

УДК 582.232/.275:551.283(262.5)

**Г.Г. МИНИЧЕВА, Ю.С. ТУЧКОВЕНКО, В.Н. БОЛЬШАКОВ,  
А.Б. ЗОТОВ, Е.М. РУСНАК**

Одесский филиал Ин-та биологии южных морей им. А.О. Ковалевского  
НАН Украины,  
ул. Пушкинская, 37, 65011 Одесса, Украина

## **РЕАКЦИЯ АЛЬГОСООБЩЕСТВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ЛОКАЛЬНЫЕ, РЕГИОНАЛЬНЫЕ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ**

Изучена реакция фитобентосных и фитопланктонных сообществ северо-западной части Черного моря на действие факторов локального, регионального и глобального уровней с использованием методов морфофункциональной экологии водорослей и методологии целостного подхода. Проведена экспертная оценка соотношения силы действия факторов каждого уровня на водорослевые сообщества с помощью шкалы, имеющей семь категорий. Наиболее интенсивное негативное воздействие на сообщества бентосных водорослей зафиксировано для локального уровня в результате интенсивной трансформации природных биотопов в прибрежной зоне. На региональном уровне наблюдаются достоверные процессы восстановления водорослевых фитоценозов в результате снижения эвтрофикации. На глобальном уровне зафиксировано возрастание негативного воздействия на альгосообщества в связи с климатическими аномалиями, которые в последнее десятилетие стали существенно влиять на скорость продукционного процесса и структурно-функциональную организацию бентосных и планктонных сообществ водорослей.

**Ключевые слова:** альгосообщества, трансформация биотопов, эвтрофирование, климатические изменения, Черное море.

### **Ведение**

Экосистема Черного моря характеризуется высоким уровнем трансграничного антропогенного воздействия на биологический компонент, включая растительные сообщества, представленные одноклеточными и многоклеточными водорослями. Черноморский регион служит важной транспортной магистралью. Через пролив Босфор в него заходит свыше 50 тыс. судов в год. Их балластные воды являются источниками биологического загрязнения инвазийными видами флоры и фауны (Александров, 2004). Стратегическое значение черноморской экосистемы для Евразийского континента стало причиной того, что в течение последних 20 лет активными усилиями шести черноморских стран при финансовой поддержке Глобального Экологического Фонда и Европейского Союза

© Г.Г. Миничева, Ю.С. Тучковенко, В.Н. Большаков, А.Б. Зотов, Е.М. Руснак, 2013

были предприняты политические, институциональные и организационные усилия по ее защите и восстановлению. Координацию этих работ с октября 2000 г. проводит Секретариат Черноморской Комиссии (BSC) со штаб-квартирой в Стамбуле.

Наиболее мелководный и продуктивный район – северо-западная часть Черного моря (СЗЧМ) – представляет собой обширную шельфовую зону к северу от 44° 40' с.ш., ограниченную линией от м. Тарханкут (Крымский п-ов) до о. Змеиный (рис. 1). Данный район относится к экономической зоне Украины. Общая площадь СЗЧМ – 49900 км<sup>2</sup>, объем вод – 2700 км<sup>3</sup>, средняя глубина – 54,1 м (Зайцев и др., 2006). Район СЗЧМ включает прибрежную и шельфовую зоны, которые принимают сток трех больших европейских рек (Дунай, Днестр, Днепр), общим объемом до 270 км<sup>3</sup>·год<sup>-1</sup> (Симонов, Альтман, 1991). Значительная площадь шельфовой зоны расположена на глубине 20–50 м. Небольшие глубины и интенсивный речной сток создают в этом районе уникальные условия для формирования высокой биологической продуктивности и сосредоточения биологического разнообразия. Визитной карточкой биологического компонента этого района являются скопления красных водорослей рода *Phyllophora* Grev., которые создают специфические биотопы для многочисленных гидробионтов.

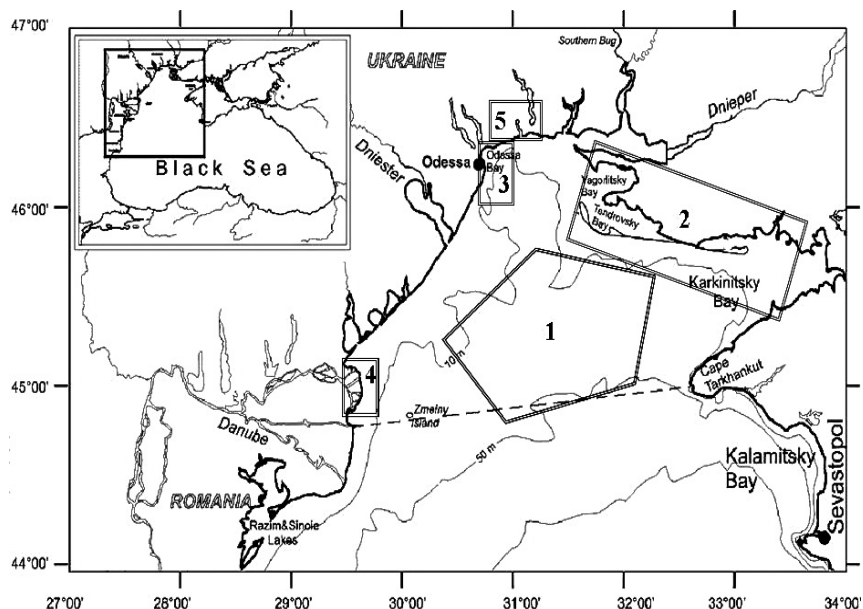


Рис. 1. Район исследований: 1 – филофорное поле Зернова; 2 – Каркинитский, Тендровский и Ягорлыцкий заливы; 3 – Одесский регион; 4 – авандельта Дуная; 5 – Тилигульский, Дофиновский и Григорьевский лиманы

За последние полвека структура сообществ филофоры претерпела значительные изменения под антропогенным воздействием. Представители этого рода являются индикаторами, отражающими современное экологическое состояние СЗЧМ (Minicheva, 2007; Миничева и др., 2009).

