

Аквариумистика

МАРТИН САНДЕР

Техническое оснащение аквариума



Астрель

Мартин Сандер

Техническое оснащение аквариума

Москва
Астрель
АСТ
2004

К 639.2/6
К 28.082
С18

Настоящее издание представляет собой авторизованный перевод оригинального немецкого издания «Aquarientechnik im Süß- und Seewasser»

Научно-популярное издание

Мартин Сандер

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ АКВАРИУМА

Зав. редакцией *Е. Бухарина*
Технический редактор *Е. Кудиярова*
Корректоры *И. Мокина, А. Князева*
Компьютерная верстка *Е. Матвеевой*

ООО «Издательство Астрель»

143900, Московская обл., г. Балашиха, пр-т Ленина, д. 81

ООО «Издательство АСТ»

667000, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Кочетова, д. 28

Наши электронные адреса:

WWW.AST.RU

E-mail: **astpub@aha.ru**

Подписано к печати с готовых диапозитивов 22.04.2004. Формат 70×90^{1/16}.

Усл. печ. л. 18,72. Бумага офсетная. Доп. тираж 3 000 экз. Заказ № 134.

Общероссийский классификатор продукции ОК-005-93,
том 2; 953004 — литература научная и производственная.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.000577.02.04 от 03.02.2004 г.

ОАО «Санкт-Петербургская типография № 6».

191144, Санкт-Петербург, ул. Моисеенко, 10.

Телефон отдела маркетинга 271-35-42.

Сандер М.

С18 Техническое оснащение аквариума: Пер. с нем./ М. Сандер. — М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2004. — 256 с.: ил.

ISBN 5-17-014808-9 (ООО «Издательство АСТ»)

ISBN 5-271-04713-X (ООО «Издательство Астрель»)

ISBN 3-8001-7341-7 (нем.)

Аквариумы — это уголок природы в доме, часть другого мира, отличного от нашей повседневной жизни. Но содержать аквариум, где уживаются рыбы и растения, низшие животные и водоросли, далеко не просто. Необходимо учитывать определенные условия обитания рыб, оснащения аквариума и т. п., уметь находить ответы на многочисленные вопросы, касающиеся различных областей знаний. Автор знакомит читателей с физическими, химическими и биологическими основами аквариумистики, рассказывает о контроле качества воды, подробно объясняет действие измерительных систем, фильтров, флотаторов, насосов, озонаторов и прочих приборов и приспособлений, регулирующих режим жизни аквариума.

УДК 639.2/6

ББК 28.082

3N 5-17-014808-9 (ООО «Издательство АСТ»)

3N 5-271-04713-X (ООО «Издательство Астрель»)

3N 3-8001-7341-7 (нем.)

© 1998 by Eugen Ulmer GmbH & Co.,
Stuttgart, Germany

© ООО «Издательство Астрель», 2002

Предисловие

Аквариумы — это уголок природы в наших квартирах, часть другого мира, который большей частью отличается от повседневной жизни. Именно поэтому аквариум и интересен. Кто не наблюдал за этим чужим миром и не восхищался рыбой, которая с легкой грацией плавает в воде. Как должно быть прекрасно целый день находиться в воде. В этой связи можно понять китов, которые из-за тяжелой жизни животных на земле, возвратились в воду. Разноцветные, фантастические миры собраны в аквариуме: мальки, которые, спасаясь, заплывают в рот своим родителям, коралловый риф с многообразием живых существ, странные формы рыб и многое другое.

В увлекательном хобби исследования рыб или растений, низших животных или водорослей открывается мир, в котором никогда не будет скучно.

Но прежде чем это произойдет, нужно вооружиться определенными знаниями и рассмотреть многие обстоятельства, которые необходимо принять во внима-

ние для того, чтобы иметь прекрасный аквариум и здоровых рыб. Например, осветить вопросы, касающиеся качества воды, фильтровальной и измерительной техники и т. д. Обязательны комплексные знания. Биология, химия, техника дополняют и взаимозаменяют друг друга. Знакомство с аквариумом предполагает изучение воздействия техники на воду и здоровье рыбы и растений, будь это 50-литровый аквариум или система емкостью 500 м³. В данной книге рассмотрены все эти вопросы.

В этом смысле, я надеюсь, что эта книга принесет немного радости тем, кто увлечен аквариумом.

Я благодарю доктора Ланге (аквариум Берлина), который вдохновил меня на работу с книгой; доктора Розенталя (университет Киля), от которого я узнал многое о сложном мире воды, и моей семье, которая дала мне возможность написать эту книгу.

Мартин Сандер,
лето 1998

Содержание

Предисловие	5	Значение двуокиси углерода в жизни растений	39
Введение	10	Диффузия и осмос	39
Природа и аквариум	11	Диффузия	39
Охрана животных	14	Осмос	40
Физические и химические основы	16	Регуляция осмоса	41
Строение атомов	16	Органические вещества	42
Виды связей в атоме	16	Окисление и восстановление	44
Вода	17	Окисление	44
Плотность, температура плавления и температура кипения	19	Восстановление	44
Капиллярная сила	20	Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП)	45
Поверхностное натяжение	21	Зоны различной концентрации кислорода	46
Вязкость	22	Биологическая потребность в кислороде (БПК)	47
Вода как растворитель	22	Химическая потребность в кислороде (ХПК)	48
Дождевая вода	24	Оценка воды по БПК и ХПК	48
Растворенные в воде газы	24	Температура	49
Доступность газов для водных обитателей	26	Биологические основы	51
Абсолютная растворимость газов	28	Круговорот веществ	51
Морская вода	28	Питание микроорганизмов	52
Газы в морской воде	31	Минерализация	53
Проводимость	31	Цикл кислород–углерод	53
значение pH (водородный потенциал) ..	33	Круговорот азота	54
Кислоты, основания и соли	34	Разложение нитратов анаэробным бактериями	57
Жесткость воды	35	Подготовка водопроводной воды	60
двуокись углерода	36	Смягчение воды	61
Двуокись углерода в карбонатной системе	36	Ионообменник	62
Буферное действие карбонатной системы	38		

Обратный осмос	67	Двуокись углерода	112
Обработка воды с помощью специальных фильтровальных средств	73	Дозирование двуокиси углерода	113
Активированный уголь	73	Диффузионная установка для внесения двуокиси углерода	118
Торф	74	Контроль дозирования двуокиси углерода	120
Фильтрационная техника	77	Озон	121
Внутренний фильтр с использованием воздуха	77	Области применения озона в аквариумистике	122
Внутренний фильтр с водяным насосом	77	Как получается озон?	122
Закрытый быстрый фильтр	78	Как подключается устройство, производящее озон	123
Фильтровальные патроны из различных материалов	80	Влияние озона на цикл (круговорот) азота	124
Аэробная биологическая фильтрация	81	Влияние озона на органические вещества	125
«Мокрый» биофильтр	82	Влияние озона на содержание микроорганизмов	127
«Сухой» биофильтр	82	Взаимосвязь озона с окислительно- восстановительным потенциалом	128
Биологический фильтр под давлением	83	Окислительно-восстановительный потенциал и стерилизация	129
Биологический внутренний фильтр	84	Озон в пресной и морской воде	132
Выбор фильтрующего материала	85	Влияние озона на людей	132
Место биологического фильтрования в цикле азота	88	Флотация	133
Запуск биофильтра	89	Функциональные элементы флотатора	133
Влияние внешних факторов на эф- фективность биофильтров	90	Скорость подъема пузырьков	134
Анаэробная биологическая фильтрация	96	Контакт пузырьков и твердых частиц	136
Природные и технические газы	101	Гидродинамические аспекты	136
Система, производящая пузырьки	101	Краевой угол пузырька	137
Флотатор (аэратор, вспениватель)	101	Коллектор	138
Инжектор	105	Гидратация	139
Диспергатор	107	Двойной электрический слой	139
Насыщение кислородом	107	Зона пены	139
Какие факторы влияют на насыщение кислородом?	108	Пенообразователи с использованием воздуха	141
Температура воды и степень насыщения кислородом	110	Флотатор, использующий насос	142
Концентрация кислорода и парциальное давление	111	Внешний флотатор	143
Лют	112	Горизонтальный флотатор	143

Усовершенствованные системы получения пузырьков	143	Влияние флотации на значение ХПК	172
потатор в круговороте веществ аквариуме	147	Взаимное влияние озона и света	173
удержание извести в морской воде	148	Озон и биологическая фильтрация	174
стоны Хюкшtedта	151	Ультрафиолетовый свет и озон	175
бавка известковой воды	152	Влияние озона на механическую фильтрацию	175
вестковый реактор с простым отоком	153	Взаимодействие между аммонифи- кацией и нитрификацией	175
вестковый реактор с внутренним клом	155	Взаимодействие между аэробными и анаэробными бактериями	176
ет	156	Поддерживание температуры в аквариуме	178
о такое свет?	156	Нагрев	178
ть света к Земле	156	Внешние источники тепла	180
реход света из атмосферы в воду	158	Подогрев аквариума	183
ет в воде	160	Охлаждение	183
ницы измерения света	161	Измерение параметров воды	187
ы ламп	162	Измерение значений рН	187
люминесцентные лампы	162	Конструкция рН-электродов	187
ампы высокого давления парами ртути (HQL)	164	Калибровка и контроль	189
алогенная лампа с парами еталла (HQI) — газоразрядная	165	Измерение рН на практике	191
рок службы различных ламп	166	Длительность эксплуатации электрода	192
рафиолетовый свет	168	Прибор с выходом на принтер	192
ринцип действия УФ-света	169	Измерительный прибор с функцией регулирования	192
имодействие различных ытровальных систем	170	Расположение электродов	194
имодействие между флотаторов ологическим фильтром	171	Хранение рН-электродов	195
яние флотации на содержание роорганизмов	172	Измерение окислительно- восстано- вительного потенциала	196
		Устройство электрода для измерения ОВП	196
		Размещение ОВП электродов в аквариуме	198
		Плотность токообмена	198
		Калибровка окислительно- восстано- вительного электрода	198
		Испытание	200

<p>Измерение электропроводности 201</p> <p> Концентрация ионов 202</p> <p> Влияние температуры 202</p> <p> Вид ионов 203</p> <p> Загрязнения 203</p> <p> Связь электропроводности с другими величинами 204</p> <p>Измерение температуры 204</p> <p>Водяные насосы 205</p> <p>Нормально всасывающие насосы 205</p> <p>Самовсасывающие насосы 205</p> <p>Погружные насосы 206</p> <p>Погружной центробежный насос 206</p> <p>Электромагнитные центробежные насосы 206</p> <p> Электромагнитный приводной механизм 206</p> <p> Магнитные насосы с моторным приводом и соединением на постоянных магнитах 208</p> <p>Внешне расположенные насосы с торцевым уплотнением 208</p> <p>Выбор насосов 210</p> <p> Критерии выбора мощности насоса . . 210</p> <p> Критерии выбора коэффициента полезного действия 212</p> <p> Критерии выбора по шумовым качествам 214</p> <p> Критерии выбора материалов 214</p> <p>Воздушные насосы 215</p> <p>Критерии выбора воздушного насоса . . 216</p> <p>Компрессор с боковым каналом 217</p> <p>Трубопроводы 219</p>	<p>Материал и диаметр 219</p> <p>Элементы трубопровода 223</p> <p> Водный сток 223</p> <p> Стояк 223</p> <p> Сливная емкость 224</p> <p> Подводка в аквариум 224</p> <p> Сифон 226</p> <p>Шаровые краны 227</p> <p>Винтовая резьба (накидная гайка) для соединения трубопроводов 228</p> <p>Присоединение труб 228</p> <p>Колена или углы? 229</p> <p>Автоматическая арматура 230</p> <p> Вентиль, управляемый мотором 230</p> <p> Вентиль с электромагнитным переключением 230</p> <p> Шаровые краны с электрическим приводом 227</p> <p>Расходомер с измеряющим конусом . . . 232</p> <p>Укладка трубопровода 232</p> <p>Примеры аквариумных установок 234</p> <p>Маленький аквариум 234</p> <p>Аквариумная установка Корнфельда . . . 236</p> <p>Аквариумная установка в зооторговле 238</p> <p> Установка с морской водой 239</p> <p> Установка с пресной водой 240</p> <p>Аквариум Лейпцигского зоопарка 242</p> <p>Таблица 248</p> <p>Алфавитный указатель 253</p>
---	--

Введение

Необходимо ли вообще применение техники в аквариуме? Этот часто возникающий вопрос не только оправдан, но также очень важен для нашего дальнейшего знакомства с аквариумом. В настоящее время часто называют технократическим, что далеко не так. Применение приборов можно и необходимо считать вопросом вне обсуждения. Современная техника — не самоцель, она должна приспособливаться к потребностям общества.

Так же критично общество настроено против химии и еще более против генной инженерии. Я думаю, что в современном обществе наиболее остро проводятся дискуссии по следующим темам: «Химия управляет окружающим миром», «Техника разрушает естественный круговорот», «Биологические вторжения манипулируют природой». Но стандарт жизни высшего сегодняшнего общества достиг уровня, который может поддерживаться только через предельные усилия в вышеупомянутых трех областях знания. На деле химия, биология и физика все больше взаимодействуют друг с другом и создают условия для высокого качества жизни все большего количества людей на все меньшем пространстве. Критический взгляд на использование достижений науки и техники в аквариумистике также существует. Так, часто можно услышать привычные вопросы и высказывания: «Биологическая фильтрация или вспенивание?», «Нет химии в аквариуме» или «Механическая фильтрация непригодна». Дискуссии подобного рода лежат, как правило, только на поверхности проблем. Тот, кто участвует в таких дискуссиях, убеждается в том, что многие высказывания, которые, может быть, очень

хороши для одного аквариума, относительно хороши для другого и мало пригодны для описания общей аквариумистики. Приемлемые результаты достигаются только тогда, когда используются знания всех дисциплин, и они так интегрируются в общую аквариумную систему, что все элементы взаимно дополняют друг друга.

Часто можно прочитать такие названия, как «Коралловый риф в жилой ком-

Области применения аквариумов

Домашние аквариумы

Демонстрационные открытые аквариумы:

- школьные аквариумы
- дельфинарии
- бассейны для тюленей

Содержание объектов рыбного промысла:

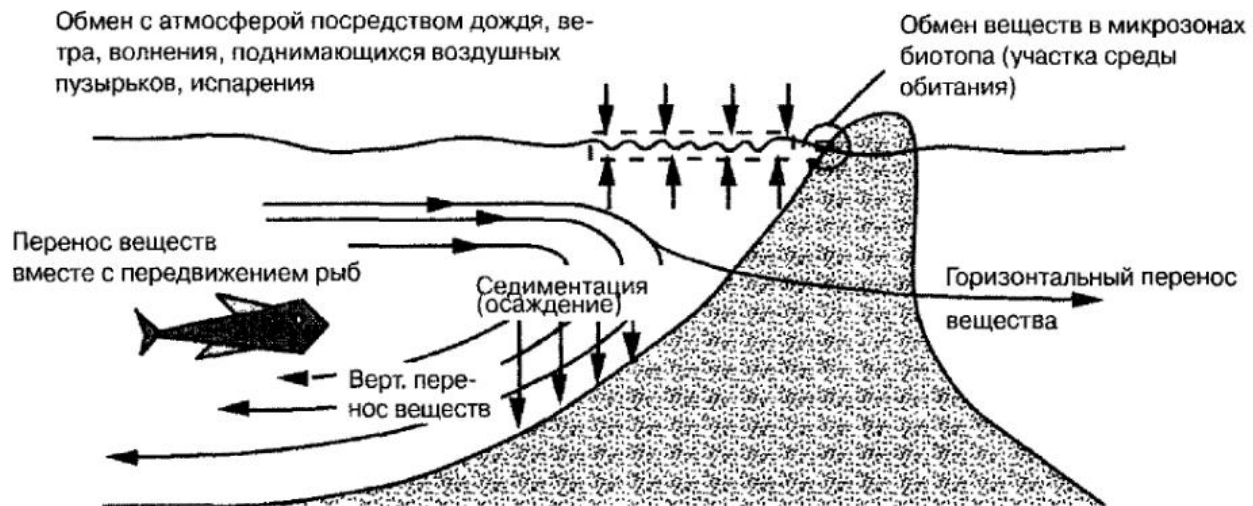
- содержание омаров
- содержание устриц
- пресноводные аквариумы для карпов, угрей, форели
- аквариумы для водных растений

Исследования:

- окружающей среды
- медицинские

Промышленные установки для торговли рыбой

Аквариумы и бассейны для оформления холлов и офисов



Естественное пространство водного животного мира связано с интенсивным обменом веществ

нате», «Лагуна в доме», которые предполагают то, к чему стремятся аквариумисты. Однако следует отметить, что наряду с домашней аквариумистикой имеется целый ряд других областей применения аквариумов. И здесь часто встречаются проблемы, которые для домашних аквариумов не актуальны. Разница состоит в том, что аквариум — предмет не только любви, но и заботы. Техника должна быть достаточной и не трудоемкой. О проблемах должны сообщать измерительные приборы и установки, и, если возможно, они должны устранять их автоматически.

