УДК 581.6 : 582.232 : 633.559 : 58.08

Раст. ресурсы, вып. 1–2, 1996

МЕТОД ПРОГНОЗА СОСТАВА ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ МОРСКОГО ФИТОБЕНТОСА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УРОВНЯ ЕВТРОФНОГО ПРОЦЕССА

© *Г. Г. Миничева*

В морских экосистемах основу растительных ресурсов, которые являются или могут стать объектами промыслового использования, составляют виды многоклеточных водорослей и цветковых растений (травы), развивающиеся в бентали прибрежных зон морей и океанов. Как правило, они занимают значительные площади, характеризуются высокой продукцией биомассы и способностью образовывать скопления, что определяет их сырьевую ценность. Эти виды широко используются и как объекты марикультуры для пищевых целей или получения технического сырья, а в последнее время в связи с ухудшающейся экологической обстановкой также и с целью рекультивации и оздоровления евтрофных прибрежных вод (Возжинская и др., 1989; Крупнова и др., 1989).

В результате многолетнего опыта использования растительных ресурсов водных экосистем выработаны общепринятые методы экологической оценки объектов, представляющих хозяйственный интерес. Это описание биологии видов, их распределения, определение продукционных характеристик (биомассы, запасов и т. д.) (Возжинская и др., 1971; Возжинская, 1980; Блинова, 1979; Суховеева, Шмелькова, 1979; Каминер, 1980).

Интенсивное антропогенное воздействие, которому в последнее время практически повсеместно подверглись водные бассейны, в первую очередь отразилось на прибрежных частях экосистем, принимающих на себя основную часть нагрузок и являющихся главным биотопом растительных ресурсов. Один из широко распространенных факторов – евтрофикация существенно изменила скорость природных процессов, привела к видовой перестройке сообществ, деградации объектов промысла. Наиболее существенное изменение в структуре растительных сообществ наблюдается в бассейнах внутренних и полузамкнутых морей, подвергающихся сильной евтрофикации. Известные по своим масштабам скопления на шельфе северо-западной части Черного моря нескольких видов агароносных красных водорослей из рода *Phyllophora* Grev. в настоящее время практически утратили свое промысловое значение (Каминер, 1987). При уменьшении в Черном море биомассы и запасов видов, имеющих традиционное практическое использование – *Phyllophora nervosa* (DC.) Grev. и *Cystoseira barbata* (Good. et Wood.) Ag., соответственно в 10 и 0.6 раза, биомасса и запасы зеленых водорослей из родов *Ulva* L., *Enteromorpha* L. и *Cladophora* Kutz. увеличились в 3–16 раз (Калугина-Гутник, 1987). В Балтийском море наблюдается понижение биомассы фукусовых водорослей, представляющих интерес как сырьевые объекты, они интенсивно замещаются сообществами зеленых нитчатых макрофитов, которые ранее не рассматривались как сырьевые виды (Кукк, 1979; Trei et al., 1987).

Современная экологическая ситуация в морях требует применения новых методов экологической оценки ресурсов водной растительности. В условиях высокой динамики структуры антропогенно нарушенных экосистем необходимы методы, позволяющие предвидеть смену видового состава, изменение биомассы и продукционных характеристик, перераспределение роли доминантных видов в сообществах. Данную задачу предлагается решать с помощью морфофункционального подхода, используемого при оценке морских многоклеточных

водорослей и высшей водной растительности (Хайлов, Парчевский, 1983; Хайлов и др., 1992; Миничева, 1993).

