

С. Спотт

Содержание рыбы в замкнутых системах

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 636
ББК 45/46
С11

С11 **С. Спотт**
Содержание рыбы в замкнутых системах / С. Спотт – М.: Книга по Требованию,
2021. – 192 с.

ISBN 978-5-458-44829-1

ISBN 978-5-458-44829-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

Предисловие к первому изданию

В последние годы увлечение содержанием пресноводных и морских рыб и беспозвоночных в замкнутых системах (аквариумах, садках, бассейнах) охватило весь мир.

Наряду с домашними и демонстрационными аквариумами существуют лабораторные аквариумы и хозяйства аквакультуры, в которых выращивают различных водных животных. Во всех случаях успешное содержание животных зависит от поддержания стабильного качества воды.

В этой книге рассматриваются вопросы содержания водных животных в замкнутых системах, в которых вода очищается и используется многократно. В частично замкнутых и открытых системах вода постоянно сбрасывается и восполняется из естественных источников. Применение замкнутых систем имеет ряд преимуществ. Они позволяют выращивать морские организмы за сотни миль от моря, т. е. создавать морские лаборатории, рыбные хозяйства, демонстрационные аквариумы в любом месте независимо от источника морской воды, которую с успехом заменяет искусственная морская вода. Как пресноводные, так и морские замкнутые системы могут нормально функционировать в районах, где естественные водоемы подверглись значительному загрязнению. И наконец, самое главное, в таких системах можно полностью контролировать температуру и качество воды. Температура воды в естественных водоемах подвержена сезонным колебаниям, подчас вода бывает мутной, сильно загрязненной, содержит болезнетворные организмы, а также животных, которые могут конкурировать с культивируемыми видами за пищу, а иногда и охотиться на них.

Водные организмы определенным образом изменяют гидрохимические свойства среды обитания, и эти изменения воздействуют на их физиологические отправления часто отрицательным образом. Цель этой книги — показать, как, контролируя качество воды в замкнутых системах, можно поддержать нормальное состояние куль-

тивируемых животных. Постепенно накапливающиеся в аквариуме токсические вещества — основная опасность в замкнутых системах, и их постоянное удаление — главная задача при содержании водных животных.

В опубликованных ранее работах по культивированию водных организмов основное внимание уделялось их биологии. Расстройство осморегулирующей функции, температурный шок, частичная асфиксия, понижение устойчивости к заболеваниям, замедление роста, уменьшение плодовитости, расстройства обмена — типичные проблемы, возникающие при содержании животных в неволе, причем лечение таких биологических расстройств малоэффективно. Эти и многие другие болезни часто являются результатом постоянного ухудшения условий среды.

Эта книга предназначена для научных работников, преподавателей, аспирантов, которым приходится постоянно содержать в лабораториях небольшое число водных животных. Она может также оказаться полезной и рыбоведам-практикам, поскольку проблемы качества воды мало зависят от размера рыбоводных систем. Они одинаково актуальны и для 40-литровых аквариумов, и для рыбководной системы вместимостью 40 000 м³.

Термин «водные животные», употребляемый в книге, в полной мере относится и к рыбам, и к беспозвоночным, как к морским, так и пресноводным, поскольку стандарты качества воды и способы ее очистки в общем сходны для пресноводных и морских систем.

Книга состоит из двух частей. В первой части рассматривается отрицательное воздействие, которое водные организмы оказывают на среду своего обитания в замкнутых системах. Во второй части показано, как токсичные элементы среды влияют на физиологическое состояние организмов. В обеих частях излагаются и теоретические, и практические принципы очистки воды. При этом предполагается, что читатель более осведомлен в биологии, чем в химии, поэтому из теоретических вопросов рассматриваются только те, которые имеют непосредственное отношение к практическим выводам. Автор избегал сложных математических и термодинамических выражений, описывающих происходящие в аквариумах процессы, поскольку в практике они не используются. Наконец, в списке литературы представлены лишь опубликованные работы, и он не претендует на исчерпывающую полноту.