То, что хорошо и правильно для домашнего аквариума, может быть полностью неприменимо для аквариума по выращиванию рыбы для продажи. Так, однажды меня вызвали к установке для продажи омаров, которая была оснащена маленьким, воздушным биологическим фильтром. Какова же была фильтрация в пресноводном бассейне, если на поверхности был слой пены в 20 см, который не способствовал успешной продаже. Для каждого аквариума необходима своя специфическая техника.

Природа и аквариум

Почему вообще применение аквариумной техники необходимо? Здесь опять нам поможет фраза: «Коралловый риф в жилой комнате». Для того чтобы описать условия жизни на коралловом рифе или в пресноводной воде у берега какого-нибудь острова, нужно полностью осмыслить эту книгу. Тем не менее выявляются существенные обстоятельства. Живые существа, о которых мы заботимся, живут в природе в тесном ограниченном пространстве, которое все-таки несравнимо богаче, чем наши аквариумы. Но решающую роль играет не только объем необходимого пространства. Жизненное пространство в природе находится в активном взаимодействии с окружающим его миром.

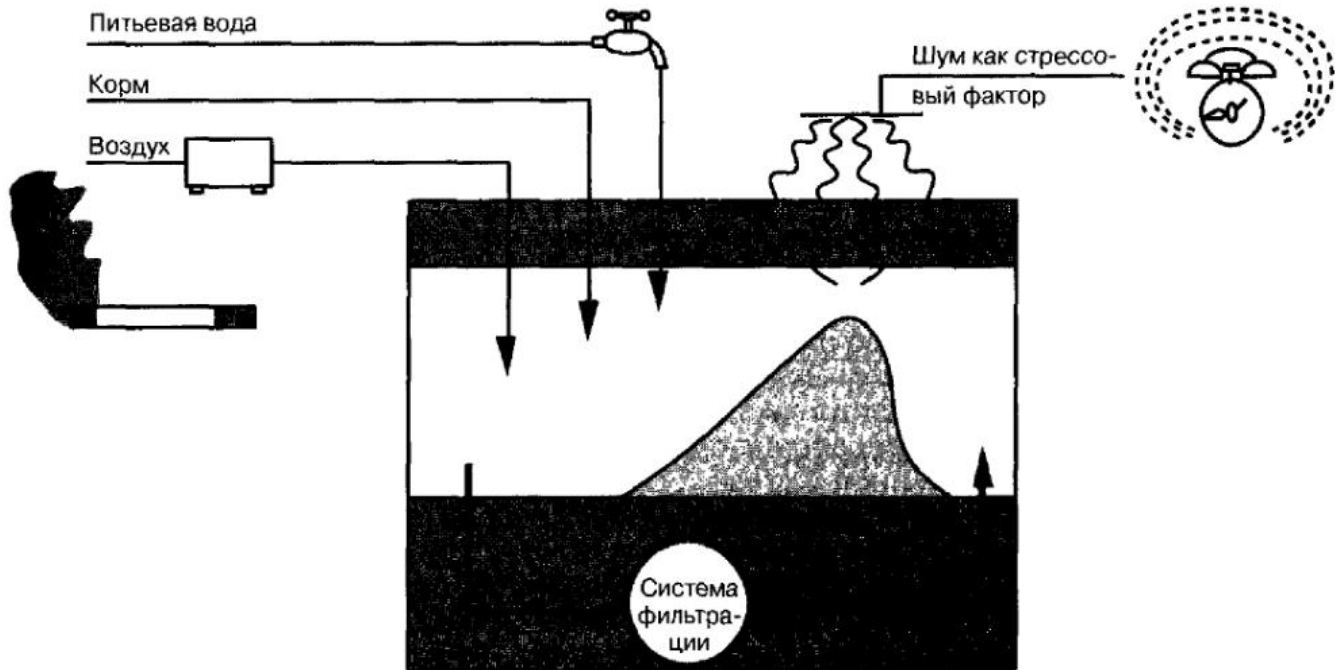
В микрizonaх биотопа обитает большое количество животных с взаимосвязанным обменом веществ. Мы знаем о симбиозе, но есть также и паразитарные формы жизни. Так развиваются сложные цепи питания, которые от водорослей и микроорганизмов через беспозвоночных достигают рыб и образуют

локальное, очень ограниченное и друг от друга зависимое сообщество, в котором одновременно происходит снабжение кормом и удаление отходов.

В аквариумах мы в основном создаем соответствующие условия жизни для какого-либо сообщества. В природе происходит интенсивный обмен веществ, который до настоящего времени до конца не изучен. Газы, такие, как кислород и двуокись углерода, должны полностью поглощаться водой. Азот, который образуется в анаэробных условиях в грунте, поднимается в виде мельчайших пузырьков и поступает в атмосферу. При этом волнение в море при ветре, течения в ручьях и реках играют существенную роль. От них зависит изменение поверхности водного зеркала, следовательно, и от этого зависит скорость и интенсивность обмена веществ. Дожди изменяют жесткость воды и концентрацию солей на поверхности, что иногда драматично для водных живых организмов. Вымываемые из воздуха дождем частицы поступают в воду, и это могут быть вещества как необходимые для жизни, так и опасные (оксид серы в кислотном дожде). В переносе веществ большое значение принадлежит гравитации. Мертвые животные, помет, остатки пищи опускаются из активного жизненного пространства, близкого к поверхности биотопа, на глубину. Этот вертикальный перенос веществ известен, как седиментация (осаждение). В грунте происходят тесно связанные процессы, зависящие от условий либо обедненных кислородом, либо вообще анаэробных, которые протекают в длительные промежутки времени, кажущимися нам бесконечными. Следует упомянуть, например, два подобных процесса, которые имеют хозяйственное значение для людей: образование залежей марганца и нефти. В естественных водоемах выпадающие в осадок вещества часто подхватываются течением, причем их может унести далеко от места, где они включаются в биологические процессы. В этом случае мы го-

ворим не о вертикальном, а о горизонтальном переносе вещества. В океанах большую роль также играют горизонтальные течения. Они выносят вещества из биотопа и переносят питательные вещества, минералы и другие жизненно важные составляющие, такие, как кислород, продукты метаболизма и пр. Они предоставляют маленькому, но очень плотно заселенному пространству комплекс необходимых веществ, которые собираются с очень большой поверхности. Наконец, еще имеются хищники, которые находят пищу вокруг биотопа. Они уничтожают больных особей и удаляют их из жизненного пространства прежде, чем возникает проблема их изоляции, или прежде чем они инфицируют других животных. Ну а если мы рассматриваем коралловый риф или лагуну в квартире, то в этом случае для нас сразу возникают существенные отличия. Мы с радостью думаем о наших питомцах и кормим их от души. Сухой, живой, замороженный корм и корм из бычьего сердца — это только часть списка в большом многообразии кормов. Но не выбор корма причиняет трудности, а его количество и качество. Как правило, большая часть корма животными не используется, а оседает на дно и, если не поглощается другими организмами, уносится волнами или горизонтальными течениями. С кормами в воду вносится много химических соединений, которых в природе нет совсем, или нет в таком количестве. С воздухом, который жизненно важен для процессов, протекающих в аквариуме, мы, к сожалению, вносим связанные с нашей нынешней цивилизацией вредные вещества. Другие проблемы могут вызывать органические вещества, которые, например, могут выделяться из новой мебели. Газообмен, так необходимый в открытых водоемах, в жилых помещениях может создавать проблемы. Похожие проблемы есть и с питьевой водой.

Следует вначале выяснить, какого качества вода необходима для обитателей



На «небольшое жизненное пространство» в помещении оказывают влияние многие, не встречающиеся в природе факторы

аквариума и какого качества питьевая вода в водоснабжении. В общем, мы можем сегодня исходить из того, что питьевая вода соответствует потребностям человека. Для обитателей аквариума это, однако, не всегда так. Во многих случаях им необходима значительно улучшенная или другая по составу вода, не та, которую нам может предложить предприятие, снабжающее нас водой. Прежде всего важную роль здесь играет жесткость воды. В последнее время увеличивается также негативное влияние пестицидов, содержащихся в воде, используемой для аквариума. Нельзя пренебрегать шумовыми помехами. Однажды я был свидетелем, как из-за внезапного удара дверью рыбы так разволновались, что выпрыгивали из воды. На животных шум действует прежде всего как стрессовый фактор, который со временем проявляется все заметнее. При всех этих нагрузках, которым подвергается аквариум, хуже всего дела

обстоят с удалением отходов. Распространение по большому объему, как в природных водоемах, практически невозможно в аквасистеме. Способов удаления отходов или не существует, или они ограничены. Итак, никакой речи не может быть об интенсивном обмене веществ в микроразнообразии биотопа. Горизонтальный и вертикальный перенос веществ трудно реализовать. Обмен веществ с атмосферой, конечно, возможен, но он часто приносит с собой дальнейшие проблемы. Таким образом, становится ясно, что жизнь в аквариуме нельзя предоставить самой себе.

Процессы обмена веществ, природных систем в аквариуме весьма ограничены, и их по возможности необходимо хорошо моделировать. Для этого следует использовать современные знания из области химии, физики, биологии, технологии, — много замечательной информации, что существенно изменяет аквариумистику и дает ей импульс дальнейшего развития.

Охрана животных

Когда мы говорим о дальнейшем развитии техники аквариумов, всегда возникает тема защиты видов, которая меняет наши представления об аквариуме и об аквариумной технике. Человек все больше понимает, что он лишь частица окружающего мира, следовательно, он живет в очень разветвленной сети зависимостей, которые в своем многообразии столь сложны, что по большей части не совсем понятны. Сравнение с сетью предполагает то, что вмешательство в часть окружающей среды должно влиять на всю сеть. Дискуссии за и против содержания животных в аквариуме всегда отличаются остротой и неоднозначны. Опасно не только содержание отдельного редкого экземпляра в нашем аквариуме, некоторые продавцы и производители аквабизнеса находят свое положение опасным.

Однако следует попытаться сделать дискуссию предметной. У аквариумистов никогда не было намерения уничтожить биотопы. Разрушение коралловых рифов из-за добычи нефти, изменение течения рек или неумеренная добыча рыбы в морских регионах — существенное вмешательство в жизнь многих водных обитателей. Аквариумисты, напротив, всегда будут заинтересованы в жизнеобеспечении животного, о котором они заботятся. Некоторых водных обитателей было бы правильно изучать только в аквариуме и таким образом узнавать о разрушении естественного биотопа в природе человеком. Особенно хорошие результаты были получены в хорошо организованных научных исследованиях. В любительских аквариумах, как правило, не изучают поведение животных, хотя из специальной газеты для ак-

вариумистов следует, что именно там происходят многие новые интересные открытия. Так, сотрудник одного известного исследовательского аквариума рассказывал мне, что он охотно обменивается опытом с любителями-аквариумистами. Правильное содержание определенного вида в аквариуме — задача, над которой должен интенсивно работать каждый аквариумист. Первый этап начинается с ловца рыбы, так как, с одной стороны, нужно заниматься активным разведением рыбы, с другой стороны — защитой жизненного пространства. Ловец рыбы в области лова должен выбирать такое количество особей, чтобы это не угрожало виду, иначе он разрушит его жизненные основы. Техника лова должна быть оптимальной. И здесь также встречаются значительные затруднения. Перевозка животных и торговля ими должны осуществляться без промедления. Животные должны содержаться в отлично подготовленных установках с соответствующей водой. Для непрерывного наблюдения и для выявления больных животных необходимы карантинные станции. Продавцы и аквариумисты должны поддерживать тесный контакт, чтобы обмениваться мнениями об условиях содержания. На каждой станции животное должно содержаться как живое существо, а не как товар. Тот, кто видит в животных только быстро конвертируемый товар, разрушает элементарные основы аквариумистики. Для решения возникающих проблем необходима также обширная и доступная информационная база.

Должна быть установлена такая переговорная сеть, которая немедленно связывает аквариумиста и ловца рыбы.



Благодаря доступной информационной связи удастся улучшить условия содержания рыб на некоторых станциях во время транспортировки

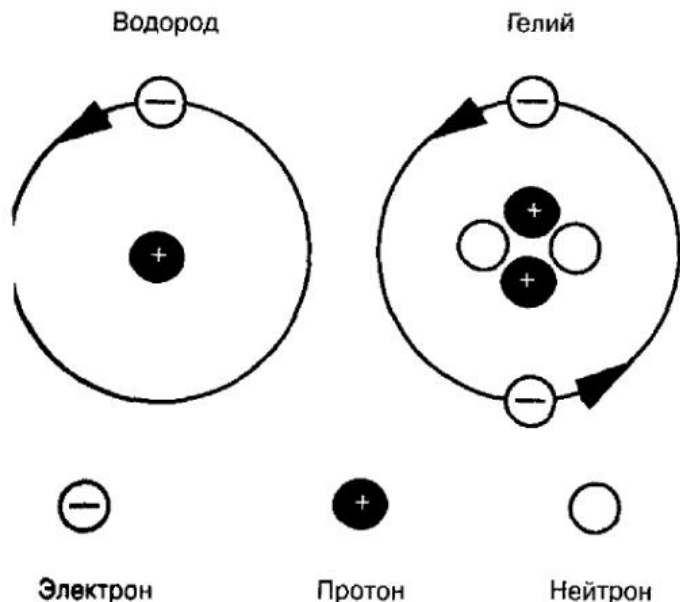
В этом смысле защитники животных и аквариумисты преследуют общий интерес. Необходимо разрушить конфронтацию между ними и постоянно добиваться общей цели получения многообразия видов на нашей единственной Земле. Только так можно оправдать длительное содержание декоративных рыб. В связи с этим в аквариумной технике

применяются все более тонкие методы для того, чтобы создавать оптимальные условия для живых существ, следовательно, аквариумная техника никогда не будет «техникой» в узком смысле. Аквариумная техника может применяться только осмысленно, т. е. если при ее реализации учитываются все аспекты условий жизни.

Физические и химические основы

Строение атомов

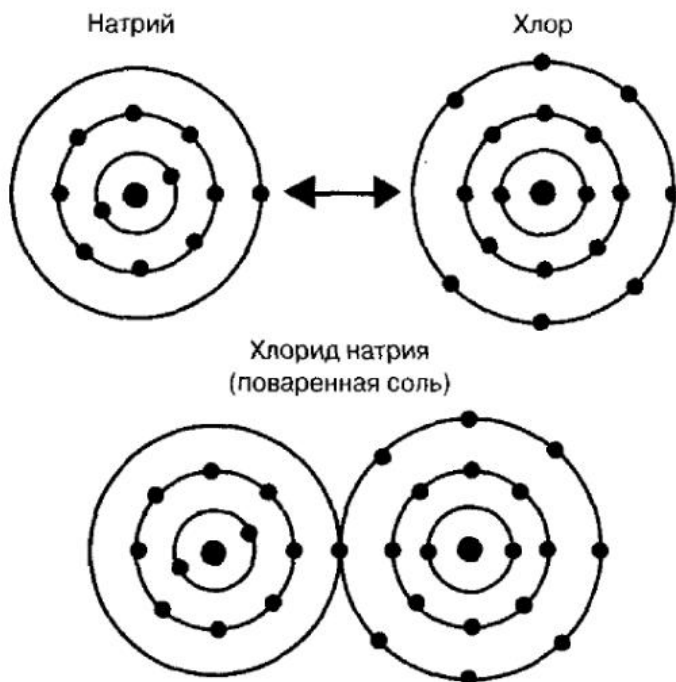
Атомы состоят из трех различных «стройматериалов». Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов. Протон электрически заряжен положительно, нейтрон нейтрален. Электроны — носители отрицательного заряда. Они вращаются вокруг атомного ядра с большой скоростью и образуют электронные оболочки. Внутри оболочки электроны могут двигаться по одной или нескольким орбитам. Химические свойства вещества определяются соотношением зарядов. Очень важно также, сколько электронов находится на внешней орбите. Это определяет место химического элемента в периодической системе.