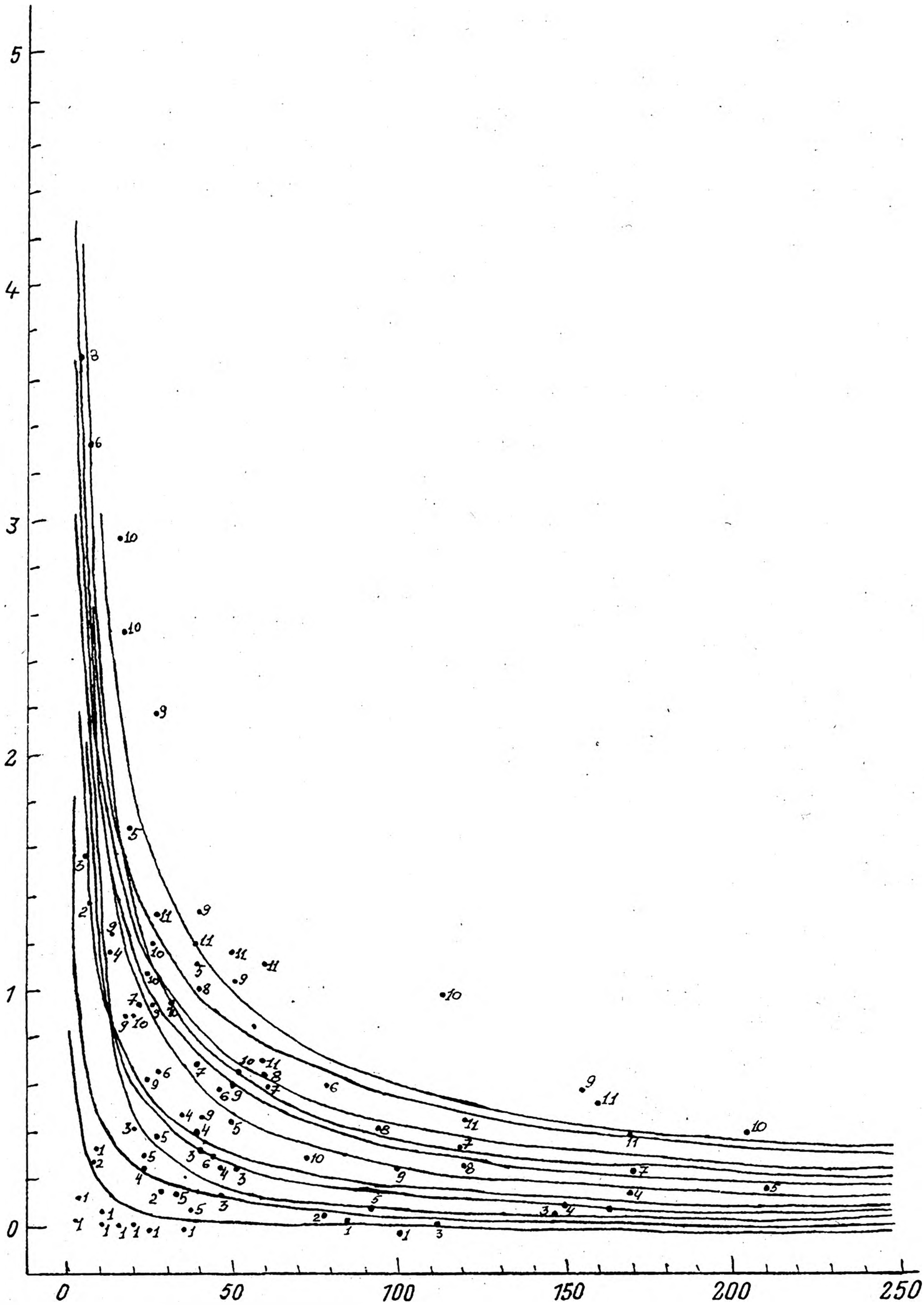
В основе разработанного нами метода определения экологической перспективности сырьевых видов водной растительности при условии изменения интенсивности автотрофного процесса, вызванного ев- или деевтрофикацией, лежит общеэкологический принцип динамического равновесия, существующий между структурно-функциональной организацией биотического и абиотического компонентов экосистемы. Механизм экологического равновесия построен на соответствии индивидуальной функциональной активности популяций, слагающих сообщества, и интенсивности продукционно-деструкционного процесса, определяемого комплексом абиотических факторов. При этом функциональную активность различных видов водорослей-макрофитов и водных цветковых растений, а также общую интенсивность автотрофного процесса в экосистеме предлагается измерять с помощью комплекса показателей поверхности водной растительности (Миничева, 1987).

