

УДК 577.4

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ЗНАЧЕНИЙ БИОМАСС ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУППИРОВОК ГИДРОБИОНТОВ С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕРМИНАЦИОННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Н.Г. Булгаков, А.В. Соловьев¹, В.Н. Максимов

(кафедра общей экологии; e-mail: bulgakov@chronos.msu.ru)

С помощью детерминационного анализа данных рассчитаны оптимальные значения биомасс фитопланктона и его отделов, обеспечивающие достижение высоких биомасс первичных консументов — зоопланктеров. Показано, что у представителей класса коловраток уровни оптимальных биомасс более высокие, нежели у ракообразных. В Карском районе также можно констатировать увеличение этих уровней для кладоцер в сравнении с copeподами. Проведен прогноз развития зоопланктонного сообщества по найденным значениям оптимальных биомасс кормового фитопланктона. Наиболее высока точность прогноза в Азовском районе, т.е. количественные потребности зоопланктона в кормовом фитопланктоне здесь мало подвержены изменчивости во времени.

Ключевые слова: детерминационный анализ, фитопланктон, зоопланктон, трофические связи.

Детерминационный анализ (ДА) многомерных экологических данных, первоначально примененный к социологическим и медицинским исследованиям [1], позволяет устанавливать сопряженности между различными переменными, как числовыми, так и нечисловыми (качественными), и становится незаменим в ситуациях, когда необходимо найти связь между изменениями двух переменных, если одна из них или обе носят качественный характер. ДА оперирует условными частотами многомерных событий, не обращаясь к коэффициентам корреляции или ковариации, к мерам близости и связи, т.е. к обычному инструментарию математической статистики, которая налагает слишком жесткие требования на исходные данные. В предыдущих работах авторов [2—9] описано применение ДА к осуществлению регионального контроля природной среды, в том числе к экологическому нормированию абиотических факторов, нарушающих экологическое благополучие в пресноводных экосистемах; к исследованию связей между отдельными компонентами трофической структуры водного биоценоза

В работе Максимова и Булгакова [9] проведено исследование сопряженностей между различными компонентами пресноводных биоценозов в бассейнах рек Дон, Волга, Ангара и в реках Приазовья. В данной работе на качественном уровне показана связь высоких биомасс зоопланктона с биомассами фитопланктона и высоких биомасс зообентоса с биомассами фито- и зоопланктона. Исследова-

ны сопряженности не только для суммарных биомасс каждой из трех указанных экологических группировок, но и для биомасс составляющих их таксонов.

Задачи настоящей работы: 1) исследовать количественные закономерности связей между различными компонентами водных биоценозов, т.е. найти диапазоны биомасс кормовых организмов, при которых достигается увеличение биомассы представителей вышестоящих трофических уровней; 2) определить эффективность прогноза развития растительного зоопланктона в зависимости от величины биомассы фитопланктона.

Материалы и методы

Исходными данными служили данные Росгидромета о гидробиологических показателях в Азовском (бассейн р. Дон и реки Приазовья) в 1978—1987 гг. (около 100 створов), Каспийском (бассейн р. Волга) в 1980—1982, 1988—1989, 1992, 1995, 1997 гг. (86 створов) и Карском гидрографических районах (р. Ангара) в 1995—1996 гг. (23 створа). Для анализа использованы гидробиологические базы данных из информационной системы “Фундаментальные проблемы оценки состояния экосистем и экологического нормирования” (<http://ecograde.belozersky.msu.ru>, <http://ecograde.bio.msu.ru>), предназначенной для обобщения информации, необходимой для своевременной оценки состояния экосистем по тому или иному биологическому показателю или по комплексу показателей и выявления причин возника-

¹ Кафедра теоретической физики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Таблица 1

**Классификация значений биомассы зоопланктона
(в скобках указано количество наблюдений)**

Переменная	Азовский гидрографический район		Каспийский гидрографический район		Карский гидрографический район	
	низкие значения	высокие значения	низкие значения	высокие значения	низкие значения	высокие значения
Общая биомасса зоопланктона, мг/л	≤ 0,1 (393)	> 0,1 (216)	≤ 0,1 (211)	> 0,1 (272)	< 0,017 (36)	≥ 0,017 (34)
Биомасса коловраток, мг/л	≤ 0,005 (347)	> 0,005 (263)	≤ 0,01 (215)	> 0,01 (124)	< 0,00025 (36)	≥ 0,00025 (34)
Биомасса кладоцер, мг/л	≤ 0,005 (346)	> 0,005 (264)	≤ 0,05 (172)	> 0,05 (167)	< 0,0013 (36)	≥ 0,0013 (34)
Биомасса копепод, мг/л	≤ 0,02 (337)	> 0,02 (273)	≤ 0,03 (159)	> 0,03 (179)	< 0,004 (35)	≥ 0,004 (35)