Стефен Спотт

*Ниагара-Фолс, Нью-Йорк
Май 1970 г.*

Предисловие ко второму изданию

Один из редакторов, просматривая первое издание этой книги, обратил внимание на то, что название «Выращивание рыб и беспозвоночных» неверно, поскольку проблемы выращивания водных животных в ней не рассматривались. Он был прав, и я приношу извинения читателям, которых ввел в заблуждение. К сожалению, при переиздании трудно поменять название, и я должен признать, что и во втором издании методы выращивания рыб и беспозвоночных не рассматриваются. Второе издание, как и первое, посвящено проблемам очистки воды в замкнутых системах. В этот раз в книге рассмотрены только аквариальные системы, плотность посадки животных в которых невелика. В промышленных рыбоводных замкнутых системах часто возникают специфические трудности из-за высоких плотностей посадки.

Книга практически полностью переработана, однако были приложены все усилия для того, чтобы текст остался кратким, доходчивым и максимально полезным для практических целей. Теоретические вопросы также изложены с практической точки зрения. Как и в первом издании, список литературы не претендует на полноту, однако в нем представлены опубликованные работы по данному вопросу.

Стефен Спотт

*Мистик, Коннектикут
Февраль 1979 г.*

Глава 1

Биологическая очистка воды

Биологическая очистка воды включает важнейшие процессы, происходящие в замкнутых аквариальных системах. Под биологической очисткой будем понимать минерализацию, нитрификацию и диссимиляцию соединений, содержащих азот, бактериями, обитающими в толще воды, гравии и детрите фильтра. Организмы, выполняющие эти функции, всегда присутствуют в толще фильтра. В процессе минерализации и нитрификации азотсодержащие вещества переходят из одной формы в другую, однако азот остается в воде. Удаление азота из раствора происходит только в процессе денитрификации (см. раздел 1.3).

Биологическая фильтрация является одним из четырех способов очистки воды в аквариумах. Три других способа — механическая фильтрация, физическая адсорбция и дезинфекция воды — рассматриваются ниже. Схема процесса очистки воды показана на рис. 1.1, а круговорот азота в аквариуме, включающий процессы минерализации, нитрификации и денитрификации, — на рис. 1.2.

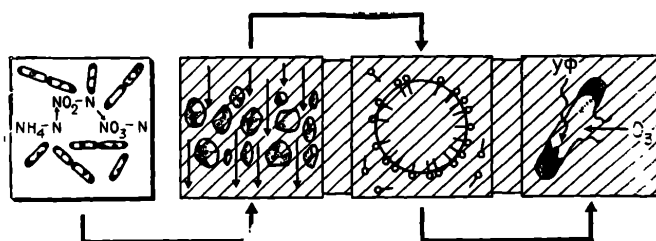


Рис. 1.1. Место биологической фильтрации в процессе очистки воды. Слева направо — биологическая очистка, механическая фильтрация, физическое осаждение, дезинфекция

