

УДК 631.8:639.3.043.2

## ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ФИТОПЛАНКТОН И ПЕРВИЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ В УСЛОВИЯХ ЗАРАСТАНИЯ ИХ ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ

Н. Е. Сальников, Е. И. Аксенова,  
А. П. Гуртовая, Н. Х. Идрисова

Одним из наиболее распространенных методов повышения рыбопродуктивности внутренних водоемов является внесение минеральных удобрений. Однако рекомендации по внесению удобрений разработаны для небольших свободных от высшей растительности водоемов, а используют их в большинстве хозяйств для выращивания товарной рыбы в многогектарных прудах, значительная часть которых обычно бывает покрыта высшей растительностью.

Цель предлагаемой работы — выяснить условия эффективного применения минеральных удобрений в рыбохозяйственных водоемах со значительным развитием макрофитов.

Для повышения биологической продуктивности и улучшения кормовой базы в два выростных пруда рыбхоза «Новочеркасский» (по 15 га каждый), на 50—70% заросших высшей водной растительностью и зарыбленных сеголетками карпа (43 и 56 тыс. шт./га), белого толстолобика (6 тыс. шт./га) и пестрого толстолобика (10 тыс. шт./га), вносились минеральные удобрения: в пруд № 5 — 50 кг/га суперфосфата и 50 кг/га селитры (по инструкции ВНИИПРХ), а в пруд № 4 — на 50—70% больше.

Чтобы выяснить, как влияет закачиваемая в пруды донская вода на формирование их режима ежедневно в прудах и водоподающем канале определяли температуру воды, окисляемость, биогенный режим, численность, биомассу, продукцию фитопланктона; содержание хлорофилла в воде устанавливали в день залития прудов, затем каждые 5 дней, а через 20 дней — еженедельно до конца наблюдений. Все пробы отбирали в пяти точках водоема и осредняли.

Альгологические пробы отбирали 0,5-л батометром-бутылкой, концентрировали отстойным методом (Киселев, 1958; Усачев, 1961; Гусева, 1959) и просчитывали под микроскопом в камере Нажотта объемом 0,1 см<sup>3</sup>, используя для вычисления биомассы водорослей индивидуальные объемы, приведенные в некоторых работах (Сретенская, 1961; Гринь, 1963; Макарова, Пичкилы, 1970; Аксенова, Полтинников, 1972), а также вычисленные нами.

Первичную продукцию определяли скляночным методом в кислородной модификации (Винберг, 1937, 1960) с экспозицией в течение 24 ч (склянки устанавливали у поверхности и у дна).

Чтобы уточнить данные по биомассе и продукции фитопланктона, определяли содержание хлорофилла в воде. Пробу объемом 500 мл центрифугировали и экстрагировали безводным ацетоном. Содержание хлорофилла определяли спектрофотометрически по поглощению света вытяжкой (Винберг, 1960; Винберг и др., 1961) на спектрофотометре СФ-10, а затем рассчитывали по формуле, принятой ЮНЕСКО (Финенко, Ланская, 1968).

При расчете продукции высшей водной растительности по методике Катанской (1956) P/V-коэффициент принимали равным 1,25 (Винберг, 1970).

В обоих выростных прудах было зарегистрировано 95 видов и разновидностей водорослей семи отделов; 11 сине-зеленых, 44 диатомовых, 8 эвгленовых, 2 золотистых, 2 пиропитовых, 1 желто-зеленых. В водоподводящем канале было 65 видов водорослей, относящихся к тем же семи отделам. Все три водоема имели большое количество общих форм (до 40), в том числе *Skeletonema subsalsum*, *Gyrosigma fasciola*, *Melosira granulata* — из диатомовых; *Scenedesmus quadricauda*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Tetrastrum glabrum*, *Pandorina morum* — из зеленых.

Количественное развитие фитопланктона связано с динамикой минеральных форм биогенных элементов. Концентрация суммарного минерального азота (0,10—0,23 мг/л в воде, поступающей из канала) обеспечивала потребности в нем только диатомовых водорослей, а в воде прудов его концентрация до внесения удобрений была примерно такой же. С внесением удобрений концентрация азота достигала иногда 5—6 мг/л и стала достаточной для развития всех групп водорослей. Основная часть минерального азота была представлена аммонийной формой, которой питались автотрофы. Развитие фитопланктона лимитировалось недостаточностью минерального фосфора, содержание которого в воде на протяжении большей части наблюдений не превышало 0,010—0,012 мг/л, а также высокой степенью зарастания прудов макрофитами.