ющего неблагополучия биоты среди внешних факторов. Так как проведенный ранее качественный анализ [9] выявил ограниченное количество связей между зообентосом и другими группировками гидробионтов, в данной работе использовали суммарные биомассы фитопланктона, зоопланктона, а также биомассы составляющих их таксонов (для фитопланктона — зеленых, диатомовых, эвгленовых, пиропитовых (в старой классификации до разделения на отделы криптофитовых и динофитовых); для зоопланктона — копепод, кладоцер, коловраток). Таким образом, во всех гидрографических районах исследовали связи в паре фитопланктон—зоопланктон.

Для объясняемых переменных (биомасса зоопланктона и его таксонов) весь ряд значений был разделен на два условных класса биомассы — “высокая” и “низкая” (табл. 1). Разбиение в каждом случае происходило исходя из принципа примерно равного распределения наблюдений по классам. При этом соблюдали условие, чтобы в каждом классе оказалось не менее 30% от общего числа наблюдений. Для объясняющих переменных (биомасса фитопланктона и его таксонов), которые попали в разряд значимых при качественном анализе [9], с помощью ДА проводили процедуру оптимизации. Она заключается в том, что в верхней области объясняющей числовой переменной ищется интервал, в котором совокупность значений переменной сопрягается с совокупностью значений объясняемой качественной переменной (класс “высокая биомасса” зоопланктона). Значимость сопряженности задается критериями точности и полноты [1]. Точность — это доля наблюдений с совпадением объясняющего и объясняемого признаков среди всех наблюдений объясняющего признака. Полнота — это доля наблюдений с совпадением объясняющего и объясняемого признаков среди всех наблюдений объясняемого признака. Например, при объяснении высокой суммарной биомассы зоопланктона был найден оптимальный диапазон суммарной биомассы фитопланктона — выше 0,6 мг/л. Всего в этот диапазон попали 304 на-

блюдения биомассы фитопланктона. Кроме того, имелось 272 наблюдения с высокой биомассой зоопланктона. Из них совпали 195 наблюдений. Тогда точность данной сопряженности равна $(195/304) \times 100\% = 64\%$, а полнота — $(195/272) \times 100\% = 72\%$. Процедуру оптимизации проводили таким образом, чтобы при поиске диапазона обеспечивалась максимальная точность (но не менее 50%) при полноте не менее 10%.

Оптимальные диапазоны искали как для всего массива данных (универсальный контекст), так и для отдельных выборок, осуществляемых с помощью процедуры задания контекста в ДА по определенному пространственному или временному признаку. Для Азовского гидрографического района были выделены подбассейны Нижнего Дона, Северского Донца с притоками, рек Приазовья, периоды наблюдений до 1985 г. и с 1985 г.; для Каспийского гидрографического района — подбассейны Верхней, Средней и Нижней Волги, периоды наблюдений до 1992 г. и с 1992 г. Для Карского гидрографического района — створы, относящиеся и не относящиеся к г. Иркутску, периоды наблюдений 1995 и 1996 гг.

Результаты и обсуждение

Расчет оптимальных уровней биомасс зоопланктона. В табл. 2—4 для трех гидрографических районов представлены пограничные уровни биомасс фитопланктона, начиная с которых наблюдается высокая биомасса зоопланктона. Соответственно оптимальный диапазон охватывает все значения от указанного в таблице до максимального среди всех наблюдений. Итоговые результаты анализа включают в себя только те пары таксонов, для которых удалось найти диапазоны, удовлетворяющие заданным критериям точности и полноты.

