

Использование особенностей фотосинтеза диатомовых водорослей для управления кислородным режимом неспускных водоёмов

Г.И. Пронина, д.б.н., Н.Ю. Корягина, к.б.н., ВНИИР РАСХН; П.В. Терентьев, гл. технолог, КО «Рыбачья деревня» ГАО ВВЦ, А.П. Буртовой, студент, РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева

В условиях рыбоводных хозяйств нередко приходится сталкиваться с проблемами недостатка кислорода. Снижение содержания кислорода может привести к заморам. Для рыб неблагоприятен не только недостаток кислорода в воде, но и его избыток, причём в обоих случаях замедляются окислительные процессы. При быстром повышении содержания кислорода у рыб появляются беспокойство, одышка, кислородный наркоз и они погибают от удушья.

Уровень потребления кислорода рыбой – объективный показатель интенсивности обмена веществ в её организме и тесно связан с другими факторами среды, особенно с температурой [1, 2].

Диатомовые водоросли являются одним из основных продуцентов кислорода в водоёме. Использование особенностей фотосинтеза этих водорослей позволит управлять кислородным режимом неспускных водоёмов. К таким особенностям относятся:

1. Способность к размножению при +4°C.
2. При отсутствии в экосистеме зоопланктона и раннем начале размножения становятся доминирующим классом фитопланктона.
3. При +20°C могут образовывать локальные скопления и тем самым повышать уровень кислорода до 250% выше нормативного.
4. В тёмное время суток уровень потребления диатомовыми водорослями очень низкий.
5. Мелкие размеры диатомовых способствуют быстрому выделению кислорода в связи с высоким уровнем их метаболизма.

Целью данной работы являлось изучение динамики размножения диатомовых водорослей и кислородного обмена пруда.

Материалы и методы. В качестве объекта изучения было выбрано рекреационное рыбное хозяйство (РРХ), расположенное на базе ВДНХ. В качестве дополнительных средств интенсификации хозяйство использует аэрацию и потокообразование с артезианским водоснабжением (10 м³/час, полная смена объёма осуществляется за 40–42 сут.). Водоём функционирует как частично замкнутая система открытого типа. Площадь пруда составляет 0,7 га, объём – 10 тыс. м³.

Использование потокообразования привело к уравниванию технологических параметров (температура, гидрохимические показатели) на разных глубинах (максимальная глубина водоёма 4 м), что

создаёт специфику функционирования экосистемы. Одним из примеров такой специфики является бурное развитие зоопланктона (в основном дафний), приводящее к резкому снижению кислорода и гибели рыб, требовательных к кислородному режиму (форель, сиговые). Для борьбы с этим явлением в водоём были интродуцированы мелкие формы зоопланктофагов: верховка и плотва. За три года присутствия в водоёме эти рыбы практически полностью уничтожили весь зоопланктон (осталось незначительное количество циклопов, диаптомусов и коловраток). Это привело к возникновению конкурентных отношений между различными семействами фитопланктона (диатомовые, зелёные и цианобактерии или синезелёные водоросли). Функциональная значимость этих организмов в жизни экосистемы крайне велика. Они не только трансформируют биогены в биомассу, но и способны производить значительное количество кислорода, используемого для дыхания рыб, а также участвующего в процессе окисления продуктов их жизнедеятельности.

Для оценки потенциальных возможностей производства кислорода диатомовыми водорослями, составляющими основу фитопланктона изучаемой экосистемы в весенний и летний период, были проведены опыты по определению продуцирования кислорода культурой диатомовых водорослей, взятых непосредственно из экосистемы, а также изучено потребление кислорода рыбой в условиях его стандартных и повышенных концентраций. Для создания наиболее полной картины функционирования экосистемы в период массового размножения диатомовых водорослей проводился постоянный мониторинг гидрохимических показателей нитратов, нитритов, углекислоты, фосфатов.

Пики повышения кислорода отмечены 30.04 и 15.05, снижения – 12.05 и 24.05 (табл. 1). Это свидетельствует о максимуме и минимуме развития диатомовых водорослей соответственно. Избыточное количество биогенов из-за высокой плотности посадки использовалось диатомовыми водорослями из соединений нитратов, нитритов, СО₂ и др. для образования кислорода.

Плотность посадки рыб резко возрастала при завозах крупных партий рыб и постепенно снижалась по мере их реализации. В условиях рыбоводных хозяйств рост массы рыб (в частности, карпа) в нагульных прудах и соответственно плотности посадки происходит постепенно и равномерно в течение вегетационного периода.