В обоих прудах количественное развитие фитопланктона достигало максимума в июне — начале июля и в начале сентября. Первый подъем (биомасса до 8,2 мг/л в пруду № 4 и до 5,5 мг/л в пруду № 5) был вызван массовым развитием диатомовых (80—92% от общей биомассы); второй (биомасса до 12,1 мг/л в пруду № 4 и до 4,3 мг/л в пруду № 5) — одновременным развитием диатомовых, эвгленовых, пиропитовых и зеленых водорослей.

Биомасса фитопланктона в канале колебалась от 0,2 до 1,4 мг/л, на протяжении всего вегетационного периода доминировали диатомовые.

Средняя за сезон биомасса была выше в пруду № 4 (табл. 1), в который минеральных удобрений вносили на 50—70% больше, чем в пруд № 5, за счет чего условия для формирования альгофлоры и первичной продукции в пруду № 4 были более благоприятными.

По содержанию в воде хлорофилла рассчитано количество в ней хлорофиллсодержащего органического вещества (табл. 2); содержание хлорофилла в сухом органическом веществе было принято равным 4% (Винберг, 1961, 1970). Концентрация хлорофилла в пруду № 4 колебалась от 0,048 до 0,430 мг/л, в пруду № 5 — от 0,029 до 0,921 мг/л. Близкие к нашим величинам (от 0,05 до 1,0 мг/л) отмечены Н. Ф. Лавровской (1969) в рыбоводных прудах. В канале концентрация хлорофилла была ниже (от 0,029 до 0,057 мг/л), что близко к величинам, наблюдаемым на Дону на этом участке.

По разнице между общей биомассой органического вещества, определенного по хлорофиллу, и биомассой живого фитопланктона, определенного счетным методом, было рассчитано количество мертвого хлорофиллсодержащего вещества (Аксенова, 1971). Между биомассой живого

Среднесезонная численность (числитель) и биомасса (знаменатель) основных групп водорослей в планктоне выростных прудов и в водоподающем канале

Группа водорослей	Водоёмы					
	водоподающий канал		пруд № 4		пруд № 5	
	I	II	I	II	I	II
Сине-зеленые	$\frac{955,6}{0,0197}$	0,4	$\frac{3599,3}{0,1867}$	4,7	$\frac{5682,0}{0,2176}$	8,0
Диатомовые	$\frac{677,2}{0,3709}$	44,2	$\frac{3355}{2,1805}$	55,1	$\frac{2000,0}{1,3850}$	54,0
Эвгленовые	$\frac{75,7}{0,0655}$	0,2	$\frac{176,2}{0,5336}$	13,5	$\frac{123,0}{0,3066}$	12,0
Пирофитовые	$\frac{20,4}{0,1720}$	22,1	$\frac{169,0}{0,4240}$	10,7	$\frac{56,0}{0,2523}$	10,0
Золотистые	—	—	$\frac{120,3}{0,0196}$	0,5	$\frac{40}{0,0028}$	0,7
Желто-зеленые	$\frac{0,4}{0,0002}$	<0,1	$\frac{4,7}{0,0022}$	<0,1	—	—
Зеленые	$\frac{502,6}{0,2797}$	33,1	$\frac{2424,0}{0,6105}$	15,4	$\frac{2001,0}{0,3931}$	15,3
Прочие	$\frac{40,0}{0,0001}$	<0,01	$\frac{18,0}{0,0006}$	<0,01	$\frac{2,0}{0,0001}$	<0,01
Всего	$\frac{2236,0}{0,9083}$	100	$\frac{9892,0}{3,9580}$	100	$\frac{9904,0}{2,5576}$	100

Примечание. I — абсолютное количество (числитель в тыс. кл./л, знаменатель в мг/л); II — относительное количество в %.