В последнее десятилетие СЗЧМ стала полигоном многочисленных международных исследований в рамках проектов Черноморской Комиссии, так как здесь наиболее ярко проявляются реакции биологического компонента на различные виды антропогенного воздействия. В настоящее время СЗЧМ признана международными экспертами в качестве «горячего региона», где можно наиболее эффективно диагностировать всю черноморскую экосистему.

При экологической оценке любой экосистемы наиболее важным и сложным моментом является направленность процессов, происходящих в биологическом компоненте. Ответ на вопрос «деградация или восстановление?» важен для черноморской экосистемы в целом и для ее «горячего региона» – СЗЧМ. Для корректного ответа на него требуется соблюдение многих условий. В частности, необходимо четкое определение границы района исследования; временного периода, в котором наблюдались однонаправленные экологические процессы; разграничение масштабов воздействия антропогенных и природных факторов. СЗЧМ является хорошей исследовательской моделью для изучения вектора экологических процессов, происходящих в черноморской экосистеме на современном этапе. Состояние основных биоценозов СЗЧМ, подробно описанных для 60-х гг. прошлого века, рассматривается в качестве «природной нормы» этого региона (Виноградов, 1967). Этап «экологического неблагополучия», длившийся с середины 70-90-х гг. прошлого века, был оценен экспертами как «изменение и деградация» (Zaitsev, Mamaev, 1997). В связи с возросшим уровнем эвтрофикации для него были характерны частые цветения фитопланктона, сокращение площадей, занимаемых сообществами филофоры, заморы гидробионтов и сокращение биоразнообразия. В конце прошлого – начале нынешнего столетия в результате комплексных исследований Одесского филиала Ин-та биологии южных морей НАН Украины была зафиксирована тенденция к стабилизации и достоверные процессы восстановления экосистемы СЗЧМ (Зайцев и др., 2006). В настоящее время для международных экспертов, исследующих экосистему Черного моря с применением современных методов социоэкологического моделирования, по-прежнему главным остается вопрос: «деградация или восстановление?» (Langmead et al., 2009). В данной работе мы попытаемся ответить на этот вопрос, используя в качестве индикаторных объектов сообщества микро- и макроводорослей.

Скорость экологических процессов, протекающих в водной среде, определяет биологическую ценность морских экосистем (Александров и др., 2010). При увеличении интенсивности первично-продукционного процесса (например, при эвтрофикации) происходит упрощение структуры биологического компонента – сокращается биоразнообразие. Первым биологическим элементом в цепи создания и трансформации вещества в экосистеме выступают растения. В связи с этим наиболее логичным и прямым путем оценки скорости экологических процессов

является использование в качестве биологических индикаторов донных и пелагических автотрофных сообществ, которые в морских экосистемах представлены преимущественно водорослями. В соответствии с европейскими стандартами оценки экологического состояния морских экосистем (Ecological Status Class), в качестве индикаторов (Biological Quality Elements) признаны такие альгологические объекты, как Phytoplankton и Macroalgae (Directive 2005/56/EC..., 2008). Эти жизненные формы водорослей СЗЧМ мы использовали в качестве биологических индикаторов при выполнении данной работы.

Комплекс абиотических факторов, действующих в СЗЧМ, был рассмотрен с учетом принципов целостного подхода и иерархической организации экосистем (Михайлов, 2008). Рассматривались природные и антропогенные факторы, действующие на фитопланктон и макроводоросли на локальном, региональном и глобальном уровнях. Реакция альгосообществ СЗЧМ на действие факторов различных иерархических уровней оценивалась с использованием методологии морфофункциональной оценки водной растительности, основанной на параметрах поверхности одно- и многоклеточных водорослей (Minicheva, 1996; Миничева, 1998).

Цель данной работы – поиск методов количественной оценки отклика альгосообществ северо-западной части Черного моря на изменчивость интенсивности факторов, действующих на локальном, региональном и глобальном уровне. Нам предстояло выяснить:

- каковы особенности локальных, региональных и глобальных факторов, действующих на водорослевые сообщества СЗЧМ на современном этапе;
- как изменилась вариабельность и интенсивность действия разноразмерных факторов на продукционный процесс и флористический состав фитопланктона и фитобентоса за последнее десятилетие;
- каково соотношение вклада локального, регионального и глобального воздействия факторов в изменение регионального уровня первично-продукционного процесса и структурно-функциональной организации альгосообществ.

### **Материалы и методы**

В работе использованы данные о состоянии планктонных и бентосных растительных сообществ СЗЧМ, полученные на полигонах постоянного мониторинга: авандельта Дуная; Одесский залив (м. Большой Фонтан – м. Северный); Тилигульский, Дофиновский и Григорьевский лиманы, а также в районах исследований: шельфовая зона – филофорное поле Зернова; Каркинитский залив – малое филофорное поле (см. рис. 1).

Были проанализированы данные об изменении климатических и физико-химических характеристик водной среды и ответные морфофункциональные реакции альгосообществ СЗЧМ, полученные в 2000–2011 гг.

*Океанологические и гидрологические методы.* В качестве синоптических и климатических параметров анализировали соленость, температуру воды и воздуха. Многоводные и маловодные годы статистически обоснованно выделялись по объемам стока Дуная. Потоки солнечной энергии на поверхности биотопов водной растительности рассчитывали с учетом основных астрономических, географических и метеорологических факторов (Большаков, Большаков, 2010).

При оценке роли береговых антропогенных источников в загрязнении вод Одесского р-на СЗЧМ использовали информацию региональных подразделений Мин-ва экологии и природных ресурсов Украины.

*Методы морфофункциональной оценки бентосных и планктонных водорослей.* Для оценки фитопланктонных и фитобентосных сообществ, наряду с видовым составом, численностью и биомассой, использовали показатели поверхности одно- и многоклеточных водорослей (Миничева и др., 2003). «Экологическая активность» макрофитов и фитопланктона характеризовалась с помощью показателя удельной поверхности популяций ( $S/W_p$ ), интенсивность автотрофного процесса – с помощью индекса поверхности фитоценозов (ИПФ) (Миничева, 1998). Для анализа было использовано более 1,8 тыс. количественных проб макрофитобентоса, измерено 15 тыс. морфозависимых параметров макрофитов. Анализировались данные, полученные в результате обработки 697 количественных проб фитопланктона. Общее количество зафиксированных в них групп одноразмерных клеток – 12,5 тыс. При выделении одноразмерных групп, в зависимости от сложности формы составляющих их клеток, измеряли от 1 до 7 морфометрических параметров.