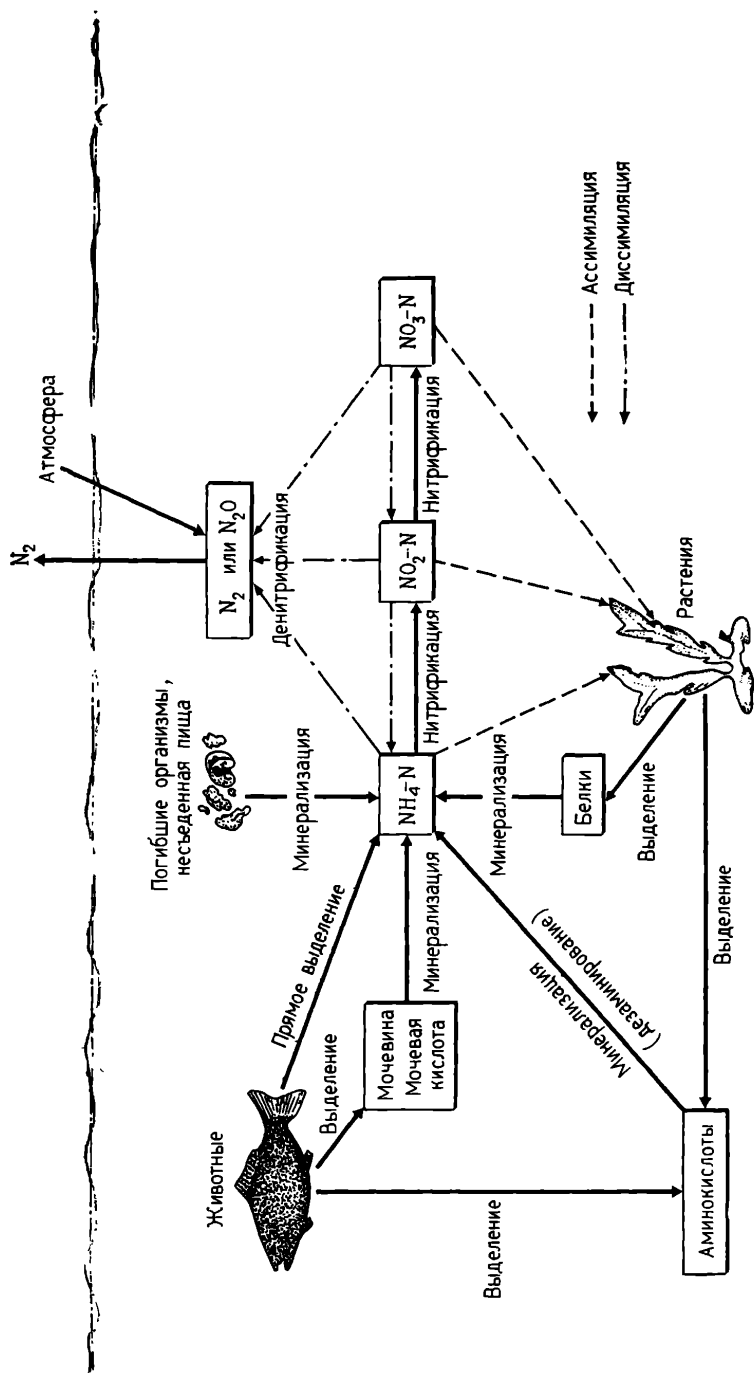
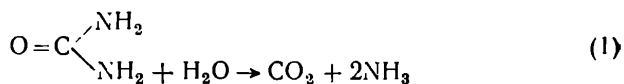


Рис. 1.2. Круговорот азота в аквариальных замкнутых системах

1.1. Минерализация

Гетеротрофные и автотрофные бактерии — основные группы микроорганизмов, обитающих в аквариумах *. Гетеротрофные виды утилизируют органические азотсодержащие компоненты выделений водных животных в качестве источника энергии и превращают их в простые соединения, например аммоний **. Минерализация этих органических веществ — первый этап биологической очистки.

Минерализация азотсодержащих органических соединений может начинаться с расщепления белков и нуклеиновых кислот и образования аминокислот и органических азотистых оснований. Дезаминирование — это процесс минерализации, в ходе которого отщепляется аминогруппа с образованием аммония. Примером дезаминирования может служить расщепление мочевины с образованием свободного аммиака (NH_3)



Подобная реакция может идти чисто химическим путем, однако дезаминирование аминокислот и сопутствующих им соединений требует участия бактерий.

1.2. Нитрификация

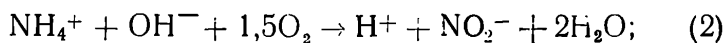
После того как органические соединения переведены гетеротрофными бактериями в неорганическую форму, биологическая очистка вступает в следующую стадию, получившую название «нитрификация». Под этим процессом понимают биологическое окисление аммония до нитритов (NO_2^- , определяемых как NO_2-N) и нитратов (NO_3 , определяемых в виде NO_3-N). Нитрификация осуществляется главным образом автотрофными бактериями. Автотрофные организмы в отличие от гетеротрофных способны усваивать неорганический углерод

* Под термином «аквариум» в данной книге понимается аквариальная замкнутая система с устройством для очистки циркулирующей в ней воды.— *Прим. ред.*

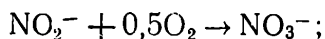
** Термин «аммоний» относится к сумме ионов аммония (NH_4^+) и свободного аммиака (NH_3), определяемых аналитическим путем как NH_4-N .