фитопланктона и биомассой органического вещества, определенного по хлорофиллу, прямой зависимости не установлено, что объясняется присутствием в воде большого количества мертвого органического вещества фитогенного происхождения. Аналогичное явление отмечено и другими исследователями (Винберг, 1961; Винберг и др., 1961; Vallentyne, 1957; Аксенова, 1970). За счет этого общая биомасса органического вещества, определенного по хлорофиллу, в большинстве случаев была значительно выше, чем биомасса живого фитопланктона, вычисленного счетным методом (табл. 3). Лишь в начале июля, когда шло интенсивное размножение водорослей, количество хлорофиллосодержащего органического вещества определялось биомассой живого фитопланктона. В среднем за период наблюдений доля живого фитопланктона составляла в прудах 4—5%, а в канале 8%.

Результаты определения первичной продукции, представленные в табл. 3 и 4, свидетельствуют о том, что в исследуемых прудах на протяжении всего периода наблюдений интенсивность первичного продуцирования у поверхности была выше, чем в придонном слое. Чистая

Динамика содержания хлорофилла, органического вещества, рассчитанного по хлорофиллу, и биомассы фитопланктона в исследуемых водоемах в 1974 г. (в мг/л)

Таблица 2

Показатели	Дата наблюдений								Среднее	%
	25/V	28/VI	30/VI	9/VII	13/VII	18/VII	28/VII	8/VIII		
Водопадающий канал										
Концентрация хлорофилла	0,03	0,03	0,05	0,05	0,03	0,03	—	—	0,04	—
Биомасса органического вещества по хлорофиллу	7,2	7,7	14,2	13,2	8,5	8,2	—	—	9,9	100
по фитопланктону	1,08	0,44	0,20	1,02	0,55	0,96	—	—	0,70	7,91
мертвого	6,12	7,26	14,0	12,18	7,95	7,36	—	—	9,20	92,09
Пруд № 4										
Концентрация хлорофилла	0,05	0,21	0,08	0,35	0,21	0,23	0,43	0,43	0,25	—
Биомасса органического вещества по хлорофиллу	12	52,5	2	87,5	52,5	57,5	107,5	107,5	58,1	100
по фитопланктону	0,95	3,27	8,23	3,83	0,96	1,33	1,64	2,24	2,80	4,9
мертвого	11,05	49,23	0,0	83,67	51,54	56,17	105,86	105,26	55,3	95,1
Пруд № 5										
Концентрация по хлорофиллу	0,03	0,07	0,03	0,11	0,10	0,21	0,93	0,24	0,21	—
Биомасса органического вещества по хлорофиллу	7,2	16,7	8,0	26,8	26,2	52,2	232,0	61,2	53,08	100
по фитопланктону	0,38	5,52	2,23	2,03	0,59	2,04	3,54	2,91	2,40	4,4
мертвого	6,8	11,2	5,8	24,77	25,6	50,2	228,5	58,3	50,7	95,6

Примечание: Содержание мертвого хлорофиллсодержащего вещества рассчитывалось по разнице между общей биомассой органического вещества, определенного по хлорофиллу, и биомассой живого фитопланктона, определенного счетным методом.

продукция в большинстве случаев у дна выражалась отрицательными величинами. Следовательно, в водоемах подобного типа продуцирующим является в основном поверхностный слой (0,0—0,25 м).

Таблица 3

Продукция (Ф) и деструкция (Д) фитопланктона исследуемых водоемов Новочеркасского рыбхоза в 1974 г. (в мг О<sub>2</sub>/л)

Дата	Исходная проба	Ф	Д	Ф—Д	Ф	Д	Ф—Д
					Среднее для всей толщи		
Пруд № 5							
25/VI	7,0	$\frac{0,05}{1,15}$	$\frac{1,05}{1,0}$	$\frac{-1,0}{0,15}$	0,6	1,02	-0,42
4/VII	7,7	$\frac{4,05}{4,25}$	$\frac{4,9}{3,2}$	$\frac{-0,85}{1,05}$	4,15	4,05	-0,10
9/VII	8,5	$\frac{2,35}{2,50}$	$\frac{1,0}{2,23}$	$\frac{1,35}{0,27}$	2,42	1,61	0,81
30/VII	5,2	$\frac{0,2}{1,7}$	$\frac{4,9}{4,8}$	$\frac{-4,7}{-3,1}$	-0,95	4,85	-3,90
8/VIII	10,13	$\frac{1,25}{2,22}$	$\frac{7,88}{4,95}$	$\frac{-6,63}{-2,73}$	1,73	6,41	-4,68
Пруд № 4							
9/VII	9,9	$\frac{5,70}{14,45}$	$\frac{5,35}{7,05}$	$\frac{0,35}{7,40}$	10,07	6,20	3,87
30/VII	6,7	$\frac{0,7}{4,2}$	$\frac{6,1}{6,6}$	$\frac{-5,4}{-1,4}$	2,45	5,85	-3,40
8/VIII	6,85	$\frac{3,35}{7,05}$	$\frac{6,35}{6,45}$	$\frac{-3,0}{0,60}$	5,20	6,40	-1,20

Примечание. В дробях: числитель — дно, знаменатель — поверхность.