*Метод определения пигментов.* Содержание фотосинтетических пигментов в фитопланктоне определяли по стандартной методике (SCOR-UNESCO ..., 1966; Lorenzen, Jeffrey, 1980).

## Результаты и обсуждение

*Реакция альгосообществ на воздействие локальных факторов.* В морских экосистемах действие локальных факторов наиболее ощутимо в биотопах прибрежной зоны. Развивающиеся здесь растительные сообщества первыми ощущают различного рода природное и антропогенное влияние прилегающей сухопутной зоны. Для характеристики особенностей факторов различных уровней, действующих на альгосообщества, предлагается использовать определения для каждого уровня. Особенности локального воздействия: воздействие факторов распространяется на небольшие акватории, прилегающие к прибрежной зоне, формирует мелкомасштабную гетерогенность условий водной среды и биотопов.

Основные антропогенные компоненты локального воздействия:

- точечные источники загрязнения (городские, промышленные стоки);
- трансформация прибрежных биотопов (береговое и гидротехническое строительство);
- рекреационная нагрузка.

Наиболее ощутимо действие локальных факторов проявляется в границах прибрежной зоны крупных городов. Одесса – самый большой приморский город СЗЧМ (население более 1 млн чел.). Вместе с густонаселенными пригородами и портами город расположен на береговой полосе протяженностью около 70 км. Различные источники локального загрязнения на этом участке побережья СЗЧМ существенно влияют на прилегающую морскую акваторию шириной 10 км. В воду поступают взвешенные и растворенные органические вещества, минеральные соединения азота и фосфора, соединения поверхностно активных веществ (СПАВ), нефтепродукты. Максимальный вклад в эвтрофирование вод прибрежной зоны Одесского региона вносят частично очищенные хозяйственно-бытовые стоки города, которые поступают через морские выпуски станций биологической очистки сточных вод (71 % поставок минерального азота, 91 % – минерального фосфора, 59 % – органических веществ). Значительный вклад в поставки органического вещества приходится на ливневые стоки (28 %). Стоки с очистных сооружений малых портовых городов-спутников Одессы вносят в морскую среду 8 % минерального азота и фосфора. С дренажными стоками и от промышленных источников, расположенных на побережье, поступает более 20 % нитратов. Воздействие локальных источников стимулирует функцию автотрофных сообществ и вызывает перестройку их структурно-функциональной организации, включая смену доминантных видов водорослей.

Изменения морфофункциональной организации прибрежных фитоценозов макрофитов могут наблюдаться на расстоянии от нескольких десятков до сотни метров от источника постоянного загрязнения. Типичные для Одесского побережья сообщества прибрежных макрофитов с доминированием красных водорослей рода *Ceramium* Roth (S/W)<sub>n</sub> – 25–30 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>) замещаются сообществами зеленых и синезеленых водорослей из родов: *Cladophora* Kütz., *Ulothrix* Kütz., *Lyngbya* C. Agardh ex Gomont, *Spirulina* Turpin ex Gomont. При этом экологическая активность трансформированных фитоценозов может возрасти до 200–300 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>. Эпизодические источники загрязнения (ливневые стоки) могут влиять на качество прибрежных вод в течение 4–6 сут после выпадения интенсивных осадков. Валовая первичная продукция фитопланктона в первые сутки после окончания дождя возрастает на 5–45 % (Гучковенко и др., 2011).

Наиболее ощутимым антропогенным компонентом локального воздействия на структурно-функциональную организацию сообществ прибрежных макрофитов является трансформация береговой линии, связанная с берегозащитным, портовым, рекреационным и элитным строительством в береговой зоне. Природные скалы и камни, которые являются ценным биотопом для макрофитов, погребаются под слоем песка при искусственном намыве пляжей, заменяются железобетонными конструкциями волноломов и траверсов, другими искусственными гидросооружениями. Такая смена свойств биотопа вызывает реакцию пере-

стройки прибрежной растительности. Изменение структуры фитоценозов макрофитов на искусственных поверхностях сопровождается упрощением структуры; переходом к монодоминированию; потерей мозаичности; преобладанием горизонтного распределения альгокомплексов.

В последнее десятилетие интенсивность процесса трансформации береговой линии в СЗЧМ достигла максимума. Скорость трансформации береговой линии одесского побережья дает представление о современной интенсивности данного процесса в прибрежных биотопах черноморской экосистемы. Протяженность побережья Одесского залива (м. Большой Фонтан – м. Северный) составляет 28 км, 2 км из которых было трансформировано при строительстве Одесского морского порта (1800-е гг.); 6,5 км – при его расширении, и 12 км – при берегозащитном строительстве на городских пляжах (1960-е гг.) (рис. 2).