В Азовском районе (табл. 2) наибольшее количество значимых сопряженностей выделено для биомассы коловраток. Это касается практически всех таксонов фитопланктона, за исключением цианобактерий. Как правило, пограничные уровни биомасс микроводорослей для коловраток оказались

Таблица 2

Значения пограничных уровней биомасс фитопланктона (мг/л), выше которых наблюдаются высокие биомассы зоопланктона в Азовском гидрографическом районе

Объясняющая переменная	Объясняемая переменная			
	общая биомасса зоопланктона	биомасса коловраток	биомасса кладоцер	биомасса копепод
Универсальный контекст				
Общая биомасса фитопланктона	13,45	14,16		12,56
Биомасса зеленых	1,25	1,17	0,96	0,97
Биомасса диатомовых		6,52		5,04
Биомасса цианобактерий			0,11	0,22
Биомасса пиропитовых		0,31		
Контекст "Низовье Дона"				
Общая биомасса фитопланктона	12,56	18,43		
Биомасса зеленых	1,25	0,28	0,85	0,99
Биомасса диатомовых		7,03		
Биомасса цианобактерий	8,8	7,83	7,44	7,83
Биомасса эвгленовых	0,01		0,01	0,01
Биомасса пиропитовых		0,96		
Контекст "Северский Донец"				
Общая биомасса фитопланктона	13,45	13,45		11,57
Биомасса зеленых		0,89	0,88	0,88
Биомасса диатомовых		6,52		6,52
Биомасса цианобактерий			0,19	0,19
Биомасса пиропитовых		0,37		0,1
Контекст "Приазовье"				
Общая биомасса фитопланктона		6,43		
Биомасса пиропитовых	0,3	0,12	0,3	0,3
Контекст "до 1985 г."				
Общая биомасса фитопланктона	13,45	8		6,74
Биомасса зеленых	1,18	0,97	0,96	0,71
Биомасса диатомовых	10,38			
Биомасса цианобактерий	0,11		0,13	0,01
Биомасса эвгленовых		0,62		
Биомасса пиропитовых	0,14	0,2		0,14
Контекст "с 1985 г."				
Общая биомасса фитопланктона		10,94		
Биомасса диатомовых		5,26		
Биомасса пиропитовых		0,96		0,31

выше, нежели для ракообразных, что можно объяснить большей потребностью коловраток в зеленых, диатомовых, эвгленовых. В то же время копеподы и кладоцеры, которые могли пополнять свой рацион дополнительно за счет цианобактерий, имели меньшие потребности в других отделах микро-

водорослей. Говоря о различных участках района, можно отметить малое количество связей между фито- и зоопланктоном в реках Приазовья по сравнению с другими подбассейнами и в период с 1985 г. по сравнению с предшествующим периодом. Кроме того, нельзя не обратить внимания

на высокую зависимость планктонных ракообразных от биомассы цианобактерий в низовьях Дона. Пограничные значения биомасс этого отдела намного выше, чем в других подбассейнах и в бассейне в целом. Вообще в мировой литературе нет единого мнения относительно пригодности цианобактерий для питания зоопланктона. Так, некоторые авторы считают их непригодными для питания зоопланктона [10–13]. Тем не менее, в литературе можно найти немало свидетельств, что цианобактерии все же могут представлять определенную пищевую ценность для зоопланктона [14–18]. При этом, например, коловратки, избегая при питании крупные нитчатые виды, активно потребляют мелкие виды цианобактерий, так как, видимо, более устойчивы к их токсинам, чем, например, кладоцеры.

В Каспийском районе (табл. 3) обращает на себя меньшее по сравнению с другими районами общее

количество сопряженностей и практически полное их отсутствие для объясняемой переменной “высокая биомасса коловраток”. Наибольшее количество связей выявлено для объясняющих переменных “общая биомасса фитопланктона” и “биомасса копепоид”. Необходимо отметить существенные различия в качественном составе значимых объясняющих переменных и в величинах их пограничных уровней для отдельных временных и пространственных контекстов.

По сравнению с Азовом и Каспием выделяются значительно более низкие значения (примерно на порядок) оптимальных уровней биомасс фитопланктона в Карском районе (табл. 4). Это связано с тем, что многолетние фоновые значения биомасс микроводорослей и основных их потребителей зоопланктона здесь значительно меньше в связи с особенностями континентального климата — коротким вегетационным периодом, более низкими

Таблица 3

Значения пограничных уровней биомасс фитопланктона (мг/л), выше которых наблюдаются высокие биомассы зоопланктона в Каспийском гидрографическом районе