Строение атома: протоны и нейтроны в атомном ядре окружены электронами (приведена модель атома по Бору)

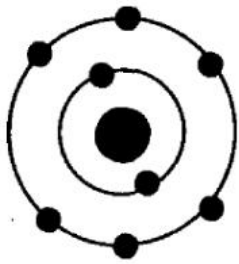
Виды связей в атоме

В хлориде натрия (поваренной соли) химическая связь называется ионной или гетерополярной связью. В этом виде связи электроны одного атома, которые образуют связь, находятся в оболочке другого атома. В нашем примере натрий имеет на внешней орбите один электрон и стремится его отдать для того, чтобы приобрести стабильную оболочку ближайшего инертного газа (неона). Конфигурация атомов инертных газов особенно стабильна, что подтверждается тем, что их атомы при нормальных условиях почти не образуют соединений. Атом хлора, напротив, на внешней электронной оболочке имеет семь электро-

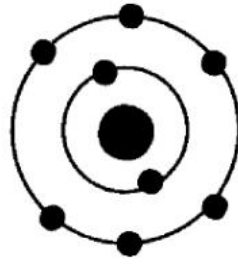


Ионная связь на примере поваренной соли (хлорид натрия)

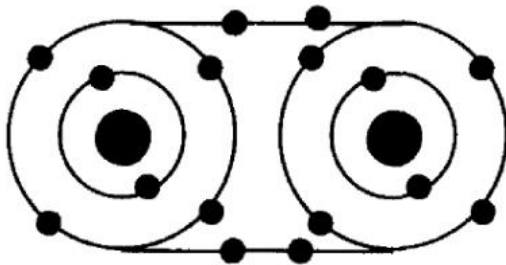
Атом кислорода



Атом кислорода



Молекула кислорода

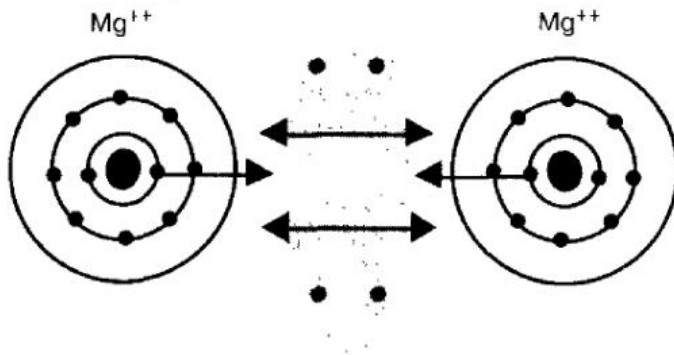


Ковалентная связь на примере кислорода

нов и стремится получить один электрон, чтобы достигнуть стабильного состояния инертного газа аргона. Благодаря обмену электронами атомы приобретают заряд.

Атом натрия отдает отрицательно заряженный электрон. Он приобретает по-

Отрицательно заряженное электронное облако



Для металлической связи (на примере магния) характерным является то, что отдельные электроны образуют электронное облако

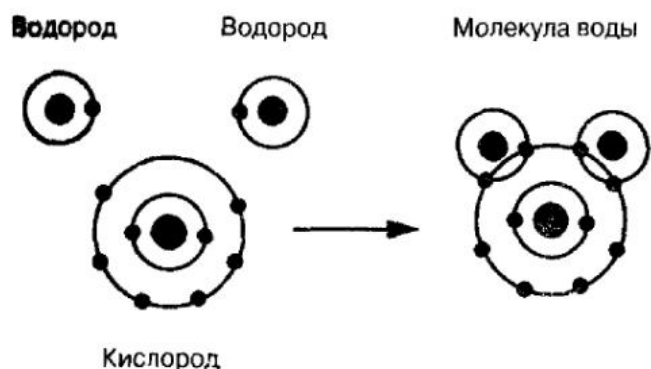
этому положительный заряд, в то время как атом хлора, благодаря полученному электрону, становится соответственно отрицательно заряженным.

Другой вид связи — ковалентная связь. Типичный пример — соединение двух атомов кислорода в молекулу кислорода. Каждому атому кислорода до оболочки следующего инертного газа не хватает двух электронов. Четыре из двенадцати электронов на внешних орбитах обоих атомов образуют совместную электронную пару. Вследствие этого каждый атом кислорода получает заполненную внешнюю орбиту, так как ее электроны принадлежат одновременно обоим атомам. Такая связь между двумя электрически нейтральными атомами называется атомной или ковалентной. Еще один вид связи — металлическая связь. Металлы отличаются тем, что на внешних электронных орбитах они имеют только отдельные электроны. Только через отдачу электронов металл может получить строение атомной оболочки ближайшего идеального газа. Эти электроны образуют между положительно заряженными атомами металлов отрицательно заряженное электронное облако, и таким образом они находятся вместе. Этим видом связи объясняется хорошая электрическая проводимость металлов, так как в наличии постоянно имеются электроны для переноса заряда.

Вода

Жизненное пространство, в котором обитают наши животные в аквариуме, — вода. Поэтому важно познакомиться с некоторыми основными свойствами воды поближе. Вода играет в мире молекул особо важную роль. Ее химическая формула — H₂O. Соответственно молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Атом водорода состоит из ядра и электрона, который вращается вокруг ядра по одной электронной орбите.

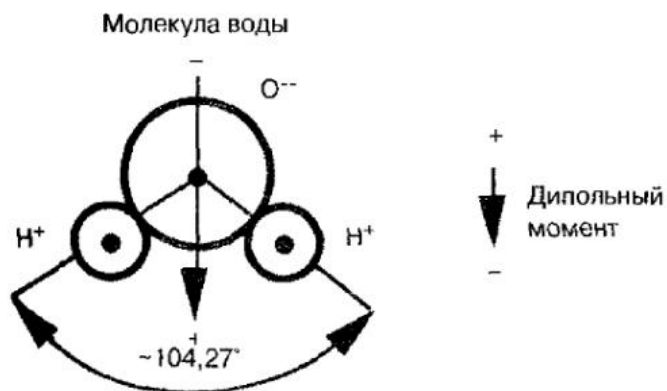
Физические и химические основы



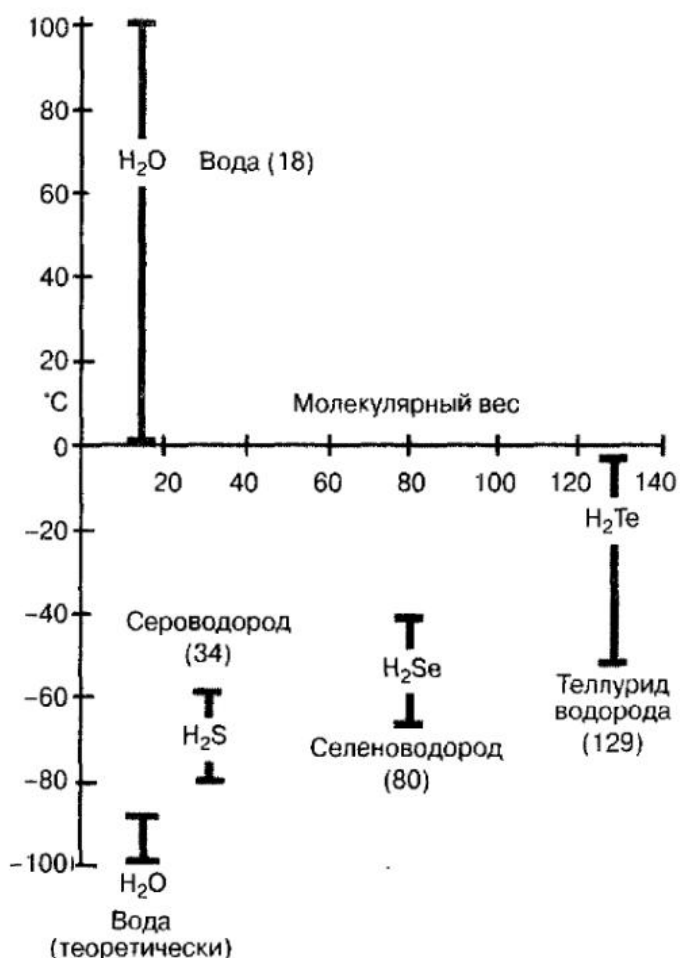
Атом кислорода и два атома водорода соединяются в молекулу воды

Эта электронная орбита будет заполнена и стабильна, если на ней находятся два электрона. Атом водорода стремится дополнить свою орбиту через контакт с другим атомом.

Здесь свои возможности предоставляет атом кислорода. В то время как его первая электронная орбита заполнена двумя электронами, на второй орбите ему не хватает двух электронов, чтобы стать стабильным. В этой совместной реакции соединяются два атома водорода и один кислорода. Внешняя орбита кислорода заполняется двумя электронами обоих атомов водорода, в это же время электрон кислорода пополюняет электронные орбиты атома водорода. Верно высказывание: «В одиночку мы слабы, вместе мы



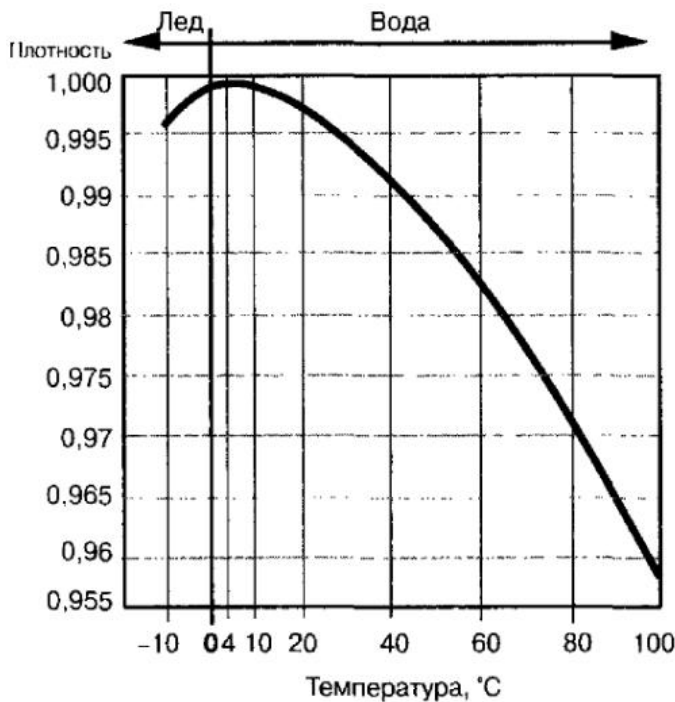
Угол расположения атомов водорода относительно атома кислорода приводит к неравномерному распределению электрического заряда



Температуры, при которых вода и другие соединения находятся в жидком состоянии. Вода из-за своих структурных особенностей находится в жидком состоянии при 0–100 °С, а не при –100 и –90 °С

сильны». Возникает стабильная молекула из двух атомов водорода и одного атома кислорода, которую мы называем водой.

Отметим, что молекула воды выглядит по-другому, чем предполагалось. Атом кислорода располагается не точно посреди двух атомов водорода. Молекула имеет угловую структуру. Атомы водорода располагаются с одной стороны атома кислорода и образуют между собой угол примерно 105°. Эта форма молекулы обеспечивает воде особенные свойства.



Наибольшую плотность вода имеет при температуре $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$

Плотность, температура плавления, температура кипения

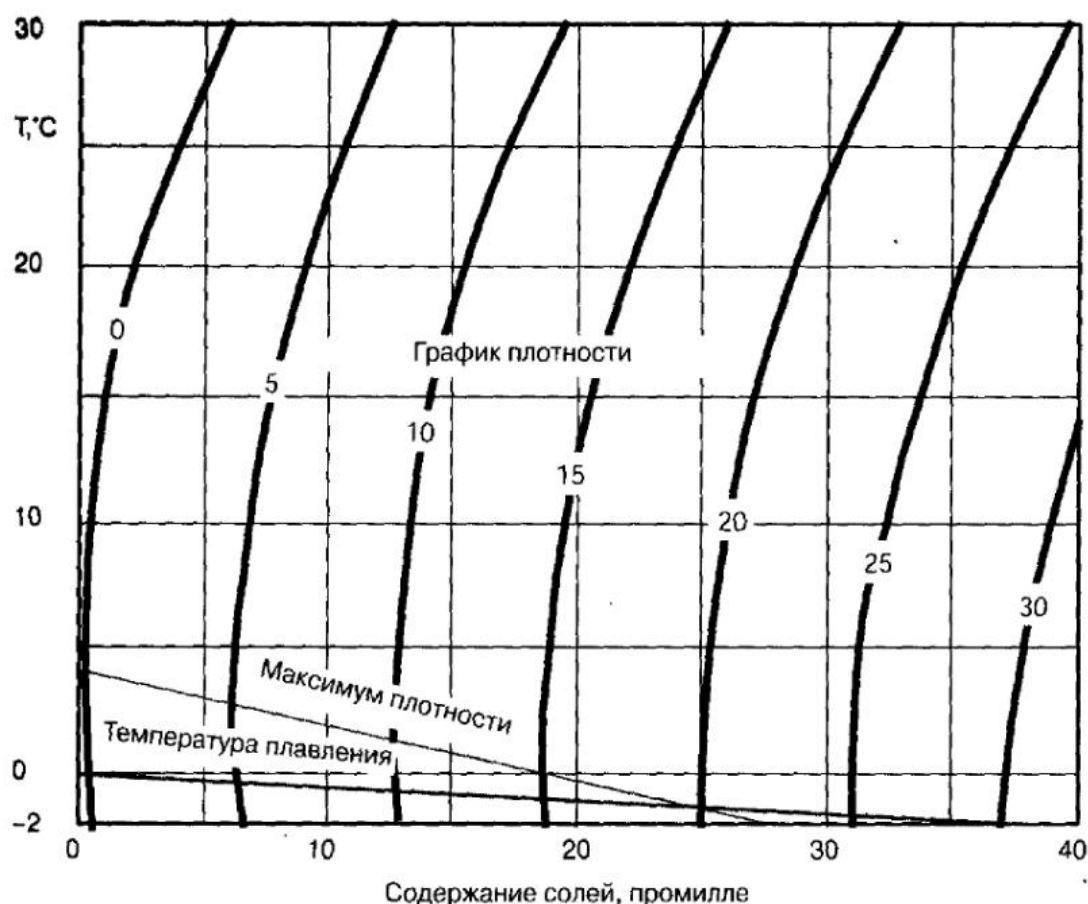
Молекула воды, несмотря на то что все ее электроны распределены, отнюдь не нейтральна. Наибольшая плотность электрических зарядов не приходится на геометрическую середину.

На стороне кислорода преобладает отрицательный заряд, на стороне водорода — положительный. Возникает так называемый диполь.

Этот диполь действует таким образом, что молекулы воды взаимодействуют между собой и образуют более или менее связанные группы. Так, при комнатной температуре образуются группы приблизительно из шести молекул. Очевидно, такие группы молекул реагируют значительно медленнее, чем отдельные молекулы. Если сравнить молекулы воды с химически подобными молекулами, такими, как геллурид водорода, селеноводород, сероводород, то можно было бы ожидать, что из-за своего низкого молекулярного веса

вода должна иметь очень низкую температуру точки кипения и плавления. Вода должна была бы кипеть примерно при $-96\text{ }^{\circ}\text{C}$ вместо $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и примерно при $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ замерзнуть вместо $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Итак, при температурных условиях нашей Земли не могло бы быть ни жидкой воды, ни воды в виде льда, был бы возможен только водяной пар. Образование молекулярных групп воды, которые также называются кластерами, делают возможным то состояние воды, которое мы знаем и которое дает возможность воде быть эликсиром жизни. Когда вода замерзает, проявляются другие ее особенности. Каждая молекула воды обладает двумя положительными атомами водорода и только одним отрицательным атомом кислорода. Вследствие понижения температуры молекулы сближаются друг с другом, увеличивается сила притяжения молекул воды. Вокруг центральной молекулы воды группируются четыре другие таким образом, что атом водорода связан с кислородом.