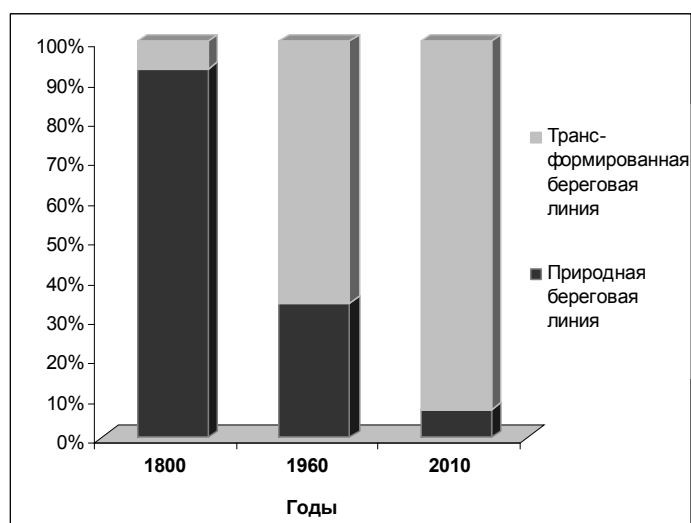


Рис. 2. Трансформация береговой линии Одесского залива за 210-летний период

В последнее десятилетие в Украине наблюдается тенденция к возрастанию потока туристов, в т.ч. в рекреационных районах морских побережий СЗЧМ. Такой антропогенный компонент локального воздействия, как рекреационная нагрузка в меньшей степени оказывает прямое воздействие на растительные сообщества. Однако «пляжный отдых» имеет косвенное влияние на сообщества прибрежных макрофитов и фитопланктона. Сокращаются природные каменистые биотопы в результате намыва пляжей, постройки развлекательных гидросооружений, лодочных и яхтенных стоянок. При высокой плотности отдыхающих в зонах купания может повышаться уровень трофности, что стимулирует развитие одноклеточных водорослей, имеющих высокую экологическую активность.

*Реакция альгосообществ на воздействие региональных факторов.* Следующей иерархической ступенью отклика альгосообществ СЗЧМ на действие антропогенных факторов является региональный уровень.

Особенности регионального воздействия: действие факторов распространяется на акватории, обладающие целостностью и взаимосвязью экологических элементов; фоновые характеристики водной среды и биотопов формируются под влиянием географических особенностей местоположения.

Основные антропогенные компоненты регионального воздействия:

- объем и качество речного стока (эвтрофирование как следствие хозяйственной активности на базисе стока);
- водный транспорт (нефтяное загрязнение);
- интродукция видов вселенцев.

Главная региональная особенность СЗЧМ состоит в том, что в обширную мелководную зону шельфа попадает сток трех крупных европейских рек – Дуная, Днестра и Днепра. Эта географическая специфика в значительной степени определяет региональный характер и пространственную разнородность биологического компонента экосистемы СЗЧМ. Закономерно, что максимальная интенсивность первично продукционного процесса и, соответственно, экологическая активность водорослевых сообществ наблюдается в авандельте самой крупной реки Дуная, а минимальная – в защищенных от речного стока малых заливах СЗЧМ (Ягорлыцкий, Тендровский, Каркинитский) (рис. 3).

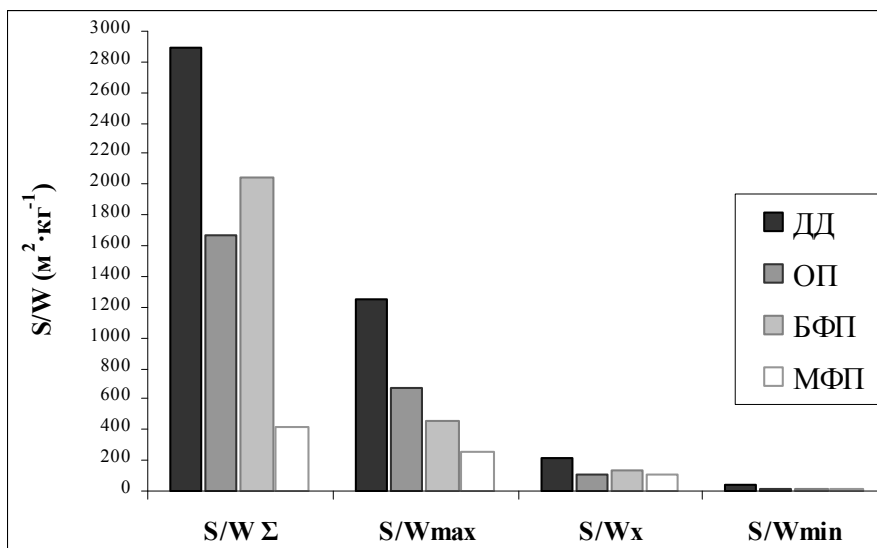


Рис. 3. Суммарные ( $S/W_{\Sigma}$ ), максимальные ( $S/W_{max}$ ), средние ( $S/W_x$ ) и минимальные ( $S/W_{min}$ ) параметры рядов экологической активности макрофитов для различных районов СЗЧМ (ДД – дельта Дуная, ОП – Одесское побережье, БФП – большое филофорное поле, МФП – малое филофорное поле (Каркинитский, Тендровский и Ягорлыцкий заливы))

В отличие от достаточно стабильных пространственно-региональных различий в экологической активности альгокомплексов, направленность временной динамики автотрофного процесса в СЗЧМ за



последние десятилетия позволяет ответить на главный вопрос о векторе экологических процессов рассматриваемого региона — «деградация или восстановление?» Очевидно, что этапы изменения интенсивности функционирования водной растительности в СЗЧМ связаны с тенденцией изменения объема и качества речного стока. Различные исторические периоды эвтрофирования СЗЧМ вызывали изменения в структурно-функциональной организации макрофитобентоса, развивающегося в прибрежной зоне и на шельфе, а также в свободно переносимых течениями сообществах фитопланктона. При оценке динамики эвтрофирования СЗЧМ выделяются четыре этапа: «Природное состояние» (до 1960-х гг.), «Интенсивное эвтрофирование» (начало 1970-х гг.); «Стабилизация» (середина 1990-х гг.); «Устойчивая тенденция деэвтрофирования» (начало 2000-х гг.) (Minicheva et al., 2008).

Многолетние исследования фитопланктона позволяют проиллюстрировать реакцию наиболее чувствительного компонента автотрофного звена на динамику уровня эвтрофирования. Значение экологической активности (S/W) фитопланктона изменялось на различных этапах эвтрофирования СЗЧМ. В период «Интенсивного эвтрофирования» экологическая активность доминирующих видов фитопланктона возросла в 5, 7 раз, на современном этапе она уменьшилась в 4 раза (рис. 4).

