложенный материал основан как на ретроспективных данных, так и на результатах исследований, проведенных 18 июля - 1 августа 1995 года на НИС "Профессор Водяницкий" по Международной программе EROS-2000 (European River Ocean System), посвященной специальному изучению влияния Дуная на Черное море. Обобщение данных приведено для придунайского района моря от мыса Калиакра до лиманов Тузловской группы (Бурнас, Алибей, Шаганы) шириной около 20 км.



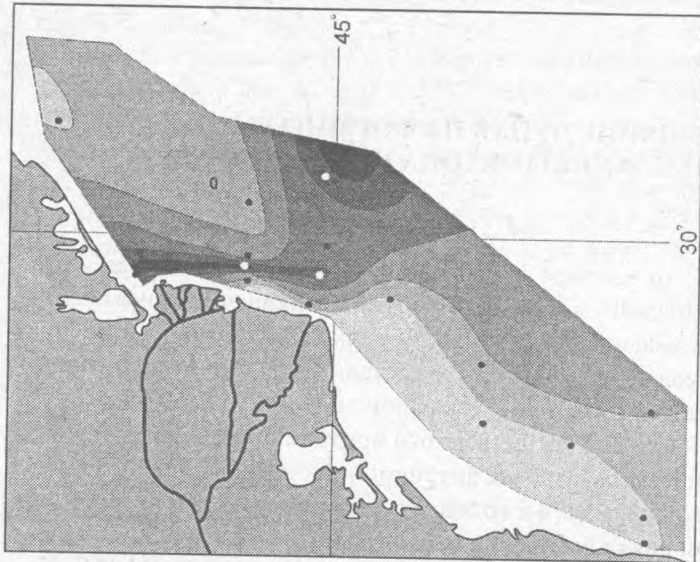
Биомасса

Рис. 1. Распределение общей биомассы мезозoopланктона $\text{мг С} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут.}^{-1}$ в поверхностном слое моря в зоне влияния Дуная.

Скорость потребления пищи

$\text{мг С} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут.}^{-1}$

<10 10-20 20-30 30-40 40-50 >50



МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Описание современного состояния мезозoopланктона выполнено по результатам обработки 44 проб, отобранных вертикальными ловами сетью Джеди (диаметр входного отверстия 36 см, размер ячеек газа 100 мкм) на 19 станциях в районе приустьевых взморья (рис. 1). Сбор проб осуществлялся в верхнем квазиоднородном слое (ВКС), термоклине (ТК) и придонном слое (ПС). Протяженность ловов определялась после установления границ между слоями зондированием распределения температуры и солености.

Средняя биомасса морских видов определялась по данным К.В. Ключарева [13] и Т.С. Петипы [18], пресноводных и солоноватоводных - Ф.Д. Мордухая-Болтовского [14].

Максимальный рацион исследованных организмов рассчитывался по уравнению Молони-Филда [30], продукцию и дыхание - по специально разработанной программе, основанной как на собственных, так и литературных данных [17, 19, 22, 28] с учетом поправок на реальную температуру в период исследований по "нормальной кривой" Круга [19]. Для выражения биомассы, продукции, дыхания и рациона в единицах органического углерода или энергии использовали калорийность гидробионтов [5, 23] и энергетический эквивалент: $1 \text{ мг С} = 44,77 \text{ Дж}$ [3].

Анализ долгопериодных изменений мезозoopланктона выполнен по данным литературных источников за более чем 40 летний период.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пространственное распределение. Оценивая воздействие Дуная на распределение морских гидробионтов наиболее правильно использовать градиентный подход по солености, как одного из основных лимитирующих физических факторов для водных организмов. Ранее проведенные исследования в районе авандельты [7, 10] показали, что зоопланктон достигает максимального развития в заключительной зоне трансформации речных вод. При этом, следуя В.С. Большакову [6], выделялись следующие зоны перехода от пресных к морским водам: основная (с соленостью 0-10‰), гидрофронтальная (10-12‰) и заключительная (12-17‰). Учитывая, что критической соленостью для существования гидробионтов является 5-8‰, при которой отмечается угнетение развития как представителей речной, так и морской фауны,

из-за невозможности их осмотической адаптации [21], особое внимание было обращено на область контакта заключительной зоны с водами, соленостью более 17 ‰. Фактически, данная область представляет собой границу приустьевоего района - зону наибольшей концентрации микроорганизмов, фито- и зоопланктона, макрозообентоса и рыб [10]. В этом смысле, с точки зрения закономерностей распределения гидробионтов, понятие "приустьевой район" морфологически адекватен устьевому взморью - части прибрежной зоны моря, в которой проявляется влияние речного стока и происходит формирование подводной части дельты (ГОСТ 18457-73). Наблюдаемая в последние десятилетия тенденция расширения зон максимальной продуктивности, вследствие увеличения выноса биогенных и органических веществ с речным стоком [11], послужило основанием остановиться на понятии "приустьевой район". Таким образом, приустьевой район рассматривался нами как активная зона контакта реки и моря, где под воздействием речного стока происходит формирование переходной области между физиономически отличными биотическими сообществами пресных и морских вод.

Находясь в зависимости от величины речного стока, площадь этой зоны испытывает определенные колебания. Предельные значения площади, где проявляется прямое влияние вод Дуная на Черное море у поверхности пелагиали составляет не менее 10^5 км^2 [11].

Увеличение числа видов, численности и биомассы зоопланктона в зоне трансформации по сравнению со смежными областями может быть рассмотрено как проявление краевого эффекта на границе сосуществования солоновато водной и морской фаун. Еще в большей степени значение данной зоны проявляется в показателях функциональной активности гидробионтов, а именно в 4-х кратном превышении их продукции, метаболизма и интенсивности потребления пищи (табл. 1). Приведенные особенности позволяют отнести заключительную зону трансформации речных вод к типичному экотону. Дополнительным подтверждением этого является обнаружение видов, встречаемых только в пределах каждой из выделенных зон. В частности, в гидрофронтальной - пресноводных коловраток *Brachionus calyciflorus*, ветвистоусого рачка *Bosmina longirostris* и веслоногих *Cyclop sp.*; заключительной - солоновато водных клadoцер *Podonevadne trigone*, *Podopleuckarti*, не идентифицированных гарпактицид и личинок донных беспозвоночных *Crangon crangon* и *Phoronis euxinicola* (единичное

обнаружение личинок, возможно, свидетельствуют об их случайном распределении); морской - типичных черноморских обитателей, о чем свидетельствуют их названия, копепоид *Calanus ponticus*, *Centropages ponticus*, а также икра и личинки ставриды, *Trachurus mediterranea ponticus* и шпрота, *Sprattus sprattus phalericus*.

Наибольшая стабильность пространственного распределения сообщества экотона "река-море" проявляется в районе устьевоего взморья.

Таблица 1. Характеристики структурно-функциональной организации сообщества мезозоопланктона в зонах трансформации дунайских вод в Черное море: А - гидрофронтальная зона (10-12 ‰), В - заключительная зона (12-17 ‰), С - морские воды (>17 ‰).

Зоны	Номера станций	Показатели структуры			Показатели функционирования		
		Число видов	Численность, экз. · м ⁻³	Биомасса, мг · м ⁻³	Производство, Дж. · м ⁻³ · сут. ⁻¹	Дыхание, Дж. · м ⁻³ · сут. ⁻¹	Потребление, Дж. · м ⁻³ · сут. ⁻¹
А	9, 11	22	5200 ± 3400	210 ± 110	180 ± 100	60 ± 20	360 ± 180
В	5, 6, 8, 10, 17, 18, 19, 22, 23, 26	32	31400 ± 14200	760 ± 290	900 ± 390	230 ± 90	1650 ± 700
С	3, 4, 7, 20, 21, 24, 25	30	6000 ± 1150	710 ± 330	230 ± 40	70 ± 10	470 ± 80

Зона трансформации выдвигалась от рукава Святого Георгия языком в сторону моря на удаление более 70 км. Максимальная биомасса (более $125 \text{ мг С} \cdot \text{м}^{-3}$) и интенсивность потребления пищи ($250\text{-}300 \text{ мг С} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут.}^{-1}$) зарегистрированы у конца "языка" при солености 17 ‰ (см. рис. 1).

Вертикальное распределение пелагических беспозвоночных также соответствовало плотностной стратификации водных масс по фактору солености с двукратным доминированием по структурным и функциональным показателям в приповерхностном слое, средней толщиной 16 м. Количественные значения всех исследованных характеристик зоопланктона пропорционально снижались от 4 до 16 раз в направлении придонного слоя (табл. 2).

Среди особенностей распределения видового состава отмечалось абсолютное доминирование ночесветки, *Noctiluca scintillans* во всех отобранных пробах. Ее средняя численность и биомасса составила соответственно 66,0 и 40,3 % от всего зоопланктона, что подтверждает правильность выделения ночесветки как вида индикатора эвтрофирования [2]. Другим характерным видом в зоне придунайского взморья была кладоцера *Penilia avirostris*, составлявшая в среднем около 30 % биомассы зоопланктона. Типичными обитателями приповерхностного слоя являются личинки донных беспозвоночных, в частности усоногого рака *Balanus improvisus* и полихеты *Polydora ciliata*; термоклина - гребневик *Pleurobrachia rhodopsis*; холодного промежуточного слоя - копеподы *Pseudocalanus elongatus* и *Calanus ponticus*.

Максимальная функциональная активность мезозоопланктона в поверхностном слое объясняется доминированием здесь высокопродуктивных организмов со средней удельной продукцией 0,921 сут.⁻¹, в частности ночесветки, начальных стадий развития неритической копеподы *Acartia clausi* и личинок донных беспозвоночных (см. табл. 2).

Специальные гидробиологические исследования в зоне взаимодействия Дуная и моря позволили обосновать для сообщества макрозообентоса существование в водоемах переднего края дельты экотона типа "река-море". В качестве его характерных признаков, наряду с изменением состава фауны, приводилось превышение средней биомассы более, чем в 4, дыхания - 3, продукции - 4 раза по сравнению со смежными областями [20]. Основываясь на полученных данных, границы приустьевого экотона для пелагической фауны могут быть определены в пределах зоны трансформации речных вод в море с характерным превышением биомассы в 1,1-3,6, дыхания - 3,2-3,8, продукции - 3,9-5,0 раз. Нижняя граница этого экотона, выделяемая в диапазоне солёности 12-17 ‰, совпадает с началом термоклина. Известно, что по слою термоклина проходит граница распределения тепловодной и холодноводной фауны Черного моря, разделяющая области вертикальных миграций большинства видов пелагических беспозвоночных. Принимая во внимание, что даже у выхода крупных рукавов реки в море, где поверхностный слой опресняется до 0,3-0,7 ‰ в районе дельты и до 5-7 ‰ в 10 милях от берега, солёность у дна может оставаться выше 17 ‰ [10], пелагический экотон может рассматриваться как продолжение бентического.

Таблица 2. Особенности вертикального распределения сообщества мезозоопланктона Черного моря в зоне влияния вод Дуная (июль-август 1995 г.).

Нижняя граница водных масс, м	Показатели структуры сообщества			Показатели функциональной активности		
	Общая биомасса, мг С · м ⁻³	Доминирующие виды	Частота доминирования, % численность	Скорость потребления пищи, мг С · м ⁻³ · сут. ⁻¹	Удельная продукция (Р/В), сут. ⁻¹	
Поверхностный слой, 16, 1	13,41±3,73	<i>Noctiluca scintillans</i>	68	32	17,80 ± 5,07	0,921
		<i>Penilia avirostris</i>	10	63		
		<i>Acartia clausi</i>	10	5		
		<i>Balanus improvisus</i> (larvae)	5	-		
		<i>Polydora ciliata</i> (larvae)	5	-		
Термоклин, 33, 3	2,85±8,51	<i>Noctiluca scintillans</i>	75	56	9,01 ± 2,30	0,656
		<i>Acartia clausi</i>	12	6		
		<i>Pseudocalanus elongatus</i>	-	19		
		<i>Penilia avirostris</i>	-	12		
		<i>Pleurobrachia rhodopsis</i>	-	12		
		<i>Oithona similis</i>	6	-		
Придонный слой, 60, 8	0,60±2,10	<i>Oicopleura dioica</i>	6	-	1,12 ± 0,30	0,230
		<i>Noctiluca scintillans</i>	55	33		
		<i>Pseudocalanus elongatus</i>	44	22		
		<i>Calanus ponticus</i>	22	22		
		<i>Penilia avirostris</i>	11	11		

Таким образом, граница экотона дунайского взморья, как переходной области обитания сообществ пресноводных и морских гидробионтов, простирается от переднего края дельты в море в пределах водной массы соленостью 12-17 ‰. По мере удаления от берега толщина слоя завершающей зоны трансформации речных вод уменьшается до минимальной глубины залегания термоклина (5-7 м). Не исключено, что в данном районе происходит основное трофическое взаимодействие с массовыми видами рыб СЗЧМ.

В период осенне-зимнего вертикального перемешивания от поверхности до дна на шельфе СЗЧМ из поверхностного слоя моря исчезают теплолюбивые сезонные формы планктона, остаются круглогодичные, к которым присоединяются поднимающиеся снизу холодолюбивые [16]. Поиск границ экотона для этого временного периода представляет собой очередную задачу, требующую разрешения. Физико-химической предпосылкой существования краевого эффекта переходной зоны "река-море" в теплое время года является плотностная стратификация водных масс. Феномен "жидкого дна", проявляющийся в задерживании частиц взвешенного органического вещества, препятствующий опусканию многих мелких живых организмов и, тем самым, способствующий концентрации потенциальной пищи для гидробионтов на верхней границе термоклина, характерен и для зоны трансформации речных вод в море.

Долгопериодные изменения. Развитие морского планктона находится в зависимости от целого ряда факторов: колебаний среднегодовой температуры, объема речного стока, солнечной активности, цикличности биоритмов, развития планктоноядных хищников и т. д. В этом ряду особое значение имеет антропогенное эвтрофирование, превысившее влияние других факторов, вследствие изменения трофического статуса экосистемы Черного моря. В СЗЧМ, всегда испытывавшей воздействие речного стока, отмечен переход от эвтрофных к гипертрофным водам [33]. Максимальное поступление биогенных веществ, на порядок выше, чем в прошлом, было отмечено в 1976-1980 гг. [25]. Опосредованность влияния высокого содержания соединений азота и фосфора на водных беспозвоночных через интенсивное развитие одноклеточных водорослей; как основы их питания, возможно, объясняют некоторый временной сдвиг увеличения, более, чем на порядок величин, численности и биомассы мезозoopланктона в 1981-1987 гг. К 90-м годам количественные показатели состояния пелагических беспозвоночных снизились, ста-

билизировавшись на уровне значений, характерных для 60-х годов до начала широкомасштабной эвтрофикации (табл. 3).

Немаловажную роль в этом сыграл планктоноядный хищник гребневик-вселенец *Mnemiopsis leidyi*, максимальное развитие которого было отмечено в 1990-1992 в опресненных мелководных районах шельфа, в частности в районе взморья Дуная [9].

По данным румынских исследователей [31] начиная с 1989 года значительное снижение количества зоопланктона (сокращение общей биомассы вдвое) в летний период от дельты Дуная на удаление до 70 морских миль в сторону открытого моря также объяснялось развитием гребневика мнемипсиса. О некоторой деэвтрофикации шельфовых вод свидетельствует сокращение в последние годы таких индикаторов органического загрязнения как *Noctiluca scintillans* и *Pleopis polyphemoides* [4] и увеличение численности мезотрофных видов таких, как *Penilia avirostris*, *Evadne spinifera*, *E. nordmanni* (см. табл. 3). В 1995 году было отмечено неединичное появление ряда видов уже практически не встречавшихся на взморье Дуная более 15 лет. Среди них - кладоцеры *Pleopis tergestina*, *Evadne spinifera*, *E. tergestina*, *Podonevadne trigona*, копеподы *Pontella mediterranea*, *Centropages ponticus*, пелагическая изопода *Idotea ostroumovi* и личинки краба *Pisidia longimana*.

Летом 1995 года было отмечено не только возрастание численности и биомассы пелагических беспозвоночных до уровня 1950-1965 годов, но и увеличение доли кормового зоопланктона, главным образом за счет *Penilia avirostris*, составлявшей в среднем 60% общей биомассы. Возможно, этим объясняется и некоторое восстановление численности рыб с пелагическим типом развития. В зоне трансформации речных вод количество обнаруженной в 1995 году икры и личинок хамсы, *Engraulis encrasicolus ponticus* (2,4-9,9 экз. · м⁻³) и ставриды, *Trachurus mediterraneus ponticus* (0-0,5 экз. · м⁻³) оказалось близким результатам наблюдений 1966-67 гг., соответственно 1,6-31,3 и 0-0,3 экз. · м⁻³ [10].

Связь планктона и бентоса. Эвтрофирование противоположным образом отразилось на развитии сообществ планктонных и бентосных организмов, оказав благоприятное воздействие на первые и ингибирующее на вторые. Под влиянием возросшего стока в море биогенных веществ среднегодовая биомасса пелагиобионтов возросла в среднем в 3-30 раз, в то время, как из-за снижения прозрачности воды, ухудшения кислородного режима и заиления дна количество бентонтов сократилось в 5-10 раз [25].

Таблица 3. Долгопериодные изменения структуры мезозoopланктона поверхностного слоя северо-западной части Черного моря в зонах влияния речного стока (июнь-сентябрь)

Численность, %

Организмы	1951-1960 [12]	1960-1965 [26]	1975-1980 [12]	1981-1982 [12]	1989 [31]	1990 [31]	1991*	1993 [7]	1995 *
<i>Noctiluca scintillans</i>	16,9	14,9	69,2	66,1	98,6	0	94,6	0	86,6
<i>Acartia clausi</i>	19,7	—	6,3	2,6	0,6	—	4,4	0,1	3,2
<i>Oithona sp.</i>	24,1	—	11,9	0,4	0,0	—	0,1	0,2	0,3
<i>Copepoda</i> (всего)	59,6	36,5	18,9	3,7	0,6	20,0	4,6	0,8	4,0
<i>Pleopis polyphemoides</i>	4,0	1,8	3,9	5,5	0,1	—	0,0	0,2	0,4
<i>Evadne sp.</i>	0,6	0,4	0,0	—	—	—	0	0	0,2
<i>Penilia avirostris</i>	4,5	1,5	0,3	—	—	—	0,3	0	3,2
<i>Cladocera</i> (всего)	9,1	3,7	4,2	5,6	0,1	1,5	0,3	0,2	3,3
<i>Meroplankton</i>	14,0	40,1	7,6	5,3	0,2	20,7	0,2	84,2	3,0
<i>Varia</i>	0,3	4,8	0,0	19,2	0,5	57,8	0,2	14,8	2,4
Всего, экз. · м⁻³	16606	19662	63254	218021	110983	4309	25339	26290	19280

Таблица 3. (продолжение) Долгопериодные изменения структуры мезозoopланктона поверхностного слоя северо-западной части Черного моря в зонах влияния речного стока (июнь-сентябрь)

Биомасса, %

Организмы	1951-1960 [12]	1960-1965 [26]	1975-1980 [12]	1981-1982 [12]	1989 [31]	1990 [31]	1991*	1993 [7]	1995*
<i>Noctiluca scintillans</i>	44,0	67,8	93,5	97,7	99,6	0	98,9	0	19,7
<i>Acartia clausi</i>	9,7	—	1,6	0,6	0,1	—	0,4	0,0	3,3
<i>Oithona sp.</i>	2,2	—	0,5	0,2	0,0	—	0,1	0,2	0,1
<i>Copepoda</i> (всего)	22,7	7,6	2,3	0,8	0,3	48,5	0,4	1,6	4,2
<i>Pleopis polyphemoides</i>	1,6	1,3	0,8	0,1	0,0	—	0,0	0,4	0,2
<i>Evadne sp.</i>	1,1	1,2	0,0	0,0	0,0	—	0	0	0,3
<i>Penilia avirostris</i>	7,0	5,6	0,3	0,0	0,0	—	0,1	0	59,1
<i>Cladocera</i> (всего)	9,7	8,1	1,1	0,2	0,0	18,3	0,1	0,4	59,9
<i>Meroplankton</i>	3,8	13,6	1,1	0,5	0,0	4,6	0,0	65,2	1,2
<i>Varia</i>	19,7	2,9	2,0	0,8	0,0	28,6	0,5	32,7	14,9
Всего, мг · м⁻³	370,0	250,7	2713,0	10919,0	8823,8	27,9	2002,5	106,7	685,6

*Б. Александров (ОФ Ин БЮМ), неопубликованные данные по результатам экспедиций НИС "Профессор Водяницкий", рейсы №№ 28, 34, 43

Взаимосвязь структуры сообществ пелагических и донных беспозвоночных осуществляется, прежде всего, в процессе личиночного развития последних. При этом суть адаптационного механизма, поддерживающего относительно устойчивое существование донных биоценозов во времени, даже в ситуациях обширных заморозов донной фауны при гипоксии, проявляется в возрастании выживаемости личинок бентосных беспозвоночных с пелагическим типом развития, в связи с существенным улучшением их кормовой базы [24].

Несмотря на межгодовые колебания доли меропланктона в общей численности и биомассе зоопланктона, их абсолютное количество в приустьевых районах СЗЧМ остается достаточно стабильным: личинки двустворчатых моллюсков - 14300 ± 4900 , усонюгих раков - 2700 ± 600 и полихет - 1600 ± 200 экз. · м³. В среднем за 40-летний период численность и биомасса меропланктона составила 19,5 и 10,7 % от общего количества зоопланктона соответственно. При этом в последние годы отмечается увеличение его доли по численности на 12,5, а биомассы на 58,9 % (см. табл. 3). В составе личинок также прослеживаются характерные изменения - доля полихет возросла с начала 90-х годов от 1,5 до 3 раз и в наибольшей степени эта закономерность проявляется в районе придунайского взморья (см. статью Александрова, Зайцева в настоящем сборнике).

Пространственное распределение меропланктона в СЗЧМ сохраняет ранее установленные тенденции [1, 7], а именно: зоны максимальных скоплений личинок формируются в полосе прибрежного мелководья приустьевых акваторий Дуная, Днестра, Буга и Днепра шириной от 10 до 25 км в поверхностном слое воды глубиной до 10 м. При этом, абсолютные значения численности личинок и площадь зон их максимальной концентрации пропорциональны объемам речного стока. Иными словами, взморье Дуная - главный питомник развивающихся личинок донных беспозвоночных СЗЧМ.