Таблица 4

Биомасса и продукция фитопланктона исследуемых прудов в 1974 г. (в мг/л сухого органического вещества)

25/VI			9/VII			30/VII			8/VIII		
Б	Ф	Ф/Б	Б	Ф	Ф/Б	Б	Ф	Ф/Б	Б	Ф	Ф/Б
Пруд № 4											
0,09	0,44	4,60	0,38	7,45	19,00	0,16	1,81	16,00	0,22	3,84	18,40
Среднее за сезон — 0,21; 3,36 и 14,50											
Пруд № 5											
0,04	0,44	11,00	0,20	1,79	8,00	0,35	0,70	2,00	0,29	1,27	4,00
Среднее за сезон — 0,22; 1,05 и 8,70											

Принимая, что 1 мг O<sub>2</sub> эквивалентен 3,5 кал и 0,37 мг С (Винберг и др., 1960) и что количество С в органическом веществе составляет 50% (Дацко, 1959; Сорокин и др., 1959), рассчитали, что первичная продукция за 120 дней составила в пруду № 5 (при глубине 0,8 м) 570 ккал/м<sup>2</sup>, или 120,4 г/м<sup>2</sup> сухого органического вещества. В пруду № 4 с большей дозировкой удобрений (при средней глубине 1 м) первичная продукция составила 1717 ккал/м<sup>2</sup>, или 362,6 г/м<sup>2</sup> сухого вещества.

Следуя классификации Винберга, пруд № 4 по величине первичной продукции водорослей можно отнести к эвтрофным, а пруд № 5 — к мезотрофным, что свидетельствует о стимулирующем действии удобрений на первичную продукцию, тем более что коэффициент Ф/Б в пруду № 4 выше, чем в пруду № 5 (табл. 4).

Сопоставление величины первичной продукции, образованной макрофитами, с первичной продукцией фитопланктона показало, что в пруду № 4 61% всей продукции образовано макрофитами, а 39% планктонными водорослями, а в пруду № 5 — 78 и 22% соответственно.

Сравнение эффекта воздействия удобрений на первое и конечное звенья пищевой цепи выявило прямую зависимость. В пруду № 4, куда вносили на 60% удобрений больше, общая рыбопродуктивность возросла на 53%, а по карпу на 69,5% больше, чем в менее удобряемом пруду № 5 (табл. 5).

Таблица 5

Изменение продуктивности в зависимости от дозы удобрений

Показатели продуктивности за рыбоводный сезон (90 дней)	Пруд № 5	Пруд № 4	Изменения по сравнению с прудом № 5, %
Удобрение, кг/га			
селитра	150	250	60
суперфосфат	150	250	
Первичная продукция, кг/м <sup>2</sup>			
фитопланктон	0,90	2,72	202
макрофиты	3,14	4,56	45,2
Итого	4,04	7,28	80,2
Рыбопродуктивность, ц/га			
каarp	4,6	7,8	69,5
толстолобик			
белый	1,9	2,4	26,3
пестрый	0,9	1,1	22,2
Итого	7,4	11,3	52,8

Выводы

1. Развитие альгофлоры в рыбоводных прудах частично лимитируется низкими концентрациями биогенных элементов в поступающей речной воде и высокой зарастаемостью этих водоемов макрофитами (50—70% акватории).

2. Увеличить биопроодуктивность таких заросших водоемов можно внесением минеральных удобрений.

3. Дозировку минеральных удобрений необходимо определять в зависимости от степени зарастания водоемов макрофитами.

4. Увеличение дозы удобрений на 50—70% по сравнению с рекомендованной для прудов, свободных от высшей водной растительности, позволяет повысить первичную продукцию фитопланктона сильно заросших водоемов на 200% и увеличить их рыбопродуктивность на 53%.