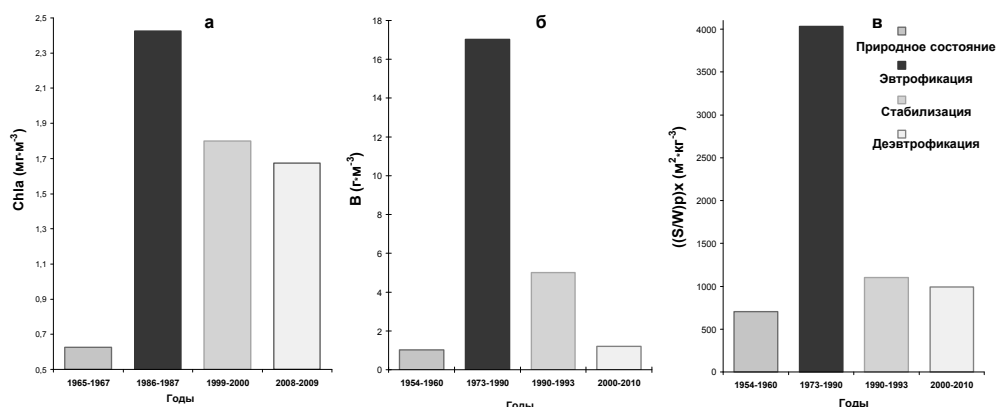


Рис. 4. Средние концентрации хлорофилла *a* (*a*), биомассы (*b*) и удельной поверхности доминирующих популяций (*v*) фитопланктона северо-западной части Черного моря (1973–1990 гг. по: Зайцев и др., 2007)

Наиболее значительные изменения произошли в биомассе фитопланктона. В период «интенсивного эвтрофирования» она возросла в 16,5 раза (с 1,03 до 17,02 г·м<sup>-3</sup>). В 2000-е гг. в СЗЧМ биомасса фитопланктона снизилась в 14 раз, почти достигнув уровня периода «природного состояния» (см. рис. 4). Концентрация хлорофилла *a* в рассматриваемые периоды изменялась более консервативно, чем биомасса. Увеличившись почти в 4 раза с середины 1960-х до середины 1980-х гг., этот показатель снизился в 1,4 раза к концу 2000-х гг. (см. рис. 4).

Для сообществ макрофитов перестройки в структурно-функцио-

нальной организации сообществ на рассмотренных этапах были еще более очевидны, так как сопровождалась сменой доминантных видов прибрежной растительности. Наиболее значительным событием при переходе от этапа «природного состояния» к этапу «интенсивного эвтрофирования» было исчезновение крупной многолетней бурой водоросли *Cystoseira barbata* (Good. et Wood) Agardh с низким значением удельной поверхности  $(S/W)_n = 12 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$  и замена ее комплексом видов с более высокой экологической активностью (*Ceramium*, *Polysiphonia* Grév., *Cladophora*:  $(S/W)_n$  – от 25 до  $60 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ ). Для современного этапа «устойчивой тенденции деэвтрофирования» характерны многочисленные примеры восстановления фитоценозов и улучшения состояния популяций макроводорослей с низкими значениями удельной поверхности, которые являются признанными индикаторами хорошего экологического состояния (Good Environment Status). Одним из примеров последнего этапа является восстановление популяции *C. barbata* в Тилигульском лимане (Миничева и др., 2012).

В начале нового тысячелетия также стали наблюдаться восстановительные процессы в сообществах макрофитов, развивающихся в центральной части северо-западного шельфа – на филлофорном поле Зернова. На данном этапе рано говорить о восстановлении биомассы видов р. *Phyllophora* до уровня начала прошлого века. Замена филлофоры мелкими нитчатыми водорослями, которая происходит в последнее десятилетие, является естественным этапом восстановительной сукцессии макрофитных сообществ. Удельная поверхность видов р. *Phyllophora* в среднем составляет  $8,7 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ . Виды, которые заменяют филлофору, имеют в два раза большую экологическую активность: *Polysiphonia sanguinea* (C. Agardh) Zanardini –  $80,0 \pm 1,4 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ ; *Feldmannia irregularis* (Kütz.) G. Hamel –  $303,2 \pm 16,2 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ . Динамика флористического состава подтверждает тенденцию возрастания видового разнообразия сообществ глубоководных макрофитов на северо-западном шельфе. Еще более активные процессы восстановления фитоценозов по сравнению с шельфом наблюдаются в береговой зоне. Как результат восстановительных процессов в СЗЧМ, в Каркинитском заливе на глубине до 10 м отмечено возрастание биомассы *Ph. crispa* (Hudson) P.S. Dixon до уровня 70-х годов прошлого столетия.

Другие антропогенные компоненты регионального уровня воздействия (загрязнение нефтепродуктами водным транспортом, внесение чужеродных видов) на современном этапе существенно не влияют на альгосообщества рассматриваемого региона. В настоящее время в СЗЧМ отмечена тенденция снижения концентраций нефтепродуктов, их концентрации в морской среде не превышают значения принятых в Украине ПДК (Зайцев и др., 2006). В начале 90-х гг. прошлого века по всей акватории СЗЧМ был зафиксирован арктобореальный вселенец – бурая водоросль *Desmarestia viridis* (O.F. Müll.) J.V. Lamour. (Миничева, Еременко, 1993). Экологическая активность данного вида  $(S/W)_n = 81 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$  совпала с интенсивностью продукционного процесса в данном регионе

и вид стал интенсивно развиваться в холодный период года. В последнее десятилетие подобных по масштабам и последствиям случаев интродукции растительных организмов в фитоценозы СЗЧМ зафиксировано не было.

*Реакция альгосообществ на воздействие глобальных факторов.* Особенности глобального воздействия: воздействие факторов распространяется на экосистемы Мирового океана, формирует специфику и интенсивность экологических процессов в зависимости от климата и географического местоположения.

Основные антропогенные компоненты глобального воздействия:

- изменение средних значений климатических параметров;
- рост погодных аномалий;
- загрязнение водной среды в результате погодных катастроф.

Анализ средней температуры морской воды на одесском побережье показал, что в последнее десятилетие наблюдается тенденция увеличения среднегодовой температуры на 1,7 °С. Было зафиксировано отсутствие значимой зависимости между среднегодовой температурой и среднегодовыми значениями экологической активности, численности, биомассы и индексов поверхности прибрежных сообществ фитопланктона и фитобентоса (Minicheva et al., 2010).