(главным образом CO_2) для построения клеток своего организма.

Автотрофные нитрифицирующие бактерии в пресноводных, солоноватоводных и морских аквариумах представлены в основном родами *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. *Nitrosomonas* окисляет аммоний до нитритов, а *Nitrobacter* — нитриты до нитратов.



$$\Delta G^0 = -59,4 \text{ ккал};$$



$$\Delta G^0 = -18 \text{ ккал}^*. \quad (3)$$

Обе реакции идут с поглощением энергии. Смысл уравнений (2) и (3) заключается в превращении токсичного аммония в нитраты, которые гораздо менее ядовиты. Эффективность процесса нитрификации зависит от следующих факторов: наличия токсикантов в воде, температуры, pH, содержания растворенного в воде кислорода, солености и площади поверхности фильтра.

Токсичные вещества. При определенных условиях многие химические вещества подавляют нитрификацию. При добавлении в воду эти вещества либо подавляют рост и размножение бактерий, либо нарушают внутриклеточный обмен бактерий, лишая их способности к окислению.

Коллинз с соавторами (Collins et al., 1975, 1976), а также Левайн и Мид (Levine and Meade, 1976) сообщали, что многие антибиотики и другие средства, применяемые для лечения рыб, не влияли на процесс нитрификации в пресноводных аквариумах, в то время как другие оказывались в разной степени токсичными. Параллельные исследования в морской воде не проводились, а приведенные результаты не следует распространять на морские системы.

Приведенные в трех указанных работах данные представлены в табл. 1.1. Результаты исследований не вполне сопоставимы из-за различий в применявшихся мето-

* $\Delta G^0 = \Delta G$ — термодинамический потенциал, характеризующий свободную энергию химической реакции. Знак при цифре определяет направление течения процесса (экзотермический или эндотермический), а абсолютное значение величины отражает термодинамические возможности данной реакции. — *Прим. ред.*

Таблица 1.1. Влияние терапевтических норм растворенных антибиотиков и лечебных препаратов на нитрификацию в пресноводных аквариумах (Collins et al., 1975, 1976; Levine and Meade, 1976)

Вещество	Концентрация, мг/л	Снижение активности бактерий, %	Источник***
Хлорамфеникол	50	0	б
	50	84	в
Окситетрациклин	50	0	б
Сульфамеразин	50	0	б
Сульфаниламид	25	65	с
Эритромицин	50	100	б
Нифурпиринол	1	0	б
	0,1	20	в
	4	44	в
Хлоротетрациклин	10	76	в
Формалин	25*	0	а
	15	27	в
Малахитовый зеленый	0,1	0	а
Формалин + малахитовый зеленый	25 + 0,1	0	а
Метиленовый синий	5	100	а
	1	92	в
Сульфат меди	1**	0	а
	5	0	в
Перманганат калия	4	0	а
	1	86	в

* Соответствует 10 мг/л формальдегида.

** Жесткость воды 30 мг CaCO₃/л.

*** а — Collins et al., 1975; б — Collins et al., 1976; в — Levine and Meade, 1976.

диках. Коллинз с соавторами изучал влияние лекарственных препаратов в пробах воды, взятых непосредственно из работающих бассейнов с биофильтрами, где содержалась рыба. Левайн и Мид использовали для опытов чистые бактериальные культуры. Примененные ими методы, по-видимому, отличались более высокой чувствительностью по сравнению с обычными. Так, в их опытах формалин, малахитовый зеленый и нифурпиринол обладали средней токсичностью для нитрифицирующих бактерий, в то время как Коллинз с соавторами (Collins et al., 1975, 1976) показал безвредность тех же препаратов. Левайн и Мид полагали, что расхождения связаны с более высоким содержанием автотрофных

бактерий в чистых культурах и порог инактивации был бы выше в присутствии гетеротрофных бактерий и при более высокой концентрации растворенных органических веществ.