Возникает тетраэдрическая структура, которая отличается самой плотной формой упаковки, и поэтому при $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ вода имеет самую высокую плотность. Если ее охладить больше, то объем увеличивается до достижения температуры плавления. Важным и удивительным результатом этого является то, что лед, вода в твердой форме, легче чем жидкая вода, поэтому плавает на водной поверхности. В противном случае внутренние озера на нашей планете медленно промерзли бы под водой. Плотность воды зависит от ее температуры, содержания солей и от давления. В морских водах значения плотности отличаются от пресных вод. Плотность будет тем выше, чем выше содержание солей. Поэтому измерение плотности в аквариуме сводится к определению содержания солей. Для морской воды содержание солей $24,7\%$ играет значительную роль. Морская вода с более низким содержанием солей имеет максимум плотности, который расположен между $-1,33$ и $-3,58\text{ }^{\circ}\text{C}$ и затем уменьшается до темпе-



Зависимость температуры плавления морской воды от содержания солей

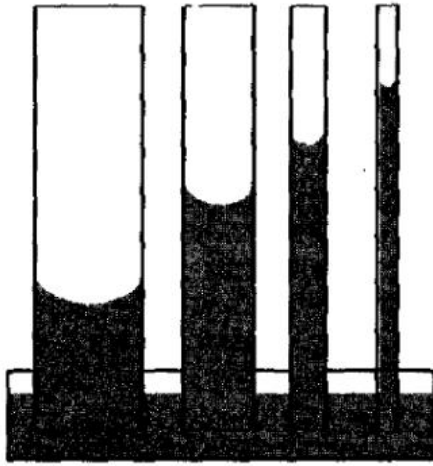
ратуры плавления. Моря с содержанием солей ниже 24,7‰ при изменении температуры ведут себя как озера с пресной водой.

При охлаждении поверхностной воды до наибольшей плотности охлажденные части объема воды из-за высокой плотности перемещаются вниз. Происходит температурная конвекция на большой поверхности. При дальнейшем охлаждении поверхностные воды становятся легче, вследствие чего конвекция подавляется. Только тонкий поверхностный слой, перемешиваемый ветром и волнением, охлаждается далее и замерзает при достижении температуры плавления. Воды с более высокой концентрацией солей не достигают максимума плотности и проявляют себя по другому. При их охлаждении тепло передается от всего объема воды. Охлаждение замедляется. Следствие этого — мягкие зимы на побережье океанов в более

высоких широтах при условии, что море не замерзает. Плотность приводится в килограммах на литр. Например, морская вода с содержанием солей 30‰ при температуре около 23 °C имеет плотность 1,02 кг/л. Значения плотности воды часто различаются только во втором или в третьем знаке, поэтому плотность также обозначается греческой буквой сигма, которая рассчитывается как плотность минус единица и умноженная на тысячу. Вода с плотностью 1,02 кг/л имеет значение сигмы, равное 20 ($1,02 - 1 = 0,02$; $0,02 \times 1000 = 20$)!

Капиллярная сила

В одной из последующих глав будет описано устройство струйного фильтра, для которого капиллярная сила воды — важное условие. Она является причиной того, что между капиллярами, а также между зернами фильтра, будь это части-



Чем меньше диаметр трубы, тем выше поднимается вода под действием капиллярной силы

цы коралла, лавы или искусственный наполнитель, может удерживаться пленка воды и водяной столб. Ранее мы уже видели, что между молекулами воды из-за ее полярности возникают водородные мостики, причем один атом водорода связывается с одним атомом кислорода. Капиллярные взаимодействия происходят также у твердых веществ, которые содержат кислород, у таких, как оксид кремния (SiO_2) в стекле или в кварце.

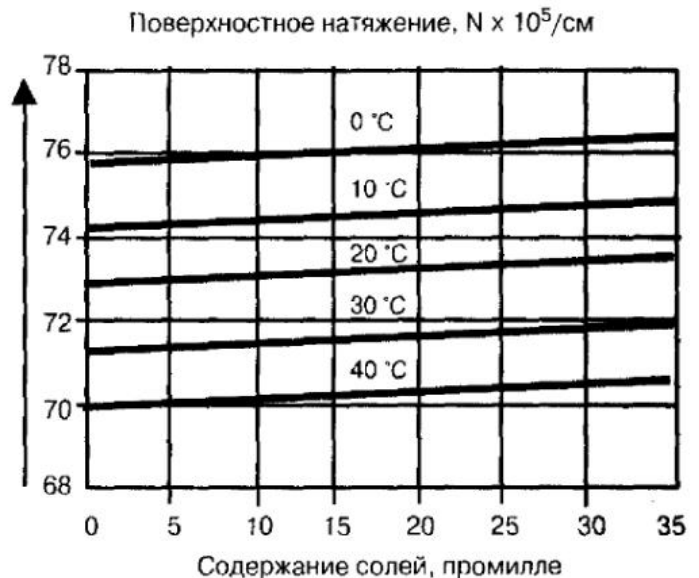
Молекулы воды притягиваются атомами кислорода в зернах фильтра так, что они прилипают к стенкам капилляра и притягивают другие молекулы воды. Вследствие этого уровень воды в капилляре поднимается. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не установится равновесие между капиллярной силой и силой тяжести.

Поверхностное натяжение

В природе поверхность воды — своеобразное жизненное пространство. Некоторые животные обитают в этой пограничной поверхности между двумя мирами. Водомер живет на поверхности воды так же, как человек на поверхности земли. Если рассмотреть этих насекомых внимательно, то окажется, что под каждой лап-

кой поверхность воды вдавлена, как батут под гимнастом. Известно, что даже легкое, как перышко, животное своим весом деформирует поверхность воды. Сила поверхностного натяжения воды достаточно велика, чтобы удерживать маленькое существо. Если мы двигаемся по поверхности воды от края сосуда или твердого тела, то молекулы воды могут ориентироваться относительно друг друга и держаться вместе на одном уровне. Если отдельные молекулы вследствие внешнего воздействия выходят из состояния равновесия, например, когда камень или капля воды нарушают его, то благодаря соседним «коллегам» оно тотчас приводится в соответствие. Поэтому мы не случайно говорим о волном зеркале.

Подобные механические силы называются натяжением и в этом особенном случае — поверхностным натяжением. При поверхностном натяжении, подобно капиллярной силе, также имеется состояние равновесия. Если для тела, находящегося на поверхности воды, сила тяжести на единицу площади меньше, чем поверхностное натяжение, то оно остается на поверхности воды. Если сила тяжести или



Поверхностное натяжение зависит от температуры воды и от содержания солей

энергия тела, которое с определенной скоростью падает на воду, превосходит поверхностное натяжение, то оно погружается в воду. Если предметы, касающиеся поверхности воды, имеют высокое сродство с водой, то есть обладают гидрофильностью, они будут частично нарушать поверхностное натяжение и погружаться в воду. Это следует учитывать.

Связь молекул воды уменьшается с увеличением температуры. Таким образом, легко понять, что поверхностное натяжение при высоких температурах гораздо меньше, чем при низких. Напротив, с повышением содержания солей возрастает поверхностное натяжение, хотя и в гораздо меньших размерах.

Вязкость

Для следующего, очень важного свойства связь молекул играет большую роль. Если мы перемещаемся от поверхности воды в глубину, можем наблюдать разнообразные потоки.

Чем сильнее связь молекул воды, тем труднее они отрываются друг от друга.



Вязкость воды также зависит от температуры и содержания солей

Вода ведет себя «вязко». Чем меньше молекулы связаны друг с другом, тем более текучей будет вода. Мерой этого является вязкость. Как мы видим, количество водородных мостиков между отдельными молекулами с повышением температуры уменьшается, вода становится более текучей, вязкость уменьшается.

Вязкость значительно зависит от температуры, но при изменении содержания солей она меняется в малой степени. Обе зависимости наглядно представлены на диаграмме слева внизу. Вязкость играет в биологии важную роль, особенно для наших аквариумных любимцев. Другие живые существа используют максимум поверхности воды, чтобы снизить скорость движения вниз. Вязкое трение отвечает за то, например, что планктон почти парит в водном объеме. В аквариумной технике вязкость играет важную роль при установлении размеров аквариума. В гидродинамических расчетах устанавливается кинематическая вязкость, в которой учитывается плотность воды. Она получается делением динамической, или абсолютной, вязкости на плотность.

Вода как растворитель

Если аквариумисты говорят о воде, то они совершенно не думают о H₂O, а думают о предназначенной для рыб среде. Однако эта среда значительно отличается от чистой воды, которая производится в лаборатории с помощью дорогостоящей неоднократной дистилляции (перегонки). Дождевые воды уже не являются «Aqua dest». Каждый из нас знает о вызванных «кислотными дождями» проблемах. При движении по воздуху вода уже накапливает чужеродные вещества. Этот процесс усугубляется, когда дождевая капля касается земли. Теперь вода реагирует с твердой средой.

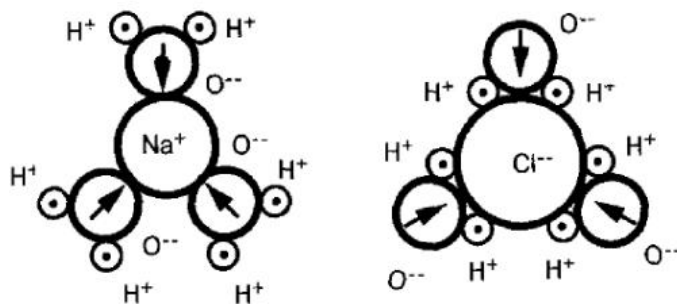
Химически связанная молекула воды, как свидетельствует изложенное выше, имеет положительные полюса. Если это так, то грунт аквариума обязательно яв-

Содержание солей в проточной воде

Вид и количество	Истинный раствор				Коллоидный раствор	Суспензия
	Электролиты		Неэлектролиты			
	Катионы	Анионы	Газы	Твердые вещества		
Основные вещества > 10 мг/л	Na ⁺ Ka ⁺ Mg ⁺⁺ Ca ²⁺	Cl ⁻ NO ₃ ⁻ HCO ₃ ⁻ SO ₄ ⁻	O ₂ N ₂ CO ₂	SiO ₂ * H ₂ O		Глины, желтые пески, органические вещества
Сопутствующие вещества << 10 мг/л > 0,1 мг/л	Sr ⁺ Fe ⁺⁺ Mn ²⁺ NH ₄ ⁺	F ⁻ Br ⁻ I ⁻ NO ₂ ⁻ HPO ₄ ⁻ HBO ₂	H ₂ S NH ₃ CH ₄ He	Органические соединения, продукты обмена веществ	Гидроокиси Fe, Mn, кремниевая кислота, силикаты и гуминовые вещества	Гидроокиси Fe, Mn, масла, жиры и иные органические вещества
Микроэлементы < 0,1 мг/л	Li ⁺ Rb ⁺ Ba ²⁺ As(III) Cu ²⁺ Zn ²⁺ Pb ²⁺	HS ⁻	Rn			

ляется предметом взаимодействия с водой.

Представим себе, что дождевая капля падает через очень чистый воздух. Она практически не загрязнена воздухом и чиста почти как дистиллированная во-



Поваренная соль (NaCl) растворяется в воде, вследствие чего диссоциирует на ион натрия и ион хлора. Заряженные ионы окружаются молекулами воды, которые ориентируются соответствующим образом

да. Едва она попадает в землю, сразу же встречает молекулу поваренной соли. Полярность воды так сильна, что она в состоянии разделить оба атома в соединении поваренной соли. Это происходит вследствие того, что молекулы воды со стороны отрицательного кислорода группируются вокруг атома натрия, а со стороны положительного водорода — вокруг атома хлора. Атомы, растворенные в воде таким образом, называются ионами. Рисунок показывает, что происходит с положительно заряженными ионами, как например, Na⁺. Эти ионы называются катионами. Отрицательно заряженные ионы, такие, как Cl⁻, называются анионами.

Попадая на землю, вода преимущественно растворяет вещества в виде солей. Вещества, содержащиеся в воде, уже не являются первоначальными солями. Поэтому будем приводить в анализах воды всегда только электролиты, т. е. катионы

или анионы. В воде всегда существует баланс катионов и анионов. Для биологических процессов наряду с веществами, в основном содержащимися в воде, большое значение имеют так же сопутствующие вещества и микроэлементы. В таблице на стр. 23 представлен состав воды в естественном водоеме.

Дождевая вода

Дождевые воды могут очень сильно изменить состав воды в короткий срок, так как они разбавляют минеральные растворы или вносят такое большое количество CO_2 , что смещается равновесие между карбонатом кальция и угольной кислотой. Следовательно, после того, как в каком-то регионе прошел дождь, дождевые воды можно использовать с осторожностью.

После испарения с поверхности земли вода в облаке является самой чистой природной водой. Чем длительней вода на-

Вещества, содержащиеся в дождевой воде в Кобленце, 1974

Измеряемая величина	Единицы измерения	Мин.	Макс.
Значение pH	pH	4,9	6,8
Проводимость	мкСм/см	65	97
Растворенные вещества	мг/л	30	50
Общая жесткость	°dGH	0,6	1,8
Хлориды	мг/л	4	10
Нитраты	мг/л	7	22
Сульфаты	мг/л	9	24
Фосфаты	мг/л	—	0,1
Химическая потребность в кислороде	мг/л	2	10
Парафины, полициклические ароматические вещества	мг/л	0,3	1,5
Углеводороды	мг/л	0,04	0,15

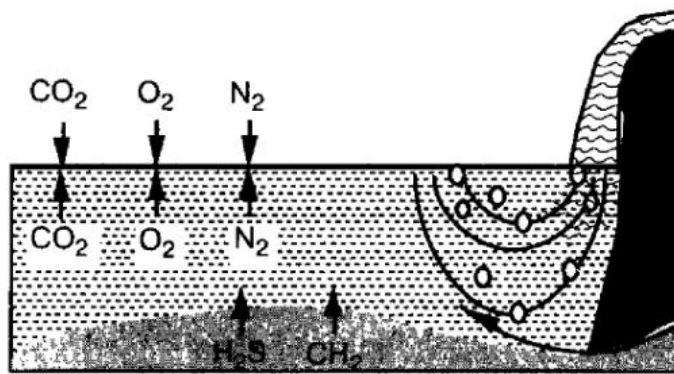
ходится в воздухе, тем больше она поглощает загрязняющих веществ. Особенно интенсивно это происходит в промышленных регионах. Как показывает анализ дождевых вод, в них могут быть обнаружены в высоких концентрациях вредные вещества. Итак, дождевая вода не самая оптимальная среда для заполнения нашего аквариума. Состав воды определенных водоемов, как правило, зависит от сезонных колебаний, что свойственно и животному миру в природе. Если причина этого колебания естественного происхождения, то живые существа обычно приспособляются к этому и переносят определенный диапазон изменений состава воды. Возможно, что живые существа даже нуждаются в определенных колебаниях, так как они из поколения в поколение адаптировались к этому в отношении обмена веществ и циклов размножения. Аквариумной техникой очень тяжело имитировать подобные циклы.

Растворенные в воде газы

Газы, из которых состоит воздух, мы находим в воде в других концентрациях: азот, кислород, аргон и двуокись углерода (см. таблицу на стр. 25). Газообразный азот растворяется в воде согласно физическим законам для газов. Он не участвует в химических реакциях, но принимает участие в биологических процессах. Так же пассивно ведет себя инертный газ аргон.

Кислород, необходимый для всех жизненных процессов, следует тем же физическим законам, что и азот. Кислород вступает в интенсивный биологический цикл и является газом для дыхания, всех живых существ за исключением некоторых бактерий. Двуокись углерода, напротив, участвует как в химических, так и в биологических процессах.