Значительно более высокий уровень ответной реакции альгосообществ наблюдается на изменчивость абиотических факторов и их аномалии. В последнее десятилетие в связи с климатическими изменениями возросла частота и сила погодных аномалий. В качестве примера можно привести высокую степень погодных аномалий в СЗЧМ, которые наблюдались в зимне-весенний период 2002–2003 гг. Положительная аномалия температуры в 2002 г. превышала стандартное отклонение в 1,7 раз. Отрицательная температурная аномалия в 2003 г. была выше стандартного отклонения в 2,4 раза. Последовательное сочетание этих температурных аномалий спровоцировало ярко выраженную ответную реакцию сообществ прибрежных макрофитов. В результате интенсивного развития макрофитобентоса в прибрежной зоне зафиксировано увеличение продукционного процесса в 2 раза по сравнению со средним региональным уровнем. Интенсификация продукционного процесса сопровождалась нарушением сезонных закономерностей динамики видового состава макроводорослей. Период развития зимних видов макрофитов сдвинулся на 6–7 недель. Бурые водоросли – представители холодного периода (*D. viridis*, *Punctaria latifolia* Grev., *Ectocarpus siliculosus* (Dillwyn) Lyngb.), развивались до середины июля.

Другая значительная климатическая аномалия наблюдалась в 2010 г. Атмосферные осадки превысили годовую норму на 350–200 %. Температура воздуха в августе была выше нормы более чем в 5 раз. Климатические условия 2010 г. радикально изменили морфофункциональное состояние сообществ макрофитобентоса на одесском побережье. Экологическая активность массовых видов фитобентоса возросла с 30 до 300 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>. Доминантами стали синезеленые водоросли из родов *Lyngya*,

*Spirulina* вместо преобладавших ранее *Ceramium*, *Cladophora*, *Enteromorpha* Link. Средняя экологическая активность видов, вошедших во флористический состав сообществ, возросла в 2,5 раза ( $S/W = 147 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ ). Индексы поверхности фитоценозов достигли уровня 80-х гг. прошлого столетия (ИП<sub>Ф</sub> – 74 ед.) (рис. 5).

В результате температурной аномалии в июле 2010 г. по всей акватории СЗЧМ наблюдалось сильное цветение синезеленой водоросли *Nodularia spumigena* Mertens, биомасса которой возросла до  $5 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$  (Александров и др., 2010). Такая же сильная реакция фитопланктонных сообществ на аномальные погодные условия наблюдалась в лиманах северо-западного Причерноморья. В Тилигульском лимане в июле-августе концентрация хлорофилла *a* увеличилась на два порядка (рис. 6).

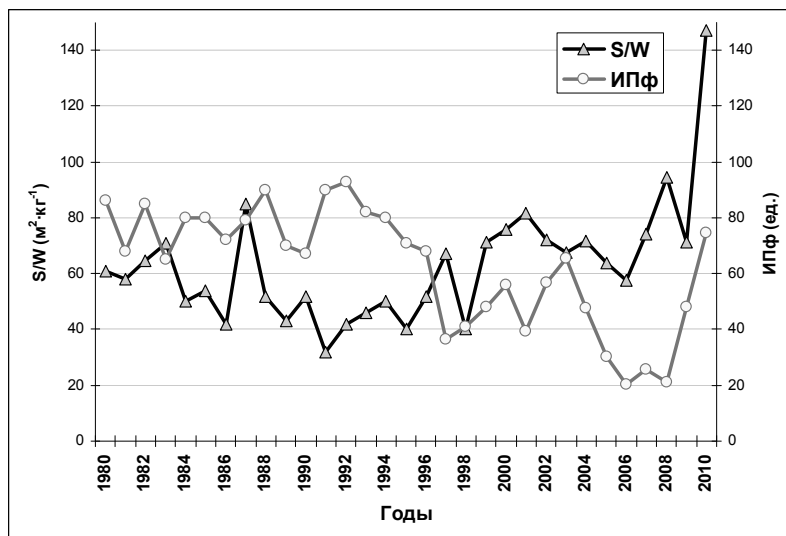


Рис. 5. Межгодовая изменчивость удельной поверхности (S/W) и индекса поверхности (ИП<sub>Ф</sub>) сообществ макрофитов в 1980–2010 гг.

В этот период в лимане наблюдалось цветение динофитовой планктонной водоросли *Prorocentrum micans* Ehrenb., биомасса которой составила  $135 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$  (обычно – менее  $1 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ ). Индексы поверхности фитопланктона превышали 40 ед. (норма – 2–5 ед.).

В настоящее время в СЗЧМ не зафиксированы масштабные воздействия на растительные сообщества, связанные с аномальными погодными условиями. Наиболее вероятную опасность представляют лишь техногенные аварии в результате плохих погодных условий, такие как произошла в Керченском проливе в ноябре 2007 г. Во время многодневного шторма 4 судна затонули, 11 – выброшены на мель. Загрязнение нефтепродуктами многокилометровой прибрежной зоны в результате гибели нефтяных танкеров подтверждает возрастающую опасность таких ситуаций для любых морских акваторий, включая СЗЧМ.

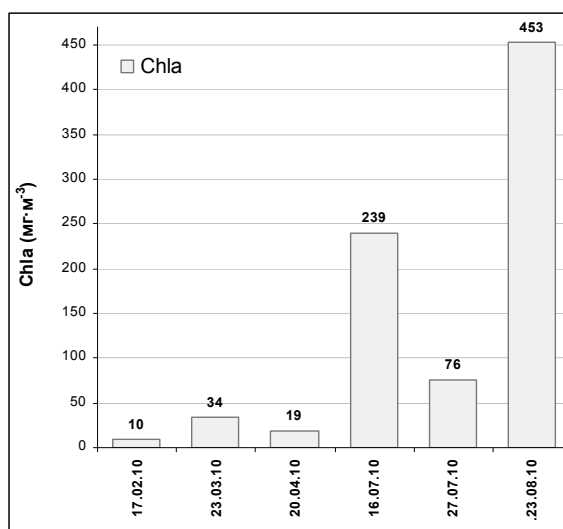


Рис. 6. Концентрации хлорофилла *a* фитопланктона Тилигульского лимана в условиях климатических аномалий 2010 г.