Определив величины удельной поверхности s/w – отношение поверхности к весу таллома (Миничева, 1992) видов донной растительности, произрастающих в экспертируемой экосистеме, получим состав видов в форме ряда, отражающего увеличение функциональной активности популяций. Начинают такой ряд крупные виды с высокой биомассой и низкими значениями s/w, а заканчивают мелкие, короткоцикличные, быстрорастущие виды с высокими значениями удельной поверхности. Экосистемам, отличающимся интенсивностью автотрофного процесса, выражаемого с помощью индексов поверхности фитоценозов (ИПФ) – отношение площади поверхности фитоценоза к единице поверхности субстрата (Миничева, 1989), будут соответствовать ряды функциональной активности растительных популяций, характеризующиеся определенными величинами значений: s/w_{min}, $s/w_{\bar{x}}$, s/w_{max}.

В соответствии с законом динамического равновесия, каждому уровню автотрофного процесса, формирующегося в экосистеме и измеряемого с помощью ИПФ, будет соответствовать тот или иной состав видов, популяции которого характеризуются определенными величинами s/w. Значение s/w_{min} в таком ряду будет ограничивать вхождение в состав растительных сообществ видов, у которых s/w популяции ниже s/w_{min}; $s/w_{\bar{x}}$ будет определять преимущество развития для видов, s/w которых близки к значениям $s/w_{\bar{x}}$; s/w_{max} не выполняет ограничительных функций, так как виды с высокими значениями s/w одинаково успешно могут присутствовать как в олиготрофных, так и в евтрофных экосистемах.

Процесс ев- или деевтрофикации будет соответственно увеличивать или уменьшать значения ИПФ. Задавая необходимые значения данного индекса в зависимости от тенденции направленности процессов в экосистеме, на основе линейных уравнений $s/w_{min} = -2.42 + 0.37 \cdot$ ИПФ и $s/w_{\bar{x}} = 10.67 + 1.17 \cdot$ ИПФ (Миничева, 1990) для любого уровня автотрофного процесса можно рассчитать определяющие параметры функционального ряда растительности. Теоретический расчет величины s/w_{min} позволяет выделить виды, для которых при дальнейшей евтрофикации будет ожидаться понижение показателей развития с последующим полным исчезновением. Следовательно, с учетом складывающейся экологической обстановки такие виды не могут рассматриваться как перспективные объекты промысла или выращивания. И наоборот, на основе рассчитанной величины $s/w_{\bar{x}}$ можно определять виды, которые получают благоприятные условия для массового развития, и в связи с этим еще до перестройки фитоструктуры могут уже рассматриваться как потенциальные сырьевые объекты, которые в будущем при изменившихся условиях составят основу растительных ресурсов экосистемы.

Помимо качественной экспертизы видового состава для планирования



Зависимости средней биомассы популяций различных видов донной растительности от величины их удельной поверхности при различной интенсивности автотрофного процесса в экосистеме.

1 – Сердоликовая бухта, Черное море, 1931 г., ИПФ – 0.44 ед., по данным Н. В. Морозовой-Водяницкой (1936); *2* – Туапсинский порт, Черное море, 1934 г., ИПФ – 6.7 ед., по данным

промыслового использования экологически перспективных сырьевых видов большое значение имеет прогнозирование биомассных характеристик популяций, позволяющих оценивать их рентабельность. Учитывая складывающиеся в экосистеме тенденции изменения автотрофного процесса, необходимо также располагать информацией об изменении средних величин биомассы популяций в связи с перераспределением их роли в структуре растительных сообществ.