Газообмен между водой и атмосферой происходит преимущественно на поверхности воды. Газы, такие, как CO_2 , выделяются из недр Земли и также по-



Между водой, грунтом и атмосферой происходит постоянный газовый обмен

глошаются водой. Если вода вытекает из источников в земле, то она также вступает во взаимодействие с атмосферой. Вещества, имеющиеся в воде в избытке, такие, как угольная кислота, переходят в атмосферу. Другие газы, которых нет в воде или есть только в незначительном количестве, напротив, поглощаются. На поверхности воды происходит газообмен с помощью диффузии.

Концентрация определенного газа в воздухе находится в балансе с концентрацией этого же газа в жидкости. Если каким-либо образом концентрация газа

Обогащение кислородом различных водоемов

Степень насыщения	100%	80%	60%	40%	20%	0%	Единицы измерения
Маленький пруд	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	г/м ² сутки
Большое озеро	0	1,0	1,9	2,9	3,8	4,8	г/м ² сутки
Медленно текущая река	0	1,3	2,7	4,0	5,4	6,7	г/м ² сутки
Большая река	0	1,9	3,8	5,8	7,6	9,6	г/м ² сутки
Быстротекущие воды	0	3,1	6,2	9,3	12,4	15,5	г/м ² сутки
Быстрые потоки	0	9,6	19,2	28,6	38,4	48	г/м ² сутки

Содержание газов в воздухе, пресной и морской воде

	Атмосфера			Пресная вода					
	см ³ /л	0 °С мг/л	0 °С об. %	см ³ /л	10 °С мг/л	30 °С см ³ /л	10 °С мг/л	30 °С см ³ /л	30 °С мг/л
Азот	780,9	976,52	78,09	18,10	22,63	14,60	18,26	10,98	13,73
Кислород	209,5	299,38	20,95	10,29	14,70	8,02	11,46	5,57	7,96
Аргон	9,3	16,59	0,93	0,54	0,96	0,42	0,75	0,30	0,54
Двуокись углерода	0,3	0,59	0,03	0,52	1,03	0,36	0,71	0,20	0,40
Морская вода 35‰									
Азот	780,9	976,52	78,09	14,04	17,56	11,72	14,66	9,08	11,35
Кислород	209,5	299,38	20,95	8,04	11,49	6,41	9,16	4,50	6,43
Аргон	9,3	16,59	0,93	0,41	0,73	0,31	0,55	0,18	0,32
Двуокись углерода	0,3	0,59	0,03	0,44	0,87	0,31	0,61	0,18	0,36

в растворе становится более высокой, то на поверхности воды происходит газообмен до тех пор, пока равновесие снова не будет достигнуто. Вода, напротив, поглощает из воздуха значительные количества газов, концентрация которых в воде слишком низка. Концентрация, при которой газообмен приходит к равновесию, называется точкой насыщения. Граница раздела вода/воздух может представлять собой не только ровное водное зеркало. В частности, движение волн, быстрые течения, водопады и прежде всего медленно восходящие пузырьки газов приводят, как показано в таблице на стр. 25, к увеличению пограничной поверхности и, таким образом, к интенсивному газообмену в обоих направлениях. Чем быстрее вода передвигается, тем больше становится пограничная поверхность между водой и воздухом, и тем более интенсивным будет массообмен между водой и воздухом, например, в быстром потоке. Это приводит к увеличению поглощения кислорода на порядок по сравнению с поверхностью спокойного озера. Таблица на стр. 25 внизу показывает значения насыщаемости воды кислородом, азотом и двуокисью углерода. Очевидно, что содержание кислорода и азота в воде значительно ниже, чем в воздухе, в то время как двуокись углерода в этих средах имеет примерно равные концентрации. Отметим, что кислорода в воде содержится мало. Это приводит к тому, что живые существа должны предпринимать значительные усилия, чтобы поглощать его в достаточном количестве.

Доступность газов для водных обитателей

В то время как человек использует только от 1% до 2% поглощенного при дыхании кислорода, рыбам для этого необходимо от 20% до 40%.

При этом они, конечно, достигают высокой эффективности: рыбы используют от 60% до 80% кислорода, человек только примерно 20%. Насыщаемость воды кис-

Поглощение кислорода рыбами и млекопитающими

	Вес	Поглощение кислорода, мл O ₂ /кг/ч
Гуппи	0,2 г	500
Гуппи	1,5 г	200
Щука	100 г	350
Карп	100 г	100
Кролик	2,2 кг	470
Человек	70 кг	200

лородом убывает с повышением температуры воды, а активность дыхания животных и потребление кислорода, наоборот, возрастает из-за биологических процессов метаболизма. В качестве контрольной цифры можно принять, что потребление кислорода удваивается при повышении температуры на 10 °С. Итак, с ростом температуры повышается потребность живых существ в кислороде, в то время как содержание кислорода падает. Это вызывает необходимость в адекватном обеспечении кислородом обитателей в наших аквариумах. Важно также знать, что маленькие рыбы, которых мы преимущественно держим в аквариумах, нуждаются для основного обмена веществ в кислороде больше, чем более крупные. Это иллюстрирует вышеуказанная таблица. Маленький самец гуппи расходует по отношению к массе тела немного больше кислорода, чем кролик, и в 5 раз больше, чем карп. Кислород и углекислый газ (CO₂) конкурируют при дыхании. Чем выше содержание двуокиси углерода в воде, тем выше потребность в кислороде у живых существ. Однако скорость диффузии двуокиси углерода в 30 раз выше по сравнению с кислородом, и в спокойной воде CO₂ относительно быстро удаляется из организма рыбы.

Если содержание кислорода в воде падает ниже критического значения, то не-



Активность рыбы зависит от содержания кислорода в воде

которые разновидности рыб переходят на такой вид дыхания, при котором они дышат не жабрами, а захватывают воздух с поверхности воды. Так как это происходит с перерывами и кратковременно, рыба должна возвращаться постоянно к поверхности. Хорошо, что только короткое время рыбы дышат таким образом. И понятно, что ограниченное дыхание приводит к снижению жизненной активности, как это поясняет верхний рисунок. На границе минимальной потребности в кислороде рыба нуждается во всем имеющемся в распоряжении кислороде для того, чтобы поддерживать базовые функции жизни. В этом случае активность рыб ограничена. С повышением содержания кислорода возрастает общая активность рыбы, даже если она все еще меньше оптимума и остается ограниченной. Если только в наличии имеется действительно достаточное количество кислорода, рыба развивает пол-

ную жизненную активность. Из этого не следует, что повышение содержания кислорода будет поступательно увеличивать активность животных. Если концентрация этого газа превысит границу насыщения, то вследствие газовой эмболии может привести к значительному ущербу вплоть до гибели рыбы. В природе животные стремятся быстро покинуть области с неудовлетворительным содержанием кислорода. Если это невозможно, рыба испытывает стрессовое состояние, которое в свою очередь приводит к повышенной потребности в кислороде и ухудшает ситуацию для животных. Приемлемые предельные концентрации кислорода для каждого вида рыб различны и могут сильно отличаться друг от друга. В то время как угри при температуре воды 17 °С довольствуются содержанием кислорода 1 мг/л, радужная форель при такой же температуре нуждается примерно от 2,4 до 3,7 мг/л.

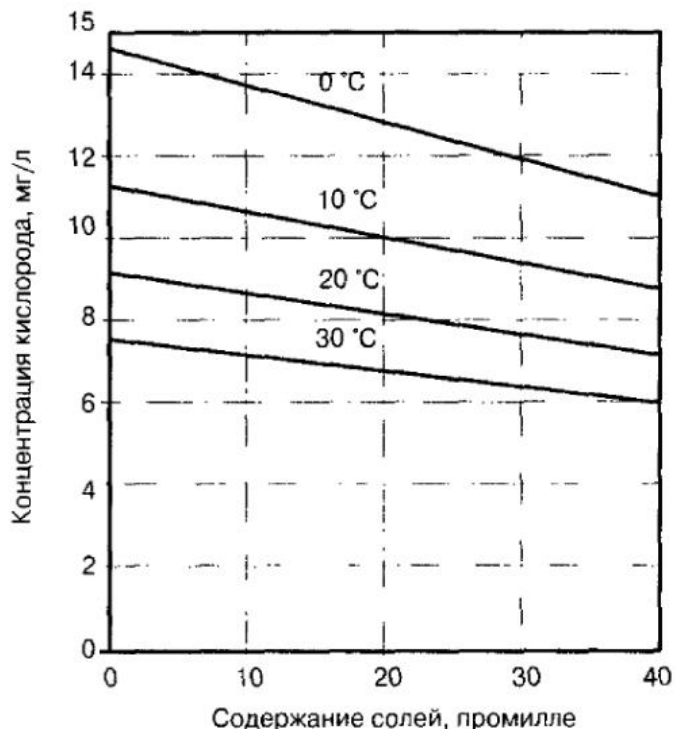
При более высоких температурах активизируется весь обмен веществ и, таким образом, повышается потребность в кислороде для всех животных.

Абсолютная растворимость газов

Абсолютная растворимость газов существенно отличается от растворимости газов в естественных условиях, когда есть обмен с воздухом. Таким образом, все газы могут создавать более высокие концентрации в растворах, если отсутствует свободный обмен с воздухом. Сравните таблицу внизу с таблицей на стр. 25 внизу. Двуокись углерода может поглощаться водой в значительно большем количестве, чем кислород или азот. В то время как при свободном обмене воды с воздухом содержание CO_2 составляет только $1/10$ от содержания кислорода, при контролируемых условиях при 20°C может раствориться до 1700 мг, т.е. 37-кратное количество кислорода. Такие условия в природе встречаются редко, например, в минеральных колодцах, которые показывают крайне высокие значения растворимого CO_2 . Эффект абсолютной высокой растворимости газов можно использовать, разумеется, с помощью технических средств, например, в соответствующих реакторах для углекислого газа, кислорода и озона (см. «Природные и технические газы» стр. 101). Степень поглощения газов водой изменяется также в зависимости от температуры. С повышением температуры растворимость газов сильно снижается. Нежелательные газы — серо-

Абсолютная растворимость газов в воде, мг/л

Температура	0°C	10°C	20°C	30°C
Кислород	70	55	45	35
Азот	30	25	20	15
Двуокись углерода	3 400	2 300	1 700	1 300



Насыщаемость морской воды газами зависит от температуры и содержания солей

водород и метан — попадают в воду вследствие биологических процессов, происходящих в грунте. В зависимости от того, насколько часто вода обновляется в аквариуме, они могут концентрироваться у грунта и достигать токсичных концентраций. Образование этих газов происходит всегда только в анаэробных условиях.

При наличии кислорода эти газы не образуются или накапливаются в небольших количествах.

Морская вода

Море занимает особенное место в круговороте воды. В то время как вода в реках и ручьях непрерывно течет, обмен ее в морях, рассматриваемый статистически, происходит за десятки лет. Обмен воды морей за счет испарения происходит только в течение 3000 лет. Несмотря на это, в природе наблюдается непрерывный круговорот воды. Для всех раство-

Содержание солей в морской воде

Содержание соли (‰)	Общее количество растворенных веществ в 1 кг морской воды	35‰ 15 °С	35‰ 25 °С
Электропроводность (мСм)	Измерение электропроводности	42,902 мСм	53 мСм
Плотность (кг/л)	Измерения с помощью ареометра	1,026 кг/л	1,0235 кг/л
Сигма (л)	Плотность 31000	26	23,5
Содержание хлоридов (мг/л)	Титрование	19,4 мг/л	19,4 мг/л
Скорость звука (м/с)	Измерение скорости звука	~1505 м/с	~1535 м/с

енных в воде веществ долгая миграция в море тем не менее заканчивается. Море является сборным бассейном всего того, что реки Земли приносят с собой. Современная концентрация солей в морской воде является суммой концентраций солей, которые миллионы лет вымывались из земли. Все количество растворенной в море соли оценивают примерно как 10×10^{18} тонн (4 с 19 нулями!).

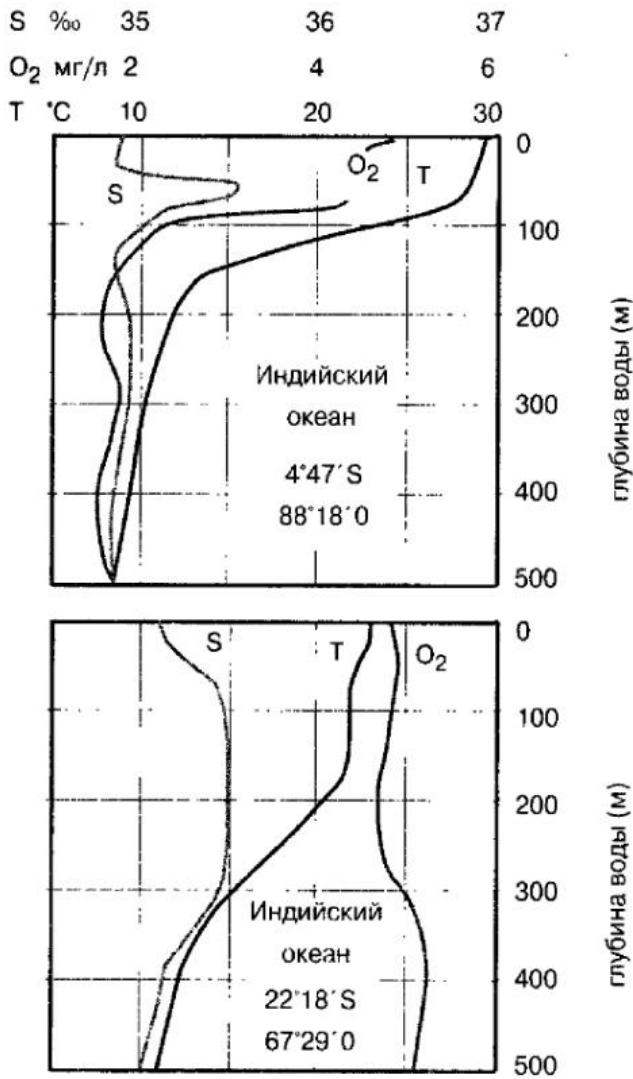
Концентрации солей в морях мира отличаются лишь незначительно друг от друга и равны в среднем 34,7‰. Отклонения от этого значения происходят, возможно, в областях интенсивного истарения при незначительной подпитке пресной водой (приблизительно 40‰ в Красном море), в областях интенсивной подпитки пресной водой и незначительного перемешивания (3–20‰, к примеру, в Балтийском море). Хотя концентрации солей в некоторых областях могут отличаться от среднего значения, все-таки состав морской воды очень постоянен, и обычно наблюдаются отклонения не более чем на 0,005‰. В морской воде мы можем найти все элементы, которые имеются на суше. Однако, если сравнивать состав элементов в морской воде (см. таблицу на стр. 30) с их геологической частотой встречаемости, можно констатировать значительные расхождения. Причина состоит в том, что в морской воде при определенных химических реакциях некоторые ве-

щества выпадают в осадок, а другие, к примеру мути, особенно сильно адсорбируются. Тяжелые металлы и другие элементы, такие, как свинец, олово и медь, а также мышьяк, селен и молибден присоединяются к гидроксидам железа и марганца и оседают на морское дно. Таким образом, морская вода — результат комплексных процессов в море. Если отнести водород и кислород к элементам только воды, то лишь 13 элементов составляют 999,98‰ всего содержания солей. Большинство элементов составляет лишь 0,02‰, это меньше чем 5 мг/л. Эти элементы из-за очень низких концентраций называются микроэлементами. Основные компоненты морской воды определяют в основном физические свойства, такие, как плотность, вязкость и осмотическое давление. Микроэлементы имеют тем не менее, несмотря на их небольшое количество, ключевые функции для многих биохимических процессов. В частности, нужно обращать внимание на это при выборе искусственных морских солей. Содержание солей может быть непосредственно или косвенно обозначено или измерено величинами, приведенными в верхней таблице. В морской воде количество катионов (положительно заряженных ионов) превосходит количество анионов (отрицательно заряженных ионов). Поэтому морская вода имеет щелочную реакцию и значение рН 8,2!