В результате исследований зоопланктона летом 1995 года в придунайском районе Черного моря были обнаружены личинки 19 видов донных беспозвоночных: Polychaeta - Phyllodoce tuberculata, Harmothoe imbricata, Nereis succinea, Microspio mecznikowianus, Polydora ciliata; Phoronidea - Phoronis euxinicola; Cirripedia - Balanus improvisus; Decapoda - Crangon crangon, Pisidia longimana; Bivalvia - Ostrea edulis, Mytilus galloprovincialis, Mytilaster lineatus, Cardium sp., Mya arenaria; Gastropoda - Rissoa parva, Retusa truncatula, Tergipes tergipes, Haminoe

navicula, Gastropoda sp. Наиболее интересной находкой было единичное обнаружение личинки устрицы, *O. edulis*. В массе встречались лишь четыре представителя меропланктона: *P. ciliata* (средняя численность 750 экз. · м⁻²), *M. galloprovincialis* (430 экз. · м⁻²), *B. improvisus* (170 экз. · м⁻²) и *N. succinea* (90 экз. · м⁻²). Анализ распределения численности личинок по размерным группам позволил выявить некоторые дополнительные особенности хорологии этих видов:

1) родительские поселения упомянутых животных, за исключением мидии, имеющей более обширное распространение, концентрируются в полосе прибрежного мелководья удаленностью до 10 км;

2) личинки мидии и баянуса образуют скопления в зонах проявления "мысового эффекта" - напротив мыса Калиакра и Георгиевского гирла Дуная, личинки полихет больше тяготеют к районам заливов: Мамаея и Жебриянской бухте, где формируются локальные круговороты течений; не исключено, что и в данном случае они повторяют особенности распределения родительских поселений (типичные обростатели *M. galloprovincialis* и *B. improvisus* предпочитают районы повышенной гидродинамики, тогда как полихеты *P. ciliata* и *N. succinea* - зоны интенсивного осадконакопления);

3) как свидетельствует распределение личинок на завершающих стадиях развития, их преимущественное оседание в дунайском приустьевом районе происходит на удалении 20-30 км от берега (рис. 2).

Настоящая работа была выполнена при частичном финансировании от грантов Европейского Союза по Международным программам "EROS - 2001" и "EROS - 21": № IC 20 - СТ96 - 0065, № EV5VCT 94 - 0501.

Литература

1. Александров Б.Г. Экологические аспекты распределения и развития личинок обростателей в северо-западной части Черного моря: Автореф. дис. канд. биол. наук. - Севастополь, 1988. - 22с.
2. Александров Б.Г., Берлинский Н.А. Использование *Noctiluca miliaris* Sur. для биоокеанографической индикации процесса эвтрофирования на примере северо-западной части Черного моря // Тез. докл. II Все-союз. съезда океанол., Ялта, 10-17 дек. 1982, - Севастополь, 1982. - вып. 5, ч. 2. - С. 32.
3. Алимов А.Ф. Введение в продукционную биологию. - Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1989. - 152с.

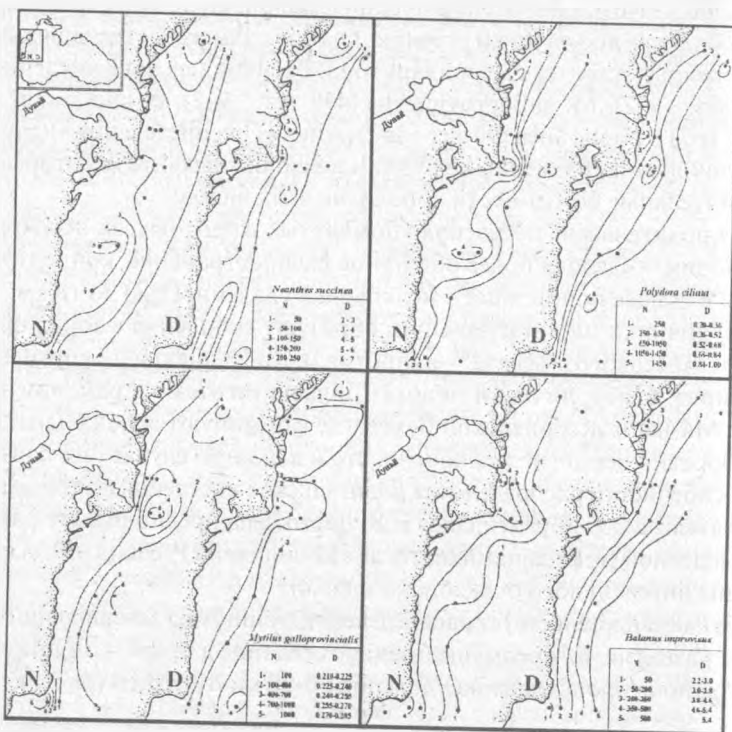


Рис. 2. Распределение численности (N, экз. · м⁻³) и показателей развития личинок основных видов донных беспозвоночных в период планктонной жизни (D: *M. galloprovincialis*, *P. ciliata* - длина тела, мм; *N. succinea* - число пароподий; *B. improvisus* - стадии развития, 1-5 - науплиальные, 6 - циприс).

* * *

- Альтман Э.Н., Безбородов А.А., Богатова Ю.И. и др., Практическая экология морских регионов. Черное море // Под ред. В.П. Кеонджяна, А.М. Кудина, Ю.В. Терехина. - Киев: Наук. думка, 1990. - 252с.
- Биргер Г.И., Малаяревская А.Я. Сравнительное изучение биохимического состава беспозвоночных устьевых областей Дуная и Днепра // Докл. XI Межд. конф. "Лимнологические исследования Дуная" (Киев, сентябрь 1967). - Киев: Наук. думка, 1969. - С.346-351.
- Большаков В.С. Трансформация речных вод в Черном море. - Киев: Наук. думка, 1970. - 328с.
- Воробьева Л.В. Особенности распределения зоопланктона в зонах

трансформации вод Дуная и Днестра. Автореф. дис. канд. биол. наук. - Одесса, 1970. - 21с.

- Воробьева Л.В., Гаркавая Г.П., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н., Синегуб И.А., Теплинская Н.Г. Жебриянская бухта как модель экологических процессов в импактных зонах северо-западной части Черного моря // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна: Сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ. Редкол.: Еремеев В.Н. (отв. ред.) и др. - Севастополь, 1995. - С.44-54.
- Грузов Л.Н., Люмкис П.В., Нападковский Г.В. Исследование пространственно-временной структуры планктонных полей северной половины Черного моря в 1992-93 гг. // Исследования экосистемы Черного моря. Вып. 1. - Одесса: Изд-во "ИЗЭН-ПОЛИГРАФ", 1994. - С.94-127.
- Замбриборц Ф.С., Винникова М.А., Воробьева Л.В., Марченко А.С., Милютин С.М. К гидробиологии приустьевых взморья и предустьевых пространств Дуная // Доклады XI Международной конференции "Лимнологические исследования Дуная". - Киев: Наук. думка, 1969. - С. 456-471.
- Зайцев Ю.П., Гаркавая Г.П., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н. Дунай - основной источник эвтрофирования Черного моря // Гидробиол. журн. - 1989. - 25, № 4. - С.21-23.
- Зайцев Ю.П., Гаркавая Г.П., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н., Цокур А.Г. Современное состояние экосистемы северо-западной части Черного моря // Современное состояние экосистемы Черного моря. - М.: Наука, 1987. - С. 216-230.
- Ключарев К.В. К вопросу о размножении и развитии некоторых веслоногих рачков (Copepoda) Черного моря // ДАН УССР. - 1948. - № 1. - С. 32-37.
- Мордухай-Болтовской Ф.Д. Материалы по среднему весу водных беспозвоночных бассейна Дона // Тр. Проблемн. и темат. Совещ. 2. Проблемы гидробиологии внутренних вод. - М.-Л.: Изд. АН СССР, 1954. - С.223-241.
- Николенко А.В., Решетников В.И. Исследование многолетней изменчивости баланса пресных вод Черного моря // Водные ресурсы. - 1991. - № 1. - С. 20-28.
- Основы биологической продуктивности Черного моря // Под общ. ред. В.Н. Грезе. - Киев: Наук. думка, 1979. - 392с.

17. Павлова Е.В. Движение и энергетический обмен морских планктонных организмов. - Киев: Наук. думка, 1987. - 212с.
18. Петина Т.С. О среднем весе основных форм зоопланктона Черного моря // Тр. Севастоп. биол. ст. - 1957. - 9. - С.39-57.
19. Суценыя Л.М. Интенсивность дыхания ракообразных. - Киев: Наук. думка, 1972. - 195с.
20. Харченко Т.А., Лященко А.В. Структурно-функциональные характеристики макрозообентоса водных экотонных границ как индикаторный показатель их границ // Гидробиол. журн. - 1996. - т. 32, № 2. - С. 3-11.
21. Хлебович В.В. Критическая соленость биологических процессов. - Л.: Наука, 1974. - 236с.
22. Хмелева Н.Н. Биология и энергетический баланс морских равноногих ракообразных. - Киев: Наук. думка, 1973. - 183с.
23. Шушкина Э.А., Виноградов М.Е., Мусаева Э.И., Николаева Г.Г. Биомасса планктона Черного моря в позднелетний сезон (апрель-май 1984 г.) // Современное состояние экосистем Черного моря. - М.: Наука, 1987. - С.162-171.
24. Alexandrov, B., Polischuk, L. Longterm changes of the Black Sea meroplankton under conditions of eutrophication // *Oceanologica Acta*. - 1996. - (In press). - 21 pp.
25. Alexandrov, B.G., Zaitsev, Yu.P. Black Sea biodiversity in eutrophication conditions // In: Conservation of the biological diversity as prerequisite of sustainable development in the Black Sea region. - Kluwer academic publishers, The Netherlands, 1997. - (In press). - 15 pp.
26. Bacescu, M., Gomoiu, M.T., Bodeanu, N., Petran, A., Muller, G.I., Chirila, V. Dinamica populatiilor animale si vegetale din zona nisipurilor fine de la nord de Constanta in conditiile anilor 1962-1965 // *Ecologie Marina, Bucuresti*. - 1967. - 2. - P.7-167.
27. Bologa, A.S., Bodeanu, N., Petran, A., Tiganus, V. Major modifications of the Black Sea benthic and planktonic biota in the last decades // *Rapp. Comm. int. Mer. Medit.* - 1992. - v.33. - P. 15.
28. Hemmingsen, A.M. Energy metabolism as related to body size and respiratory surfaces and its evaluation // *Rep. of the steno Mem. Hosp. and the Nord. Insulin Lab., Copenhagen*. - 1960. - 9, № 11. - P.5-110.
29. Mee, L.D. The Black Sea in crisis: a need for concerted international action // *Ambio: A Journal of the Human Environment, Royal Swedish Academy of Sciences*. - 1992. - 21, № 4. - P.278-286.
30. Moloney, C.L., Field, J.G. General allometric equations for rates of nutrient uptake, ingestion, and respiration in plankton organisms // *Limnol. Oceanogr.* - 1989. - 34, № 7. - P.1290-1299.
31. Petran, A., Moldoveanu, M. Postinvasion ecological impact of the Atlantic ctenophore *Mnemiopsis leidyi* Agassiz, 1865 on the zooplankton from the Romanian Black Sea waters // *Cercetari marine, I.R.C.M.* - 1994-1995. - № 27-28. - P.135-157.
32. Zaitsev, Yu.P. Recent changes in the trophic structure of the Black Sea // *Fish. Oceanogr.* - 1992a. - V. 1, № 2. - P.180-189.
33. Zaitsev, Yu.P. Landbased sources of Presentday Anthropogenic Changes in the Ecosystem of the Black Sea // *Papers from the Advisory Committee on Protection of the Sea "Assessment of landbased sources of marine pollution (LBSMP) in the sea adjacent to the commonwealth of independent states (CIS), 6-10 April, 1992, Sevastopol, Crimea, Ukraine*. - London: IMO, - 1994. - P.141-143.
34. Zaitsev, Yu.P. Impact of eutrophication on the Black Sea fauna // *Studies and Reviews, General Fisheries Council for the Mediterranean*. - Rome: FAO, 1993. - 64. - P.59-86.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕЙОБЕНТОСА ЖЕБРИАНСКОЙ БУХТЫ

Л.В. Воробьева, И.И. Кулакова

Формирование структуры и количественных показателей мейобентоса Жебриянской бухты определяется характером протекающих процессов, свойственных для всей северо-западной части Черного моря. Главный из них - антропогенное эвтрофирование.

Интенсивность фотосинтетических процессов в приповерхностных слоях воды имеет свое прямое отражение в формировании условий существования для донной фауны вообще и для большинства представителей мейобентоса в частности. Разнообразие мейобентоса, динамика его численности и биомассы, пространственное распределение этих параметров рассматриваются нами в сезонном аспекте. В различные периоды года из абиотических факторов наибольшее значение для развития качественных и количественных характеристик мейобентоса имеют тип грунта, скорость течения и кислородный режим. Непосредственно изменение лишь температуры морской воды не может служить определяющим фактором увеличения или уменьшения плотности поселений беспозвоночных животных, относящихся к рассматриваемой категории бентоса. Так, например, на глубине более ста метров, где в течение года температура воды и иные параметры окружающей среды были постоянными, не было отмечено никаких сезонных различий в количественном развитии мейобентоса (McIntyre, 1964). Важными факторами служат обеспеченность пищей, трофические и топические отношения с другими донными организмами (макробентосом, личинками и молодью донных и придонных рыб).

В работе анализируется материал, собранный в 18-ти экспедициях в период 1982-1996 гг. по стандартной сетке станций.

Характеристика мейобентоса весеннего периода дана на основании материалов 1983, 1993, 1995 и 1996 гг.

В весенний период в Жебриянской бухте обнаружено семь групп мейобентоса: фораминиферы, нематоды, гарпактикоиды, киноринхи, олигохеты, полихеты, молодь двустворчатых моллюсков. Стопроцен-

тной встречаемостью обладали лишь нематоды. Разнообразие мейобентоса в каждом конкретном случае невелико. Так, в апреле 1983 г. его представляли пять групп, в мае 1993 - шесть групп; в марте 1995 - пять групп; в марте 1996 - шесть групп. В двух случаях обнаружено лишь по одной группе (1995 г.): нематоды, численность которых составляла 1500 экз. · м⁻² и гарпактикоиды (ст. № 67/7) - 5000 экз. · м⁻². На каждой из станций чаще всего присутствовало 2-3 из них (нематоды, фораминиферы и гарпактикоиды).

В мейобентосе преобладает по численности постоянный компонент (эвмейобентос), доминирование которого резко возросло с 1990-1991 гг. Так например, если в 1983 году доля эвмейобентоса в среднем составляла 69,2 %, то в 1995-96 гг. - 96 % и 99,1 % соответственно. Такая динамика определяется, в основном, за счет значительного развития простейших. В восьмидесятые годы средняя численность фораминифер составляла в среднем всего 6250 экз. · м⁻² и их доля в мейобентосе была чрезвычайно низкой - 0,7 %. В середине девяностых годов фораминиферы стали играть значительную роль в формировании количественных показателей. Так в 1993-1996 гг. их доля от общего количества организмов достигала 61,0-69,3 %. Максимальная плотность фораминифер (1135000 экз. · м⁻²) отмечена в апреле 1993 г. (средняя для бухты - 686250 экз. · м⁻²). Массовое развитие представителей данной группы может служить косвенным показателем ухудшения условий среды в бентали, а так же усилением фотосинтетических процессов в верхних слоях пелагиали уже в ранне-весенний период. Плотность фораминифер значительно колебалась как в пределах одной съемки, так и в различные годы (min - 6250 экз. · м⁻², max - 135000 экз. · м⁻², в среднем за исследованный период - 146592 экз. · м⁻²) (рис. 1).

Как указывалось выше, нематоды в Жебриянской бухте отмечались повсеместно, однако значительных всплесков их развития в рассматриваемый период не отмечалось. В большинстве случаев плотность круглых червей составляла 15000-45000 экз. · м⁻² и лишь однажды (1993 г., ст. № 65) численность их достигала 152500 экз. · м⁻². Средний многолетний показатель для весны 42592 экз. · м⁻². Доля нематод в общей численности мейобентоса колебалась от 1,4 % (начало восьмидесятых годов) до 33,8 % в 1995 г.

По средним показателям процентного соотношения численности различных групп мейобентоса нематоды относятся к субдоминантной группе наряду с гарпактикоидами. Однако, если для нематод это характерно практически для всех лет исследований, то доля ракообраз-

ных при складывающихся неблагоприятных условиях может резко снижаться, а иногда быть равной нулю. Примером может служить 1995 г., когда отмечалось раннее резкое потепление и соответственно повышение температуры верхних слоев воды. По всей вероятности, уже в марте - начале апреля здесь развивалось мощное "цветение" фитопланктона, в следствие которого в бентали бухты сформировалось обширное поле гипоксии. В момент съемки (май) отмечена крайняя бедность представителей мейобентоса. Фактически, его представляли фораминиферы и нематоды. Несмотря на высокое содержание кислорода в придонных слоях воды, гарпактикоиды отмечены лишь на одной станции с весьма низкой плотностью ($5000 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$).

В этот период на трех станциях присутствовали олигохеты и на двух - полихеты. Иные представители мейобентоса отсутствовали. Подтверждением нашего предположения о мощном раннем заморе в бентали бухты может служить полное отсутствие личинок и молоди моллюсков, для которых в момент съемки, казалось бы, были благоприятными как температурный, так и кислородный режим. Вероятно, временной отрезок благоприятных условий среды после заморных явлений был незначительным для восстановления структуры мейобентосного сообщества.

Анализ пространственного распределения показателей общей численности и биомассы мейобентоса показал, что на большей части бухты мейобентос беден. Плотность организмов колеблется в различные годы от 5000 до $463000 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ и лишь на отдельных участках (рис. 5) общая численность мейобентоса составляет от $500000 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ до $1205000 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$. Средняя биомасса в различные годы варьировала от $892,7 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2}$ до $4433,1 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2}$. Наиболее высокие показатели общей биомассы мейобентоса приурочены к северо-западной части бухты.

Таким образом, бедность качественного состава мейобентоса, преобладание фораминифер, слабое развитие ракообразных и практически полное отсутствие молоди моллюсков позволяет говорить о значительном антропогенном прессе на акваторию бухты в весенний период.

Исследованиями многих авторов утверждается, что плотность поселений массовых групп мейобентоса, таких как нематоды и гарпактикоиды, взаимосвязаны (Coull et al., 1981; Raffaelli, Mason, 1981; Warwick, 1981 и др.). В.В. Гальцовой при изучении количественного распределения мейобентоса в Онежском заливе и бассейне Белого моря была обнаружена взаимосвязь между количественными характеристиками нематод и копепоид (Гальцова, 1991). Установлена прямая кор-

реляция между плотностями поселений этих двух групп. Таким образом, автор делает предположение, что при неблагоприятных факторах среды отношение плотности поселений нематод к плотности поселений гарпактикоид (нематодно-копепоидное соотношение) должно быть высоким. В противоположном случае, когда среда обитания более благоприятна для рачков, величина нематодно-копепоидного отношения должна быть низкой. В.В. Гальцова делает предположение, что выяснение значений NN/NH в различных условиях позволит использовать его как индикатор состояния окружающей среды.

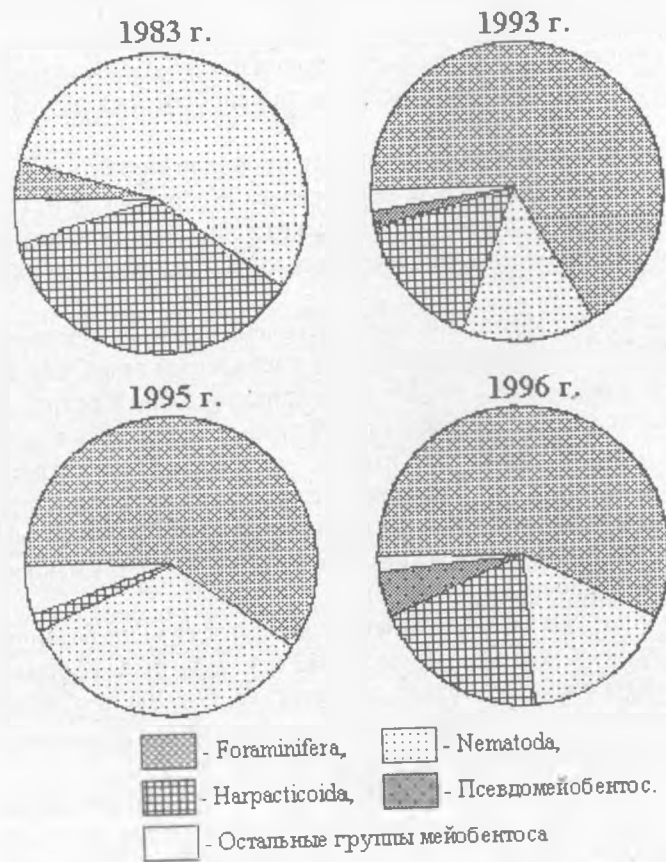


Рис. 1. Процентное соотношение средней численности ($\text{экз.} \cdot \text{м}^{-2}$) различных групп мейобентоса в весенний период:

Нами при изучении количественных характеристик мейобентоса Жебриянской бухты рассчитана величина нематодно-копеподного соотношения по средним показателям плотностей поселений этих двух групп за восемь лет. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что для летнего периода условия среды в бентали в 1982-1984 гг. были относительно благоприятными. В дальнейшем (1991 г.) наблюдается увеличение показателя нематодно-копеподного соотношения до 9,18. Наиболее сложной экологической ситуацией по данному показателю сложилась в бухте в 1992 г., а затем вышла на уровень конца восьмидесятых годов и к 1995 году стабилизировалась.

Для подтверждения данных выводов нами была использована величина отношения общей численности мейобентоса к общей его биомассе.

Имеющийся материал позволяет проанализировать структуру и количественные показатели мейобентоса Жебриянской бухты в различные месяцы летнего сезона, а также пространственное распределение плотностей поселений и выделить зоны максимальной их концентрации.

В июне мейобентос, как правило, очень беден в качественном отношении, значительные скопления характерны лишь для трех его групп: фораминиферы, нематоды и гарпактикоиды. Средние для бухты показатели плотности поселений первых колебались в различные годы от 0 до 299270 экз. · м⁻²; вторых - от 9000 до 114062; третьих - от 4000 до 226875 экз. · м⁻². Представители остальных групп (остракоды, олигохеты, полихеты, молодь двустворчатых моллюсков) обладали как низкими процентами встречаемости (20,9-40%), так и показателями плотности поселений (рис. 2).