Микробиологический анализ проб воды проводили при помощи цифрового микроскопа Optika LM-15.

1. Гидрохимический режим пруда

Дата проведения измерений /показатель	30.04	10.05	12.05	15.05	18.05	24.05	27.05	1.05
Температура воды на глубине 4 м, °С	16,0	12,5	13,5	14,5	15,2	19,5	18,5	18,5
Температура воды на поверхности, °С	16,1	13,4	15,0	15,0	15,0	19,6	19,5	19,5
Кислород на глубине 4 м, мг/л	21,5	7,5	6,5	9,5	7,8	5,1	6,3	6,5
Кислород на поверхности, мг/л	21,5	11,5	7,3	13,0	9,5	6,3	6,5	11,5
Нитраты, мг/л	10	10	—	15	—	5	—	10
Нитриты, мг/л	0,2	0,2	—	0,5	—	0,05	—	0,05
CO ₂ , мг/л	12	10	—	18	—	20	—	16
Фосфаты, мг/л	—	0,5	—	0,5	—	0,5	—	0,5

2. Варианты опыта

Вариант опыта, дата	Температура воды, °С	Масса рыб, г
I, 02.06	14,2–14,4	опыт 1–265
II, 21.06	10,3–9,5	опыт 2–430
III, 23.07	21,2 до 24,0	опыт 3–160

Интенсивность кислородного обмена определяли методом «замкнутых сосудов» по Строганову [3]. Использовали 19-литровые стеклянные сосуды, поверхность которых изолировали от доступа атмосферного воздуха полиэтиленовой плёнкой. Содержание кислорода в воде определяли по Винклеру [8]. Количество кислорода, потребляемое организмом в единицу времени на единицу веса тела (интенсивность потребления кислорода), определяли по формуле Л.В. Кляшторина и А.А. Яржомбека [4]:

$$Q = (C_0 - C_t) \cdot V / t \cdot W,$$

где Q — интенсивность потребления кислорода в мл O₂ /час на г сырого веса;

C_0 и C_t — концентрация кислорода в начале и в конце эксперимента;

V — объём респирометра (л);

t — время продолжительности опыта (часы);

W — масса рыбы (г).

Проводили три варианта опытов (табл. 2). Использовалась прудовая вода, рыба — уклейка (взрослые особи), экспозиция составляла в I и II вариантах опыта 2 часа; в III — 1 час. Опыт II проводили в темноте в ночное время, когда фотосинтез диатомовых водорослей не происходит.

Результаты исследований. В пробах воды при высоком содержании кислорода (от 15.05) концентрация диатомовых водорослей составила 30 млн/л (99% фитопланктона). Присутствовали следующие систематические группы диатомей (рис. А–Е): класс центрические диатомеи — *Cyclotella meneghiniana* (доминирующий вид), класс пеннатных — *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Gyrosigma pinnularia*, *Cymbella tumida*, *Fragilaria crotonensis*.

Концентрация фитопланктона в пробах воды при оптимальном содержании кислорода (от 02.06) составила 2 млн/л, основная масса зоопланктона приходилась на диатомовые водоросли (90%): центрические — *Cyclotella meneghiniana*, пеннат-

ные — *Gyrosigma pinnularia*, *Asterionella formosa*, *Synedra acus*, *Melosira granulate* (рис. А–Е). Зелёные водоросли представлены *Scenedesmus quadricauda*, *S. dimorphus*, *Pediastrum* sp. (рис. Ж–И).

В пробах воды при относительно низком содержании кислорода (от 21.07) концентрация фитопланктона составила 3 млн/л, основная масса зоопланктона в данный период приходилась на зелёные водоросли (87,5%), диатомовые составляли 12,5%. Зелёные водоросли в этот период были представлены *Scenedesmus quadricauda*, *Pediastrum* sp., *Spirogira* sp., *Apatococcus* sp. (рис. Л). Из диатомовых водорослей присутствовали только в небольшом количестве *Melosira* sp., *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria* sp. В единичном количестве отмечены золотистые водоросли — представители рода *Hibberdia* (рис. М).

Уровень поглощения и выделения кислорода в трёх вариантах эксперимента представлен в таблице 3.