Объясняющая переменная	Объясняемая переменная			
	общая биомасса зоопланктона	биомасса коловраток	биомасса кладоцер	биомасса копепоид
Универсальный контекст				
Общая биомасса фитопланктона	0,6			
Биомасса цианобактерий	2,19		2,19	
Контекст “Верхняя Волга”				
Общая биомасса фитопланктона			0,52	6,76
Биомасса зеленых			0,52	0,12
Биомасса диатомовых				6,71
Биомасса цианобактерий	0,24		0,79	0,87
Биомасса эвгленовых				0,2
Контекст “Средняя Волга”				
Общая биомасса фитопланктона	0,7			3,22
Биомасса диатомовых	0,28	5,5		0,64
Биомасса пиропитовых	0,52			0,52
Контекст “Нижняя Волга” нет сопряженностей				
Контекст “до 1992 г.”				
Общая биомасса фитопланктона	6,76			
Биомасса зеленых	0,16			
Биомасса диатомовых	6,71			
Биомасса цианобактерий	2,8		2,8	
Биомасса эвгленовых	0,1			
Биомасса пиропитовых				0
Контекст “с 1992 г.”				
Биомасса цианобактерий	0,16			

Таблица 4

Значения пограничных уровней биомасс фитопланктона (мг/л), выше которых наблюдаются высокие биомассы зоопланктона в Карском гидрографическом районе

Объясняющая переменная	Объясняемая переменная			
	общая биомасса зоопланктона	биомасса коловраток	биомасса кладоцер	биомасса копепод
Универсальный контекст				
Биомасса зеленых	0,0006		0,0006	0,0006
Биомасса цианобактерий	0,004	0,01	0,01	0,002
Биомасса эвгленовых	0,0007	0,0007		
Биомасса пиропитовых	0,02		0,11	0,07
Контекст "Иркутск"				
Биомасса зеленых	0,06	0,06	0,001	0,001
Биомасса цианобактерий	0,001	0,001	0,001	0,001
Биомасса эвгленовых	0,001	0,001		
Биомасса пиропитовых	0,12			
Контекст "Не Иркутск"				
Общая биомасса фитопланктона			2,21	
Биомасса зеленых	0,006		0,002	0,0006
Биомасса цианобактерий	0,004	0,007	0,005	0,002
Биомасса эвгленовых		0,0007		
Биомасса пиропитовых	0,02		0,18	0,18
Контекст "1995 г."				
Общая биомасса фитопланктона	0,64			
Биомасса зеленых	0,05	0,0006		
Биомасса диатомовых	0,56			
Биомасса цианобактерий	0,002	0,002	0,002	0,002
Биомасса эвгленовых	0,0009	0,0009		
Биомасса пиропитовых	0,02	0,01	0,01	0,01
Контекст "1996 г."				
Биомасса зеленых	0,0004		0,004	0,002
Биомасса цианобактерий	0,004	0,007	0,005	0,002
Биомасса эвгленовых		0,0007		
Биомасса пиропитовых	0,02		0,18	0,18

температурами воды. Характерно увеличение оптимальных уровней биомасс цианобактерий на створах вне Иркутска по сравнению с иркутскими и в 1996 г. по сравнению с 1995 г.

На примере Азовского и Карского районов, где по сравнению с Каспием имеется достаточно большое число значимых связей между фито- и зоопланктоном, выделим наиболее характерную тенденцию в варьировании величин оптимальных биомасс между таксонами зоопланктона. Как правило, наиболее высокие пограничные значения биомасс характерны для класса коловраток. Вероятно, исследованные таксоны зоопланктона обладают раз-

ными потребностями в кормовом фитопланктоне для обеспечения высокой биомассы. У представителей класса коловраток они более высокие, нежели у ракообразных. Кроме того, в Карском районе можно, по-видимому, говорить также об увеличении пограничных биомасс кладоцер в сравнении с копеподами.

Выявленные различия между разными периодами наблюдений в пограничных значениях биомасс фитопланктона для всех гидрографических районов могут свидетельствовать о том, что структура рациона и количественные пищевые потребности варьируют с течением времени. О том, насколько

ко отличаются пограничные значения биомасс фитопланктона в зависимости от периода наблюдений, можно судить с помощью описанной ниже процедуры ДА.

Прогноз величин биомасс зоопланктона. Процедура прогноза состояла в определении значимости сопряженностей, устанавливающих, что при пограничных значениях биомасс фитопланктона в предшествующий период наблюдений (до 1985 г. в Азовском районе, до 1992 г. в Каспийском районе, 1995 г. в Карском районе) в последующий период (с 1985 г. в Азовском районе, с 1992 г. в Каспийском районе, 1996 г. в Карском районе) наблюдали высокую биомассу зоопланктона. Иссле-

дование показало, что в Азовском и Карском районах высокая биомасса зоопланктона предсказывалась с более высокой степенью значимости, нежели в Каспийском (табл. 5). Суммарная точность, представленная в графе “любая из переменных” (когда в качестве объясняющей переменной выступали случаи превышения пограничного значения биомассы хотя бы одного из отделов фитопланктона), в Азовском районе была наиболее высока при предсказании биомассы коловраток и кладоцер, в Карском — кладоцер и копепод. В волжских пробах чаще всего точность прогноза была ниже 50% при очень низкой полноте. Таким образом, можно предположить, что в Азовском