Величина средней численности мейобентоса в июне различных лет варьировала от 4625 экз. · м⁻² до 537812 экз. · м⁻² и была сформирована за счет эвмейобентоса. Его доля достигала 99,1-100% от плотности всего мейобентоса. Средние для бухты показатели биомассы имели значительно больший разброс (64,1-4992 мг · м⁻²).

В связи с тем, что гидрхимический режим бухты очень динамичен, условия среды могут резко отличаться для одного и того же временного периода различных лет. В связи с этим качественные и количественные характеристики мейобентоса значительно варьируют. Так, в июле 1992 г. мейобентос носил фораминиферный характер на всей акватории бух-

ты. Величина общей численности формировалась именно за счет данной группы. Доля простейших на различных станциях была очень высокой - от 60,4% до 92,1%, средняя - 87,2%. Плотность их поселений в среднем составила 518000 экз. · м⁻², максимум - 1492500 экз. · м⁻². Остальной эвмейобентос представляли нематоды и копеподы. Численность первых колебалась от 11000 экз. · м⁻² до 110000 экз. · м⁻² (средняя - 61830 экз. · м⁻²), вторых - от 2500 экз. · м⁻² до 7500 экз. · м⁻².

Картина формирования количественных показателей мейобентоса и участия в них отдельных групп определял неблагоприятный кислородный режим в бентали. Содержание растворенного кислорода в придонных слоях воды было крайне низким (от 0,05 мг · л⁻¹ до 2,70 мг · л⁻¹ (в среднем для бухты 1,66 мг · л⁻¹). В связи с этим показатель нематодно-гарпактикоидного отношения на большинстве станций составлял 2,0-9,4.

Наиболее высокие величины общей численности мейобентоса зарегистрированы в июле середины девяностых годов. Так, в 1995 г. средняя плотность мейобентоса для Жебриянской бухты была рекордно высокой для летнего периода (1658936 экз. · м⁻²), что обусловлено массовым развитием фораминифер на большей части акватории. Их средняя плотность составляла 753562 экз. · м⁻² (максимум 2090000 экз. · м⁻²), а доля в общем количестве организмов - 45,4%. Значительного развития достигали нематоды, (в среднем 434000 экз. · м⁻²), составляя 26,2% от общей плотности мейобентоса, а также гарпактикоиды. Численность рачков распределялась крайне неравномерно по акватории бухты (4000-1435000 экз. · м⁻²; средняя 445812 экз. · м⁻²). Максимальная плотность копепод приурочена к ст.65 и 65/7 (южная часть бухты), где они доминировали в общей численности мейобентоса (57,0-79,2%). Для данного участка бентали характерна минимальная величина нематодно-копеподного отношения (0,1-0,4). На остальной части акватории, где условия среды по всей вероятности, были более сложными эти показатели во много раз выше. Так, средняя величина нематодно-копеподного отношения составляла 8,7.

В августе наиболее полная съемка мейобентоса была выполнена в Жебриянской бухте в 1991 году. Температура воды у дна достигала 20,4-25,2°C (средняя 23,5°C). На большей части акватории содержание кислорода в придонных слоях воды колебалось от 1,1 до 4,5 мг · м⁻² O₂. Мейобентос носил нематодно-фораминиферный характер.

На долю этих двух групп приходилось 96,6 % общей численности организмов. Доля гарпактикоид незначительна, в среднем 5,1 %. Остальные группы постоянного компонента (остракоды и киноринхи) встречались редко. Их плотность колебалась от 2500 до 10000 экз. · м². Псевдомейобентос представляли олигохеты (встречаемость 29 %, средняя плотность 3214 экз. · м²) и полихеты. Последние заселяли почти всю акваторию бухты с плотностью поселений от 2500 до 22500 экз. · м². Общая численность мейобентоса в среднем составляла 414783 экз. · м² (максимум 680000 экз. · м²), биомасса 1160,0 мг · м² (максимум 3087,5 мг · м²).

Экологическую ситуацию в бентали для данного месяца по мейобентосным показателям можно оценить как крайне сложную. Это подтверждается высокими показателями нематодно-копеподного соотношения (в среднем 38,0). Процентное соотношение средней численности отдельных групп мейобентоса в различные годы (лето) представлено на рис. 2, из которого отчетливо видно, что в 1991-1993 гг. мейобентос качественно беден и представлен, в основном, фораминиферно-нематодным комплексом.

Состояние мейобентоса в осенний период анализировалось по шести съемкам, которые выполнялись в сентябре-ноябре в начале восьмидесятых, начале и середине девяностых годов. Показатели общей численности мейобентоса (средние для Жебриянской бухты) значительно отличались в течение четырнадцатилетнего периода. Минимальная средняя плотность поселений мейобентосных животных приурочена к 1982-83 гг. (10375 мг · м² и 165000 мг · м², соответственно), максимальная к 1992 г. (883570 экз. · м²) и к 1996 - 788434 экз. · м². Средняя многолетняя плотность мейобентоса - 702938 экз. · м². Используемый нами показатель величины нематодно-копеподного отношения позволяет сделать вывод, что наиболее неблагоприятным для развития мейофауны режим в бентали в осенний период складывался в 1990, 1992 гг., когда на долю фораминифер приходилось 79,7-84,9 % общего количества организмов. Наиболее благоприятный - 1982 г., где доминировали по плотности поселений гарпактикоиды (59%), нематодно-копеподное отношение в этот период было чрезвычайно низким - 0,08. Большею частью мейобентос носил фораминиферно-нематодный, либо нематодно-фораминиферный характер (рис. 3). Общая биомасса в различные годы колебалась в среднем от 107,4 мг · м² до 2084,3 мг · м².

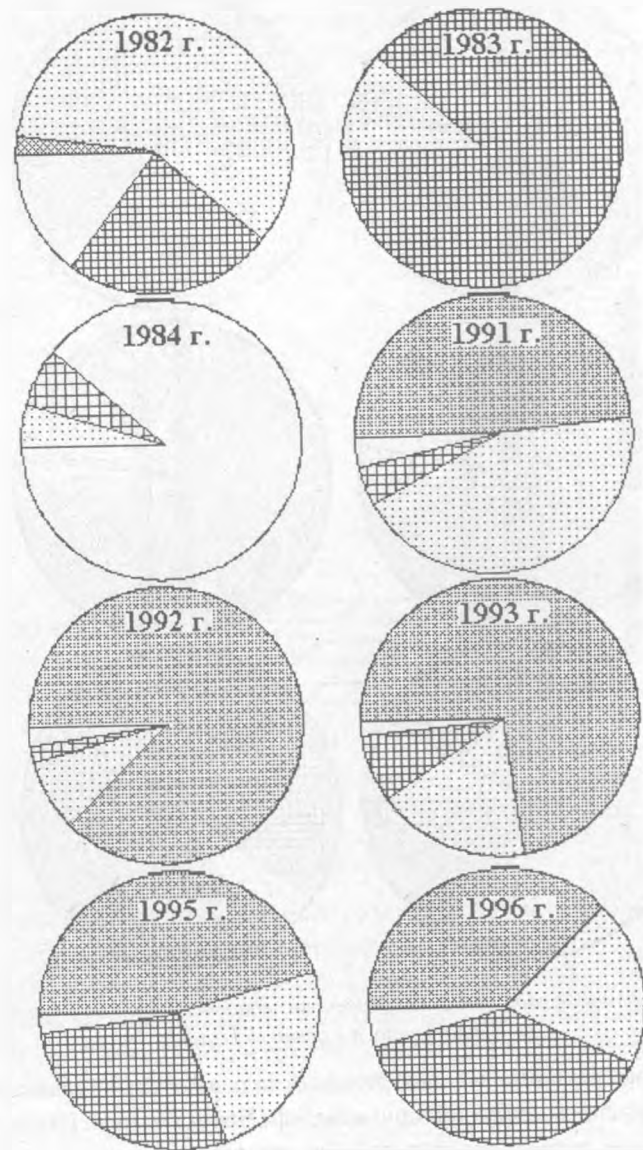


Рис. 2. Процентное соотношение средней численности (экз. · м²) различных групп мейобентоса в летний период.

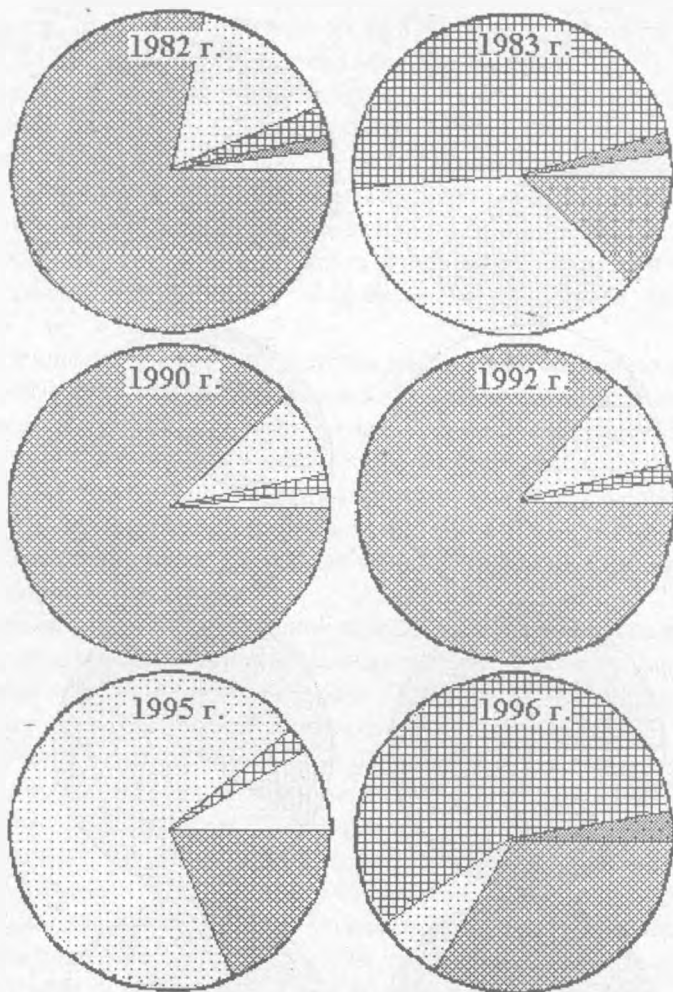


Рис. 3. Процентное соотношение средней численности (экз. · м²) различных групп мейобентоса в осенний период.

В сентябре условия среды в бентали складываются довольно часто сложными на всем северо-западном шельфе Черного моря. После продолжительных летних заморов мейобентос, как правило, не успевает восстановиться. Кроме того, заморы нередко продолжаются и в сен-

тябре. Примером подобной ситуации может служить сентябрь 1990 г., когда на всей акватории бухты в придонных слоях воды растворенный кислород практически отсутствовал. На трех станциях отмечены его нулевые значения, на остальных - 0,10 - 0,93 мг · л⁻¹.

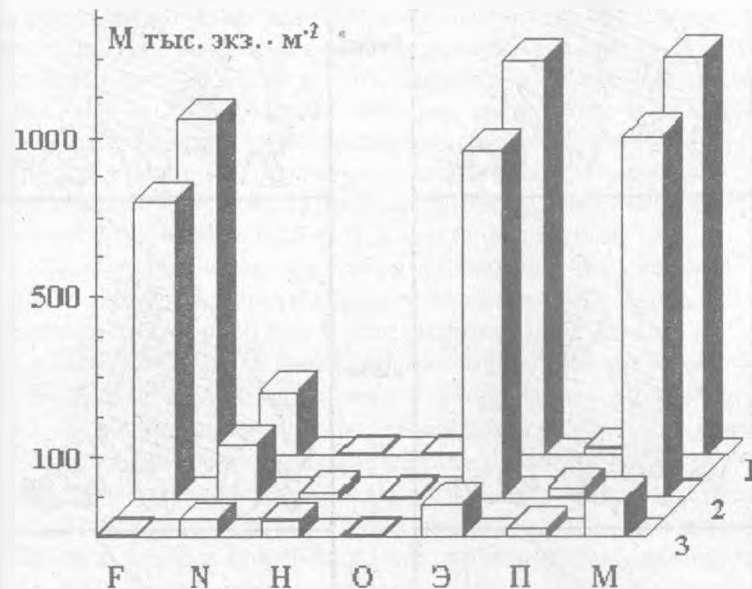


Рис. 4. Распределение средней численности (экз. · м²) мейобентоса в период 1990-1995 гг.: 1 - 1990 г., 2 - 1992 г., 3 - 1995 г.; F - Foraminifera, N - Nematoda, H - Harpacticoida, O - Ostracoda, Э - Амфиподы, П - Псевдоскорпионы, М - Мейобентос.

В мейобентосе максимального развития получали фораминиферы, средний для бухты показатель их плотности достигал 951250 экз. · м² (максимум 1840000 экз. · м²). Доля корненожек в общей численности на различных участках бухты колебалась от 53,7% до 97,8% (средняя 79,7). Вторая по плотности группа - нематоды (19,3%), их численность колебалась от 42500 экз. · м² до 200000 экз. · м². Кроме этих двух групп в мейобентосе присутствовали олигохеты (встречаемость 83%), полихеты (встречаемость 33,3%) и на одной станции - гарпактикоиды (2500 экз. · м²). В общей численности мейобентоса его постоянный компонент составлял 99,1%. Таким образом, из характерных для мейобен-

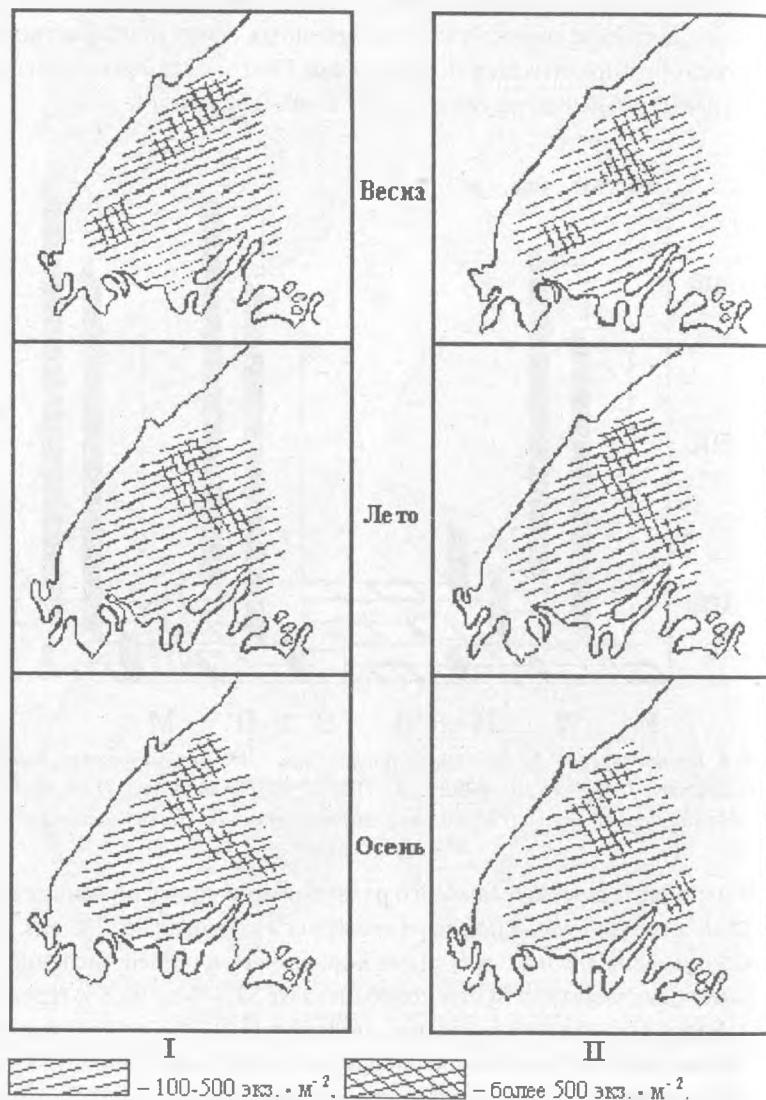


Рис. 5. Пространственное распределение среднегодовых показателей общей численности (I) и биомассы (II) мейобентоса:
I - численность, II - биомасса;

тоса групп смогли приспособиться к жизни в сложных условиях три группы. Известно, что нематоды могут сохранять достаточно высокую плотность в сероводородной зоне - 20000-70000 экз. · м² (Гальцова, 1991). У нематод-аноксифитов вырабатывается особый тип "анаэробного дыхания", которое может быть столь же важно, как и аэробное (Ott, Schiemer, 1973). Фораминиферы на северо-западном шельфе Черного моря наибольшие скопления образовывали в период гипоксии. Общая численность мейобентоса в среднем для бухты составила 1193415 экз. · м² (максимум 1885000 экз. · м²), биомасса - 711,5 мг · м² (максимум 1362,2 мг · м²). Как указывалось выше, летом этого года мейобентос был очень обеднен в качественном отношении. По соотношению численности различных групп можно сделать вывод, что в летний период, предшествующий съемке, в бентали проходил обширный и длительный замор. Мейофауна только начала восстанавливаться.

Данные, полученные в октябре показывают, что в конце августа и начале сентября заморные явления повторились. Кислородный режим в момент отбора проб был удовлетворительным (5,21-8,18 мг · л⁻¹), но по всей вероятности, прошло слишком мало времени с момента установления благоприятных условий. Формирование структуры мейобентоса и его количественных показателей находится в тесной зависимости от гидрохимических показателей как в момент сбора материала, так и абиотических характеристик данного района в предшествующие месяцы. Наблюдалась крайне упрощенная структура мейобентосного сообщества, которое фактически представляли фораминиферы (в среднем 84,4% общей численности) и нематоды (14,8%). На долю двух остальных групп (гарпактикоиды и полихеты) приходилось всего 0,8% от общего количества организмов. Как указывалось выше, экологическая ситуация в середине девятидесятых годов несколько улучшилась, что нашло свое отражение в изменении качественных и количественных характеристик мейобентоса и в осенний период. Так, в октябре 1996 г. он был представлен девятью группами, из которых наиболее значимы по степени участия в формировании плотности поселений можно отнести нематод, фораминифер и гарпактикоид. Олигохеты и полихеты хоть и обладали высокой встречаемостью (более 60%), однако их вклад в общую численность незначителен (1,3% и 0,6%, соответственно). Остальные группы - турбеллярии, остракоды, киноринхи, двустворчатые моллюски встречались эпизодически в небольшом количестве. Доминировали на большей части акватории бухты фораминиферы, на долю которых приходилось в среднем 53,2% от общего числа организ-

мов мейобентоса. Разброс их численности был весьма значительным - от 2500 экз. · м⁻² до 1565000-2000000 экз. · м⁻². Максимальные показатели совпадали с зонами (ст. 3, ст. 6), где в летний период отмечался дефицит кислорода. К этим участкам приурочены и наиболее высокие показатели нематодно-копеподного отношения (6,6-12,4).

Нематоды распределялись более равномерно, средний показатель численности составил 113250 экз. · м⁻², их доля в общей плотности мейобентоса составляла в среднем 25,9%. По данным И.А.Синегуба в рассматриваемый период большая часть бухты была занята биоценозом *Nephtys hombergii*. На акватории, занятой им, отмечены личинки и молодые особи полихет с плотностью поселений от 5000 до 15000 экз. · м⁻². Общая численность мейобентоса в пределах бухты колебалась в широких пределах (минимум 17500 экз. · м⁻², максимум 2100000 экз. · м⁻²). Высокие показатели общей численности приурочены к местам массового развития фораминифер. Общая биомасса в среднем составляла 2084,3 мг · м⁻² (максимальная 3561,2 мг · м⁻²).

Таким образом, по состоянию мейобентоса можно судить, что экосистема бентали начала восстанавливаться, но по соотношению плотности различных групп видно, что сдвиг в лучшую сторону находится на начальном этапе.

Литература

1. Гальцова В.В. Мейобентос в морских экосистемах на примере свободноживущих нематод // Тр. Зоол. Ин-та АН СССР. - 1991. - Т.224. - С.1-240.
2. Coull B.C., Hicks G.P.F., Wells J.B.J. Nematode Copepod ratios for monitoring pollution: a rebuttal // Mar. Pollut. Bull. - 1981. - 12. - P.378-381.
3. McIntyre A.D. Meiobenthos of sublittoral muds // Mar. Biol. Ass. U.K. - 1964. - 44, №3. - P.665-674.
4. Ott L., Schiemer F. Respiration and anaerobiosis of freeliving nematodes from marine and limnic sediments // Netherl. J. Sea Res. - 1973. - 7. - P.233-243.
5. Raffaelli D.G., Mason C.F. pollution monitoring with meiofauna using the ratio at nematodes to copepods // Mar. Pollut. Bull. - 1981. - 12, №5. - P.158-163.
6. Warwick R.B. The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology // Mar. Pollut. Bull. - 1981. - 12. - P.329-333.

УДК 577.121.7: 574.587(262.5)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЙОБЕНТОСА ЖЕБРИЯНСКОЙ БУХТЫ

Л.В. Воробьева, О.А. Торгонская

Изучению энергетических характеристик мейобентоса в последнее время уделяется все большее внимание в связи с тем, что через него проходит значительная часть потока энергии в различных биоценозах. Несмотря на свои мелкие размеры, представители мейобентоса играют большую роль в трансформации органического вещества морских экосистем (Гальцова, 1984, 1985, 1991; Шереметьевский, 1987).

Современные способы оценки трансформации органического вещества, проходящего через массовые поселения организмов мейобентоса, можно подразделять на косвенные (расчетные) и прямые, основанные на непосредственных измерениях. К первым относятся большинство исследований, где предварительные оценки осуществляются с помощью биотического баланса. Это позволяет выразить в одних и тех же единицах энергии (или углерода) биомассу и продукцию растительных и животных организмов экосистемы, охарактеризовать определенными величинами продукционно-деструкционные процессы, оценить участие в них отдельных популяций организмов (Алимов, 1989).

В более упрощенном виде участие организмов мейобентоса в утилизации органического вещества можно оценить с помощью классического балансового уравнения (Алимов, 1989; Винберг, 1968; Crisp, 1971):

$$I = P + R + G + U + F,$$

где I - рацион, P - продукция, R - дыхание, G - продукция гонад, U - жидкие и F - твердые выделения. Баланс при этом рассматривается как равенство между потоком вещества (энергии), поступающим в организм животных, и суммой всех трат вещества (энергии) организмом. Согласно этому равенству интенсивность потребления и усвоения органического вещества организмов можно определить как через расчет их рациона, так и путем нахождения величины трат вещества (энергии) на прирост массы тела, дыхание и выделение.