Физические и химические основы

Элементы, содержащиеся в морской воде

Элемент	Символ	мг/л	Элемент	Символ	мг/л
Кислород	O	857000	Хром	Cr	0,00005
Водород	H	108000	Торий	Th	0,00005
Хлор	Cl	19000	Скандий	Sc	0,00004
Натрий	Na	10721	Серебро	Ag	0,00004
Магний	Mg	1350	Галлий	Ga	0,00003
Сера	S	901	Ртуть	Hg	0,00003
Кальций	Ca	410	Свинец	Pb	0,00003
Калий	K	398	Висмут	Bi	0,00002
Бром	Br	67	Лантан	La	0,000012
Углерод	C	28	Ниобий	Nb	0,00001
Стронций	Sr	7,7	Таллий	Tl	<0,00001
Бор	B	4,6	Церий	Ce	0,0000052
Кремний	Si	3	Гелий	He	0,000005
Фтор	F	1,3	Золото	Au	0,000004
Аргон	Ar	0,6	Диспрозий	Dy	0,0000029
Азот	N	0,5	Празеодим	Pr	0,0000026
Литий	Li	0,17	Гальфоний	Gd	0,0000024
Рубидий	Rb	0,12	Эрбий	Er	0,0000024
Фосфор	P	0,07	Иттербий	Yb	0,000002
Йод	I	0,06	Самарий	Sm	0,0000017
Барий	Ba	0,03	Гольмий	Ho	0,00000088
Индий	In	0,02	Бериллий	Be	0,0000006
Алюминий	Al	0,01	Тулий	Tm	0,00000052
Железо	Fe	0,01	Лютеций	Lu	0,00000048
Цинк	Zn	0,01	Европий	Eu	0,00000046
Молибден	Mo	0,01	Протактиний	Pa	0,000000002
Медь	Cu	0,003	Радий	Ra	0,0000000001
Мышьяк	As	0,003	Радон	Rn	6x10 ⁻¹⁶
Уран	U	0,003	Полоний	Po	
Ванадий	V	0,002	Цирконий	Zr	
Марганец	Mn	0,002	Технеций	Tc	
Никель	Ni	0,002	Рутений	Ru	
Титан	Ti	0,001	Родий	Rh	
Неодим	Nd	0,00092	Палладий	Pd	
Олово	Sn	0,0008	Теллур	Te	
Сурьма	Sb	0,0005	Прометий	Pm	
Цезий	Cs	0,0005	Тербий	Tb	
Селен	Se	0,0004	Гафний	Hf	
Криптон	Kr	0,0003	Тантал	Ta	
Иттрий	Y	0,0003	Рений	Re	
Кадмий	Cd	0,00011	Осмий	Os	
Неон	Ne	0,0001	Иридий	Ir	
Кобальт	Co	0,0001	Платина	Pt	
Ксенон	Xe	0,0001	Астат	At	
Вольфрам	W	0,0001	Франций	Fr	
Германий	Ge	0,00006	Актиний	Ac	



Зависимость содержания солей, концентрации кислорода и температуры в двух точках Индийского океана

Газы в морской воде

Растворимость веществ происходит отчасти конкурентно. Если вследствие внешних условий определенное вещество в больших количествах растворяется в воде, другие, возможно, поглощаются в незначительных количествах. Это особенно наглядно проявляется при растворении газов в морской воде. Чем выше содержание солей, тем больше снижается насыщаемость газов (см. стр. 28). Таким образом, морская вода при 20 °C имеет

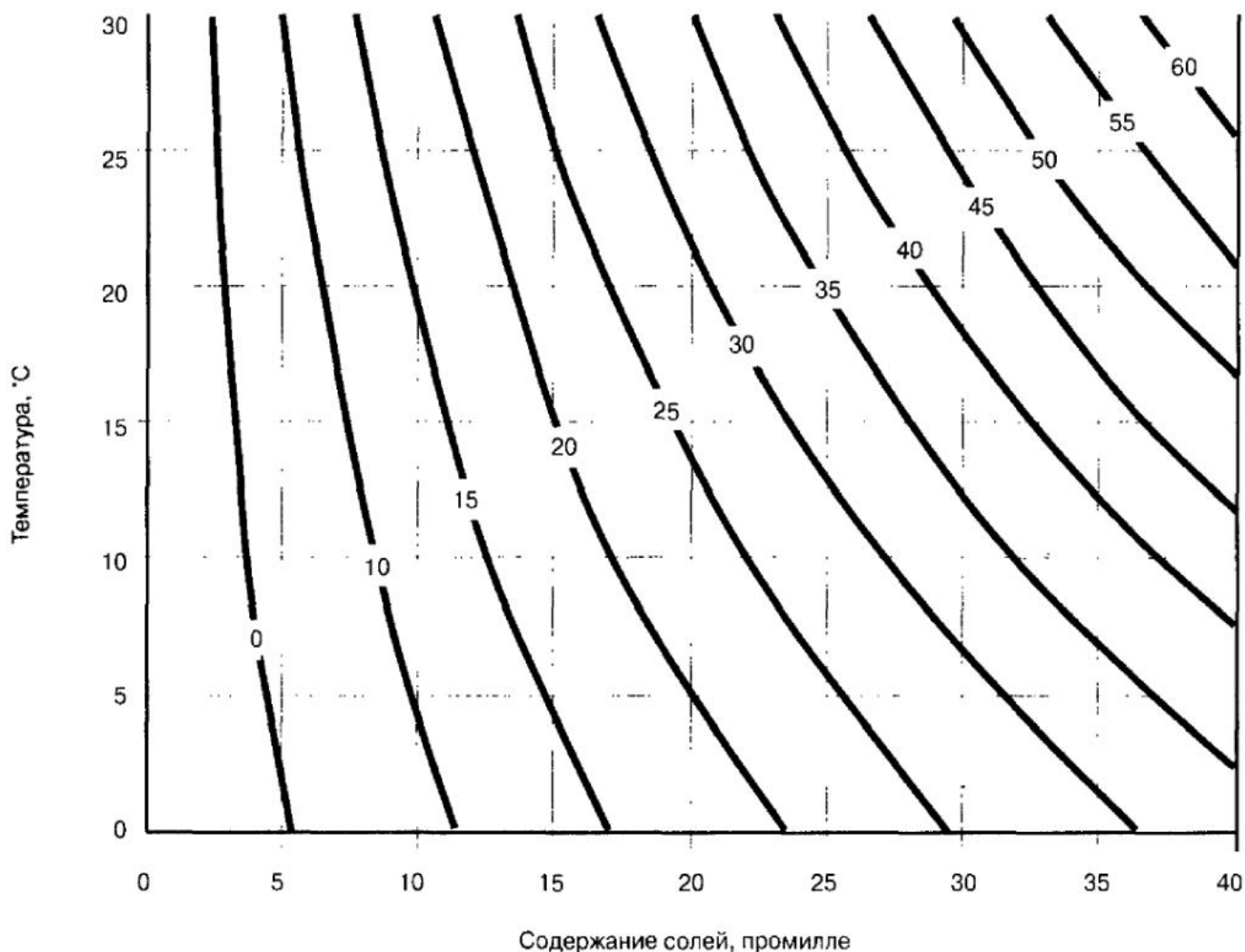
насыщаемость примерно 7,5 мг/л, в то время как пресная вода при равной температуре — примерно 9 мг/л.

Значение газов для биохимических процессов в морской воде, по существу, такое же, как и для пресной воды. В частности, действие CO₂ на карбонатную систему происходит под влиянием высоких значений pH морской воды. Об этом ниже будет рассказано подробнее. На обширных территориях на поверхности морей можно регистрировать почти полное насыщение кислородом и не только в холодных, но и в теплых морях. Так, например, содержание кислорода в Красном море при температуре от 25 °C до 30 °C составляет примерно 4,5 мл/л (примерно 6,4 мг/л) и, таким образом, находится в области насыщения. Причина этого может заключаться в активном движении поверхности из-за ветров и волнения. Это высокое содержание кислорода поддерживается в тропических областях на глубине примерно от 25 до 100 метров (рисунок слева наверху) и в субтропических областях опускается в еще более глубокие зоны (рисунок слева внизу). Очевидно, что водные зоны, из которых морские животные попадают в наши аквариумы, снабжены достаточным количеством кислорода. В этой связи в акватехнике важная цель — постоянное обеспечение животных кислородом в достаточном количестве, так как не только рыбы и беспозвоночные, но и вся биосфера сориентирована на аэробные условия.

Проводимость

Как мы видели ранее, вода вследствие своей полярности может разделять соли на составные части — ионы. Этот процесс называется диссоциацией (распадом). В то время как атомы поваренной соли (NaCl) в кристаллической форме химически связаны, в ионном виде поваренная соль выглядит иначе, как это уже показывает вид написания (Na⁺

Физические и химические основы



Удельная электрическая проводимость (мСм/см) в зависимости от содержания солей и температуры воды

и Cl^-). Знаки минус или плюс поясняют, что ионы не нейтральны, а характеризуются избытком или недостатком электронов. Они являются носителями заряда. В то время как самая чистая, двойной дистилляции вода практически не проводит электрический ток, в естественной воде находится определенное количество диссоциированных солей, которые действуют как носители заряда. Если в такую естественную воду поместить источник постоянного тока, то положительно заряженные частицы начнут двигаться к минусу, отрицательно заряженные частицы — к плюсу. Чем больше соли любого вида растворено

в воде, тем больше становится значение проводимости.

Так как химический анализ на содержание солей в воде относительно сложен и требует много времени, часто пользуются значением проводимости, которая непосредственно связана с концентрацией солей. Физической единицей, в которой выражается проводимость или электропроводность, является сименс. В аквариумистике мы приводим, как правило, удельную проводимость для воды в сименс/см. Измерение проводимости является теперь стандартным измерением, которое может проводиться при помощи специальных устройств с высокой точно-

Значения pH для пресной воды варьируют около нейтрального значения pH, у водопроводной и морской воды pH выше



стью. Таким образом, измерение этой величины подходит для всех естественных вод, от мягких пресных до вод с высокой концентрацией солей, например, в Мертвом море.

Значение pH

(водородный потенциал)

Описанному выше процессу диссоциации подвержены не только соли, но и молекулы воды. Вода распадается при этом на катион водорода (H^+) и анион гидроксила (OH^-).



Точные измерения показали, что в 10 000 000 литрах воды диссоциируют 18 г воды (что соответствует 1 молю).

Один моль это молекулярная масса соединения, выраженная в граммах (г).

Вода H_2O

Два атома водорода с атомной массой 1, один атом кислорода с атомной массой 16. Итак, один моль воды соответствует 18 г. В 18 г содержится 1 г H^+ -ионов и 17 г OH^- -ионов. Если пересчитать эти количества на литр воды, то получается 10^{-7} молей H^+ ионов и 10^{-7} молей OH^- -ионов ($10^{-7} = 0,0000001$). Так как работа со степенями затруднительна, пользуются только показателями степени с положительным знаком. Вода в упомянутом вы-

ше примере имеет значение pH, равное 7. Значение pH определено как обратная величина концентрации ионов водорода. Экспоненциальный способ описания, разумеется, предполагает, что между каждым целым значением pH — десятикратное увеличение. Вода со значением pH 6 содержит в 10 раз больше кислоты, чем в воде с значением pH 7. Вода с pH 5 содержит в 10 раз больше кислоты, чем при pH 6 и вместе с тем в 100 раз больше, чем при pH 7! Подобное происходит и для оснований при возрастающих значениях pH. Эти связи поясняют необходимость поддерживать постоянное значение pH для определенных видов животных. Более всего проблем создают внезапные скачки значений pH. Так как катион водорода не может существовать сам по себе, он присоединяется к следующей молекуле воды. Возникает так называемый ион гидроксония.

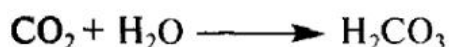


Животные пресных вод живут при значениях pH, которые находятся в пределах pH между 5 и 9. Таким образом, лосось адонис (Западная Африка) предпочитает значения pH между 5,8 и 6,5, в то время как малазийский разноцветный окунь любит pH 8–9. Другие рыбы, как, например, разноцветный мозолистый сом, воспринимают совсем широкие pH-области от pH 5,5 до 8,3. В морской воде эта ситуация выглядит

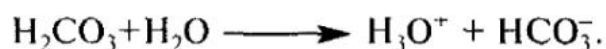
в основном иначе. Количество катионов в морской воде значительно больше, чем анионов. Поэтому морская вода имеет щелочную реакцию. Значения рН в морской воде лежат между рН 7 и рН 8,5, причем в качестве типичного нужно принимать значение рН 8,2, а следовательно, и оптимальным для аквариума.

Кислоты, основания и соли

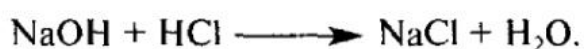
Название «кислород» возникло потому, что ранее предполагали, что кислород придает соединениям свойства кислот. Ошибка, разумеется, выявилась. Как мы уже видели, кислотные свойства определяются водородом, который имеют все кислоты. Ошибочный вывод появился из наблюдения, что кислоты образуются при растворении оксида неметалла в воде. Типичные представители оксидов неметаллов — двуокись серы (SO₂) и двуокись углерода (CO₂). Оба они являются продуктами сгорания, а SO₂ — причиной перенасыщения европейских озер кислотами. В то время как SO₂ рассматривается преимущественно как загрязнитель окружающей среды, CO₂ играет ключевую роль во многих биологических процессах. (см. «Двуокись углерода в карбонатной системе»). Эти соединения известны нам прежде всего как газы, а не как кислоты. Мы можем говорить о них как о кислотах, если их растворить в воде. Это часто приводит к недоразумениям, особенно для CO₂ (двуокиси углерода), так как этот газ обозначается как угольная кислота. Кислота, т. е. H₂CO₃, возникает, естественно, только тогда, когда газ реагирует с водой.



При растворении двуокиси углерода в воде возрастает ее проводимость (проводящая способность). Вследствие этого образуются ионы. Эту реакцию можно записать следующим уравнением:



В этом случае образуются ионы гидроксония и гидрокарбонат-ион. Угольная кислота утратила единицу заряда в виде иона водорода. Так как носителями положительного заряда являются протоны, очевидно, что гидрокарбонат является донором протонов. Протон — единица положительного заряда. В основном кислоты являются донорами протонов! Противоположность кислот — основания (щелочи), которые образуются при растворении оксидов металлов — продуктов реакции кислорода и металла в воде. Типичными представителями этой группы являются гидроксид калия (KOH) и гидроксид натрия (NaOH). Щелочи являются акцепторами протона: они принимают носителей положительного заряда. Если кислоты и щелочи находятся в растворах одновременно, они реагируют друг с другом, вследствие чего они полностью или частично нейтрализуются. В качестве продукта реакции при этом, разумеется, образуются соли, которые повышают проводимость воды. Таким образом, при реакции NaOH (гидроксид натрия) с HCl (соляная кислота), образуется поваренная соль (NaCl).



Описанное выше значение рН показывает нам только, какой участник реакции в конце концов присутствует в избытке. Значение рН не дает никакой информации об участниках и о продуктах реакции. Значение рН может рассматриваться в качестве результирующего показателя, который дает нам информацию. Знание значений рН, хотя и очень полезно, должно дополняться, однако, при необходимости другими измеряемыми показателями и наблюдениями. Самый важный параметр, влияющий на значения рН в нашем аквариуме, — двуокись углерода в пределах карбонатной системы. Эти проблемы освещаются далее.

Буферность

В связи с кислотами и основаниями часто возникает понятие буферного действия. Буферизация наблюдается, к примеру, тогда, когда в растворе слабой кислоты одновременно находится соль этой кислоты. Следствие этого – возникновение равновесия, которое уменьшает действие кислоты.

По сравнению с небуферной системой, которая содержит ту же кислоту, она не отличается высокими значениями рН. Нечто подобное, только наоборот, существует для оснований. Самый важный буфер в аквариуме образуют соли угольной кислоты. В главе о круговороте углерода об этом будет рассказано подробнее.

Жесткость воды

Общая жесткость (GH). Жесткость воды возникает из-за растворенных ионов щелочноземельных металлов, которыми называются элементы второй главной группы периодической системы. К ним принадлежат бериллий, магний, кальций, стронций и барий. В пределах этой группы в основном кальций (Ca) и магний (Mg) создают жесткость воды. Итоговая сумма всех растворенных ионов щелочноземельных ионов образует общую жесткость. Кальций для большей части животных – очень важный элемент. Дополнительные сведения о роли кальция и магния вы найдете в главе о биологических основах.