ВНИИРС  
№ 47479

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксенова Е. И. О сравнительном аспекте использования хлорофильного метода. «Гидробиол. журн.», 1971, № 6, с. 86—90.
- Аксенова Е. И., Полтинников В. И. О расчете численности и биомассы фитопланктона при помощи электронно-вычислительных машин. Тр. ВНИРО, т. XXXIX, с. 209—226.
- Винберг Г. Г. Наблюдения над интенсивностью дыхания и фотосинтеза планктона рыбоводных прудов. К вопросу о балансе органического вещества. Тр. Лимнол. ст. в Косине, 1937, т. 21, с. 61—79.
- Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. Минск, 1960, с. 1—328.
- Винберг Г. Г., Сивко Т. Н., Ковалевская Р. З. Методы определения содержания хлорофилла в планктоне, некоторые итоги их применения. Сб. «Первичная продукция морей и внутренних вод», 1961, с. 231—241.
- Винберг Г. Г., Ляхнович В. П. Удобрение прудов. М. «Пищевая пром-сть», 1965, с. 57—140.
- Винберг Г. Г. Общие особенности экологической системы оз. Дривяты. Сб. «Биологическая продуктивность эвтрофного озера». М., 1970, с. 185—196.
- Гринь В. Г. Объемно-вагата характеристика провідних видів в фітопланктону Нижнього Дніпра. Київ, 1963, с. 98—120.
- Гусева К. А. К методике учета фитопланктона. Тр. ин-та биол. водохр. АН СССР 1959, вып. 2 (5), с. 4—49.
- Дацко В. Г. Органическое вещество в водах южных морей СССР. Изд. АН СССР, 1959, с. 87—135.
- Катанская В. М. Метод исследования высшей водной растительности «Жизнь пресных вод СССР», т. IV, ч. I, гл. 36, М.-Л, изд-во АН СССР, 1956, с. 160—182.
- Киселев И. А. Методы исследования планктона. «Жизнь пресных вод СССР», т. 41, гл. 37, М.-Л, изд-во АН СССР, 1956, с. 183—253.
- Лавровская Н. Ф. Динамика содержания хлорофилла сестона и окисляемости органического вещества в воде нагульных прудов в зависимости от разных методов внесения удобрений. «Вопросы прудового рыбоводства». Т. XVI, 1969, с. 28—46.
- Макарова И. В., Пичкилы Л. О. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона. «Ботан. журн.», 1970, т. 55, № 10, с. 1488—1495.
- Сорокин Ю. И., Розанова Е. П., Соколова Г. А. Изучение первичной продукции в Горьковском водохранилище с применением  $C^{14}$ . Тр. ВГБО, т. IX, 1959, с. 45—59.
- Сретенская Н. И. Объем и веса руководящих форм прудового фитопланктона рыбного хозяйства Белорусского Полесья. ДАН БССР, 1961, т. V, № 1, с. 225—236.
- Усачев П. И. Количественная методика сбора и обработки фитопланктона. Тр. Всесоюз. гидробиол. общ-ва, 1961, т. 11, с. 411—416.
- Финенко З. З., Ланская А. А. Содержание пигмента в морских планктонных водорослях, «Океанология», 1968, т. 8, вып. 5, с. 839—841.
- Vallentyne, J. R. The molecular nature of organic matter in lakes and oceans, with lesser reference to sewage and terrestrial soils. J. Fish. Res. Board., Canada, 14, 1957, 1, pp. 33—82.

### *Influence of fertilizers on phytoplankton and primary production of water bodies grown with macrophytes*

N. E. Salnikov, E. I. Aksеноva,  
A. P. Gurtovaya, N. H. Idrisova

### SUMMARY

The experiments were made in two rearing ponds with the area of 15 ha each. They were grown by 50—70% with macrophytes and stocked with one-summer-old carp, silver carp and bighead. Saltpetre and superphosphate were equally introduced into one pond at the rate of 50 kg/ha and the second pond was fertilized by 50—70% more.

The limiting factors of the development of algae in ponds are low concentrations of mineral forms of biogenic elements in supplying water and a high rate of growth of macrophytes. The effect of introduction of mineral fertilizers on the biogenic regime, algal flora and primary production in rearing ponds is dependent upon the growth rate of macrophytes. The increase in the recommended dose of fertilizers introduced into ponds which are free from macrophytes by 50—70% will boost the primary production of phytoplankton by 200% and thus the fish production by 53%.