Зависимости, связывающие биомассу популяций с величинами их удельной поверхности при различной интенсивности автотрофного процесса, описываются уравнением типа

$$B = b \cdot (s/w)^{-a},$$

где B – средняя биомасса популяции, s/w – удельная поверхность популяции (см. рисунок). Анализ эмпирических рядов данной зависимости для экосистем с различным уровнем автотрофного процесса позволил получить коэффициенты для уравнения: $b = 13.08$, $a = 1.138 - 0.00936 \cdot$ ИПФ. Таким образом, для любой популяции, индивидуальная функциональная активность которой позволит остаться ей в структуре растительных сообществ после изменения уровня автотрофного процесса, можно будет рассчитать ожидаемую для нее величину средней биомассы.

Необходимо обратить внимание на существенную особенность, вытекающую из характера зависимости между биомассой и удельной поверхностью популяции, важную для планирования перспективного использования ресурсов водной растительности, а также выбора объектов марикультуры в экосистемах с нестабильным уровнем продукционного процесса. При определенном значении ИПФ максимальные величины биомассы, а следовательно, и доминантное положение имеют виды, у которых индивидуальное значение s/w приближается к значению s/w_{min} функционального ряда. Именно такие популяции располагаются в зоне наибольшего экологического риска. При условии повышения ИПФ на определенную величину и соответственного увеличения значения s/w_{min} данные виды первыми оказываются вне ряда функциональной активности и через некоторый временной промежуток будут обречены на выход из структуры водной растительности. В связи с этим при определении экологической перспективности объектов, обладающих определенной сырьевой ценностью, целесообразно рассматривать „запас" функциональной активности популяции, который позволит им продолжить свое развитие при более высоком уровне продукционного процесса.

Для примера использования предлагаемого метода приведем краткую оценку экологической перспективности некоторых видов прибрежного фитобентоса северо-западной части Черного моря как потенциальных ресурсных объектов.

За последние тридцать лет в связи с усиленной евтрофикацией северо-западной части Черного моря интенсивность автотрофного процесса в прибрежной зоне

Н. В. Морозовой-Водяницкой (1962); *3* – Григорьевский лиман, северное Причерноморье, осень 1992 г., ИПФ – 10.3 ед., по данным автора; *4* – Севастопольская бухта, Черное море, конец 70-х гг., ИПФ – 16.2 ед., по данным А. А. Калугиной-Гутник (1982); *5* – Григорьевский лиман, северное Причерноморье, зима 1993 г., ИПФ – 24.2 ед., по данным автора; *6* – Тилигульский лиман, северное Причерноморье, 1989 г., ИПФ – 27.8 ед., по данным автора; *7* – северо-западная часть Черного моря, 1962–1965 гг., ИПФ – 32.3 ед., по данным Т. И. Ерёменко (1967); *8* – Белое море, 1965–1967 гг., ИПФ – 32.9 ед., по данным В. Б. Возжинской (1980); *9* – Григорьевский лиман, северное Причерноморье, лето 1993 г., ИПФ – 37.5 ед., по данным автора; *10* – Григорьевский лиман, северное Причерноморье, весна 1993 г., ИПФ – 43.8 ед., по данным автора; *11* – северо-западная часть Черного моря, 1985–1990 гг., ИПФ – 58.3 ед., по данным автора.

По оси абсцисс – удельная поверхность, м²/кг; *по оси ординат* – средняя биомасса, кг/м².

Перспективные сырьевые объекты макрофитобентоса северо-западной части Черного моря

Род водорослей	s/w, ($м^2/кг$)	Биомасса, $кг/м^2$	
		Современный период (ИПФ = 55 ед.)	Увеличение евтрофикации (ИПФ = 80 ед.)
Ceramium	28–35	1.5	3.6
Enteromorpha	35–45	1.3	3.1
Cladophora	59–90	0.9	2.5

экосистемы повысилась в среднем с 20–30 до 50–60 ед. ИПФ. Воспользовавшись уравнениями, связывающими параметры функционального ряда растительности с интенсивностью продукционного процесса, можно рассчитать характерные для современного периода значения s/w_{min}, равное около 18 $м^2$кг, и $s/w_{\bar{x}}$, равное около 75 $м^2/кг$.