Подобные расчеты получили широкое распространение, поскольку требуют минимальных затрат на сбор исходной информации, ограниченной, как правило, лишь сведениями по размерно-возрастной структуре особей исследуемой популяции и данными по кормовой базе. Так как основой нахождения функциональных характеристик служат расчетные уравнения, полученные для животных, адаптированных к иным (лабораторным) условиям среды обитания, к результатам подобных расчетов необходимо относиться с большей осторожностью, рассматривая их лишь как предварительные.

В отличие от расчетного способа прямые измерения обладают определенными преимуществами, однако, оптимальным вариантом представляется сочетание прямых и косвенных методов с учетом основных определяющих факторов среды (табл. 1).

Материалом для настоящей работы послужили сборы проб в районе Жебриянской бухты, в период с 1992 по 1995 гг. При расчетах энергетических характеристик мейобентоса использованы количественные показатели представителей большинства таксонов мейофауны из 210 проб, отобранных в различные сезоны указанных лет.

Таблица 1. Диапазон изменчивости и оптимальные значения основных жизненных факторов среды.

Показатель	Диапазон изменчивости	Оптимум
Температура, Т, °С	(-1)-(24)	14-18 15-18
Соленость, ‰	8-30	12-24
Кислород, % насыщения	0-100	80-100
pH	6,0-8,5	6,8-7,1
Скорость течения, см · сек ⁻¹		1,5-5,0
Размер пищевых частиц, мкм	личинки: 1-10 взрослые: 1-40 1-50	1-7 4-30 5-25
Концентрация пищи (сестона), мг ОВ л ⁻¹	0,1-31,7	0,2-0,5
Калорийность сестона, Дж · л ⁻¹	2-10062	54,1-10,1

При расчетах энергетических показателей мейобентоса важное значение имеют его весовые и размерные характеристики. В лаборатории ОФ Ин БЮМ проведены исследования по обработке мейобентосных проб различных районов Черного моря и определены эмпи-

рическим путем размерные и весовые характеристики мейобентоса (И.И. Кулакова). Это позволило с большей точностью определить размеры и веса представителей мейобентоса северо-западной части Черного моря (табл. 2).

Таблица 2. Средние значения размеров и индивидуальных масс мейобентоса северо-западной части Черного моря

Группы	L, мм	В, мг
<i>Foraminifera</i>	0.219	0.00052
<i>Nematoda</i>	1.200	0.00019
<i>Harpacticoida</i>	0.670	0.016
<i>Ostracoda</i>	0.450	0.0065
<i>Turbellaria</i>	0.800	0.007
<i>Halacaridae</i>	0.451	0.009
<i>Oligochaeta</i>	1.510	0.007
<i>Polychaeta</i>	1.460	0.06
<i>Bivalvia</i>	0.252	0.02

При расчетах энергетических характеристик мейобентоса были использованы: оксикалорийный коэффициент (q1) - 20,3 Дж · мл О⁻¹ и температурный коэффициент Вант-Гоффа (Q10) - 2,25.

ТРАТЫ ОРГАНИЗМОВ МЕЙОБЕНТОСА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН (ДЫХАНИЕ)

В процессе дыхания животные рассеивают в окружающее пространство энергию, количество которой эквивалентно потребленному ими кислороду или деструкции определенного количества органического вещества. Таким образом, зная скорость обмена веществ у отдельных особей и их количество, можно оценить минерализационную работу популяции конкретных видов или сообществ животных (Одум, 1986).

Скорость потребления кислорода животными - наиболее доступный показатель скорости обмена веществ (метаболизма) у них. Это особенно справедливо для гидробионтов, поскольку содержание кислорода в воде измеряется сравнительно простыми способами, и полученные результаты достаточно точны. Скорость потребления кислорода животными - количество кислорода, потребленного одной особью за единицу времени (скорость газообмена или скорость обмена).

Многочисленными экспериментальными исследованиями для различных представителей животного мира установлено наличие степенной зависимости между скоростью или интенсивностью обмена и массой животных. По Хемминг Сену (1960) для животных, отличающихся по массе тела на 10 порядков, зависимость скорости потребления кислорода от их массы описывается уравнением:

$$R = a \cdot W^b$$

где, а - коэффициент, определенный путем эксперимента для каждой группы животных и b - коэффициент показателя степени, приведенный Хеммингесеном для водных беспозвоночных, его значение в среднем близко 0,75 (Алимов, 1989).

Используя эти уравнения зависимости и их параметры (табл. 3), были получены значения дыхания R для представителей мейобентоса в единицах Дж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹.

Результаты выполненных расчетов позволили получить впервые для северо-западной части Черного моря значения трат на энергетический обмен для большинства групп мейобентоса.

Как видно из представленных в таблице параметров, показатели энергетических трат (дыхания) для представителей мейобентосных животных колеблются в значительном интервале.

Полученные показатели по дыханию для северо-западной части позволяют перейти к анализу их для разных районов Черного моря. Особый интерес представляет Жебриянская бухта, которая, как уже упоминалось выше, несмотря на свои небольшие размеры, испытывает огромный антропогенный пресс (сток р. Дунай, функционирование порта с перегрузкой химических грузов, хозяйственные и бытовые стоки и т.п.). Как мы рассматривали ранее (Воробьева и соавт., 1995), показатели видового разнообразия, количественные характеристики, пространственное распределение очень динамичны. Антропогенный пресс на экосистему обычно усиливается от весны к осени, поэтому динамика трат организмов мейобентоса на энергетический обмен (дыхание) рассматривалась в сезонном аспекте.

Анализ полученных данных показал, что траты мейобентоса на энергетический обмен неоднородны и отличаются друг от друга в пространстве и во времени, так как имеют прямую и тесную связь с показателями численности, пространственным распределением и видовым составом представителей мейобентоса представленных в тот или иной период года. Наибольшими средние показатели энергетического обмена были в летний период ($18356.6 \cdot 10^3$ Дж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹). Весной и осенью от $40316 \cdot 10^3$ Дж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹ до $43296 \cdot 10^3$ Дж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹. Во все сезоны года основная часть трат на энергетический обмен (дыхание) приходилась на представителей эвмейобентоса (до 90 % от общего количества).

Средние показатели энергетического обмена в весенний период представлены на рис. 1. Интервал энергетических трат у различных групп мейобентоса достаточно велик и составляет: min - $32.4 \cdot 10^3$ Дж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹ (*L. bivalvia* и *Ostracoda*, при плотности поселений

131 экз. · м⁻² и 132 экз. · м⁻², соответственно); max - принадлежит гарпактикоидам и составляет в среднем $32497,9 \cdot 10^3$ Дж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹ при средней численности 41664 экз. · м⁻². Также обращает на себя внимание то, что олигохеты при сравнительно низкой средней плотности поселений (2763 экз. · м⁻²) обладают высокими значениями энергетического обмена ($3426,12 \cdot 10^3$ Дж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹).

Сопоставление величин дыхания при различном температурном и кислородном режимах в придонных слоях бухты в весенний период различных лет позволили получить характеристику колебаний данного показателя при неоднородных условиях среды. Так, например, в 1995 году в период отбора проб температура воды у дна достигала 9,4-18,0°C, содержание растворенного кислорода колебалось от 2,6 мл/л до 6,2 мл/л.

Таблица. 3. Параметры уравнения зависимости интенсивности дыхания от общей массы организмов 10³

Группы	Коэффициент, а	Коэффициент, b	Сырая средняя масса, мг	Дыхание R, 10 ⁻³ Дж · сут. ⁻¹ · экз. ⁻¹
<i>Foraminifera</i>	0,136	0,75	0,00052	4,06
<i>Nematoda</i>	0,0275	0,75	0,00019	0,0038
<i>Harpacticoida</i>	0,2	0,75	0,016	7,8
<i>Ostracoda</i>	0,125	0,75	0,0065	2,48
<i>Turbellaria</i>	0,175	0,75	0,0007	3,6
<i>Halacaridae</i>	0,0474	0,75	0,009	12,0
<i>L. oligochaeta</i>	0,105	0,75	0,007	12,4
<i>L. polychaeta</i>	0,105	0,75	0,06	11,04
<i>L. bivalvia</i>	0,056	0,75	0,02	2,5

Мейобентос характеризовался низким разнообразием. Его общая численность по всей акватории бухты зависела от массового развития фораминифер, которые и определяли величины трат на энергетический обмен всего мейобентоса. Показатели R для мейобентоса варьировали от 0,000057 кДж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹ до 1,506 кДж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹, средний для бухты - 0,34628 кДж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹. Весной 1996 года температура придонных слоев была достаточно низкой - 1,0-2,7°C, содержание растворенного кислорода у дна 7,8-9,7 мл/л. Минимальный показатель R для всего мейобентоса - 0,279 кДж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹, максимальный - 3,207 кДж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹, средний для бухты - 1,45537 кДж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹. В большинстве случаев показатели R определялись для всего мейобентоса величинами трат на энергетический обмен у гарпактикоид в остальных - у фораминифер.

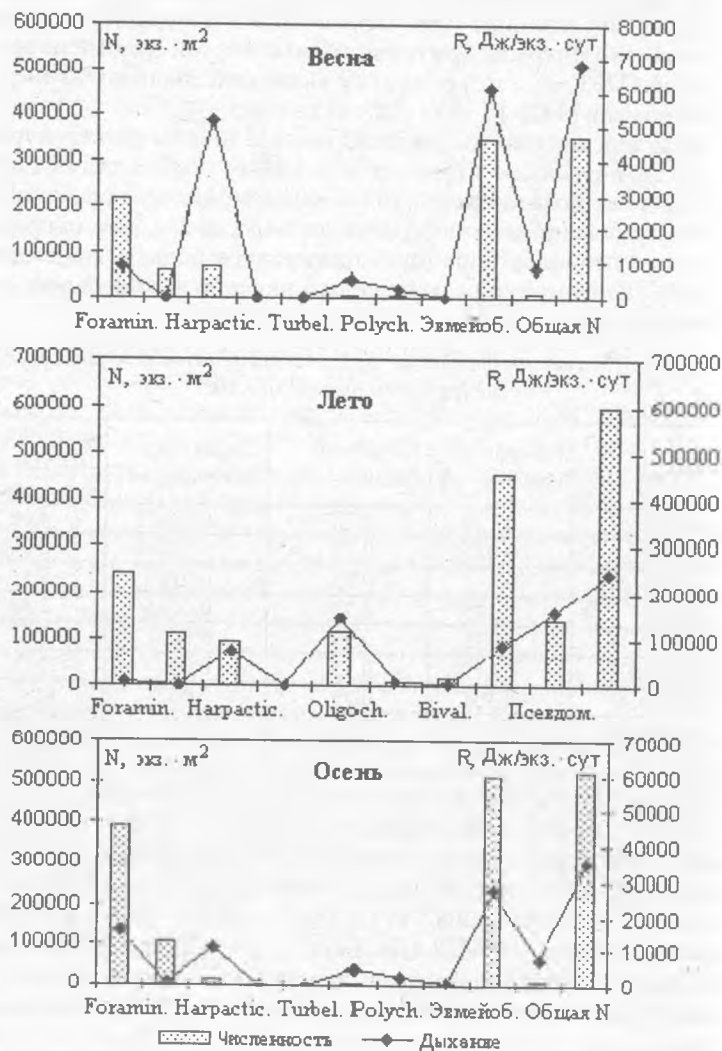


Рис. 1. Многолетние средние значения трат на энергетический обмен (дыхание, R) организмов мейобентоса Жербянской бухты в различные сезоны года.

В летний период показатели R имели значительный размах. Так, например, в июле 1992 года при очень низком содержании в придонных слоях кислорода (0,05-2,70 мл/л) они составляли 0,611 кДж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹ - 6,146 кДж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹, средний показатель для бухты - 2,1885 кДж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹ и определялись по всей акватории фораминиферами. Еще более варьировали величины трат на энергетический обмен в июле-августе 1995 года (0,040 кДж/экз. · сут. - 13,011 кДж/экз. · сут., среднее для бухты - 6,628 кДж/экз. · сут.).

Осенью картина, отражающая траты на энергетический обмен представителями мейобентоса, меняется (рис. 1), так как максимальные значения численности принадлежат фораминиферам, которые в этот период имеют максимальные показатели энергетического обмена (22730,5 · 10³ Дж · сут.⁻¹ · экз.⁻¹). Из выше изложенного материала следует, что из представителей эвмейобентоса самые высокие показатели энергетического обмена принадлежат гарпактикоидам, а самые низкие - нематодам, что объясняется их отличием в размерно-массовых характеристиках, физиологических особенностях и образа жизни.

КАЛОРИЙНОСТЬ ОРГАНИЗМОВ МЕЙОБЕНТОСА

Количество энергии, аккумулированное в единице массы гидробионтов или их пищи, называют калорийностью. По отношению к живым организмам различают энергетический эквивалент массы организма и его энергетическую ценность. Первая величина измеряется в единицах энергии, приходящихся на одну особь, а вторая - в единицах энергии на 1 г сырого, сухого либо беззольного вещества ее тела.

Калорийность объектов определяется наличием не окисленных атомов углерода и водорода. В молекуле жиров содержится больше не окисленных атомов этих элементов, чем в углеводах и белках. Поэтому при сжигании 1 г жира выделяется 39,5 кДж. энергии, 1 г белков - 23,6 кДж., 1 г углерода - 16,7 кДж.

Калорийность водных беспозвоночных находится в прямой зависимости от соотношения между органической и минеральной фракциями сухого вещества. Эта зависимость описывается уравнением:

$$Y = 0,0559 \cdot X \text{ (Винберг, 1968),}$$

где X - % содержания органического вещества.

Для представителей бентоса отношение массы сухого вещества к массе сырого вещества в среднем составляет 20%. Но содержание золы в сухой массе у различных организмов и при различных условиях мо-

жет резко отличаться, поэтому при продукционных исследованиях используют средние значения калорийности равные 23,1 кДж. Зная сырой вес организма и его удельную калорийность можно определить энергоёмкость (Q Дж · экз.⁻¹) (Алимов, 1989).

$$Q = W \cdot q,$$

где W - сырая средняя масса (мг), q - удельная калорийность (Дж · мг⁻¹).

Средние значения калорийности, рассчитанные нами для организмов мейобентоса, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Средние значения калорийности организмов мейобентоса для северо-западной части Черного моря.

Группы	Удельная калорийность, Q Дж · мг ⁻¹	Энергоёмкость, Q ⁻¹	Усвояемость пшши, А % **
<i>Foraminifera</i>	2,667	0,0013	80
<i>Nematoda</i>	2,189	0,0004	60
<i>Harpacticoida</i>	2,153	0,034	60
<i>Ostracoda</i>	1,520	0,009	60
<i>Turbellaria</i>	2,189	0,015	70
<i>Halacaridae</i>	2,153	0,019	60
<i>Oligochaeta</i>	2,143	0,15	60
<i>Polychaeta</i>	2,143	0,128	60
<i>L. bivalvia</i>	3,302	0,066	45

(** - Алимов, 1989)

Средние значения калорийности организмов мейобентоса впервые приводятся нами для северо-западной части Черного моря.

Полученные показатели по калорийности для отдельных групп дают возможность получить данные для всего мейобентоса Жебриянской бухты.

Диапазон сезонных показателей калорийности мейобентоса Жебриянской бухты имеет большой размах. Во все рассматриваемые сезоны основная доля показателей калорийности формируется за счет представителей эвмейобентоса и составляет весной - 73,27 %, летом - 80,2 %, осенью - 56,79 %).

Весной средний показатель калорийности всего мейобентоса - 3573,65 Дж · мг⁻¹.

На долю его временного компонента приходится почти треть указанной величины (таб. 4.) и их доля в общей калорийности составляет 26,3 %.

Показатели калорийности эвмейобентоса обеспечиваются в основном за счет гарпактикоид (2290,8 Дж · мг⁻¹), численность которых весной достаточно высока (в среднем 66500 экз. · м⁻²), а показатели биомассы максимальны - (в среднем 1064,1 мг · м⁻²). Из остальных групп данной категории наиболее значимые показатели калорийности относятся к фораминиферам (300,8 Дж · мг⁻¹).

Таблица 4. Среднемноголетние показатели калорийности (Дж · мг⁻¹) мейобентоса Жебриянской бухты в различные сезоны года (1982-1996 гг.).

Таксоны	Весна	Лето	Осень
<i>Foraminifera</i>	300,84	472,33	545,08
<i>Nematoda</i>	24,68	59,76	50,89
<i>Harpacticoida</i>	2290,79	4244,64	478,50
<i>Ostracoda</i>	0,76	23,41	42,45
<i>Turbellaria</i>	1,20	0	2,91
<i>Oligochaeta</i>	632,83	349,31	398,35
<i>Polychaeta</i>	281,25	407,60	288,77
<i>L. bivalvia</i>	41,28	428,27	165,10
Эвмейобентос	2618,27	4800,14	1119,83
Псевдомейобентос	95538	118518	85222

Средний показатель калорийности для летнего периода возрастает почти в 1,7 раза и достигает - 5985,32 Дж · мг⁻¹. Это наиболее высокий средний показатель калорийности для всех сезонов года.

Характер соотношения показателей калорийности временного и постоянного компонентов мейобентоса в принципе остается схожим с весной и в летний период (19,8 % и 80,2 % соответственно). Как показано в статье Воробьевой Л.В., Кулаковой И.И. (наст. сборник) в летний период доминировали по плотности фораминиферы, а по показателям биомассы - гарпактикоиды. В связи с этим, главенствующая роль при формировании калорийности мейобентоса принадлежала гарпактикоидам (4244,64 Дж · мг⁻¹), а фораминиферы вышли на субдоминантное положение. (табл. 4.)

Осенью общая среднемноголетняя величина калорийности в несколько раз ниже, чем весной и летом (1978,05 Дж · мг⁻¹), что объясняется уменьшением на порядок калорийности гарпактикоид. Можно предположить, что к осени их плотность поселений значительно сократилось как за счет резкого ухудшения кислородного режима в бентали в летне-осенний период, так и за счет выедания их представителями следующих трофических уровней.

Однако, несмотря на это, калорийность всего мейобентоса формируется, как и в предыдущие сезоны, за счет фораминифер (545,08 Дж. · мг⁻¹) и гарпактикоид (222,25 Дж. · мг⁻¹).

Необходимо обратить внимание на то, что осенью резко уменьшилось соотношение показателей калорийности эвмейобентоса и псевдомейобентоса, в отличие от остальных сезонов. Среднемноголетние показатели калорийности указанных категорий в осенний период отличаются незначительно и их доли в общей калорийности составили 59,79 % и 43,21 %, соответственно.

Анализируя данные по калорийности мейобентоса Жебриянской бухты можно отметить, что доминирующая роль принадлежит эвмейобентосу, который служит основной кормовой базой для молоди рыб донного и придонного комплексов. Представители данного ихтиокомплекса используют в питании в основном ракообразных, молодь моллюсков, олигохет и полихет.

ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЙОБЕНТОСА ЖЕБРИЯНСКОЙ БУХТЫ

Баланс органических веществ нельзя рассматривать просто как разность между их поступлением и выносом из водоема. Такой подход не имеет смысла, поскольку органические вещества могут синтезироваться и в самом водоеме. Поэтому большое значение имеют представления, характеризующие скорость их образования (продукции) и разрушения (деструкции).

Расчеты продукции могут иметь реальный смысл только тогда, когда они основаны на результатах количественного учета населения водоемов, правильно отражающих численность и биомассу данной видовой популяции. Эти условия нелегко соблюсти на практике, однако, данные получаемые с помощью принятых в гидробиологии методов, с достаточной достоверностью отражают численность и биомассу рассматриваемой популяции. Все расчеты продукции, основанные на средних значениях биомассы и численности отдельных видов, имеют статистическую природу и сопровождаются оценкой достоверности, принятой в биологической статистике.

Большое значение имеет определение удельной продукции организмов, которая отражает продуктивность данной особи, отнесенную к единице биомассы (Зайка, 1983).

Способы расчета продукции популяций учитывают динамику раз-

мерно-возрастного состава популяций, особенности роста и развития ее представителей. В основе расчета продукции популяции лежит классическое уравнение Бойсен-Йенсена, которое дает возможность определения интегральной продукции за длительные отрезки времени:

$$P = dWi/dt \cdot N_{cp} \cdot t,$$

где N_{cp} - численность особей за период времени dt , Wi - биомасса за этот период.

Для выражения P в единицах энергии и с учетом калорийности сухой массы мягких тканей организмов ($q_s = 20,0$ Дж. · мг⁻¹) формула может быть преобразована:

$$P = Cw \cdot W \cdot 0,032 \cdot q_s,$$

Cw - удельную продукцию находим по формуле Золотницкого:

$$\lg Cw = -2/173 - 0,721 \cdot \lg W + 0,263 \cdot \lg T (C)$$

Формула нахождения суточной продукции организмов численностью N экз. · м⁻² в общем имеет вид:

$$P (\text{кДж} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{сут}^{-1}) = [\lg Cw]^{10} \cdot W(n) \cdot 0,032 \cdot q_s \cdot N (\text{экз.} \cdot \text{м}^2).$$

На основании этого нами были рассчитаны показатели продукции для большинства групп представителей мейобентоса северо-западной части Черного моря (табл. 5).

Полученные показатели продукции мейобентоса, приведенные в таблице, дали возможность определить ее в Жебриянской бухте в сезонном аспекте.

Среднемноголетний показатель продукции (P) мейобентоса для весеннего периода - 2240,35 Дж. · сут. · экз.⁻¹, 97,1 % которого приходится на долю эвмейобентоса. При низких температурах придонных слоев воды с высоким содержанием кислорода (7,3-9,7 мл/л), величина P для различных участков бухты колебалась от 33 до 5529 Дж. · сут. · экз.⁻¹, составляя в среднем для всей акватории 1455 Дж. · сут. · экз.⁻¹. Из всех представленных в данный период групп мейобентоса наиболее высока продукция фораминифер и гарпактикоид (1823,4 Дж. · сут. · экз.⁻¹ и 290,6 Дж. · сут. · экз.⁻¹, соответственно).

В поздне-весенний период, когда температура у дна составляла на различных глубинах 9,4-18,0°C, а содержание кислорода (в среднем для бухты) - 4,3 мл/л, средний показатель для всего мейобентоса гораздо ниже - 210,0 Дж. · сут. · экз.⁻¹ и определялся лишь одной группой (фораминиферы - 10-1506 Дж. · сут. · экз.⁻¹).

Таблица. 5. Средние значения продукции (P , $10^3 \cdot \text{Дж} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$) организмов мейобентоса для северо-западной части Черного моря.