*Соотношение воздействия локальных, региональных и глобальных факторов.* Для количественной оценки отклика альгосообществ СЗЧМ на факторы различных уровней воздействия была предложена оценочная шкала, включающая семь категорий оценки: три категории для оценки степени снижения воздействия, одна – для неизменного состояния и три категории для оценки степени возрастания воздействия фактора (табл. 1).

Таблица 1

Оценочная шкала воздействия факторов на альгосообщества

Рейтинг фактора	Категория
Радикальное снижение	- - -
Значительное снижение	- -
Существенное снижение	-
Неизменное состояние	0
Существенное возрастание	+
Значительное возрастание	+ +
Радикальное возрастание	+ + +

Для сообществ фитопланктона и фитобентоса СЗЧМ была проведена экспертная оценка реакций на основные факторы каждого из трех уровней. В результате получена общая картина соотношения интенсив-

ности и направленности действия антропогенных компонентов на автотрофное звено наиболее чувствительного региона черноморской экосистемы для последних десяти лет (табл. 2).

Из таблицы видно, что наиболее острая проблема интенсивной трансформации береговых биотопов, которая возникла в последнее десятилетие, может быть решена на уровне местной и государственной власти Украины. Очевидно, что проблемы восстановления Черного моря как региональной системы могут быть решены только при совместном усилии евро-азиатских стран всего черноморского бассейна. Суммирование рейтинга воздействия факторов на каждом уровне дает возможность получить ориентировочную количественную оценку соотношения действия факторов различных уровней на биологический компонент Черного моря на примере альгосообществ СЗЧМ (рис. 7).

Таблица 2

**Оценка реакции альгосообществ северо-западной части Черного моря на воздействие факторов различных уровней в 2000–2011 гг.**

Уровень действия фактора	Антропогенный компонент	Категория	Уровень решения проблемы
Локальный	Точечные источники загрязнения	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>Государственный (Украина)</li> <li>Региональный (Одесская, Николаевская, Херсонская обл., Респ. Крым)</li> </ul>
	Трансформация прибрежных биотопов	+++	
	Рекреационная нагрузка	++	
Региональный	Объем и качество речного стока (эвтрофикация)	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>Евро-азиатский</li> </ul>
	Водный транспорт (нефтяное загрязнение)	-	
	Интродукция видов вселенцев	-	
Глобальный	Изменение средних значений климатических параметров	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>Мировой</li> </ul>
	Рост погодных аномалий	++	
	Загрязнение водной среды в результате погодных катастроф	+	

Лидером по интенсивности воздействия на морские растительные сообщества на современном этапе являются факторы локального уровня (см. рис. 7). Антропогенная составляющая (трансформация береговых биотопов) получила наиболее высокий балл для данного уровня (ради-

кальное увеличение: +6). Решение этой проблемы в Украине может осуществляться путем более широкого внедрения европейских подходов комплексного управления береговой зоной (Integrate Coastal Zone Managment – ICZM), принятия государственного закона «О береговой зоне», планирования с учетом интересов природной составляющей морских побережий и других ветланд экосистем и более жесткого контроля за строительством в береговых зонах.

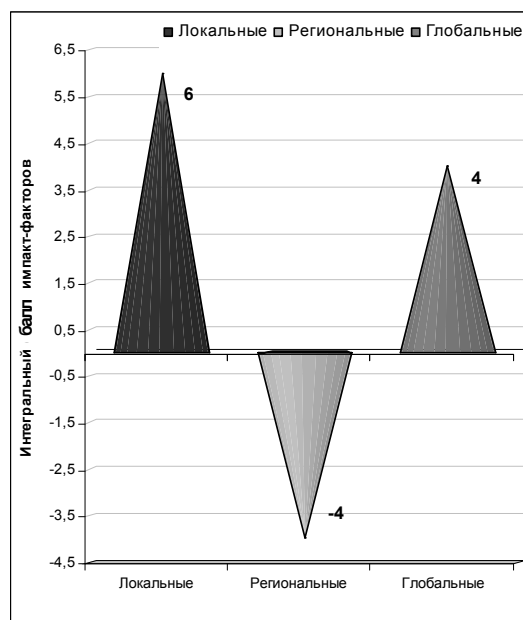


Рис. 7. Соотношение интегрального воздействия локальных, региональных и глобальных факторов на альгосообщества северо-западной части Черного моря (2000–2011)

Наиболее высокая динамика снижения воздействия на альгосообщества СЗЧМ наблюдается со стороны региональных факторов. Минимальный балл этого уровня наблюдается для фактора эвтрофирования (значительное снижение: -4). Реакции водорослевых сообществ последних десятилетий подтверждают наметившуюся тенденцию восстановления черноморского биологического компонента. Это хороший пример того, как международное сотрудничество и финансовая поддержка при координации Секретариата Черноморской Программы обеспечивают позитивный экологический результат.

В последнее десятилетие зафиксировано возрастание негативного влияния погодных аномалий на альгосообщества (значительное увеличение: +4). Решение этой проблемы невозможно без совместных усилий по стабилизации планетарных климатических условий, которые одинаково влияют на функционирование сухопутных и морских экосистем.

## Выводы

Анализ реакций сообществ фитопланктона и фитобентоса северо-западной части Черного моря на различные антропогенные компоненты локального, регионального и глобального воздействия за последний десятилетний период показал, что:

- наибольшее негативное воздействие на сообщества бентосных водорослей оказывает интенсивная трансформация береговой зоны в результате интенсивного строительства с заменой природных биотопов искусственными;
- снижение уровня эвтрофикации сопровождается достоверными процессами восстановления планктонных и бентосных альгосообществ в прибрежной и шельфовой зонах;
- возрастающий уровень климатических аномалий становится серьезным фактором, способным существенно нарушать скорость региональных продукционных процессов и структурно-функциональную организацию альгосообществ.