Величина s/w_{min} объясняет, по какой причине в северо-западной части претерпели деградацию ассоциации видов *Phyllophora nervosa* (s/w = 14.2 ± 0.8 $м^2/кг$) и *P. brodiaei* (Turn.) J. Ag. (s/w = 11.2 ± 0.6 $м^2/кг$) и полностью исчезла в наиболее евтрофированном районе на побережье Днепровско-Днестровского междуречья популяция *Cystoseira barbata* (s/w = 9.3 ± 1.5 $м^2/кг$). В настоящее время в рассматриваемом районе наблюдается естественный уход видов, s/w которых ниже 20 $м^2/кг$; а их функциональная активность в связи с евтрофикацией перестала соответствовать возросшему в экосистеме уровню автотрофного процесса. Без глобального процесса деевтрофикации и понижения скорости продукционного процесса в целом любые искусственные мероприятия по восстановлению запасов таких видов в природных условиях северо-западной части Черного моря будут вряд ли эффективны, а следовательно, виды с s/w ниже 20 $м^2/кг$ не могут рассматриваться как перспективные сырьевые объекты. И наоборот, к перспективным сырьевым видам фитобентоса северо-западной части Черного моря с учетом продолжающегося процесса евтрофикации можно отнести популяции водорослей и цветковых макрофитов, обладающих хозяйственно ценными свойствами и имеющих s/w в пределах от 30 до 100 $м^2/кг$.

Для некоторых экологически перспективных родов макроводорослей северо-западной части Черного моря представлены современные и ожидаемые величины биомассы (см. таблицу). Для представителей данных родов водорослей уже сегодня имеет смысл проводить биохимические и биотехнологические исследования для поиска их полезных качеств и разработки технологий переработки, а также выращивания в промысловых, марикультурных и мелиоративных целях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый метод оценки экологической перспективности сырьевых видов донной растительности морских экосистем, основанный на морфофункциональном подходе и количественных закономерностях формирования структуры растительных сообществ, позволяет при условии изменения в экосистеме уровня автотрофного процесса, вызванного ев- или деевтрофикацией, определять виды, которые выйдут из структуры растительности, и виды, которые получат массовое развитие

при новых условиях. Для последних возможен расчет показателей ожидаемой биомассы.

Возможности метода позволяют использовать его для правильного планирования и организации эксплуатации растительных ресурсов в прибрежных частях любых водных экосистем, подверженных антропогенному изменению уровня автотрофного процесса.

Представленная работа выполнена в рамках проекта „Экологическая безопасность Черного и Азовского морей и комплексное использование ресурсов шельфа" программы ГКНТ Украины „Ресурсы шельфа".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Блинова Е. И. Ресурсы морских водорослей и трав в океане // Биологические ресурсы Мирового океана. М., 1979. С. 179–192.

Возжинская В. Б., Цапко А. С., Блинова Е. И., Калугина А. А., Петров Ю. Е. Промысловые водоросли СССР. М., 1971.

Возжинская В. Б. Видовой состав, распределение и фитогеографическая характеристика донной флоры Белого моря // Донная флора и продукция краевых морей СССР. М., 1980. С. 29–62.

Возжинская В. Б., Кукк Х. А., Плинский П. П., Чижевская Э. М. Марикультура морских агароносных водорослей и трав в качестве рекультивации бухт Балтийского моря // Тез. докл. Междунар. симпоз. по современным проблемам марикультуры в социалистических странах (Большой Утриш, сентябрь–октябрь 1989 г.). М., 1989. С. 169–170.

Ерёменко Т. И. Макрофитобентос // Биология северо-западной части Черного моря. Киев, 1967. С. 126–143.

Калугина-Гутник А. А. Изменения в донной растительности Севастопольской бухты за период с 1967 по 1977 г. // Экология моря. 1982. № 9. С. 48–62.

Калугина-Гутник А. А. Основные тенденции развития макроводорослей и пути повышения их сырьевых ресурсов в Черном море // Тез. докл. Всесоюз. конф. „Актуальные пробемы современной альгологии" (Черкассы, сентябрь 1987 г.). Киев, 1987. Ч. 1. С. 9.