Группы	Средняя длина тела, L, мм	Сырая средняя масса, В, мг	Продукция, P ($10^3 \cdot \text{Дж} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$)
Foraminifera	0.219	0.00052	8.4
Nematoda	1.200	0.00019	0.00044
Harpacticoida	0.67	0.016	4.37
Ostracoda	0.45	0.0065	0.88
Turbellaria	0.8	0.0007	0.6
Halacaridae	0.451	0.009	1.84
Oligochaeta	1.51	0.007	18.2
Polychaeta	1.46	0.06	18.2
L. bivalvia	0.252	0.02	15.3

В летний период, в зависимости от складывающегося в Жебрианской бухте гидрохимического режима показатели продукции могут сильно варьировать. Так например, в июле 1992 года величина продукции составляла $4213 \text{ Дж} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$, а в тот же период 1995г. - $11576 \text{ Дж} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$. В июне-августе значительно увеличивается роль ракообразных, полихет и моллюсков в формировании показателей продукции, но, как и весной, лидирующее место принадлежало фораминиферам. В некоторые годы их продукция достигала $13524-17556 \text{ Дж} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$, при этом максимальные показатели приурочены к зонам с содержанием кислорода $0,05-1,8 \text{ мл/л}$.

Среднегодовое значение продукции для осеннего периода - $3505,1 \text{ Дж} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$. Наибольшие значения ($3302,6 \text{ Дж} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$) принадлежат фораминиферам, продукция остальных групп колеблется от $0,407 \text{ Дж} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$ до $60,81 \text{ Дж} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$. Несмотря на то, что средние значения для всего мейобентоса осенью и летом сходны, вклад различных групп мейобентоса значительно отличается в рассматриваемые периоды (рис. 3). Продукционные характеристики в различные годы весьма неоднородны и зависят от многих факторов и в том числе от гидрохимического режима придонных слоев воды предшествующего сезона.

Так, например, в 1992 году, как указывалось выше, для летнего сезона были характерны критические условия среды (гипоксия). В осенний период этого же года, несмотря на то, что кислородный режим был относительно благоприятный, восстановление мейобентосного сообщества было частичным. В связи с этим продукция мейобентоса

была достаточно низкой ($1484 \text{ Дж} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$) и формировалась, практически, во всей бухте только за счет фораминифер ($96,0-100\%$ от общей продукции мейобентоса). Лишь на одной самой мористой станции бухты фораминиферы определяли 50% общей продукции всего мейобентоса.

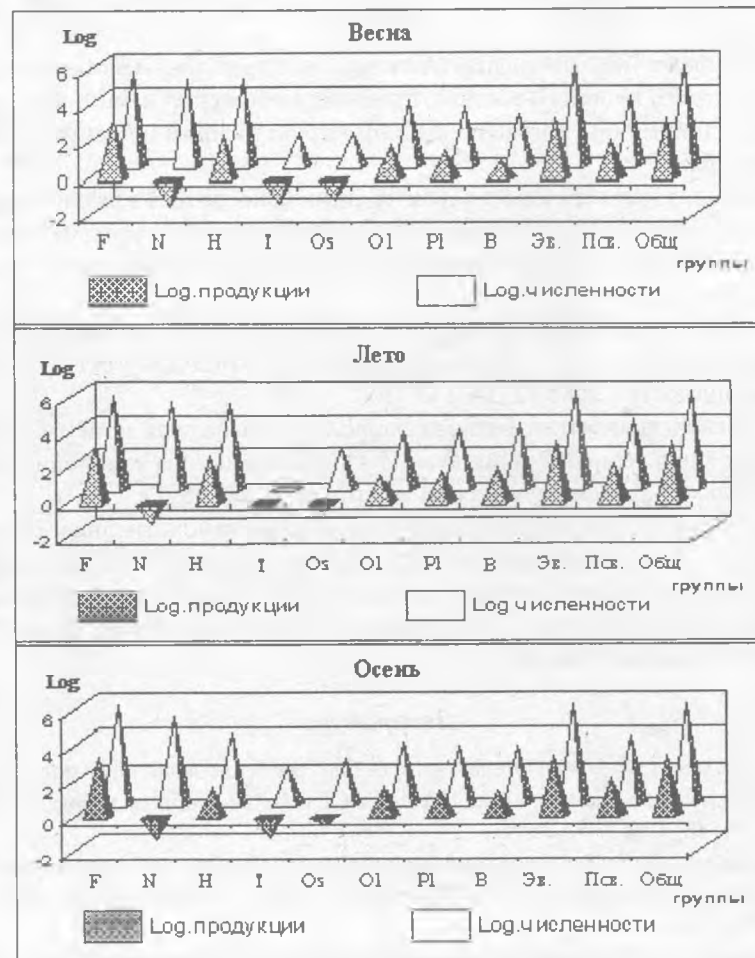


Рис. 2. Среднегодовое значения логарифмов численности и продукции мейобентоса в различные сезоны года.

В более благоприятном по экологической ситуации году (1996 г.) продукция в осенний период была в 4,5 раза выше (диапазон данных от 32 Дж. · сут.⁻¹ · экз.⁻¹ до 16946 Дж. · сут.⁻¹ · экз.⁻¹). Доля фораминифер в ней ниже и максимальные ее показатели приурочены к центральной части бухты.

Выводы

В связи с тем, что энергетические характеристики мейобентоса зависят от его видового состава, плотности поселений и биомассы, они очень динамичны и изменчивы в пространственном и временном отношении.

Анализ энергетических характеристик мейобентоса в различные сезоны года показал, что в весенний период показатели траты на энергетический обмен и продукции минимальны: (R - 40,316 Дж. · сут.⁻¹ · экз.⁻¹, P - 2240,35 Дж. · сут.⁻¹ · экз.⁻¹).

В летний период величины трат на энергетический обмен составили 218,85 Дж. · сут.⁻¹ · экз.⁻¹, продукции - 15576,5 Дж. · сут.⁻¹ · экз.⁻¹, калорийности - 5985,32 Дж. · мг⁻¹.

Осенью показатели дыхания сходны с таковыми для летнего сезона, это же характерно и для продукции. Средняя величина калорийности в несколько раз ниже, чем весной и летом (Y - 1978,05 Дж. · мг⁻¹).

Анализ полученных данных показал, что основные энергетические характеристики мейобентоса, сформированы за счет фораминифер и гарпактикоид, которые, в зависимости от кислородного режима, занимали доминантное или субдоминантное положение в формировании этих показателей.

Литература

1. Алимов А.Ф. Продуктивность сообществ беспозвоночных макробентоса в континентальных водоемах СССР // Гидробиол. журн., - 1982, - т. 18, - № 2, - с.7-18.
2. Алимов А.Ф. Исследования биотических балансов экосистем пресноводных водоемов СССР // Гидробиол. журн., - 1987, - т. 23, - № 6, - С.3-9.
3. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию // Л.: Гидрометеиздат, 1989, - 152с.
4. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов // Минск, 1960, - 329с.

5. Винберг Г.Г. Скорость роста и интенсивность обмена у животных // Успехи современной биологии, 1966, - т. 61, - № 2, - С.274-293.
6. Винберг Г.Г., Алимов А.Ф. Методические основы расчета характеристик роста водных животных. Зообентос и его продукция // В кн.: Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Л., 1986, - С.212-219.
7. Гальцова В.В. Роль морских нематод в энергетическом балансе экосистемы // Биология моря, 1984, - №3, - С.38-45.
8. Гальцова В.В. О роли нематод в энергетическом балансе экосистемы // Принципы и нематоды экологической фитонематологии. - Петрозаводск: Карелия, 1985, - С.35-41.
9. Гальцова В.В. Мейобентос в морских экосистемах на примере свободноживущих нематод // Ленинград. Труды зоологического института, 1991, - т. 224, - 238с.
10. Заика В.Е. Удельная продукция водных беспозвоночных. - Киев, 1972, - 144с.
11. Заика В.Е. Сравнительная продуктивность гидробионтов. - Киев, 1983, - 206с.
12. Одум Ю. Основы экологии. - М., 1975, - 740с.
13. Основы биологической продуктивности Черного моря // Под общ. ред. В.Н. Грезе. - Киев: Наук. думка, 1979, - 392с.
14. Шереметевский А.М. Роль мейобентоса в биоценозах шельфа южного Сахалина, восточной Камчатки и Новосибирского мелководья. Л.: Наука, 1987, - 135с.

МАКРОЗООБЕНТОС (СОСТАВ, СОСТОЯНИЕ, СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ) ЖЕБРИЯНСКОЙ БУХТЫ - ИМПАКТНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В ПЕРИОД 1988-1996 ГГ.

Синегуб И.А.

Материал и методика. В основу работу положены пробы, собранные в течение 11 съемок (с сентября 1988 по март 1996 гг.) в Жебриянской бухте на глубине 5,5-13,5 (средняя - $10,8 \pm 1,0$) м.

Во время каждой съемки пробы отбирали на семи (с 1995 г. - на восьми) станциях, которые равномерно покрывали всю акваторию бухты. Всего выполнено 80 станций. В 1994 г. исследования не проводились. Весной проведено две съемки, летом - пять, осенью - четыре.

Пробы отбирали дночерпателем Петерсена площадью захвата 0,1 (с 1995 г. - 0,025) м², по две на станции, и промывали через набор сит с минимальным размером ячеек 1,0 мм. Фиксацию и камеральную обработку собранного материала проводили по стандартной методике.

Для каждого вида определены: средняя численность - экз. · м⁻² (а), средняя биомасса - г · м⁻² (в), встречаемость в процентах (Р), индекс плотности - $\sqrt{}$. Полученные данные обработаны методами вариационной статистики. Рассчитаны средние показатели плотности и биомассы и ошибки средних значений.

К основным отнесены виды, встреченные не менее чем в 50 % проб, к второстепенным - виды, отмеченные в 25-50 % проб, к случайным - виды, обнаруженные менее чем в 25 % проб.

При выделении трофических групп использованы литературные данные (Лосовская, 1977; Киселева, 1981; Грезе, 1985). Для оценки сложности трофической структуры бентоса рассчитан индекс однообразия пищевой структуры (Несис, 1965).

Все группы беспозвоночных, за исключением олигохет, определены до вида.

Результаты исследования. На состав и пространственно-временное распределение организмов бентоса влияют множество факторов, важнейшими из которых в районе исследования являются характер грун-

та, температура и содержание растворенного кислорода в придонном слое воды.

Грунты центральной части бухты на глубинах более 5,0 м представлены черными илами со слоем (2-4 см) наилка охристого цвета. Вдоль северо-западного берега на глубине менее 5,0 м залегают мелкие плотные пески.

Температура придонного слоя воды в разные съемки составляла 2,3-23,9 ($11,8 \pm 1,9$) °С, содержание растворенного кислорода 0,2-9,3 ($4,4 \pm 0,9$) мл/л, соленость 12,6-17,8 ($15,8 \pm 0,5$) ‰.

Зарегистрировано 22 таксона макробентоса - червей и моллюсков по восемь, ракообразных - пять, кишечнополостных - один (табл. 1). Несмотря на близость Дуная, донная фауна носит морской характер. Преобладают эвритермные виды, отдающие предпочтение опресненным участкам.

Таблица 1. Структура макрозообентоса Жебриянской бухты в период 1988-1996 гг.

Таксоны	а, экз. · м ⁻²	в, г · м ⁻²	Р, %	$\sqrt{}$ BP
<i>Mya arenaria</i> L.	120	59,588	58,8	59,2
<i>Nereis succinea</i> Leuckart	454	12,134	81,3	31,4
<i>Oligochaeta</i> sp.	233	1,370	86,3	10,9
<i>Scapharca inaequivalvis</i> (Bruguiere)	1	2,350	11,3	5,2
<i>Nephtys hombergii</i> Aud. et M.-Edw.	11	0,494	23,8	3,4
<i>Polydora ciliata limicola</i> Annenkova	161	0,218	45,0	3,1
<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck	1	0,834	7,5	2,5
<i>Cerastoderma glaucum</i> Poiret	2	1,009	6,3	2,5
<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud)	37	0,158	26,3	2,0
<i>Balanus improvisus</i> Darwin	3	0,154	8,8	1,2
<i>Nereis diversicolor</i> Muller	12	0,081	8,8	0,8
<i>Gammarus insensibilis</i> Stock	<1	0,034	2,5	0,3
<i>Ampelisca diadema</i> A. Costa	1	0,006	5,0	0,2
<i>Obelia longissima</i> (Pallas)	—	0,008	3,8	0,2
<i>Abra ovata</i> (Philippi)	1	0,010	2,5	0,2
<i>Corophium volutator</i> (Pallas)	3	0,014	1,3	0,1
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> A. Costa	1	0,002	2,5	0,1
<i>Harmothoe reticulata</i> Claparede	1	0,001	2,5	0,1
<i>Spio filicornis</i> (Muller)	1	0,001	1,3	0,1
<i>Melinna palmata</i> Grube	1	0,001	1,3	0,1
<i>Mysella bidentata</i> (Montagu)	1	0,001	1,3	0,1
<i>Spisula subtruncata</i> (Costa)	1	0,002	1,3	0,1
Всего:	1047	78,470	—	—

Во время одной съемки встречено от 15 (март 1989 г.) до четырех (сентябрь 1990 г.) таксонов, среднее за период наблюдения равно $8,2 \pm 1,0$. Прослеживается тенденция снижения биологического разнообразия. Если в 1988-1989 гг за съемку было встречено $13,0 \pm 2,0$ таксона, то, начиная с 1990 г., их количество уменьшилось в 1,8 раза - до $7,1 \pm 0,2$. Возможно, это результат тех глобальных изменений фауны, которые произошли на значительных акваториях северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) под влияние речного стока (Лосовская, Рытикова, 1987; Лосовская и др., 1987).

Средняя численность макрофауны в разные съемки варьировала от 80 до 2264 (составив за период наблюдения $1047,4 \pm 112,0$) экз. · м², биомасса - от 6,9 до 230,2 ($78,5 \pm 13,7$ г · м²).

Наиболее высокие средние показатели плотности и биомассы за весь период отмечены на станциях № 5 (1573, экз. · м⁻²; 162,0 г · м⁻²) и № 65 (1101 экз. · м⁻²; 112,9 г · м⁻²), расположенных в южной части бухты: минимальные (170 экз. · м⁻²; 6,7 г · м⁻²) - на станции № 7, выполненной непосредственно в районе проведения перегрузочных работ.

По частоте встречаемости всего три таксона - двусторчатый моллюск *M. agenaria*, черви *N. succinea* и *Oligochaeta* sp. отнесены к основным. Именно они образовали ядро бентоса, составив 77,1 % численности и 93,1 % биомассы. Еще два вида - брюхоногий моллюск *H. acuta* и полихета *P. ciliata limicola* - отнесены к второстепенным (18,9 % плотности и 0,5 % биомассы). Все основные и второстепенные таксоны относятся к оппортунистам. 17 случайных видов составили всего 4,0 % плотности и 6,4 % биомассы.

Наиболее массовыми видами в течение всего периода были мия (11,5 % численности и 75,9 % биомассы) и nereis (соответственно 43,4 и 15,5 %). Популяция мии была представлена сеголетками и годовиками длиной до 25 мм (чаще всего 10-15 мм); более крупные моллюски старших возрастных групп встречались крайне редко.

Среди основных систематических групп по плотности (83,5 %) доминировали черви, по биомассе (81,5 %) - моллюски (табл. 2).

Ракообразные - случайный элемент в составе фауны центральной части бухты. Их крайне низкие показатели обусловлены совокупным влиянием двух факторов - характером грунта и напряженным кислородным режимом в теплое время года. В то же время, бокоплав *Pontogammarus maeoticus* (Sowinskyi) - массовый вид прибрежной зоны

бухты. Летом 1995 г. его средняя численность на глубине менее 1,0 м составляла $6740,0 \pm 2404,6$ экз. · м², биомасса $68,6 \pm 23,9$ экз. · м⁻².

Таблица 2. Сравнительная характеристика основных систематических групп макрозообентоса Жебриянской бухты в период 1988-1996 гг.

Систематические группы	Кол-во таксонов	а		в	
		экз · м ⁻²	%	г · м ⁻²	%
Черви	8	874	83,5	14,3	18,2
Ракообразные	5	9	0,8	0,2	0,3
Моллюски	8	164	15,7	64,0	81,5
Кишечнополостные	1	—	—	—	—
Всего	22	1047	100,0	78,5	100,0

Отсутствие на дне бухты твердых субстратов значительно ограничивает развитие организмов эпифауны, поэтому по всем показателям - количеству таксонов (63,6 %), плотности (98,9 %) и биомассе (98,7 %) - преобладали представители инфауны.

Так как акватория бухты подвержена регулярным заморам, то важное значение приобретают пути реколонизации дна в постзаморный период. Происходит это двумя путями - в меньшей степени путем миграции вагильных видов из прибрежной зоны (кумовые раки, бокоплав) и размножения уцелевших особей (олигохеты), в большей - за счет оседания пелагических личинок донных животных, перенесенных течением из других более благополучных районов. При этом увеличение плотности фауны значительно опережает наращивание ее биомассы, так как на начальной стадии восстановления в бентосе преобладают молодые и мелкие особи. Преимущественное развитие получают виды с планктонной стадией развития - они заселяют постзаморные площади раньше и в большем количестве, чем виды с прямым развитием (Повчун, Лукьянова, 1988). В районе исследования доминируют виды с пелагической стадией, составляя 72,7 % числа видов, 77,2 % плотности и 98,2 % биомассы. Среди трофических групп по количеству видов (50,0 %) и численности (86,4 %) лидировали детритофаги, по биомассе (81,4 %) - сестонофаги (табл. 3).

Показатели видов, ведущих подвижный образ жизни, значительно превосходили показатели sessильных животных, составляя 86,4 % количества видов, 99,6 % численности и 98,7 % биомассы.

Крайне низки показатели (1,2 % плотности и 0,6 % биомассы) плотоядных животных. Характер грунта и низкая прозрачность воды

препятствуют развитию макрофитов, поэтому в центральной части бухты фитофаги и растительно-детритоядные виды практически отсутствуют. Единичные находки бокоплава *G. insensibilis* в холодное время года (весной) лишь подтверждают эту закономерность.

Таблица 3. Сравнительная характеристика трофических групп макрозообентоса Жебриянской бухты в период 1988-1996 гг.

Трофические группы	Кол-во таксонов	а		в	
		экз · м ⁻²	%	г · м ⁻²	%
Детритофаги	11	905	86,4	14,1	18,0
Сестонофаги	7	129	12,3	63,9	81,4
Плотоядные	3	12	1,2	0,5	0,6
Растительно-детритоядные	1	1	0,1	—	—
Всего:	22	1047	100,0	78,5	100,0

По современной методике донные биоценозы принято выделять на основании индекса плотности $\sqrt{вР}$, где в - биомасса вида на станции в г · м², Р - встречаемость в процентах. Название биоценозу дают по руководящему виду. Однако при выделении донных биоценозов на акватории Жебриянской бухты этот метод применить нельзя, так как нет стабильного доминирования биомассы или встречаемости того или иного вида на конкретной станции и она по результатам разных съемок будет относиться к разным биоценозам, что не соответствует действительности: происходит не смена донных биоценозов, а изменение количественных показателей гидробионтов, находящихся в постоянной динамике. Поэтому корректней будет дать название биоценозу, как это было принято ранее, по основному субстрату и отнести станции центральной части Жебриянской бухты к биоценозу черного ила.

Индекс однообразия пищевой структуры за весь период составил 0,54.

Для выяснения динамики развития бентоса в течение года рассмотрим этот процесс по сезонам.

Весной средняя температура придонного слоя воды составляла 4,4°C, содержание кислорода 8,0 мл/л, соленость 16,0 ‰. Зарегистрировано 15 таксонов (табл. 4), средняя плотность равна $914,0 \pm 99,3$ экз. · м², биомасса $34,5 \pm 8,2$ г · м².

Наиболее высокие показатели отмечены на ст. № 5, минимальные - на № 2. Основные виды составили 64,3% численности и 87,4% биомассы.

Таблица 4. Сравнительная характеристика качественного состава и количественных показателей макрозообентоса Жебриянской бухты в разные сезоны в период 1988-1996 гг.

Таксоны	Весна		Лето		Осень	
	а	в	а	в	а	в
<i>Obelia longissima</i>	—	0,032	—	0,002	—	—
<i>Harmothoe reticulata</i>	1	0,007	—	—	—	—
<i>Nereis succinea</i>	447	7,270	773	22,155	55	0,679
<i>N. diversicolor</i>	—	—	29	0,192	1	0,001
<i>Nephtys hombergii</i>	35	2,036	2	0,024	11	0,253
<i>Polydora ciliata limicola</i>	198	0,417	171	0,219	114	0,099
<i>Spio filicornis</i>	—	—	1	0,001	—	—
<i>Melinna palmata</i>	—	—	—	—	1	0,003
<i>Oligochaeta sp.</i>	85	0,410	387	2,475	91	0,218
<i>Balanus improvisus</i>	3	0,141	1	0,131	5	0,312
<i>Ampelisca diadema</i>	4	0,026	1	0,001	—	—
<i>Gammarus insensibilis</i>	3	0,170	—	—	—	—
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	—	—	1	0,001	4	0,008
<i>Corophium volutator</i>	—	—	—	—	12	0,056
<i>Hydrobia acuta</i>	74	0,327	8	0,037	47	0,213
<i>Scapharca inaequivalvis</i>	1	0,063	1	4,048	1	1,611
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	1	0,070	1	1,314	1	1,399
<i>Mysella bidentata</i>	—	—	—	—	1	0,002
<i>Cerastoderma glaucum</i>	1	1,000	5	1,706	—	—
<i>Spisula subtruncata</i>	—	—	1	0,004	—	—
<i>Abra ovata</i>	5	0,052	—	—	—	—
<i>Mva arenaria</i>	56	22,483	203	77,059	46	53,985
Всего:	914	34,504	1585	109,369	390	58,839

Среди систематических групп по плотности (83,8%) доминировали черви, по биомассе (69,6%) - моллюски (табл. 5); среди трофических - по численности (89,3%) детритофаги, по биомассе (68,7%) - сестонофаги (табл. 6).

Индекс однообразия пищевой структуры был низок - 0,31.

Исходя из того, что площадь дна Жебриянской бухты на глубине более 5,0 м составляет приблизительно 86,0 км², запасы макрозообентоса в весенний период оценены в $2967,0 \pm 705,2$ т.

Летом средняя температура была 14,9°C, содержание кислорода 3,1 мл/л, соленость 16,7 ‰.

Зарегистрировано 16 таксонов. По сравнению с весной, средняя

плотность увеличилась в 1,7 ($1585,0 \pm 292,0$ экз. · м⁻²), биомасса в 3,2 ($109,4 \pm 34,2$ г · м⁻²) раза.