*Работа выполнена при государственном финансировании фундаментальной темы НАН Украины: «Реакция, прогноз состояния и использования растительности водных экосистем украинского шельфа в условиях локального, регионального и глобального воздействия» (2005–2010). Авторы выражают благодарность всем коллегам отдела Морфофункциональной экологии водной растительности Одесского филиала ИнБЮМ НАН Украины за помощь.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров Б.Г.* Проблема переноса водных организмов судами и некоторые подходы к оценке риска новых инвазий // Мор. экол. журн. – 2004. – 3, № 1. – С. 5–17.
- Александров Б.Г., Зайцев Ю.П., Миничева Г.Г.* Нові підходи до визначення біологічної цінності морських екосистем // Жива Україна. – 2010. – 1/2. – С. 4–8.
- Александров Б.Г., Нестерова Д.А., Теренько Л.М.* Первый случай «цветения» *Nodularia spumigena* Mertens ex Born. et Flah. в Черном море // Мор. экол. журн. – 2010. – 9, № 4. – С. 47.
- Большаков В.Н., Большаков М.В.* Потоки солнечной энергии на поверхности гидротехнических сооружений разной ориентации // Укр. гідрометеорол. журн. – 2010. – № 7. – С. 220–231.
- Виноградов А.К.* Биология северо-западной части Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1967. – 268 с.
- Зайцев Ю.П., Александров Б.Г., Миничева Г.Г.* Северо-западная часть Чёрного моря: биология и экология. – Киев: Наук. думка, 2006. – 701 с.
- Миничева Г.Г.* Морфофункциональные основы формирования морского фитобентоса: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Севастополь, 1998. – 33 с.



- Миничева Г.Г., Богатова Ю.И., Зотов А.Б. Особенности гидрохимического режима и структурно-функциональной организации автотрофного компонента Тилигульского лимана // Лиманы северо-западного Причерноморья: актуальные проблемы и пути их решения. – Одесса: ТЕК, 2012. – С. 72–75.
- Миничева Г.Г., Ерёмченко Т.И. Альгологические находки в северо-западной части Чёрного моря // Альгология. – 1993. – 3, № 4. – С. 83–87.
- Миничева Г.Г., Зотов А.Б., Косенко М.Н. Методические рекомендации по определению комплекса морфофункциональных показателей одноклеточных и многоклеточных форм водной растительности. – Одесса: ГЭФ ПРООН, 2003. – 32 с.
- Миничева Г.Г., Косенко М.Н., Швеиц А.В. Фитобентос большого и малого филофорных полей, как отражение современного экологического состояния северо-западной части Черного моря // Мор. экол. журн. – 2009. – 8, № 4. – С. 24–40.
- Михайлов Л.А. Концепции современного естествознания. – СПб: Питер, 2008. – 336 с.
- Симонов А.И., Альтман Э.Н. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Черное море. Гидрометеорологические условия. – Проект “Моря СССР”. – Л.; М.: Гидрометеоздат, 1991. – 430 с.
- Тучковенко Ю.С., Иванов В.А., Сапко О.Ю. Оценка влияния береговых источников на качество вод Одесского района северо-западной части Черного моря. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. – 169 с.
- Directive 2005/56/EC of the European parliament and of the council. Marine Strategy Framework Directive // Offic. J. Europ. Union. – 2008. – P. 19–40.
- Langmead O., McQuatters-Gollop A., Mee L.D. et al. Recovery or decline of the northwestern Black Sea: A societal choice revealed by socio-ecological modeling // Ecol. model. – 2009. – 220. – P. 2927–2939.
- Lorenzen, C.J., Jeffrey S.W. Determination of chlorophyll in seawater // Techn. Papers in Mar. Sci. – 1980. – 35. – 20 p.
- Minicheva G.G. Contemporary morpho-functional transformation of seaweed communities of the Zernov Phyllophora Field // Intern. J. Algae. – 2007. – 9, N 1. – P. 1–21.
- Minicheva G.G. Prediction changes of the marine vegetation in the conditions of eutrophication of the coastal ecosystems // Partnership in Coastal Zone Management. – Samora Publ. Limnol. UK, 1996. – P. 541–547.
- Minicheva G.G., Bolshakov V.N., Zotov A.B. The response of autotrophic communities of the northwestern Black Sea to the variability of climatic factors // J. Environ. Protect. Ecol. – 2010. – 3, N 11. – P. 1046–1054.
- Minicheva G.G., Maximova O.V., Morushkova N.A. et al. State of the environment of the Black Sea (2001-2006/7). – Istanbul, 2008. – 448 p.
- SCOR-UNESCO Working group N 17. Determination of photosynthetic pigments in seawater // Monographs on Oceanologic Methodology. – Paris: UNESCO, 1966. – P. 9–18.
- Zaitsev Yu., Mamaev V. Biological Diversity in the Black Sea. A Study of Change and Decline. – New York: Unit. Nat. Publ., 1997. – 208 p.

Поступила 5 октября 2012 г.  
Подписал в печать С.П. Вассер

*G.G. Minicheva, Yu.S. Tuchkovenko, V.N. Bolshakov, A.B. Zotov, E.M. Rusnak*

Department of Morphofunctional Ecology of Aquatic Vegetation,  
Odessa Branch Institute Biology of Southern Seas NASU,  
37, Pushkinskaya St., 65125 Odessa, Ukraine

RESPONSES OF ALGAE COMMUNITIES OF THE NORTHWESTERN  
BLACK SEA ON THE IMPACT OF LOCAL, REGIONAL AND GLOBAL  
FACTORS

The reactions of phytobenthos and phytoplankton communities of the Northwestern Black Sea to influence of factors of local, regional, and global levels in 2000–2011 years was estimated with the use of holistic approach and methods of morphofunctional ecology. The expert evaluation of power of influence of factors at each level was implemented on the basis of the estimation scale containing seven categories. The local level is characterized by the highest value of negative influence caused by intensive transformation of natural biotopes in a coastal zone. At the regional level there are credible processes of restoration of plant communities in response to the reduction of eutrophication. At the global level there is growth of climatic anomalies, which can substantially change speed of ecological processes and structural-functional organization of biotic component of Black Sea ecosystem.

**Key words:** algae community, transformation biotopes, eutrophication, climatic chang, Black Sea.