Каминер К. М. Филлофора (*Phyllophora nervosa* (DS.) и *P. brodiae* (Turn.) J. Ag.) северо-западной части Черного моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Одесса, 1980.

Каминер К. М. Деградация фитоценозов Джерылгачского залива северо-западной части Черного моря как результат многолетних антропогенных нагрузок // Гидробиологические исследования на Украине в XI пятилетке. Киев, 1987. С. 41–42.

Крупнова Т. Н., Рыгалов В. Е., Марковцев В. Г. Использование крупномасштабных ламинариевых плантаций для оздоровления евтрофированных прибрежных вод // Тез. докл. Междунар. симпоз. по современным проблемам марикультуры в социалистических странах (Большой Утриш, сентябрь–октябрь 1989 г.). М., 1989. С. 180–182.

Кукк Х. А. Сукцессии фитобентоса Финского залива // Тез. докл. III Всесоюз. совещ. по морской альгологии–макрофитобентосу (Севастополь, октябрь 1979 г.). Киев, 1979. С. 83–84.

Миничева Г. Г. Методические рекомендации по определению комплекса показателей, связанных с поверхностью водорослей-макрофитов / Одесское отд. Ин-та биол. южных морей АН УССР. Препринт. Одесса, 1987.

Миничева Г. Г. Показатели поверхности водорослей в структурно-функциональной оценке макрофитобентоса (на примере северо-западной части Черного моря): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь, 1989.

Миничева Г. Г. Прогнозирование структуры фитобентоса с помощью показателей поверхности водорослей // Бот. журн. 1990. Т. 75, № 11. С. 1611–1618.

Миничева Г. Г. Аллометрический метод определения удельной площади поверхности водорослей-макрофитов // Альгология. 1992. Т. 2, № 4. С. 93–96.

Миничева Г. Г. Структурно-функциональные особенности формирования сообществ морских бентосных водорослей // Альгология. 1993. Т. 2, № 4. С. 3–12.

Морозова-Водяницкая Н. В. Водоросли окрестностей Карадага // Тр. Севастопольской биол. станции АН СССР. 1936. Т. 5. С. 219–232.

Морозова-Водяницкая Н. В. Растительные обрастания в Туапсинском порту // Тр. Новороссийской биол. станции. 1962. Юбилейный вып. С. 11–40.

Суховеева М. В., Шмелькова Л. П. Экология, количественное распределение, запасы, продукты, получаемые из макрофитов // Тез. докл. Тихоокеан. науч. конф.

(Хабаровск, 1979). Комитет F. Морских наук. Секция F. III. Биологическая продуктивность Тихого океана. М., 1979. С. 253–254.
Хайлов К. М., Парчевский В. П. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений. Киев, 1983.
Хайлов К. М., Празукин А. В., Ковардаков С. А., Рыгалов В. Е. Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. Киев, 1992.
Trei T., Kykk H., Kykk E. Phytobenthos as an indicator of the degree of pollutio in the Gulf of Finland and in neighbouring sea areas // Meri (Helsinki). 1987. Vol. 13. P. 63–110.

Одесский филиал Института
биологии южных морей НАН Украины

Получено 11 I 1995

METHOD OF THE FORECAST OF THE COMPOSITION OF THE COMMERCIAL YIELD OF SPECIES OF MARINE PHYTOBENTHOS UNDER THE CONDITIONS OF ALTERATION OF EUTROPHIC PROCESS

G. G. Minicheva

SUMMARY

The method based on morpho-functional evaluet of benthic flora, allowing estimation of ecologically perspective species for different eutrophycation levels of the marine ecosystem is proposed.

The applied equations are allowing, on the based population specific surface calculation and will make prognosis for folling out and mass distributed species. For the mass species would be possible to predict the expected biomass.

The macrophytobenthos of the north-western part of the Black sea was analysed by this method.