Таблица 5. Сравнительная характеристика систематических групп макрозообентоса Жебриянской бухты в весенний период в 1988-1996 гг.

Систематические группы	Кол-во таксонов	а		в	
		экз · м ⁻²	%	г · м ⁻²	%
Черви	5	766	83,8	10,2	29,5
Ракообразные	3	10	1,1	0,3	0,9
Моллюски	6	138	15,1	24,0	69,6
Кишечнополостные	1	—	—	—	—
Всего:	15	914	100,0	34,5	100,0

Таблица 6. Сравнительная характеристика трофических групп макрозообентоса Жебриянской бухты в весенний период в 1986-1996 гг.

Трофические группы	Кол-во таксонов	а		в	
		экз · м ⁻²	%	г · м ⁻²	%
Детритофаги	7	816	89,3	8,7	25,2
Сестонофаги	5	62	6,8	23,7	68,7
Плгоядные	3	36	3,9	2,1	6,1
Всего:	15	914	100,0	34,5	100,0

На шести из восьми станций численность фауны была более 1000 экз. · м⁻², максимальная отмечена на станции № 6 (2460 экз. · м⁻²); минимальные показатели (200 экз. · м⁻²; $6,3$ г · м⁻²) - на ст. № 7 в районе перегрузки.

Несмотря на то, что численность основных видов увеличилась в 2,3; биомасса в 3,4 раза, эти же показатели, но выраженные в процентах, по сравнению с весной почти не изменились и составили 86,0 и 93,0 %.

Таблица 7. Сравнительная характеристика систематических групп макрозообентоса Жебриянской бухты в летний период в 1988-1996 гг.

Систематические группы	Кол-во таксонов	а		в	
		экз · м ⁻²	%	г · м ⁻²	%
Черви	6	1363	86,0	25,1	23,0
Ракообразные	3	3	0,2	0,1	—
Моллюски	6	219	13,8	84,2	77,0
Кишечнополостные	1	—	—	—	—
Всего:	16	1585	100,0	109,4	100,0

Среди систематических групп по плотности (86,0 %) лидировали черви, по биомассе (77,0 %) - моллюски (табл. 7), а среди трофических - по численности (86,5 %) - детритофаги, по биомассе (77,1 %) - сестонофаги (табл. 8).

Таблица 8. Сравнительная характеристика трофических групп макрозообентоса Жебриянской бухты в летний период в 1968-1996 гг.

Индекс однообразия пищевой структуры по сравнению с весной увеличился в 1,5 раза и составил 0,47.

Запасы макрозообентоса в летний период составляли $9408,4 \pm 2941,2$ т.

Осенью средняя температура была $11,7^{\circ}\text{C}$, содержание кислорода $4,3$ мл/л, соленость $12,7$ ‰. Зарегистрировано 14 таксонов. По сравнению с летом, средняя плотность макрофауны снизилась в 4,1 ($389,5 \pm 114,5$ экз. · м⁻²) биомасса - $1,9$ ($58,8 \pm 29,8$ г · м⁻²) раза.

Наиболее высокие показатели отмечены на станциях № 65 (1101 экз. · м⁻², $112,9$ г · м⁻²) и № 5 (1573 экз. · м⁻², $162,0$ г · м⁻²), минимальные - на ст. № 4 и № 7. По сравнению с летом, средняя плотность основных видов уменьшилась в 7,1; биомасса - в 1,9 раза, однако эти же показатели, но выраженные в процентах, как и летом, почти не изменились, составляя 49,2 % численности и 93,3 % биомассы.

Среди систематических групп по плотности (70,0 %) преобладали черви, по биомассе (97,3 %) - моллюски (табл. 9), а среди трофических - по численности (83,3 %) - детритофаги, по биомассе (97,3 %) - сестонофаги (табл. 10).

Индекс однообразия пищевой структуры по сравнению с летом вырос в два раза и составил 0,92.

Запасы макрозообентоса бухты в осенний период оценены в $5056,0 \pm 2562,8$ т.

Прослеживается интересная закономерность - несмотря на значительные колебания плотности и биомассы основных видов в разные сезоны, эти же показатели, но выраженные в процентах, варьировали в значительно меньших пределах, суммарные показатели на протяже-

нии трех сезонов почти не менялись, составляя 49,8-86,0 % плотности и 87,4-93,3 % биомассы.

Таблица 9. Сравнительная характеристика систематических групп макрозообентоса Жебриянской бухты в осенний период в 1988-1996 гг.

Систематические группы	Кол-во таксонов	а		в	
		экз · м ⁻²	%	г · м ⁻²	%
Черви	6	273	70,0	1,2	2,0
Ракообразные	3	21	5,4	0,4	0,7
Моллюски	5	96	24,6	57,2	97,3
Всего:	14	390	100,0	58,8	100,0

Таблица 10. Сравнительная характеристика трофических групп макрозообентоса Жебриянской бухты в осенний период в 1988-1996 гг.

Трофические группы	Кол-во таксонов	а		в	
		экз · м ⁻²	%	г · м ⁻²	%
Детритофаги	8	325	83,3	1,3	2,2
Сестонофаги	5	54	13,9	57,2	97,3
Плотоядные	1	11	2,8	0,3	0,5
Всего:	14	390	100,0	58,8	100,0

Так, от весны к лету численность мии (в экз · м⁻²) увеличилась в 3,6 раза, а к осени снизилась в 4,4 раза. Этот же показатель, но выраженный в процентах, показывает, что весной мия составляла 6,1 % плотности, летом 12,8 %, осенью 11,8 %. Биомасса этого вида (в г · м⁻²) от весны к лету выросла в 3,4 раза, к осени снизилась в 1,3 раза. Этот же показатель, выраженный в процентах, показывает, что от весны к осени удельный вес мии постоянно увеличивался, последовательно составляя 65,2; 70,5 и 91,8 %.

Аналогичные превращения происходили и с другими основными и второстепенными видами (табл. 11).

Синхронно с увеличением биомассы мии (в процентах) происходило изменение индекса однообразия пищевой структуры, который с весны по осень вырос в три раза - с 0,31 до 0,92.

Подведем краткие итоги. Весной, с началом прогрева воды, у донных животных активизируются все жизненные процессы - дыхание, питание, рост, размножение. Увеличение температуры воды сопровождается увеличением численности и биомассы бентоса, причем нарастание численности опережает увеличение биомассы, так как в популяциях преобладают молодые мелкоразмерные особи. К середине лета

температура воды, плотность и биомасса фауны достигают своих максимальных значений; содержание растворенного кислорода в придонном слое воды в этот сезон, наоборот, падает до минимальных, критических значений; в условиях гипоксии развивается замор.

Осенью температура снижается, содержание кислорода увеличивается, однако по причине замора численность и биомасса макрофауны по сравнению с летом снижаются.

Количество таксонов по сезонам практически не менялось, оставаясь на уровне 14-16.

В зимний период исследования не проводились. Но так как зимой температура минимальна, а содержание кислорода, соответственно, высоко, то можно с известной долей достоверности предположить, что состав и количественные показатели бентоса в этот сезон не претерпевают значительных изменений и путем зимней элиминации приближаются к весенним показателям.

Таким образом, динамика количественных показателей макрофауны в Жебриянской бухте имеет годичный цикл развития.

Весной, с повышением температуры, начнется новый цикл развития, особенности которого будут определять многие факторы, прежде всего температура воды и погодные условия. Высокая температура и штилевая погода летом, высокий уровень эвтрофирования увеличивают вероятность гипоксии и развития замора донной фауны; наоборот, низкая температура, штормовая погода и низкий уровень биогеоноз эту вероятность снижают.

Рассмотрев динамику развития бентоса по сезонам, мы, на наш взгляд, описали ее слишком крупными мазками. Чтобы понять тонкости механизма динамики, возможно, целесообразнее рассмотреть этот процесс по месяцам. Сделаем это на примере основных и второстепенных видов, составлявших в разные сезоны 90,5-97,3 % численности и 89,6-93,7 % биомассы.

Начиная с марта месяца, температура придонного слоя воды постоянно увеличивается и, достигнув максимального значения (23,9°C) в августе, снижается до 6,0°C в ноябре.

Содержание растворенного кислорода снижается с 8,0 мл/л в марте до критических значений 2,0-1,7 мл/л в июле - сентябре, затем на фоне снижения температуры увеличивается до 8,2 мл/л в ноябре (табл. 12).

Таблица 11. Сравнительная характеристика численности (а) и биомассы (в) основных таксонов макрозообентоса Жебриянской бухты в разные сезоны в период 1988-1996 гг.

Таксоны	Весна			Лето			Осень		
	а		в	а		в	а		в
	экз · м ⁻²	%	г · м ⁻²	экз · м ⁻²	%	г · м ⁻²	экз · м ⁻²	%	г · м ⁻²
<i>Mya arenaria</i>	56	6,1	22,48	65,2	12,8	77,06	46	11,8	53,99
<i>Nereis succinea</i>	447	48,9	7,27	21,1	48,8	22,16	55	14,1	0,68
<i>Oligochaeta sp.</i>	85	9,3	0,41	1,2	24,4	2,48	91	23,3	0,22
<i>Polidora ciliata limicola</i>	198	21,7	0,42	1,2	10,8	0,22	114	29,2	0,10
<i>Hydrobia acuta</i>	74	8,1	0,33	0,9	0,5	0,04	47	12,1	0,21
Всего:	860	94,1	30,91	89,6	97,3	101,96	353	90,5	55,20

Таблица 12. Динамика средних показателей численности и биомассы макрозообентоса, средних значений температуры (°С), солености (‰) и содержания растворенного кислорода (мл/л) в придонном слое воды Жебриянской бухты в отдельные месяцы в период 1988-1996 гг.

Месяцы	Численность, экз · м ⁻²	Биомасса, г · м ⁻²	Температура, °С	Соленость, ‰	Содержание кислорода, мл/л
Март	914	34,5	4,4	16,0	8,0
Апрель	—	—	—	—	—
Май	—	—	—	—	—
Июнь	1590	79,1	9,5	17,4	3,9
Июль	2108	135,5	15,6	16,5	2,0
Август	529	116,9	23,9	15,9	3,9
Сентябрь	345	62,4	16,0	16,6	1,7
Октябрь	355	6,9	12,4	12,6	5,5
Ноябрь	496	103,9	6,0	12,7	8,2

В марте численность (914 экз · м⁻²) и биомасса (34,5 г · м⁻²) были довольно высоки, наиболее высокая плотность отмечена у полихет нерейс и полидора. По плотности (83,9 %) доминировали черви, по биомассе (69,6 %) моллюски.

За счет весеннего размножения и линейного роста донных животных, количественные показатели фауны к июлю достигли своих максимальных значений. С марта по июль численность бентоса увеличилась в 2,3, биомасса в 3,9 раза. При этом плотность мии выросла в 4,6; нерейса в 1,9; олигохет в 6,8; полидоры в 1,9 раза; биомасса их, соответственно, в 4,6; 3,1; 8,2 и 6,7 раза. По численности (84,3 %) преобладали черви, по биомассе (79,0 %) моллюски.

В связи с развитием гипоксии и последующего замора, количественные показатели фауны к октябрю резко упали - плотность в 5,9; биомасса в 19,6 раза, в том числе численность нерейса в 165,4 (!), олигохет в 5,1; полидоры в 1,6 раза, биомасса их, соответственно, в 1920,0 (!); 9,4 и 2,2 раза. Мия и гидробия в октябре отсутствовали.

В июле, месяце максимального развития макрозообентоса, его запасы в Жебриянской бухте на глубине более 5,0 м составляли порядка 11653,0 т. В результате замора, к октябрю они снизились в 19,6 раза - до 593,0 т. Следовательно, потери биомассы составили колоссальную величину - 11060,0 т, в том числе мии - 9080,0 т.

К ноябрю за счет осеннего размножения макрозообентоса средняя

численность по сравнению с октябрем выросла в 1,4; биомасса - в 15,1 раза. Наиболее массовыми в ноябре были нереис, мия и олигохеты.

Следует постоянно помнить, что для описания сезонной динамики бентоса мы использовали данные разных съемок за весь период наблюдений. Так, октябрьская съемка была выполнена в 1992 г., ноябрьская в 1995 г. Между показателями фауны в разные месяцы не всегда есть логически объяснимые переходы (например, между биомассой в октябре и ноябре), да и год на год не приходится, однако саму суть процесса эти показатели отражают верно. (Аналогичная динамика показателей макрозообентоса описана нами для станции № 65. Материалом для этой работы послужили 22 съемки, выполненные в период 1985-1996 гг.).

В зимнее время наблюдения не проводились, но, зная ход температурного и кислородного режимов, а также показатели бентоса в последний месяц осени и первый весны, можно предположить, что значительных изменений качественного и количественного состава бентоса в это время года не происходит и они постепенно приближаются к уровню марта. С началом весеннего прогрева воды начинается новый этап развития фауны. Таким образом, динамика макрофауны Жебрианской бухты имеет годичный цикл развития, индивидуальные особенности которого определяют, главным образом, температура воды, погодные условия и уровень эвтрофирования.

Анализ сезонной динамики основных и второстепенных видов показал, что объем весеннего пополнения намного выше осеннего. Объяснение простое: молодь весеннего пополнения развивается при высокой температуре в условиях достатка пищи, молодь осеннего - в постзаморных условиях, при пониженной температуре, когда все физиологические процессы снижаются до минимального уровня.

Литература

1. Гресе И.И. Бокоплавы. Фауна Украины. - Высшие ракообразные. - Киев: Наук. думка, 1985. - 26, вып. 5. - 172 с.
2. Киселева М.И. Бентос рыхлых грунтов Черного моря. - Киев: Наук. думка, 1981. - 165 с.
3. Лосовская Г.В. Экология полихет Черного моря. - Киев: Наук. думка, 1977. - 91 с.
4. Лосовская Г.В., Рытикова Л.Ю. Состояние донных сообществ северо-

ро-западной части Черного моря в условиях изменения речного стока // Экология моря. - Киев, 1987. - Вып. 26. - С. 37-43.

5. Лосовская Г.В., Макаров К.Н., Сальский В.А. Зообентос северо-западной части Черного моря в условиях антропогенного воздействия // Гидробиол. исследования на Украине в XI пятилетке V конф. Укр. филиала ВГБО. - Киев, 1967. - С. 53-54.
6. Несис К.Н. Некоторые вопросы пищевой структуры морских биоценозов // Океанология. - 1965. - Т. 5, № 4. - С. 701-704.
7. Повчун А.С., Лукьянова Л.Ф. Последовательность заселения мидийной банки основными видами сообщества после замора. - Севастополь, 1988. - Деп. в ВИНТИ 22.04.88, № 3130-B88. - 13 с.

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ПРИДУНАЙСКОГО РАЙОНА ЧЕРНОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ ЭВТРОФИРОВАНИЯ

Б.Г. Александров, Ю.П. Зайцев

Началом крупномасштабных изменений биологической структуры Черного моря явилось увеличение, более чем на порядок, по сравнению с 60-ми годами, поступления биогенных веществ с речным стоком в 1971-1975 годах. Это стало результатом возросшего использования минеральных удобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Строительство дамб на реках, впадающих в Черное море, изменило режим стока и уменьшило поступление твердых веществ.

Эвтрофирование северо-западного шельфа Черного моря привело к цепи последовательных изменений биологической структуры экосистемы от одноклеточных водорослей до околотовных птиц. В наибольшей степени эти изменения затронули приустьевые районы моря, в частности - взморье Дуная. Исследование многолетней изменчивости баланса пресных вод, поступающих в Черное море, показало, что 50 % их общего объема приходится на реки северо-западной части, из них на долю Дуная - 36 % [25].

С началом эвтрофирования содержание нитратов и фосфатов на взморье Дуная возросло в 10-15 раз, достигло максимума в 1976-1980 гг. и в последующее двадцатилетие снизилось вдвое, стабилизировавшись на уровне значений характерных для начала 70-х годов.

Среди компонентов биологической структуры Черного моря на изменения биогенного стока первыми отреагировали пелагиобионты. В отличие от бентоса, планктонные организмы испытывают резкие сезонные колебания качества среды, прежде всего температуры и солености. Этим объясняется их физиологическая адаптация, проявляющаяся в более коротком жизненном цикле и более высокой продукции. Вслед за пиком биогенов произошло возрастание среднегодовой

биомассы фито- и зоопланктона в 2-10 раз со смещением периода максимальных значений в 1986-1990 гг.

Интенсивное развитие жизни в море привело к нарушению равновесного состояния продукционно-деструкционных процессов в сторону накопления органического вещества. Этим объясняется изменение соотношения диатомового и перидиниевого фитопланктона в пользу последнего [24, 36], способного к миксотрофному питанию, а, следовательно, к утилизации растворенного органического вещества. Одновременное возрастание численности и биомассы зоопланктона более чем на порядок, произошло по аналогичной причине, за счет развития одноклеточного эврифага *Noctiluca scintillans* (= *N. miliaris*). За период с 1981 по 1990 годы ноктилюка составила в среднем 77 % численности и 97 % биомассы всего мезозоопланктона. Максимальное развитие зоопланктона отмечено в приустьевых районах в 1986-1990 гг. В частности, в июле 1986 г. к югу от Георгиевского рукава Дуная в 25-30 милях от берега на площади 1800 км² была отмечена сверхвысокая концентрация ноктилюки средней численностью $15 \cdot 10^9$ экз. · м⁻³ и биомассой 125,9 кг · м⁻³ [12].

Резкое увеличение продуктивности шельфовых экосистем за счет интенсивного развития фито- и зоопланктона неодинаковым образом отразилось на других компонентах их биологической структуры. С одной стороны, более чем в два раза возросли уловы массовых планктоноядных рыб - хамсы *Engraulis encrasicolus ponticus* и шпрота *Sprattus sprattus phalaericus* [52], с другой - началась деградация донных сообществ в результате расширения площадей придонной гипоксии, связанной с цветением фитопланктона (табл. 1).

Таким образом, эвтрофирование противоположным образом отразилось на сообществах пелагических и донных организмов.

Возросшее содержание биогенных веществ оказало стимулирующее влияние на пелагиобионтов. Их среднегодовая биомасса возросла в 3-30 раз. Однако, происшедшее при этом ухудшение прозрачности воды, кислородного режима и заиление дна привели к снижению количественных характеристик бентоса в 5-10 раз, сокращению их биологического разнообразия.

Заиление дна стимулирующим образом отразилось на экспансии

видов, хорошо адаптированных к новым условиям. С началом эвтрофирования в 70-х годах в районе междуречий сформировался биоценоз двустворчатого моллюска *Mya arenaria* [21], а с 1980 года - полихеты *Neanthes (Nereis) succinea* [1]. Эти новые для Черного моря биоценозы постепенно стали вытеснять *Melinna palmata*. Уже в 1982-83 гг. была отмечена практически полная замена биоценоза мелинны сообществами мии и nereиса в междуречье Днестра и Днестра [21].

Возрастание продукции шельфовых экосистем Черного моря при эвтрофировании сопровождалось сокращением биологического разнообразия. По вышеприведенным причинам наиболее резкие изменения отмечены в структуре бентических сообществ. При современном видовом разнообразии морской экосистемы в пределах Украинского части северо-западного шельфа Черного моря, насчитывающего около 1000 видов растений и животных, эвтрофирование привело к сокращению пелагических видов в 1.2 раза, бентических - в 2.9 раз (табл. 2). Главными причинами этих изменений следует считать нарушение равновесного состояния экосистемы и снижение биотопического разнообразия.

Характеризуя общие изменения в биологической структуре экосистемы Черного моря, отмечалось преимущественное развитие мелко-клетчатых короткоциклических видов [59]. Другими словами, эвтрофирование благоприятным образом отразилось на организмах с более высокой продукцией. К сожалению, явные количественные подтверждения этой закономерности отсутствуют. Большинство исследователей обращают внимание лишь на изменения численности и биомассы гидробионтов, соотношение видового состава и отдельных таксономических групп.

Среди немногих исключений следует отметить исследования Г.Г. Миничевой [22], в которых представлен обоснованный анализ изменений видовой структуры сообществ донной растительности, обусловленный их физиологической адаптацией к новым трофическим условиям. Для этого были успешно использованы нетрадиционные в гидробиологических исследованиях показатели - индекс поверхности фитоценоза, удельная поверхность популяции отдельных видов водорослей.

Таблица 1. Динамика долготермидных изменений показателей состояния экосистемы северо-западной части Черного моря (район аванделты Дуная).

Годы	Среднегодовой вынос биогенов со стоком Дуная, т		Площадь прибрежной зоны, 10 ³ км ²	Биомасса планктона, г · м ⁻³		Биомасса макрозообентоса, т · м ⁻²	Среднегодовой объем рыбного промысла, 10 ³ т		Большой баклан, численность гнездящихся пар на 1000 особей
	Нитра-Фосфаты	Фосфаты		Фито-планктон	Зоопланктон		Хамса	Шпрот	
1960-1965	49.6	6.6	1	2.0	0.25	458.8	?	2.6	0
1966-1970	52.9	26.8	1	1.5	0.34	397.3	1.2	1.0	0
1971-1975	273.5	47.5	8.5	0.7	0.29	148.2	1.5	1.5	0
1976-1980	255.4	62.6	17.8	2.2	0.31	?	2.7	1.6	0
1981-1985	258.2	40.3	15.8	4.8	3.13	?	4.8	4.0	257
1986-1990	241.7	39.6	17.8	39.9	8.76	99.5	1.3	7.4	1223
1991-1995	257.0	28.0	?	27.5	0.89	52.4	0.2	3.9	2293
Литература *	[7, 9, 10, 38, 54, 55]		[59]	[5, 14, 35]	[4, 5, 15, 35, 43-45, 48-51, **]	[5, 6, 14, 15, 35, 57]		[52]	[60, ***]

* Ссылки на литературные источники приведены в соответствии с их нумерацией в списке литературы к настоящей статье.

** - неопубликованные данные за 1991-1995 Б.Г. Александрова ОФ Ин БЮМ.

*** - неопубликованные данные за 1991-1995 М.Е. Жмуда по территории природного заповедника Дунайские плавни.

Таблица 2. Изменения биоразнообразия экосистемы северо-западной части Черного моря при эвтрофировании.

Компоненты биологической структуры экосистемы	Общее число видов	
	До эвтрофирования (1973)	после эвтрофирования (1984-1994)
ФИТОПЛАНКТОН	372	326
ЗООПЛАНКТОН	200	162
МАКРОФИТОБЕНТОС	108	90
МАКРОЗООБЕНТОС	875	243

Примечание. Из 154 видов обнаруженных здесь рыб - 11 имеют статус редких или исчезающих.