Карбонатная жесткость (KH). Карбонатная жесткость обусловлена солями кальция или магния с угольной кислотой, растворенными в воде. Эти, вызывающие жесткость соединения, образуются, если вода, насыщенная H_2CO_3 , протекает через известняк. По этой причине водоемы, которые питаются преимущественно поверхностными водами, как правило, отличаются относительно мягкой водой, в то время как водоемы, которые питаются из глубоких источников, отличаются

скорее жесткой водой. Как часть общей жесткости, карбонатная жесткость, как правило, меньше общей жесткости. Наряду с карбонатами щелочноземельных металлов имеются, конечно, другие карбонатные соединения, например, с натрием, такие, как гидрокарбонат натрия ($NaHCO_3$), карбонат натрия (Na_2CO_3) или также карбонат калия (K_2CO_3) и другие. Эти соли регистрируются при измерении карбонатной жесткости, но не входят в общую жесткость, которая рассматривает только ионы щелочноземельных металлов. Если подобные соединения находятся в воде в значительном количестве, это может служить причиной парадоксального случая – карбонатная жесткость больше, чем общая жесткость. Избыточная часть жесткости называется в этом случае мнимой жесткостью. Если это произойдет, GH образуется суммой KH и NKH (некарбонатная жесткость). Типичный представитель такого случая жесткости – воды озера Танганьика. Карбонатная жесткость устраняется кипячением воды, поэтому ее называют также временной жесткостью. Карбонатная жесткость влияет на значение рН. Жесткость воды измеряется в разных странах различными единицами. Следующая таблица дает обзор таких единиц измерения и поможет нам в пересчете. Например, $1^\circ d$ (немецкий стандарт жесткости), соответствует $1,78^\circ f$ (французский стандарт жесткости).

Некарбонатная жесткость (NKH). Некарбонатная жесткость обусловлена также ионами щелочноземельных металлов. Они связываются не только с карбонатами, но и с другими анионами: сульфатами, хлоридами, нитратами, силикатами, фосфатами. Типичный представитель – сульфат кальция. NKH не удаляется кипячением и поэтому называется остаточной или постоянной жесткостью. Из вышеизложенного следует, что определение жесткости воды выбрано не очень удачно. Оно точно не отражает состав воды, хотя и относится чаще всего к измеряе-

Таблица пересчета единиц измерения жесткости воды

	Единица измерения	Ионы щелочно-земельных металлов	Немецкий стандарт жесткости	CaCO ₃	Английский стандарт жесткости	Французский стандарт жесткости
		ммоль/л	°d	ppm = °US	°e	°f
Ионы щелочноземельных металлов	ммоль/л	1,00	5,600	100,00	7,0200	10,00
Немецкий стандарт жесткости	°d	0,18	1	17,80	1,2500	1,78
CaCO ₃	ppm = °US	0,01	0,056	1,00	0,0702	0,10
Английский стандарт жесткости	°e	0,14	0,798	14,30	1,0000	1,43
Французский стандарт жесткости	°f	0,10	0,560	10,00	0,7020	1,00

Классификация жесткости воды

Общая жесткость	°d	Градации жесткости
0–1	0–5,6	очень мягкая
1–2	5,6–11,2	мягкая
2–3	11,2–16,8	средняя
3–4	16,8–22,4	жесткая
>4	>22,4	очень жесткая

мым ее параметрам. Это приводит также и к тому, что в различных странах имеются различные шкалы оценки жесткости воды. В Германии существует следующее определение общей жесткости:

1 градус «немецкой жесткости»
 = 1°d = 1°dH = 10 мг CaO/л;
 относительно содержания кальция
 1°d = 7,15 мг Ca²⁺/л = 0,18 ммоль/литр

Жесткость часто используется для классификации качества вод. Жесткость воды от 3–7 dGH (pH 6–6,5) может рассматриваться как хорошая для большей части пресноводных рыб. Из этого имеется, естественно, ряд исключений, например: рыба дискус нуждается в очень мягкой воде 1–3°dGH (pH 6–6,5), тогда как танганьикский клоун предпочитает жесткость

воды примерно 15–20°dGH (pH около 9!). Итак, мы видим, что природа посредством селекции устанавливает живым существам различные значения pH. Однако в этом нуждаются многие животные. Задачей аквариумной техники является создавать оптимальное качество воды для рыб и поддерживать его по возможности постоянно

Двуокись углерода

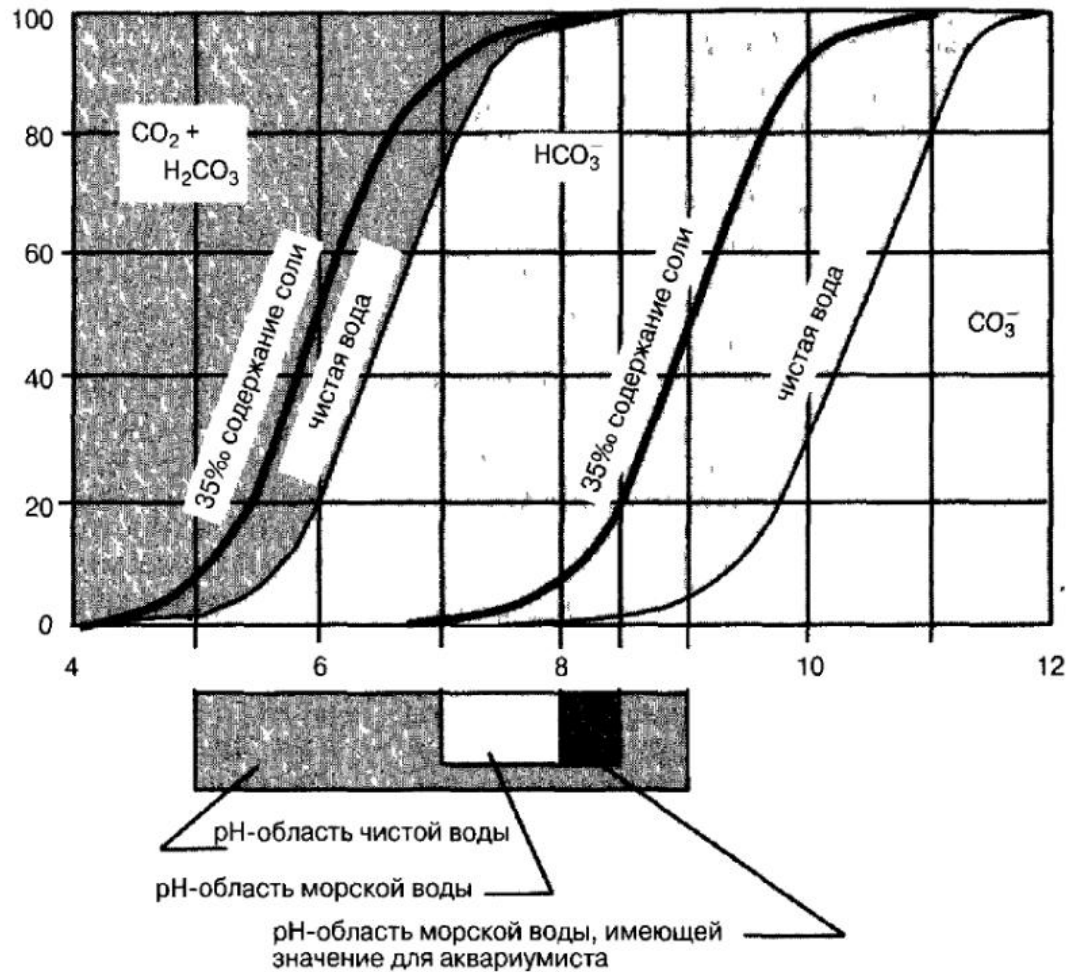
Двуокись углерода в карбонатной системе

Не вызывает сомнений, что CO₂ существует в каждой природной воде в большей или меньшей концентрации. Двуокись углерода обладает очень хорошей растворимостью, которая ограничивается обменом с атмосферой. Растворенный CO₂ переходит в угольную кислоту (H₂CO₃) в незначительном количестве (примерно 0,1–0,2%).

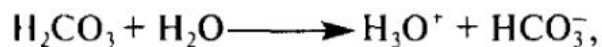


Даже если этот процесс выражен слабо, образование кислоты неизбежно приводит к снижению pH. Воды, обогащенные угольной кислотой, могут достигать зна-

Соотношение углекислого газа и анионов угольной кислоты в воде в зависимости от pH (кривые для морской и пресной воды)



чений pH около 5, а иногда бывают и ниже. При растворении двуокиси углерода в воде возрастает проводимость. Это происходит из-за образования ионов:



появляются ион гидроксония и гидрокарбонат-ион. Гидрокарбонат-ион вступает в соединения с щелочноземельными металлами, из которых самым важным является Ca(HCO₃)₂ (соль угольной кислоты и существует в воде полностью диссоциированным, т. е. в виде катионов и анионов.

Гидрокарбонат кальция хорошо растворяется в воде. Именно это соединение образует временную жесткость. Гидрокарбонат содержит химически связанный CO₂, который называется в соответствии с этим «связанной угольной кислотой». Количество гидрокарбоната кальция

в водном растворе не изменяется, если имеется дополнительный CO₂, или равновесный CO₂, свободная уголекислота. Если такое же количество свободного CO₂, как и Ca(HCO₃)₂ имеется в наличии, то вода находится в так называемом равновесии кальций — угольная кислота. Часто встречается вода, в которой растворено больше свободного CO₂, чем это необходимо для поддержания равновесия «кальций—угольная кислота». Раствор в этом случае называется «свободной перенасыщенной кислотой». Эта угольная кислота химически активна, но для реакции необходимы соответствующие соединения. Таким образом, к примеру, растворяется известняк (CaCO₃), в результате чего снова повышается содержание гидрокарбоната кальция, и вода стремится к равновесию кальций—угольная кислота. Свободная избыточная угольная кис-

лота растворяет пассивные слои в трубопроводах из металлов, разрушает также трубопроводы из меди и свинца, вследствие чего, с одной стороны, повреждаются водные коммуникации, с другой стороны, вода может обогащаться токсичными соединениями металлов. Если в воде недостаточно высокая концентрация свободной углекислоты, в осадок выпадает карбонат кальция (CaCO_3). Нам он известен как известняк, который практически нерастворим в воде.

Преобразования между гидрокарбонатом и карбонатом кальция выражаются следующим уравнением:



Оно отчетливо показывает, что переход от одного вида связи в другой всегда сопровождается также изменениями pH. Если при недостатке CO_2 выпадает известняк, то должно повышаться значение pH. И наоборот, при избытке CO_2 значение pH снижается. Различные виды связей CO_2 , с которыми мы здесь познакомились, таковы:

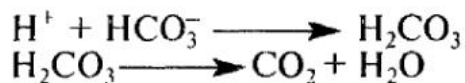
двуокись углерода = CO_2 ;
 угольная кислота = H_2CO_3 ;
 гидрокарбонат = HCO_3^- , чаще в виде $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и называется также бикарбонатом;
 карбонат = CO_3^{2-} , чаще всего в виде CaCO_3

Эти формы частично могут существовать совместно в воде. От значения pH зависит, какая из них преобладает. В мягкой кислой воде с pH 6 примерно 80% двуокиси углерода будет присутствовать в виде CO_2 или в виде угольной кислоты и только примерно 20% в виде гидрокарбоната. При pH 7 соотношение становится другим — преобладает HCO_3^- . При pH 8–9 HCO_3^- составляет свыше 90%, а H_2CO_3 и карбонаты, например CaCO_3 незначительно. В морской воде наблюдаются совсем другие закономерности. Гра-

ница между углекислотой и гидрокарбонатом только немного смещена влево, но значительно более сильное изменение отмечается между гидрокарбонатом и карбонатом. Это приводит к тому, что в оптимальной для аквариумов с морской водой pH-области (pH 8–8,5) практически не существует свободной угольной кислоты, но присутствует большое количество карбонатов. Это для морских живых существ особенно важно. Кальциефильные организмы, прежде всего коралловые, находят в море оптимальные условия (достаточное количество извести). В частности, приповерхностная вода, которая смешивается с атмосферой, пересыщена карбонатом кальция, причем тем больше, чем больше температура воды. Чем холоднее вода, тем больше она может поглощать CO_2 . Поэтому диатомные организмы холодных морей образуют оболочки тела из кремниевой кислоты. Растворимость CO_2 возрастает также с увеличением глубины. Вследствие этого в воде уменьшается количество карбонатов, поэтому столь популярные для аквариумов коралловые рифы расположены только в теплых поверхностных водах тропиков.

Буферное действие карбонатной системы

В карбонатной системе наряду с углекислотой находятся также ее соли: гидрокарбонаты и карбонаты, а слабые кислоты и их соли образуют буферную систему. Это означает, что при умеренном добавлении кислоты или щелочи значение pH почти не меняется. Если в карбонатную систему вводится незначительное количество кислоты, H^+ -ионы кислоты связываются гидрокарбонатом. Возникает угольная кислота, которая частично снова распадается на двуокись углерода (CO_2) и воду (H_2O).



И также нейтрализуется действие щелочи OH^- -ионы взаимодействуют с CO_2 , и возникает гидрокарбонат.



Буферное действие этой системы наиболее выражено при pH 7; при pH 5 проявляется действие кислоты; при высоком значении pH также буферное действие не проявляется. Естественно, жесткая вода с высоким содержанием карбонатов имеет значительно большую буферную емкость, чем мягкая болотная вода.

Значение двуокиси углерода в жизни растений

Всем зеленым растениям, в том числе и водным, для жизни необходим углерод, который они получают из двуокиси углерода (CO_2) или из углекислоты (H_2CO_3). Растения, используя световую энергию, а также кислород, углерод, водород, осуществляют фотосинтез. По способу поглощения CO_2 различают три типа водных растений. Например, зеленые водоросли *Clorella*, *Cabomba* и многие другие, используют только растворенный в воде CO_2 . Растения другого типа используют как растворенный CO_2 , так и HCO_3^- . В этом случае при pH 7–8 в воде образуется известь, которая откладывается на листьях и нарушает в растениях обмен веществ и снижается их рост, чего можно избежать добавлением CO_2 . К ним относится зеленая водоросль *Cladophora glomerata*, чума воды *Elodea densa*, валиснерия *Vallisneria spiralis* и другие. Такие зеленые водоросли, как *Scenedesmus*, принадлежат к исключениям, поглощающим CO_2 почти только из гидрокарбоната (HCO_3^-).

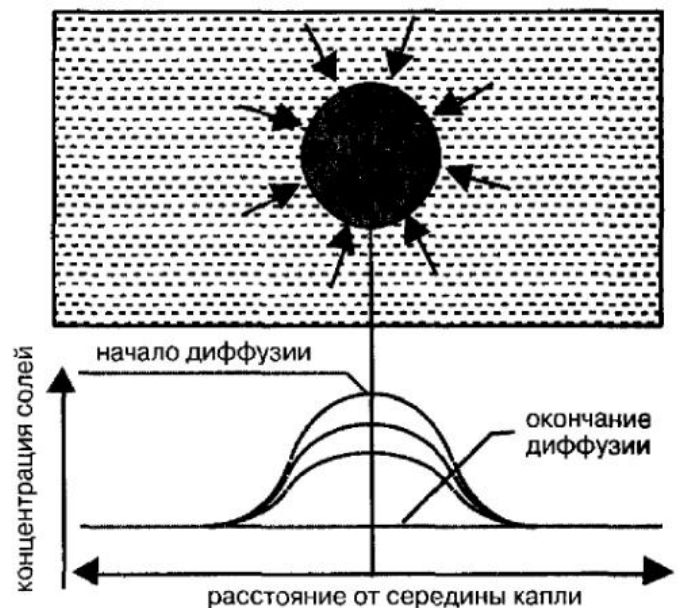
Избыточное содержание CO_2 в воде затрудняет у рыб поглощение кислорода. Концентрация CO_2 , которая может быть опасна для рыб, едва ли встречается в природе.