В контроле 1 продуцирование кислорода диатомовыми водорослями привело к повышению уровня кислорода на: $21,5 - 18,0 = 3,5$ мг/л. Удельное потребление кислорода рыбами в опыте 1 составило $(18,0 - 18,2 + 3,5) \cdot 19/2 \cdot 265 = 0,118$ мг/г · час = 118 мг/кг · час. При расчёте сделана скидка на продуцирование кислорода (контроль 1).

При отсутствии освещённости за 2 часа экспозиции произошло потребление кислорода фитопланктоном $15,4 - 13,9 = 1,5$ мг/л (контроль 2). Удельное потребление кислорода рыбами в опыте 2 составило $(15,4 - 7,3 - 1,5) \cdot 19/2 \cdot 430 = 0,146$ мг/г · час = 146 мг/кг · час.

В III варианте опыта зелёные водоросли продуцировали небольшое количество кислорода. Несмотря на естественные потери, за 1 час экспозиции выделилось $11,6 - 11,4 = 0,2$ мг/л кислорода. Удельное потребление кислорода рыбами составило $(11,4 - 8,2 + 0,2) \cdot 19/160 = 0,404$ мг/г · час = 404 мг/кг · час.

Полученные в эксперименте результаты согласуются с информацией по другим рыбам. Так, по данным А.Н. Канидьева [1], форель массой 10 г при активном обмене потребляет около 500 мг/кг · ч кислорода, при обычном обмене веществ потребность в кислороде снижается до 200–300 мг/кг · ч.

При избытке кислорода потребление его несколько снижается. Многие исследователи также

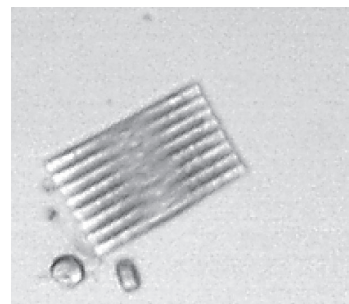
Диатомовые



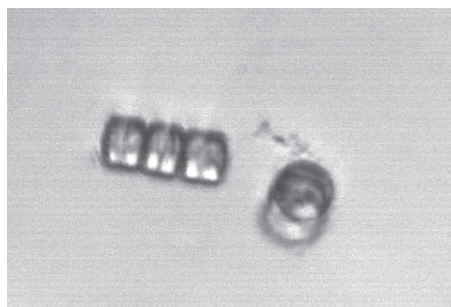
А – *Cymbella tumida*



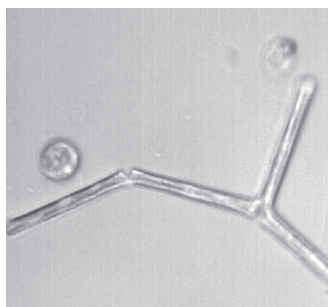
Б – *Asterionella formosa*



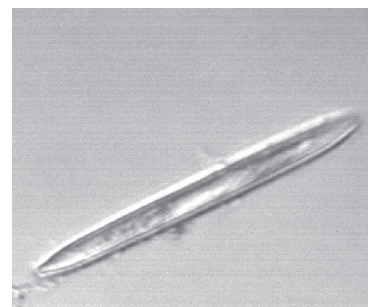
В – *Fragilaria crotonensis*



Г – *Cyclotella meneghiniana*

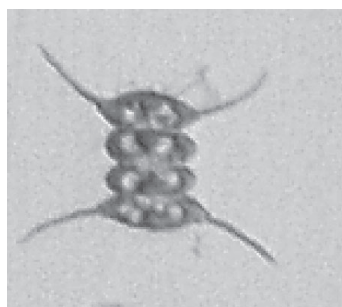


Д – *Tabellaria fenestrata*

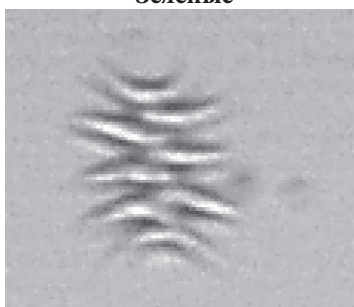


Е – *Gyrosigma pinnularia*

Зелёные



Ж – *Scenedesmus quadricauda*



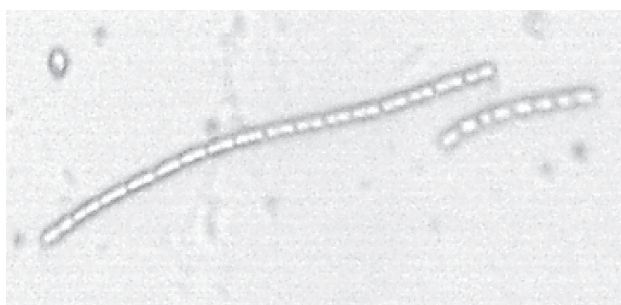
З – *Scenedesmus dimorphus*



И – *Pediatrum* sp.