Причины современного изменения биологического разнообразия Черного моря, безусловно, связаны с изменением его трофического статуса и были определены преимущественным развитием гидробионтов с более высокой функциональной активностью.

Известно, что для отображения трофических и функциональных изменений в экосистеме, использование численности и биомассы наименее предпочтительно, так как в первом случае это приводит к переоценке значения мелких, а во втором - крупных организмов. Для оценки функциональной роли сообществ организмов, существенно отличающихся по размерам, более надежным показателем является продукция [26]. Вместе с тем, при изучении различных жизненных форм гидробионтов традиционно применяют отличающиеся показатели, что затрудняет выявление общих закономерностей. В частности, для водорослей продукция выражается в количестве вещества (или энергии), произведенного за единицу времени (часы или сутки - для фитопланктона, месяц или год - для макрофитов). При изучении продукции животных чаще используют безразмерный показатель суточной (зоопланктон) или годовой (зообентос) удельной продукции ($C_w = P/V$, где P - продукция, V - биомасса, выраженные в одинаковых единицах измерения).

Для выявления общих закономерностей изменения биологического разнообразия экосистемы Черного моря в качестве единого показателя функциональной активности вида была использована величина суточной удельной продукции его популяции (рассчитанная по значению средней биомассы).

Для характеристики периода, предшествующего эвтрофированию, были выбраны виды, доминировавшие до 1970-х годов и которые в

настоящее время можно отнести к категории исчезающих или редких. Индикаторами современного состояния были определены ныне массовые виды, а также гидробионты-вселенцы, недавно появившиеся и успешно развивающиеся в Черном море: фитопланктон [24, 34, 40], макрофитобентос [11, 23], зоопланктон [51, 53, 59], макрозообентос [14, 21].

Удельная продукция фитопланктона вычислялась с учетом среднего объема и биомассы [56] клеток, а также интенсивности фотосинтеза [29]. Для макрофитов - рассчитывалась по средней продукции и биомассе популяции водорослей с помощью модели, описывающей их структурно-функциональную организацию [22]. Удельная продукция пелагических и бентических беспозвоночных определялась по энергетическому эквиваленту массы тела [2, 31 и, собственным неопубликованным данным] и величине вторичной продукции [37, 39, 41].

Полученные результаты впервые позволяют интерпретировать происшедшие изменения биологического разнообразия пелагических и бентических сообществ Черного моря с позиции их физиологической адаптации к новым трофическим условиям. В частности, в результате эвтрофирования различия в интенсивности продуцирования живого вещества в пелагиали, по сравнению с бенталью, возросли в три раза, достигнув 125-кратного уровня. Средняя удельная продукция водорослей и беспозвоночных, населяющих эти жизненные зоны, близка по численным значениям, что подтверждает специфику условий обитания в пелагиали и бентали. Исходя из количественных критериев выделения экосистемы, как объединения сообщества организмов и среды их обитания, в котором объем внутреннего обмена вещества больше внешнего [8], полученные результаты не только подтверждают факт существования пелагической и бентической экосистемы Черного моря, но и свидетельствуют о существенном возрастании различий между ними при эвтрофировании.

Изменения функциональной активности планктона и бентоса вследствие перестроек их биологической структуры оказались сходными и достигли двукратного уровня по сравнению с 60-70 годами. Интересно отметить, что в большинстве случаев новые для Черного моря виды гидробионтов-вселенцев - характеризуются максимальными значениями удельной продукции, возглавляя списки доминирующих видов по

данному показателю (табл. 3, 4). Данное обстоятельство еще раз подтверждает тезис о том, что в условиях меняющейся экосистемы при повышении трофического статуса происходит нарушение её устойчивости и формирующиеся экологические ниши захватывают высокопродуктивные виды, более приспособленные к новым условиям. Приведенные данные позволяют предположить, что при увеличении трофности дальнейшее изменение биоразнообразия пойдет в направлении преимущественно развития видов с удельной продукцией более 2,4 в составе фитопланктона, 1,2 - зоопланктона и 0,012 - макрофитобентоса. Что касается макрозообентоса, то здесь приспособления и изменения, связанные с новыми условиями существования носят более сложный характер.

Во-первых, большая часть представителей макрозообентоса проходит личиночную стадию развития в планктоне и, как было показано ранее [33], эвтрофирование, наряду с ухудшением условий существования бентической фауны, увеличивает выживаемость личинок в результате значительного улучшения их кормовой базы. Таким образом, реабилитация донной фауны после критических периодов существования, обусловленных гипоксией, осуществляется за счет пропорционального увеличения численности гемипопуляции личинок, переживающих неблагоприятные периоды жизни в составе планктона. Подтверждением сказанному является относительно стабильная численность меропланктона (табл. 5) по сравнению со значительными изменениями бентоса. В частности за последние два десятилетия его биомасса сократилась: с 107 до 2 г · м² в Придунайском и с 224 до 43 г · м² в Приднепровском районе [6, 30].

Во-вторых, в результате эвтрофирования отмечается увеличение продуктивности бентоса не только на уровне популяции, но и сообщества. Благодаря преимущественному развитию видов с более высокой плодовитостью в последние десятилетия отмечается более чем двукратное увеличение репродукционного потенциала донной фауны. Общее число личинок, производимых за год бентическим сообществом с одного квадратного метра дна в районе авандельты Дуная, возросло в среднем в два раза, достигнув величины 1,13 · 10⁹ экземпляров (табл. 6). Это еще один регуляторный механизм стабилизации катастрофических изменений условий жизни бентали.

Таблица 3. Изменения биологической структуры и продуктивности экосистемы северо-западной части Черного моря в условиях эвтрофирования. Пеллагия

Структурные элементы биоты	Исчезающие и редкие		Доминирующие и вселенные	
	Виды	Суточная удельная продукция	Виды	Суточная удельная продукция
Фитопланктон	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	2,399	<i>Diakronema vlikanum*</i>	5,929
	<i>Chaetoceros curvicutus</i>	2,168	<i>Sceletonema costatum</i>	3,703
	<i>Rhizolenia calcar avis</i>	0,918	<i>S. subsalsum</i>	3,703
			<i>Nitzschia seriata</i>	2,915
			<i>Leptocylindrus danicus</i>	2,509
			<i>Hyllea fusiformis</i>	2,183
			<i>Dinobryon sp.</i>	1,848
			<i>Cerataulina pelagica</i>	1,517
			<i>Prorocentrum cordata</i>	1,176
		В среднем: 1,828	В среднем: 2,831	
Зоопланктон	<i>Penilia avirostris</i>	1,009	<i>Tintinnopsis minuta*</i>	1,773
	<i>Acartia latisetosa</i>	0,700	<i>Synchaeta baltica</i>	1,643
	<i>Ctenopages ponticus</i>	0,491	<i>Noctiluca scintillans</i>	1,532
	<i>Anomalocera patersoni</i>	0,235	<i>Pleopis polyphemoides</i>	1,316
	<i>Poniella mediterranea</i>	0,235	<i>Coxiella decipiens*</i>	1,190
	<i>Labidocera brunescens</i>	0,235	<i>Acartia clausi</i>	0,755
	В среднем: 0,484	В среднем: 1,368		

* Виды вселенцы

Таблица 4. Изменения биологической структуры и продуктивности экосистемы северо-западной части Черного моря в условиях эвтрофирования. Бенгаль.

Структурные элементы биоты	Исчезающие и редкие		Доминирующие и вселенцы	
	Виды	Суточная удельная продукция	Виды	Суточная удельная продукция
Макрофитобентос	<i>Chondria tenuissima</i>	0,011	<i>Polysiphonia sanguinea</i>	0,027
	<i>Dilophus fasciola</i>	0,007	<i>Desmarestia viridis*</i>	0,027
	<i>Cystoseira barbata</i>	0,007	<i>Cladophora vagabunda</i>	0,018
	<i>Stilophora rhizodes</i>	0,006	<i>Ulva rigida</i>	0,015
			<i>Enteromorpha intestinalis</i>	0,015
		<i>Chara aculeolata</i>	0,013	
		<i>Ceramium elegans</i>	0,012	
		<i>Punctaria latifolia</i>	0,011	
		В среднем: 0,008	В среднем: 0,017	
Макрозообентос	<i>Pomatoceros triquetter</i>	0,030	<i>Polydora ciliata limicola*</i>	0,028
	<i>Phyllococe nana</i>	0,025	<i>Balanus improvisus</i>	0,023
	<i>Ph. paretti</i>	0,025	<i>Doridella obscura*</i>	0,022
	<i>Ostrea edulis</i>	0,007	<i>Idotea baltica</i>	0,022
	<i>Flexorpecten ponticus</i>	0,007	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0,019
	<i>Tritia reticulata</i>	0,007	<i>Spio filicornis</i>	0,015
	<i>Diogenes pugilator</i>	0,007	<i>Nereis succinea</i>	0,012
	<i>Upogebia pusilla</i>	0,004	<i>Mya arenaria*</i>	0,007
	<i>Xantho porressa</i>	0,004	<i>Cerastoderma lamarki</i>	0,007
	<i>Pilumnus birtellus</i>	0,003		
	<i>Carcinus mediterraneus</i>	0,002		
		В среднем: 0,011	В среднем: 0,017	

В-третьих, поскольку при эвтрофировании наряду с ухудшением кислородного режима возрастает заиление грунта, особое развитие получают виды, способные обитать в новых условиях и имеющие пелагическую личинку с продолжительностью развития в несколько раз превышающую длительность гипоксии. Такими особенностями обладают большинство видов полихет, в частности нереис и полидора, а также двустворчатые моллюски мия и мидия - наиболее характерные обитатели северо-западного шельфа Черного моря, доминирующие виды одноименных биоценозов. Этим также объясняется и увеличение доли полихет в планктоне в результате эвтрофирования (см. табл. 5). Еще одним примером исчезновения видов, связанных с частичной потерей субстрата, являются двустворчатые моллюски: древоточец, *Teredo navalis* и камнеточец, *Barnea candida*.

В-четвертых, отмечается опосредованное уменьшение биоразнообразия, связанное с исчезновением видов растений и животных, создававших необходимые условия существования для других видов. Деградация биоценоза красной водоросли филофоры ("поля Зернова") привело к исчезновению ряда беспозвоночных: Nemertini - *Micrura fasciolata*, Isopoda - *Synisoma capito*, Amphipoda - *Dexamine spinosa*, Apherusa bispinosa, Caprella acantifera, Phtisica marina, Decapoda - *Hippolyte varians*, Portunus arcuatus, P. holsatus, Pantopoda - *Callipalene phantoma*, Gastropoda - *Triphora perversa*, *Odostomia novegradensis*.

Другим примером является исчезновение биоценоза рака-отшельника *Diogenes pugilator*, связанное не только с заиливанием песчаных прибрежных мелководий северо-западного шельфа, но и с исчезновением хищного брюхоногого моллюска *Tritia reticulata*, раковины которого представляли собой единственно возможное убежище для диогена.

Описанные различия в условиях существования сообществ пелагических и донных организмов не проявляются в зоне прибрежного мелководья до глубин 5-6 метров. Здесь свет проникает до дна, не лимитируя развитие макрофитов, а интенсивная гидродинамика способствует нормальному насыщению воды кислородом. В этих условиях краевой эффект ("сгущение жизни") при эвтрофировании проявляется в еще большей степени. В частности, средняя биомасса обрастания гидротехнических сооружений в Одесском заливе по сравнению с 1973 годом увеличилась в 2,3 раза, достигнув величины 19,6 кг · м² [1, 16]. Увеличение продуктивности шельфовых экосистем в узкой прибрежной зоне не могло не оказать стимулирующего влияния на развитие

Таблица 5. * Изменения численности и соотношения (в %) основных систематических групп меропланктона приустьевых районов северо-западной части Черного моря в летний период (июнь-сентябрь).

Год	Взморье Дуная					Взморье Днестра и Буга				
	Общая численность, экз. · м ⁻³	Polychaeta	Bivalvia	Cirripedia	Литература	Общая численность, экз. · м ⁻³	Polychaeta	Bivalvia	Cirripedia	Литература
1960	13689	0,5	92,6	6,9	[35]	—	—	—	—	
1961	6127	13,8	11,0	75,2	[35]	—	—	—	—	
1962	2258	19,1	54,2	26,7	[35]	—	—	—	—	
1963	1241	8,7	78,7	12,6	[35]	—	—	—	—	
1964	4521	1,7	27,0	71,3	[35]	—	—	—	—	
1965	19439	10,4	48,8	40,8	[35]	—	—	—	—	
1968	3915	22,8	39,4	37,8	[4]	—	—	—	—	
1972	25732	91,7	6,9	1,4	[47]	—	—	—	—	
1973	158833	32,8	32,4	34,8	[47]	—	—	—	—	
1974	11593	22,1	19,2	58,7	[47]	—	—	—	—	
1975	8549	5,3	86,9	7,8	[47]	3900	28,2	41,0	30,8	[33]
1976	2276	42,3	42,8	14,9	[47]	1600	25,0	37,5	37,5	[33]
1977	1178	12,6	45,4	42,0	[47]	—	—	—	—	
1978	7369	10,0	88,4	1,6	[47]	4205	13,0	64,9	22,1	[33]
1979	3329	6,1	12,2	81,7	[46,47]	6575	17,7	45,7	36,6	[33]
1980	15309	0,7	52,9	46,4	[46]	1190	52,9	24,4	22,7	[33]
1981	—	—	—	—		4310	24,4	55,2	20,4	[33]

Продолжение таблицы 5 смотри ниже.

Таблица 5 (продолжение). Изменения численности и соотношения (в %) основных систематических групп меропланктона приустьевых районов северо-западной части Черного моря в летний период (июнь-сентябрь).

Год	Взморье Дуная					Взморье Днестра и Буга				
	Общая численность, экз. · м ⁻³	Polychaeta	Bivalvia	Cirripedia	Литература	Общая численность, экз. · м ⁻³	Polychaeta	Bivalvia	Cirripedia	Литература
1982	—	—	—	—		4230	56,8	28,8	14,4	[33]
1983	—	—	—	—		5420	16,9	33,6	49,5	[33]
1984	—	—	—	—		15150	10,8	69,1	20,1	[33]
1985	—	—	—	—		8030	24,6	48,3	27,1	[33]
1986	—	—	—	—		2730	39,9	48,0	12,1	[33]
1987	—	—	—	—		2520	37,5	42,7	19,8	[33]
1989	1397	73,1	21,9	5,0	*	1170	17,2	74,3	8,5	[33]
1990	—	—	—	—		4730	41,2	10,4	48,4	[33]
1991	54	59,3	7,4	33,3	*	—	—	—	—	
1992	455	85,9	9,7	4,4	[28]	—	—	—	—	
1993	22055	1,0	95,7	3,3	[5]	3917	49,6	10,7	39,7	[27]
1994	—	—	—	—		3666	16,9	44,6	38,5	[27]
1995	535	74,4	13,8	11,8	*	7508	37,9	10,6	51,5	[27]
1960-1980	19±6	46±7	35±7			29±4	45±4	26±3		
1989-1995	59±15	30±17	11±6			33±7	30±13	37±8		

* Ссылки на литературные источники приведены в соответствие с их нумерацией в списке литературы к настоящей статье.

** Александров Б.Г. (ОФ Ин БиОМ), неопубликованные данные: рейсы НИС «Профессор Водяницкий» №№ 28, 34, 43.

представителей вершины трофической пирамиды гидробионтов и, связанных с ними, околводных птиц. На порядок возросла численность одного из ныне массовых представителей птиц околводного комплекса - иктиофага большого баклана, *Phalacrocorax carbo*. В украинской части дельты Дуная баклан загнезвился с 1984 года, после чего его численность стала возрастать с каждым годом, достигнув величины более 2500 особей (см. табл. 1). Основу питания этих птиц составляют мелкие виды рыб прибрежного комплекса: в море - бычки, *Gobiidae* и атерина, *Atherina mochon pontica*, а в рукавах Дуная - серебряный карась, *Carassius carassius*, на долю которых приходится более 95% улова [3].

Таблица 6. Изменения структуры и репродукционного потенциала макрозообентоса взморья Дуная.

Виды	Встречаемость, %	Средняя численность, экз. · м ⁻²	Плодовитость*	Литература**	Потенциал воспроизведения личинок, 10 ⁶ · экз. · м ⁻²
1960-1965 [35]					
BIVALVIA					
<i>Lentidium mediterraneum</i> (= <i>Aloidis maeotica</i>)	87	25 023	19000	[19]	413,6
<i>Venus gallina</i>	53	535	43000	[19]	12,2
<i>Moerella tenuis</i> (= <i>Angulus exiguum</i>)	42	250	16000	≈ <i>Abra alba</i> [42]	1,7
<i>Spisula subtruncata</i>	22	60	16000	[42]	0,2
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	20	720	300000	[20]	43,2
POLYCHAETA					
<i>Spio filicornis</i>	95	11 270	6000	[18]	64,2
<i>Micronephthys stammeri</i>	87	2415	3000	≈ <i>N. hombergii</i>	6,3
<i>Nephthys hombergii</i> + <i>N. cirrosa</i>	78	805	3000	[19]	1,9
<i>Capitomastus minimus</i>	38	1610		[18]	1,2
Всего:					544,5

* Продолжение таблицы ниже.

Таблица 6 (продолжение). Изменения структуры и репродукционного потенциала макрозообентоса взморья Дуная.

Виды	Встречаемость, %	Средняя численность, экз. · м ⁻²	Плодовитость*	Литература**	Потенциал воспроизведения личинок, 10 ⁶ · экз. · м ⁻²
1986-1990 [57]					
BIVALVIA					
<i>Mya arenaria</i>	76	489	3000000	[17]	1114,9
<i>Lentidium mediterraneum</i>	28	169	19000	[19]	1,2
<i>Cardium edule tamarcki</i>	20	55	?		?
POLYCHAETA					
<i>Neanthes succinea</i>	82	1359	11300	[19]	12,6
<i>Polydora ciliata</i>	44	1114	1000	[18]	0,5
<i>Spio filicornis</i>	43	560	6000	[18]	1,4
Всего:					1130,6

* Плодовитость (абсолютная): общее число яиц (личинок), продуцируемых самкой в период нереста.

** Ссылки на литературные источники приведены в соответствии с их нумерацией в списке литературы к настоящей статье.

Литература

1. Альтман Е.Н., Безбородов, А.А., Богатова, Ю.И. Практическая экология морских регионов. Черное море. - Киев: Наук. думка, 1990. - 252 с.
2. Биргер Т.И., Маляревская А.Я. Сравнительное изучение биохимического состава беспозвоночных устьевых областей Дуная и Днепра // Докл. XI Межд. конф. "Лимнологические исследования Дуная" (Киев, сентябрь 1967). - Киев: Наук. думка, 1969. - С. 346-351.
3. Волошкевич А.Н. Особенности формирования и рационального использования рыбных запасов опресненного водоема - Сасыкского водохранилища: Автореф. Дис. канд. биол. наук. - Москва, 1991. - 27 с.
4. Воробьева Л.В. Особенности распределения зоопланктона в зонах трансформации вод Дуная и Днестра: Автореф. дис. канд. биол. наук. - Одесса, 1970. - 21 с.

5. Воробьева Л.В., Гаркавая Г.П., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н., Синегуб И.А., Теплинская Н.Г. Жебриянская бухта как модель экологических процессов в импактных зонах северо-западной части Черного моря // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна: Сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ. Редкол.: Еремеев В.Н. (отв. ред.) и др. - Севастополь, 1995. - С. 44-54.
6. Гарба Л.С., Джуртубаев М.М., Петров С.А. Некоторые закономерности распределения зообентоса в Дунай-Днестровском междуречье северо-западной части Черного моря // Гидробиол. исслед. на Украине в XI пятилетке: Тез. докл. Укр. фил. ВГБО (2-4 апреля 1987). - Киев, 1987. - С. 25-26.
7. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Буланая З.Т. Многолетняя динамика биогенных веществ Килийского гирла дельты Дуная // Другий з'їзд гідроеколог. тов. України, Тез. Докл., т. I. - Київ, 1997. - С. 23-24.
8. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. - Кишинев: Главная редакция Молдавской Советской Энциклопедии. - 1990. - 408 с.
9. Енаки И.Г., Вискушенко О.И. Особенности гидрохимического режима устьевой части Дуная в условиях сокращения и перераспределения речного стока // Гидробиол. журн. - 13, № 6. - 1977. - С. 76-82.
10. Енаки И.Г., Журавлева Л.А. Гидрохимический режим // Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов. - Киев: Наук. думка, 1993. - С. 23-40.
11. Еременко Т.И. Антропогенные изменения прибрежных макрофитоценозов Черного моря // Тез. докл. I с. Сов. океанол. биол. и хим. океана. Пробл. загрязн. океана. - М.: Наука, 1977. - Вып. 2. - С. 160-161.
12. Зайцев Ю.П., Гаркавая Г.П., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н., Цокур А.Г. Современное состояние экосистемы северо-западной части Черного моря // Современное состояние экосистемы Черного моря. - М.: Наука, 1987. - С. 216-230.
13. Зайцев Ю.П., Полищук Л.Н., Настенко Е.В., Трофанчук Г.М. Сверхвысокие концентрации ночесветки *Noctiluca miliaris* Suriray в нейтале Черного моря // Докл. АН УССР. Сер. Б. - 1988. - № 10. - С. 67-69.
14. Замбриборц Ф.С., Гринбарт С.Б., Джуртубаев М.М. Сравнительные исследования донных биоценозов приустьевых и смежных с ними акваторий северо-западной части Черного моря // Материалы Всесоюзного симпозиума по изученности Черного и Средиземного морей, использованию и охране их ресурсов (Севастополь, октябрь 1973). - ч. 3. - Киев: Наук. думка, 1973. - С. 40-46.
15. Замбриборц Ф.С., Винникова М.А., Воробьева Л.В., Марченко А.С., Милютин С.М. К гидробиологии приустьевоего взморья и предустьевоего пространства Дуная // Доклады XI Международной конференции "Лимнологические исследования Дуная". - Киев: Наук. думка, 1969. - С. 456-471.
16. Каминская Л.Д., Алексеев Р.П., Иванова Е.В., Синегуб И.А. Донная фауна прибрежной зоны Одесского залива и прилегающих районов в условиях гидростроительства // Биология моря. - Киев: Наук. думка, 1977. - Вып. 43. - С. 54-64.
17. Кауфман З.С. Особенности половых циклов беломорских беспозвоночных. - Ленинград: Наука, 1977. - 265 с.
18. Киселева М.И. Пелагические личинки многощетинковых червей Черного моря // Тр. Севастоп. биол. ст. - 1957. - 9. - С. 58-112.
19. Киселева М.И. Бентос рыхлых грунтов Черного моря. - Киев: Наук. думка, 1981. - 168 с.
20. Кудинский О.Ю., Мартынова Н.В., Столетова Т.В. Половое созревание мидий в современных условиях северо-западной части Черного моря // Биологические основы аквакультуры в морях европейской части СССР. - М.: Наука, 1985. - 169-180.
21. Лосовская Г.В., Макаров Ю.Н., Сальский В.А. Зообентос северо-западной части Черного моря в условиях антропогенного воздействия // Гидробиол. исслед. на Украине в XI пятилетке: Тез. докл. Укр. фил. ВГБО (2-4 апреля 1987). - Киев, 1987. - С. 53-54.
22. Миничева Г.Г. Структурно-функциональные особенности формирования сообществ морских бентосных водорослей // Альгология. - 3, № 1. - 1993. - С. 3-12.
23. Миничева Г.Г., Еременко Т.И. Альгологические находки в северо-западной части Черного моря // Альгология - 3, № 4. - 1993. - С. 83-87.
24. Нестерова Д.А. Особенности сукцессии фитопланктона в северо-западной части Черного моря // Гидробиол. журн. - 23, № 1. - 1987. - С. 16-21.
25. Николенько А.В., Решетников В.И. Исследование многолетней изменчивости баланса пресных вод Черного моря // Водные ресурсы. - № 1. - 1991. - С. 20-28.
26. Одум Ю. Экология. - Т. 1. - М.: Мир, 1986. - 328 с.
27. Полищук Л.Н., Настенко Е.В., Белокаминский А.А. Зоопланктон Григорьевского (Аджалыкского) лимана и смежного участка северо-западной части Черного моря в 1994-1995. Влияние производствен-