Из данных табл. 1.1. видно, что эритромицин, хлоротетрацилин, метиленовый синий и сульфаниламид обладают четко выраженной токсичностью в пресной воде. Наиболее токсичным среди изучавшихся веществ оказался метиленовый синий. Результаты, полученные при испытании хлорамфеникола и перманганата калия, противоречивы.

И Коллинз с соавторами (Collins et al., 1975) и Левайн и Мид (1976) сходятся в том, что сульфат меди существенно не подавляет нитрификацию (см. табл. 1.1). Возможно, это результат связывания свободных ионов меди с растворенными органическими соединениями. Томлинсон и другие (Tomlinson et al., 1966) обнаружили, что ионы тяжелых металлов (Cr, Cu, Hg) гораздо сильнее воздействуют на *Nitrosomonas* в чистой культуре, чем в активном иле. Они предположили, что это объясняется образованием химических комплексов между ионами металлов и органическими веществами. Длительное воздействие тяжелых металлов оказывалось более эффективным, чем кратковременное, по-видимому, из-за того, что адсорбционные связи органических молекул были полностью использованы.

Температура. Многие виды бактерий могут переносить значительные колебания температуры, хотя их активность временно уменьшается. Период адаптации, называемый временной температурной инактивацией (ВТИ), часто проявляется при резких изменениях температуры. Обычно ВТИ заметна при резком охлаждении воды; повышение температуры, как правило, ускоряет биохимические процессы и поэтому период адаптации может остаться незамеченным. Српа и Баггали (Srpa and Baggaley, 1975) изучали кинетику нитрификационных процессов в морских аквариумах. Повышение температуры всего на 4°C приводило к ускорению окисления аммония и нитритов на 50 и 12% соответственно по сравнению с исходным уровнем. При снижении температуры воды на 1°C скорость окисления аммония уменьшалась на 30%, а при понижении темпера-

туры на 1,5°C скорость окисления нитритов уменьшалась на 8% по сравнению с исходным уровнем.

pH. Каваи и др. (Kawai et al., 1965) обнаружили, что при pH менее 9 нитрификация в морской воде подавляется сильнее, чем в пресной. Они объяснили это пониженным природным pH пресной воды. По данным Секи (Saeki, 1958), окисление аммония в пресноводных аквариумах при снижении pH подавляется. Оптимальное значение pH для окисления аммония 7,8, для окисления нитритов 7,1. Оптимальным диапазоном pH для процесса нитрификации Секи считал 7,1—7,8. Српа и Баггали (Srpa and Baggaley, 1975) показали, что морские бактерии-нитрификаторы были наиболее активны при pH 7,45 (диапазон 7—8,2).

Растворенный в воде кислород. Биологический фильтр можно сравнить с огромным дышащим организмом. При правильной работе он потребляет значительное количество кислорода. Потребности водных организмов в кислороде измеряют в единицах БПК (биологическое потребление кислорода). БПК биологического фильтра частично зависит от нитрификаторов, но в основном оно обусловлено активностью гетеротрофных бактерий. Хираяма (Hirayama, 1965) показал, что при высоком биологическом потреблении кислорода фильтром активно действовала многочисленная популяция нитрификаторов. Он пропускал морскую воду через слой песка действующего биологического фильтра. Перед фильтрованием содержание кислорода в воде составляло 6,48 мг/л, после прохождения слоя песка толщиной 48 см оно снизилось до 5,26 мг/л. В то же время содержание аммония снизилось с 238 до 140 мг·экв./л, а нитритов — со 183 до 112 мг·экв./л.

В фильтровальном слое присутствуют как аэробные, так и анаэробные бактерии, однако в хорошо аэрируемых аквариумах преобладают аэробные формы. В присутствии кислорода рост и активность анаэробных бактерий подавляются, поэтому нормальная циркуляция воды через фильтр сдерживает их развитие. Если содержание кислорода в аквариуме снижается, происходит либо увеличение численности анаэробных бактерий, либо переход от аэробного дыхания к анаэробному. Многие продукты анаэробного обмена токсичны. Минерализация может происходить и при пониженном содержа-