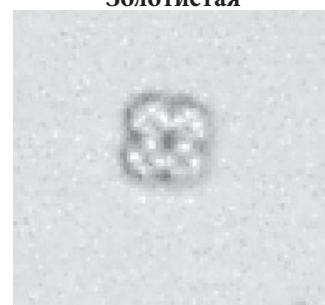


К – *Apatococcus* sp.



Л – *Spirogyra* sp.

Золотистая



М – *Hibberdia* sp.

3. Динамика кислорода в опыте с замкнутыми сосудами

Вариант опыта	O ₂ до опыта, мг/л	O ₂ после экспозиции, мг/л	Удельное потребление O ₂ , мг/кг · час
I: контроль 1 опыт 1	18,0	21,5 18,2	118
II: контроль 2 опыт 2	15,4	13,9 7,3	146
III: контроль 3 опыт 3	11,4	11,6 8,2	404

отмечают замедление окислительных процессов у рыб как при недостатке, так и при избытке кислорода в водной среде [5–7].

Как отмечалось выше, содержание растворённого в воде кислорода является одним из главных критериев оптимального содержания рыбы в РРХ. Если содержание кислорода в воде ниже 6 мг/л (при температуре от 18 до 24°C), то наблюдаются следующие негативные явления: форель и сиг прекращают питаться, осетровые и карповые резко снижают активность питания, увеличива-

ется период адаптации и потери завозимой рыбы. При избытке кислорода в воде (свыше 21 мг/л) у 10% форели и у 5% сигов наблюдаются признаки газовой эмболии.

Вывод. Таким образом, в неспускных рекреационных водоёмах поддержание диатомовых водорослей может служить главным источником кислорода экосистемы. Рекомендации по использованию свойств диатомовых водорослей в условиях хозяйства сводятся к следующему.

1. В период раннего весеннего распаления льда и инсоляции для сокращения воздействия избыточных количеств кислорода на форель и др. рекомендуется исключить принудительную аэрацию, чтобы прекратить перемешивание воды. В этом случае диатомовые водоросли поднимутся на поверхность для получения энергии фотосинтеза, а на глубине образуется зона оптимума O_2 .

2. В случае падения содержания O_2 и снижения концентрации диатомовых водорослей ниже уровня 1–2 млн/л рекомендуется дополнительная аэрация и потокообразование в круглосуточном режиме. А также смещение сроков завоза крупных партий форели и других кислородозависимых рыб.

3. В условиях нормального развития диатомовых водорослей (5–10 млн/л) рекомендуется постоянная аэрация в зоне садкового содержания рыбы и ночное применение потокообразователя для наилучшего распределения биогенов по всему объёму водоёма, а также выравнивание температуры.

4. Управление кислородным режимом водоёмов с использованием диатомовых водорослей возможно только при условии минимизации зоопланктона, что обеспечивается наличием аборигенных зоопланктонофагов (верховка, плотва).

Литература

1. Канидьеv А.Н. Биологические основы искусственного разведения лососевых рыб. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1984. 216 с.
2. Лавровский В.В. Определение оптимальных плотностей посадки по кислородному балансу. Рыбоводство и рыболовство, 1977. № 2. С. 5–7.
3. Строганов Н.С. Экологическая физиология рыб. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 444 с.
4. Кляшторин Л.Б., Яржомбек А.А. Определение стандартного обмена у рыб с использованием мембранного электрода // Труды ВНИРО. 1972. Т. 85. № 3. С. 36–50.
5. Никольский Г.В. Частная ихтиология. 3-е изд. М.: Советская наука, 1971. 471 с.
6. Моисеев П.А., Вавилкин А.С., Куранова И.И. Ихтиология и рыбоводство. М.: Пищ. пром-сть, 1975. 279 с.
7. Карпевич А.Ф. Теория и практика акклиматизации водных организмов. М.: Пищ. пром-сть, 1975. 462 с.
8. Winkler L.W. Die Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffes // Chem. Ber. 1888. Bd. 21. S. 2843–2855.