- ной деятельности порта Южный на его развитие / НАН Украины. Ин-т биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, Одесский филиал. - Одесса, 1996. - 39 с. - Деп. в ВИНТИ, 10.04.1996, № 1176.
28. Теплинская Н.Г., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н., Настенко Е.В. Планктонные сообщества дунайского приустьевого участка северо-западной части Черного моря в весенний период / АН Украины. Ин-т биологии южн. морей им. А.О. Ковалевского, Одесский филиал. - Одесса, 1993. - 47 с. - Деп. в ВИНТИ, 14.07.1993, № 1996.
 29. Финенко З.З. Общие закономерности роста и фотосинтеза водорослей // Первичная и вторичная продукция морских организмов / отв. ред. Заика В.Е. - Киев: Наук. думка, 1982. - С. 35-45.
 30. Чичкин В.Н., Мединец В.И. Результаты исследований макрозообентоса Черного моря в 1991-1993 гг. // Исследование экосистемы Черного моря. - Вып. 1 - Одесса: Ирэн-Полиграф, 1994. - С. 128-133.
 31. Шушкина Э.А., Виноградов М.Е., Мусаева Э.И., Николаева Г.Г. Биомасса планктона Черного моря в поздневесенний сезон (апрель-май 1984 г.) // Современное состояние экосистемы Черного моря. - М.: Наука, 1987. - С. 162-171.
 32. Alexandrov, B. Biotic balance of the ecosystem of the coastal zone of the Black Sea in conditions of intensive anthropogenic influence // The Black Sea Symposium Istanbul, 16-18 Sept. 1991. - Published by the Black Sea Foundation. - 1994. - P. 77-84.
 33. Alexandrov, B., Polischuk, L. Longterm changes of the Black Sea meroplankton under conditions of eutrophication // Oceanologica Acta. - 1996. - (In press). - 21 pp.
 34. Balkas, T.G., Dechev, G., Mihnea, R., Serbanescu, O., Unluata, U. State of the marine environment in the Black Sea Region // UNEP Regional Seas Reports and Studies 124, UNEP. - 1990. - 41 pp.
 35. Bacescu, M., Gomoiu, M.T., Bodeanu, N., Petran, A., Muller, G.I., Chirila, V. Dinamica populatiilor animale si vegetale din zona nisipurilor fine de la nord de Constanta in conditiile anilor 1962-1965 // Ecologie Marina, Bucuresti. - 1967. - 2. - P. 7-167.
 36. Bodeanu, N. Donnees nouvelles concernant les developpements massifs des especes phytoplanctoniques et deroulement des phenomenes de floraison de l'eau du littoral roumain de la Mer Noire // Cercetari marine, I.R.C.M. - 1984. - 17. - P. 63-84.
 37. Edgar, G.J. The use of the size structure of benthic macrofaunal communities to estimate faunal biomass and secondary production // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. - 1990- 137. - P. 195-214.
 38. Garkavaya, G.P., Bogatova, Yu.I., Bulanaya, Z.T. Dynamics of nutrient substances in the Kiliya delta of the Danube in conditions of reduced and regulated runoff // 32 Konferenz der IAD, Wissenschaftliche Referate, Band I. - Wien-Osterreich, 1997. - P. 37-42.
 39. Hemmingsen, A.M. Energy metabolism as related to body size and respiratory surfaces and its evaluation // Rep. of the steno Mem. Hosp. and the Nord. Insulin lab., Copenhagen. - 1960. - 9, № 11. - P. 5-110.
 40. Mihnea, P.E. Major shifts of phytoplanktonic community during 1980-1993 into the Black Sea // Longterm Changes in Marine Ecosystem: Methods of Analysis, Case Studies and Between-Site Comparisons, Centre d'Océanographie et Biologie Marine, Arcachon, France (1-3 February, 1995), Abstracts.
 41. Moloney, C.L., Field, J.G. General allometric equations for rates of nutrient uptake, ingestion, and respiration in plankton organisms // Limnol. Oceanogr. - 1989. - 34, № 7. - P. 1290-1299.
 42. Nott, P.L. Reproduction in *Abra alba* (Wood) and *Abra tenuis* (Montagu) (Tellinacea: Scrobiculariidae) // J. mar. Biol. Assoc. UK. - 1980. - 60, № 2. - P. 465-479.
 43. Petran, A. Sur la dynamique du zooplancton du littoral roumain de la Mer Noire (la zone jusqu'a 30 m de profondeur) // Travaux du Museum d'Histoire Naturelle Grigore Antipa, "Le Centenaire Grigore Antipa, 1867-1967", Bucarest. - 1968. - 8. - P. 265-271.
 44. Petran, A. Sur la dynamique du zooplancton des cotes roumaines de la Mer Noire, pendant les annees 1974-1975 // Cercetari marine, I.R.C.M. - 1976a. - 9. - P. 101-115.
 45. Petran, A. Elemente privind productia zooplanctonului trofic de la litoralul romanesc al Marii Negre, in anul 1976 // Cercetari marine, I.R.C.M. - 1976b. - 9 supl. - P. 105-117.
 46. Petran, A. Dynamique quantitative du meroplancton dans le milieu portuaire de Constanta (Mer Noire) et son influence sur la formation des salissures // Cercetari marine, I.R.C.M. - 1980a. - 13. - P. 125-131.
 47. Petran, A. Sur la faune meroplanctonique du littoral Roumain de la Mer Noire (donnees quantitatives pour les annees 1972-1979) // Journees Etud. System. et Biogeogr. Medit. - Cagliari, C.I.E.S.M. - 1980b. - P. 89-90.
 48. Petran, A. Sur la communaute zooplanctonique d'un milieu portuaire - l'aire portuaire de Constanta (Mer Noire) // Cercetari marine, I.R.C.M. - 1984. - 17. - P. 119-130.
 49. Petran, A. Aspecte ale structurii si dezvoltarii cantitative a zooplanctonului

- Marii Negre in acvatoriul predeltaic // Pontus Euxinus. - 1986. - 3. - P. 63-70.
50. Petran, A., Moldoveanu, M. Remarques sur le developpement quantitatif du zooplancton de la Mer Noire en face du delta du Danube // Rapp. Comm. int. Mer Medit. - 1992- 33. - P. 265.
51. Porumb, F. Variations quantitatives du zooplancton dans les eaux neritiques roumaines de la mer Noire // Recherches Marines, I.R.C.M. - 1980. - 13. - P. 103-123.
52. Prodanov, K., Mikhailov, K., Daskalov, G., Maxim, K., Chashchin, A., Arkhipov, A., Shlyakhov, V., Ozdamar, E. Environmental management of fish resources in the Black Sea and their rational exploitation. - GEF Black Sea Environmental Program. - 1995. - 236pp.
53. Report on biodiversity of the Ukrainian Black Sea area / compiled by B. Alexandrov, Yu. Zaitsev. - GEF Black Sea Environmental Programmer, Odessa. - 1996. - (in press). - 290 pp.
54. Rojdestvensky, A.V. Chemischer und Schwebstoffabfluss Der Donau im Schwarzen Meer Limnologische berichte der X. Jubiläumstagung Donauforschung (Bulgarien, 10-20 Oktober, 1966. - Sofia, 1968. - P. 93-102.
55. Rojdestvensky, A.V. Eine orientative prognose der veränderungen des wasserchemismus derunteren Donau aufgrund vieljähriger untersuchungen // Societas internationalis limnologiae arbeitgemeinschaft Donauforschung, 17-23 Sept. 1973. - Bratislava, 1973. - P. 1-9.
56. Strathmann, R.R. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume // Limnol. Oceanogr. - 1967. - 12, № 3. - P. 411-418.
57. Tiganus, V., Dumitrache, C. Structure actuelle du zoobenthos de zone de faible profondeur devant les embouchures du Danube // Cercetari marine, I.R.C.M. - 991/1992. - 24-25. - P. 125-132.
58. Zaitsev, Yu.P. Recent changes in the trophic structure of the Black Sea / Fish. Oceanogr. - 1992. - 1, № 2. - P. 180-189.
59. Zaitsev, Yu.P. Impact of eutrophication on the Black Sea fauna // Studies and Reviews, General Fisheries Council for the Mediterranean. - 1993. - 64. - P. 63-86.
60. Zhmud, M.E., Chorny, S.A. Cormorants in the Ukrainian part of Danube delta, Cormorant Conference, Gdansk (3-17 April 1993), Abstracts and list of partici-pants, Gdansk. - 1993. - P. 32.

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕБРИЯНСКОЙ БУХТЫ

Берлинский Н.А., Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И.

На протяжении последних десяти лет специалистами Одесского филиала Ин. БЮМ выполнено 29 специализированных экспедиций для исследования Жебриянской бухты, дельты Дуная и авандельты - зоны моря, непосредственно расположенной перед устьем. Работы выполнялись по целевым проектам, связанных с экологическим контролем деятельности порта Усть-Дунайск. Порт Усть-Дунайск был основан как база лихтеровозного флота, обеспечивавший грузопоток стран из Ближнего, Дальнего Востока и Западной Европы. Географические условия бухты обеспечивали безопасность перегрузок и транспорт лихтеров практически при любых метеорологических условиях. Специальный канал соединил ковш порта с основной транспортной артерией в Килийской дельте - рукавом Прорва. Расход воды $120 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ в канале соизмерим с расходами дунайских рукавов. К примеру, в расходы воды в рукавах Прорва - $350 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, Быстрый - $650 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

Рост объемов перегрузок в порту потребовал оценить влияние деятельности порта на морскую экосистему. С 1988 г. специалистами Одесского филиала Института биологии южных морей производится комплексный гидрологический, гидрохимический и гидробиологический мониторинг. На схеме, представленной на рис. 1 (см. статья Гаркавая и др. настоящий сборник) показаны станции регулярных наблюдений в Жебриянской бухте, взморье Дуная и, непосредственно в дунайской дельте. В конце 80-х начале 90-х годов основным видом перегружаемых грузов были фосфаты. Целью исследований являлось, установить в какой степени дополнительный источник поступления биогенных веществ повлияет на качество вод и условия экосистемы Жебриянской бухты. Расчетными параметрами были концентрации фосфатов, качественный состав и количественное развитие фито- и зоопланктона, макрозообентоса. В первую очередь учитывались процессы эвтрофирования северо-западной части Черного моря и Жебриян-

ской бухты, как ее составной части, где происходят идентичные процессы. Известно, что роль фосфора является ведущей в процессе эвтрофирования северо-западной части. В 50-60-е годы содержание фосфатов лимитировало развитие фитопланктона. Увеличение количества фосфатов в 70-80-е годы обеспечило его интенсивное развитие. По данным Д.А. Нестеровой (1987) биомасса фитопланктона увеличилась в 25 раз. Это привело к аккумуляции органического вещества в донных отложениях. При развитии анаэробных процессов отмечается интенсивный выход фосфатов в придонный слой воды, создавая дополнительные условия для эвтрофикации моря. Такие условия в последние годы характерны для северо-западной части Черного моря и Жебриянской бухты. Период восстановительных условий в придонном слое и донных отложениях продолжается в течение лета и начале осени, обеспечивая поток растворенных фосфатов.

Таким образом, при решении прикладной задачи следовало учитывать весь комплекс сложившихся современных условий и по возможности вычленив долю загрязнений, поступающих в результате деятельности порта, на фоне процессов антропогенного эвтрофирования.

Во время экспедиционных исследований наблюдения велись за следующими параметрами: температурой, соленостью, скоростью и направлением морских течений, прозрачностью и цветом морской воды, растворенным кислородом, рН, взвешенным веществом, определением в воде и грунтах форм азота и фосфора, кремния, перманганатной окисляемости, нефтепродуктов, тяжелыми металлами; макрозообентосом, фито- и зоопланктоном.

На базе полученных данных наблюдений за скоростью и направлением морских течений были рассчитаны скорости перемещения взвешенного вещества в море и, тем самым, получено время нахождения вещества известной плотности, в данном случае фосфатов, в толще воды до их осаждения на грунт.

Скорость оседания под действием сил гравитации рассчитывается по формуле (Кочергин, Боровиков, 1987):

$$W = E \cdot K^2 (r_{\phi} - r_w), [м/мин]$$

где E - коэффициент седиментации = $0,2725 \times 10^{-4}$

K - диаметр частиц = 100-140 мкм,

r_{ϕ} - плотность вещества = 1,8-2,6 г/см³

r_w - плотность морской воды = 1,00961-1,01200 г/см³

В то же время расчет скорости оседания происходит с учетом цир-

куляционного поля (адвекции), которое характеризуется средней скоростью, вычисленной методом полных потоков:

$$\Phi = U_0 D : p\sqrt{2},$$

где Φ - полный поток

U_0 - скорость течения на поверхности

D - слой Экмана

$$D = 7,6 \times V : \sqrt{\sin \varphi}$$

V - скорость ветра

φ - широта места

Результаты представлены в таблице 1.

Результаты расчетов показали, что скорость оседания частиц находится в пределах 0,019-2,60 м/мин. и в большей степени зависит от диаметра частицы, нежели от ее плотности. При известной глубине места (12 м) и залегания термо-галоклина (3-5м), частицы могут достичь дна от 4 минут до 10 часов. Экранирующего слоя частицы достигнут от 1-2 минут до 3-4 часов. С учетом ошибки баротропности скорость может уменьшиться в 2-3 раза, но при волновом процессе скорость возрастает, что компенсирует ошибку. Учитывая значения горизонтальной составляющей скорости течения, перемещение фосфатов за счет циркуляции может составить не более 500 м. Этот важный вывод свидетельствует о локальном характере воздействия загрязнений при перегрузке сыпучих грузов.

Количественная оценка влияния деятельности порта Усть-Дунайск на морскую экосистему была выполнена на примере многолетней перегрузки фосфатов. При этом были учтены возможные источники поступления растворимых фосфатов в исследуемый район. К особенностям района относятся интенсивные процессы седиментации, как в приустьевых участках, так и во всей бухте.

Кроме того, развитие процессов сорбции и флокуляции способствуют созданию условий накопления фосфатов в толще воды и в донных отложениях. До строительства соединительного канала содержание фосфатов в бухте было на уровне $0,034 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, после ввода, с 1977 по 1986 гг., содержание увеличилось до $0,054 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Ежегодно в бухту поступало 250 т растворенных фосфатов. Дальнейшее увеличение концентраций фосфатов да период с 1986 по 1990 гг. в водах Дуная до $0,310 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ обеспечило в два раза большее поступление в Жебриянскую бухту - до 520 т в год. Это привело к увеличению концентраций в бухте к началу 90-х годов в среднем до $0,122 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$.

Таблица 1. Расчет скорости и времени оседания фосфатов.

Диаметр частиц, мкм	50		100		140		315	
Плотность взвеси, г/см ³	1,8	2,69	1,8	2,69	1,8	2,69	1,8	2,69
Скорость оседания, м/мин.	0,052	0,065	0,019	0,26	0,037	0,513	0,189	2,596
Глубина оседания, (м)	Время оседания (минуты)							
	2	419,4	30,58	104,85	7,65	53,49	3,7	10,57
4	838,8	61,16	209,70	15,29	106,99	7,3	21,13	1,54
6	—	91,74	314,55	22,94	160,48	11,7	31,70	2,31
8	—	122,32	419,4	30,58	213,98	15,6	42,27	3,08
10	—	152,91	524,25	38,23	267,47	19,50	42,83	3,85
12	—	183,49	629,1	45,87	320,97	23,00	63,40	4,62

Существенным источником фосфатов в Жебриянской бухте стали донные отложения. Как и вся северо-западная часть Черного моря, бухта подвержена антропогенному эвтрофированию и придонной гипоксии. При восстановительных условиях из иловых вод донных отложений со всей площади дна в воду поступает 90,72 т фосфатов в год. Минерализация фитопланктона и макрофитов также обогащает водную толщу до величины порядка 4-10 т в год. Поступление фосфатов, в результате потерь при перегрузке, около 10 т в год. Таким образом, приход растворенных фосфатов в Жебриянскую бухту составляет: (в тоннах в год)

Из Дуная через канал (520) + иловая вода донных отложений (22,7) + фитопланктон и макрофиты (7,0) + потери при перегрузке в порту (10) = 559,7

В процентном отношении это составляет: $2,91+4,05+1,25+1,79=100\%$.

Аналогичные работы были выполнены для оценки влияния перегрузки бокситов на Жебриянскую бухту. Расчетами, основанными на многократных прямых измерениях пыления, установлено годовое поступление $A_{\Gamma} = 0,027$ т. Зона (акватории), подверженной пылению, составляет не более 10000 м². По сравнению с площадью Жебриянской бухты 120 км², это весьма незначительная величина, составляющая 0,008 %.

Заключение: предложены методы и оценки степени влияния прямых антропогенных воздействий на морскую экосистему. Выделена доля влияния такого локального источника загрязнений как порт Усть-Дунайск на общем фоне загрязненного стока Дуная. Определены зоны

максимального воздействия в результате перегрузок в порту сыпучих грузов.

Литература

1. Нестерова Д.А. Особенности сукцессии фитопланктона в северо-западной части Черного моря // Гидробиол. журн. - 1987. - 23, вып. 1. - С.16-21.
2. Кочергин В.И., Боровиков Н.А. Численное исследования распространения загрязняющих веществ в глубоководном прибрежном районе. / Метеорология и гидрология. - 1987. - № 5. - С. 32-55.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Гидрологические условия Жебриянской бухты <i>Н.А. Берлинский, С.А. Лонин</i>	8
Особенности формирования гидрохимических условий Украинской части устьевой области Дуная <i>Г. П. Гаркавая, Ю.И. Богатова, Н.А. Берлинский</i>	21
Особенности распределения загрязняющих веществ и продукции органического вещества фитопланктона в приустьевой зоне реки Дунай <i>Н.И. Рясинцева, С.А. Саркисова, П.Т. Савин, Л.Ю. Секундяк</i>	63
Развитие белоксинтезирующих процессов в экосистеме Жебриянской бухты <i>В.К. Головенко, В.П. Полудина</i>	112
Бактериальное население водной толщи и донных отложений Жебриянской бухты <i>Н.Г. Теплинская</i>	130
Пространственно-временная изменчивость фитопланктона Жебриянской бухты <i>Д.А. Нестерова</i>	159
Взаимосвязи бактерио- и фитопланктона в придунайском районе северо-западной части Черного моря <i>Н.Г. Теплинская, Д.А. Нестерова</i>	181
Некоторые особенности современного развития зоопланктона северо-западной части Черного моря и входящего в ее состав придунайского приустьевого района <i>Л.Н. Полищук, Е.В. Настенко</i>	203
Влияние Дуная на формирование мезозоопланктона Черного моря <i>Б.Г. Александров</i>	245

Пространственно-временная изменчивость мейобентоса Жебриянской бухты <i>Л.В. Воробьева, И.И. Кулакова</i>	262
Энергетические характеристики мейобентоса Жебриянской бухты <i>Л.В. Воробьева, О.А. Торгоиская</i>	275
Макрозообентос (состав, состояние, сезонная динамика и тенденции развития) Жебриянской бухты - импактной зоны северо-западной части Черного моря в период 1988-1996 гг. <i>И.А. Синегуб</i>	290
Биоразнообразие придунайского района Черного моря в условиях эвтрофирования <i>Б.Г. Александров, Ю.П. Зайцев</i>	304
Прикладные аспекты исследования Жебриянской бухты <i>Н.А. Берлинский, Г.П. Гаркавая, Ю.И. Богатова</i>	323

Наукове видання

Александров Б. Г., Зайцев Ю. П., Воробйова Л. В., Берлинський М. А.,
Гаркавая Г. П., Головенко В. К., Нестерова Д. О., Полищук Л. М.,
Рясінцева Н. І., Теплинська Н. Г., Лонін С. О., Синегуб І. О.,
Саркісова С. О., Савін П. Т., Богатова Ю. І., Настенко Є. В.,
Кулакова І. І., Полудіна В. П., Секундяк Л. Ю., Торгонська О. А.

**ЕКОСИСТЕМА УЗМОР'Я
УКРАЇНСЬКОЇ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ**

Науковий збірник

Російською мовою

Технічний редактор *М. М. Бушин*

Здано до набору 20.11.98. Підписано до друку 04.12.98. Формат 60x84/16.
Папір газетний. Гарнітура "Таймс". Офсетний друк.
Ум. друк. арк. 19.30. Наклад 300 прим. Зам. № 744.

Видавництво і друкарня НВФ "Астропринт"
270026, м. Одеса, вул. Преображенська, 24
Тел. (0482) 26-98-82, 26-96-82, 68-77-33.

Екосистема узмор'я української дельти Дунаю

E405 /Відп. ред. Л. В. Воробйова. — Одеса: Астропринт, 1998. —
332 с.

Російською мовою

ISBN 966-549-163-6

E 1903040000—137 Без оголош.
549—98

ББК 28.082.1(4Укр-4Од)я43