Таблица 5

Прогноз высоких биомасс зоопланктона по значениям оптимальных биомасс значимых фитопланктонных переменных в предшествующий период

Объясняющая переменная	Объясняемая переменная			
	общая биомасса зоопланктона	биомасса коловраток	биомасса кладоцер	биомасса копепод
Азовский гидрографический район				
Общая биомасса фитопланктона	18, 11 (61, 17)	30, 24 (80, 32)		35, 18 (51, 22)
Биомасса зеленых	12, 8 (67, 13)	14, 9 (64, 12)	14, 9 (64, 10)	22, 12 (55, 14)
Биомасса диатомовых	9, 1 (11, 2)			
Биомасса цианобактерий	64, 38 (59, 59)		59, 28 (47, 30)	147, 61 (41, 73)
Биомасса эвгленовых		1, 1 (100, 1)		
Биомасса пирофитовых	59, 30 (51, 47)	54, 38 (70, 50)		59, 35 (59, 42)
Любая из переменных	96, 47 (49, 73)	71, 49 (69, 64)	66, 32 (69, 64)	172, 70 (41, 84)
Каспийский гидрографический район				
Общая биомасса фитопланктона	13, 3 (23, 4)			
Биомасса зеленых	27, 10 (37, 12)			
Биомасса диатомовых	10, 3 (30, 4)			
Биомасса цианобактерий	9, 6 (67, 7)		8, 4 (50, 11)	
Биомасса эвгленовых	22, 12 (55, 24)			
Биомасса пирофитовых				86, 38 (44, 100)
Любая из переменных	42, 18 (43, 37)			
Карский гидрографический район				
Общая биомасса фитопланктона	21, 3 (14, 18)			
Биомасса зеленых	3, 0 (0, 0)	21, 12 (57, 60)		
Биомасса диатомовых	18, 3 (17, 18)			
Биомасса цианобактерий	19, 14 (74, 82)	19, 10 (53, 50)	19, 14 (74, 64)	19, 17 (89, 77)
Биомасса эвгленовых	2, 0 (0, 0)	2, 1 (50, 5)		
Биомасса пирофитовых	16, 13 (81, 76)	22, 9 (41, 45)	22, 15 (68, 68)	22, 18 (82, 82)
Любая из переменных	32, 14 (44, 82)	28, 14 (50, 70)	25, 17 (68, 77)	25, 19 (76, 86)

Примечание. Первое число — общее количество наблюдений объясняющей переменной в пределах оптимального диапазона; второе число — количество наблюдений объясняющей переменной в пределах оптимального диапазона, совпавших с высокой биомассой объясняемой переменной; в скобках — соответственно точность и полнота прогноза.

районе количественные потребности зоопланктона в кормовом фитопланктоне мало подвержены изменчивости на протяжении достаточно продолжительного промежутка времени и на основе пограничных значений биомасс микроводорослей можно делать долгосрочные прогнозы развития сообщества зоопланктеров. В Каспийском районе результативность прогноза оказалась ниже, что может быть обусловлено большой широтной (климатической) разбросанностью створов наблюдения. Что касается Карского района, то высокая точность предсказания получена только для краткосрочного прогноза на один год, а для того чтобы судить о степени изменчивости пограничных уровней во времени, необходимы данные более продолжительного биологического мониторинга в этом районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чесноков С.В. Детерминационный анализ социально-экономических данных. М., 1982.
2. Булгаков Н.Г., Левич А.П., Никонова Р.С., Соломатина Т.В. О связи между экологическими параметрами и продукционными показателями выростного рыбного пруда // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. 1992. № 2. С. 57–62.
3. Замолодчиков Д.Г., Булгаков Н.Г., Гурский А.Г., Левич А.П., Чесноков С.В. К методике применения детерминационного анализа // Биол. науки. 1992. № 7. С. 116–133.
4. Левич А.П., Терехин А.Т., Булгаков Н.Г., Абакумов В.А., Елисеев Д.А., Максимов В.Н., Качан Л.К. Экологический контроль водных объектов Нижнего Дона по биотическим идентификаторам планктона, перифитона и зообентоса // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. 1996. № 3. С. 18–25.
5. Левич А.П., Максимов В.Н., Булгаков Н.Г. Методика применения детерминационного анализа данных мониторинга для целей экологического контроля природной среды // Усп. соврем. биол. 2001. Т. 121. № 2. С. 131–143.
6. Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Милованова Г.Ф. Детерминационный анализ связей между различными компонентами экосистем. Сравнение с методами традиционной статистики // Изв. РАН. Сер. биол. 1999. № 4. С. 469–477.
7. Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Милованова Г.Ф., Левич А.П. Детерминационный анализ в экосистемах: сопряженности для биотических и абиотических компонентов // Изв. РАН. Сер. биол. 2000. № 4. С. 482–491.
8. Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. Детерминационный анализ как способ исследования связей между различными компонентами биоценоза // Изв. РАН. Сер. биол. 2005. № 3. С. 327–335.
9. Максимов В.Н., Булгаков Н.Г. Использование детерминационного анализа для исследования связей между компонентами экосистем в водных объектах Азовского, Каспийского и Карского гидрографических районов // Изв. РАН. Сер. биол. 2006. № 6. С. 24–34.
10. Гусынская С.Л. Зоопланктон в период массового развития синезеленых водорослей // Гидробиол. журн. 1988. С. 17.
11. Haney J.F. Field studies on zooplankton — cyanobacteria interactions // N. Z. J. Mar. and Freshwater Res. 1987. Vol. 21. N 3. P. 467–475.
12. Lampert W. Laboratory studies on zooplankton — cyanobacteria interactions // N. Z. J. Mar. and Freshwater Res. 1987. Vol. 21. N 3. P. 483–490.
13. Hanazato T., Yasuno M. Assimilation of *Diaphanosoma brachyurum* and *Moina macrocopa* on *Microcystis* // Jap. J. Limnol. 1988. Vol. 49. N 1. P. 37–41.
14. Богатова И.Б. Питание дафний и диаптомусов в прудах // Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та прудового рыбного х-ва. 1965. Т. 13. С. 165.
15. Богатова И.Б. Экспериментальное изучение питания *Daphnia longispina* (O.F. Muller) и *Daphnia pulex* (De Geer) // Тр. ВНИИПРХ. 1966. Т. 14. С. 83.
16. Сорокин Ю.И., Монаков А.В., Мордохай-Болтовская Э.Д. Опыт применения радиоуглеродного метода для изучения трофической роли синезеленых водорослей // Экология и физиология синезеленых водорослей. М.; Л: Наука, 1965. С. 235–240.
17. Starkweather P.L. Trophic relationships between the rotifer *Brachionus calyciflorus* and the blue-green alga *Anabaena flos-aquae* // Int. Verein. fur Theor. und Angewandte Limnol. Verhandlungen. 1981. Vol. 21. P. 1507–1514.
18. Fulton R.S. Grazing on filamentous algae by herbivorous zooplankton // Freshwater Biol. 1988. Vol. 20. N 2. P. 263–271.

* * *

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 07-04-00045-а и 06-07-89102-а).

QUANTITATIVE ESTIMATION AND FORECAST OF VALUES OF WATER ORGANISMS GROUPS BIOMASS BY DETERMINATION DATA ANALYSIS

N.G. Bulgakov, V.N. Solov'yov, V.N. Maximov

By means of determination analysis data optimum values of phytoplankton biomass and its divisions are calculated. These values provide development of high biomass such primary consumers as zooplankters. It is shown, that representatives of Rotatoria have higher levels of optimum biomass, than Crustacea. In Kara region it is possible to ascertain the increase such levels for Cladocera in comparison with Copepoda. The prediction of zooplankton communities development is carried out using values of optimum biomass of phytoplankton. Accuracy of the forecast in the Azov area is highest, i.e. quantitative requirements of zooplankton for fodder phytoplankton here are poorly subject to variability in time.

Key words: *determination analysis, phytoplankton, zooplankton, trophic relations.*

Сведения об авторах

Булгаков Николай Гурьевич — док. биол. наук, вед. науч. сотр. кафедры общей экологии биологического факультета МГУ. Тел. (495) 939-55-60; e-mail: bulgakov@chronos.msu.ru

Соловьев Антон Васильевич — канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. кафедры теоретической физики физического факультета МГУ. Тел. (495) 939-53-89; e-mail: anton@spin.phys.msu.ru

Максимов Виктор Николаевич — док. биол. наук, проф., зав. кафедрой общей экологии биологического факультета МГУ. Тел. (495) 939-55-60; e-mail: v_maximovv@rambler.ru