Диффузия и осмос

Диффузия

Капля воды, которая на своем пути сквозь почву «поглощает» наряду с молекулами поваренной соли и другие соединения, в конце своей миграции попадает в открытые водоемы, озера или ручьи, воды которых состоят не только из прошедшей через почву, но и из воды поверхностного стока.

Легко представить, что вода, которая прошла сквозь почву, отличается более высоким содержанием солей по сравнению с водой водоема. Если водоем — ручей, то, благодаря динамичным процессам обмена в потоке, очень быстро будет происходить перемешивание. Но даже тогда, когда наша капля попадет в спокойное озеро, природа позаботится о быстром выравнивании принесенных «сокровищ» с окружающей средой. Явление, которое приводит в действие этот процесс обмена, называют диффузией. Если капля воды падает на гору, она про-



Капля соленой воды в менее засоленной водной среде

сто стекает в долину. В природе все процессы сориентированы на то, чтобы достигать по возможности низкого уровня энергии. Если концентрацию соли в нашей упомянутой капле воды сравнить с концентрацией соли в чистой воде озера, то можно увидеть аналогию ситуации «гора — долина».

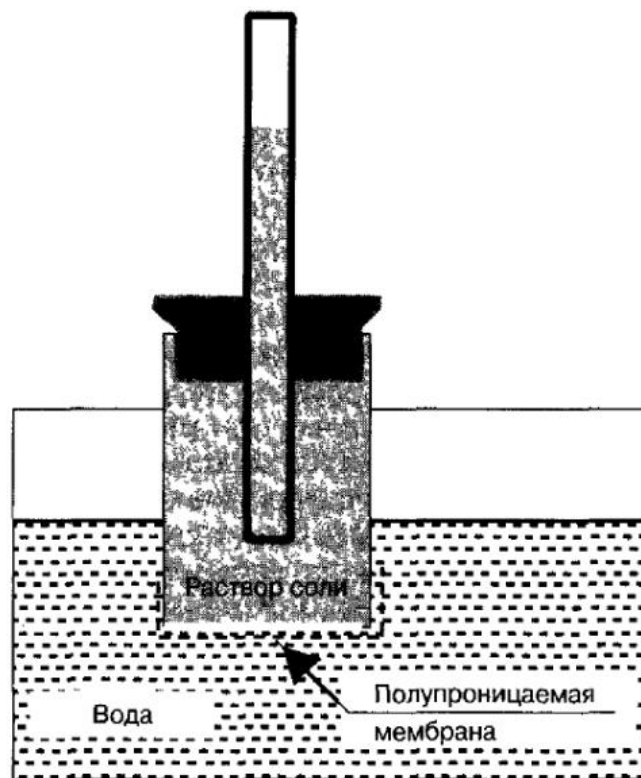
На рисунке на стр. 39 показана капля соленой воды в водной среде с меньшей концентрацией солей. В то время как в центре капли еще сохраняется высокая концентрация, с краев она уже снизилась. Молекулы соли переместились в окружающую массу воды. Логично предположить, что обмен происходит тем быстрее, чем выше концентрация. Температура также влияет на диффузию. Чем выше температура, тем быстрее происходит движение молекул (броуновское движение), и выравнивание концентрации. Процессы диффузии происходят не только в воде в зонах различной концентрации, но также между газами и жидкостями, например, между водой и атмосферой. Не все вещества диффундируют одинаково быстро и интенсивно. Двуокись углерода поглощается водой гораздо быстрее и в больших количествах, чем кислород или азот. Моря являются огромными хранилищами для CO_2 , который образуется в двигателях внутреннего сгорания. Таким образом, диффузия, которую никто из нас не ощущает, играет важную экологическую роль. С точки зрения аквариумистики двуокись углерода необходима прежде всего для роста растений в пресноводных аквариумах.

Осмоз

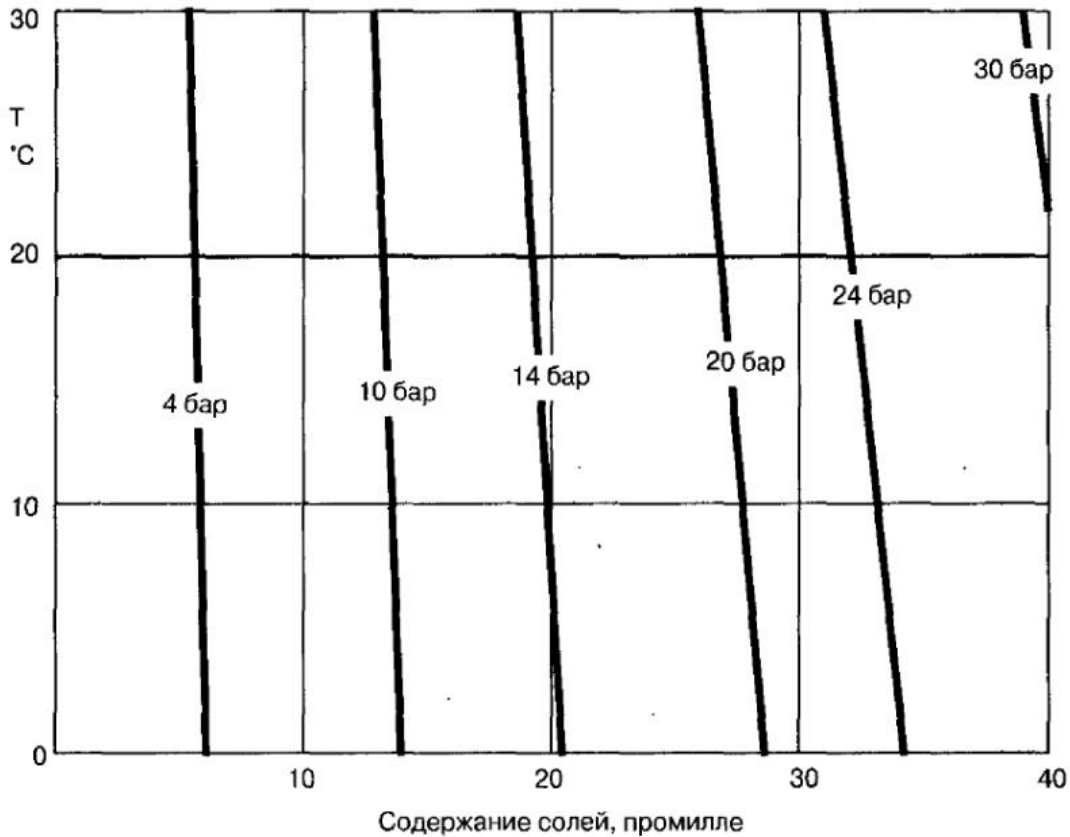
С диффузией тесно связан осмос, при котором процессы диффузии осуществляются через полупроницаемую мембрану. Подобные мембраны проницаемы для молекул воды, но непроницаемы для молекул растворенных веществ.

В эксперименте можно хорошо смоделировать происходящие при этом процессы. Резервуар, который внизу закрыт мембраной, а в верхнюю часть вставлены открытые трубки (см. рисунок на стр. 40), наполняется соевым раствором, погружается в питьевую воду. Такая система в резервуаре и окружающей воде стремится выровнять концентрации солей.

Мембрана препятствует обмену солей с водой внутри резервуара, однако миграция молекул воды через мембрану тем не менее происходит. В принципе в солевой раствор через мембрану диффундировало бы столько молекул воды, сколько необходимо для выравнивания концентраций соли в растворе и окру-



Раствор соли в резервуаре соединяется через полупроницаемую мембрану с окружающей ее водой. Вода поступает внутрь мембраны и поднимается в трубке, т. к. система стремится к выравниванию концентраций



Осмотическое давление увеличивается с повышением концентрации соли в воде

жающей воде. Но это невозможно, так как вода, поступающая в сосуд, поднимает уровень в трубах, и вследствие этого давление воды в резервуаре повышается. Диффузия ограничивается повышающимся давлением воды в резервуаре и приходит к состоянию равновесия, в котором давление диффузии сравнивается с напором воды в резервуаре, хотя еще и не достигнуто выравнивание концентраций.

Давление в этом случае называется «осмотическим давлением». Для всех водных живых существ оно играет жизненно важную роль, так как кожа водных живых существ представляет собой мембрану. Теперь мы можем представить, что происходит, если рыба из области с нормальной концентрацией соли попадает с область с более низкой ее концентрацией. На основе осмотических явлений тело рыбы пытается

устранить разницу в концентрациях. В самом лучшем случае животное испытывает недомогание, в худшем — оно умирает.

Регуляция осмоса

Из организма животных должны удаляться продукты обмена веществ. При постоянном накапливании они становятся ядовитыми для животных. Так, при расщеплении белка образуется ядовитый аммиак, который выделяется через органы экскреции вместе с другими подобными веществами.

У рыб так же регулируется осмотическое давление. Различные вещества могут выделяться и через жабры. Растворенные вещества в крови пресноводных животных содержатся в более высоких концентрациях, чем вода, в которой они живут.

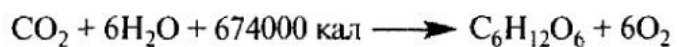
Благодаря осмосу вода постоянно проникает в их организмы, чтобы противодействовать повышению вследствие этого давления, вода постоянно выделяется через органы экскреции. Пресноводные рыбы могут при снижении концентрации солей увеличивать их с помощью жабр. Рыбы, обитающие в морской воде, отличаются от пресноводных рыб меньшей, чем в окружающей воде, концентрацией растворенных веществ в теле. Поэтому их также называют гипоосмотическими, так как благодаря осмосу они непрерывно теряют воду через жабры. Чтобы выравнять эту потерю воды, морские животные должны пить соленую воду, которая, однако, всегда создает в организме слишком высокие концентрации солей. Лишняя соль активно выделяется через жабры. Акулы, напротив, не должны пить морскую воду, так как осмотическое давление жидкости тела из-за растворенной в ней мочевины превосходит осмотическое давление морской воды. Многие морские беспозвоночные не имеют такого, как у рыб, органа обмена. Они устроены так, что содержание солей в жидкости тела точно соответствует содержанию в воде, в которой они живут. Поэтому беспозвоночные особенно чувствительно реагируют на колебания в содержании солей и могут умереть при внезапном его изменении. При перемещении животных особенно важно соблюдать одинаковую концентрацию солей в воде и очень медленную щадящую замену воды. Наглядно это демонстрирует рисунок на странице 41; осмотическое давление может достигать 30 бар (1 бар соответствует 10 метрам воды!). На этих примерах можно увидеть, что живые существа вследствие различных функций водо- и солеобмена тесно связаны в своем жизненном пространстве. Большая часть морских животных может существовать в пресной воде также недолго, как и пресноводные животные в морской воде. Исключение составляют, например, угри и лососи, которые

для размножения заплывают из моря в пресную воду или наоборот. Другое исключение представляют собой крабы, которые могут также регулировать осмотическое давление в комфортно обитать солоноватой воде. Итак, точное управление содержанием солей в нашем аквариуме является для всех водных живых существ основным фактором, которым, к сожалению, часто пренебрегают. Но даже с помощью современных приборов прямое измерение осмотического давления невозможно. Тем не менее осмотическое давление зависит прежде всего от содержания солей в воде, а это показатель можно измерять с достаточной точностью такими приборами, как ареометр, или приборами для измерения проводимости, так что за возможными изменениями можно своевременно проследить.

Органические вещества

До сих пор обсуждались некоторые неорганические соединения углерода, в частности, в связи с карбонатными циклами. Конечно, эти соединения структурно являются относительно простыми. С помощью фотосинтеза углеводы, например глюкозу, получают из двуокиси углерода по приведенной ниже реакции.

Фотосинтез



Для этого процесса, конечно, необходима очень большая энергия — 674000 кал, которая в природе предоставляется Солнцем.

Приведенное уравнение поясняет, какое значение имеет освещение в нашем аквариуме. Поэтому для растений свет является практически пищевым продуктом. Углерод также является одним из самых важных строительных материалов для жизни всех растений и животных.

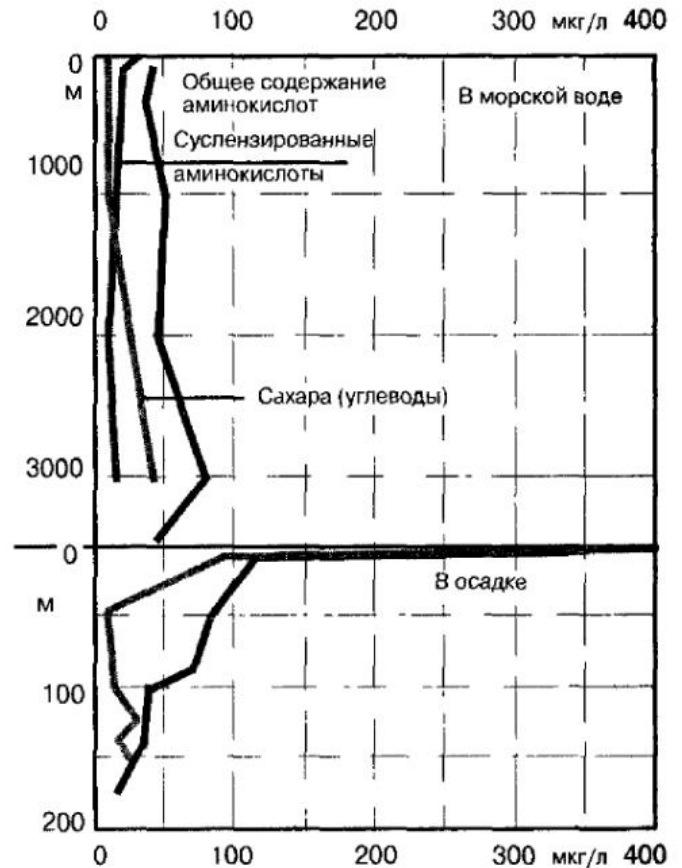
Земные организмы не смогли бы жить без очень сложных соединений. Поэтому их называют органическими соединениями. В природе органические вещества имеются как в пресной, так и в морской воде. Их можно подразделить на три большие группы:

- растворимый органический углерод;
- органический углерод;
- органический углерод живых организмов.

Для количественной оценки этих форм можно принять приблизительное эмпирическое соотношение: 100 : 10 : 1. Источником различных форм органического углерода являются сами живые существа. Они поставляют органические вещества в виде экскрементов, остатков пищи, продуктов обмена веществ, выделяющихся через жабры и в виде их собственных мертвых тел. В морских водах углерод содержится в концентрации от 0 до 1,4 мг/л, это различные по составу соединения, такие, как белки, пептиды, аминокислоты, фенолы, крезолы, креатины, креатинины и органические кислоты, такие, как гликолевая, уксусная, муравьиная, молочная; витамины, такие как В₁ (тиамин), В₁₂ (кобаламин) и Н (ауксин).

В пресной воде особенно важную роль играют гуминовые кислоты, которые состоят из очень сложных молекул с длинной цепью. Они часто действуют как хелаты, содержат железо (Fe), марганец (Mn), медь (Cu), цинк (Zn) в комплексных соединениях. Гуминовые кислоты характерны для болот и вод черноземных районов.

Они образуются при процессах распада мертвых растений и придают воде типичную окраску от желтой до коричневой. Они практически не применимы в биологических фильтрах. Несмотря на то что эти соединения являются продуктами разложения, их нельзя считать вредными. Для жителей тропических черных вод гуминовые кислоты и ду-



Распределение органических веществ в осадке в зависимости от глубины воды

бильные вещества играют важную роль в их окружающей среде. Омертвевшие органические субстанции в природе образуют большую часть взвесей и осадков, которые часто и многократно принимают участие в биологическом пищевом круговороте до тех пор, пока они, наконец, не осядут на грунт. Следовательно, они обогащают землю органическими соединениями, как это поясняет верхний рисунок. Осаждаемые вещества удаляются из важнейшего жизненного пространства и накапливаются в виде осадков на дне моря или большого озера.

В аквариуме все совсем иначе, так как грунт на дне из-за небольшого по сравнению с природой количества водных животных играет очень значительную роль. Отношение активного объема грунта к объему воды в природе очень незначительно, в то время как в аква-

риуме это отношение может быть 1 : 10 (5 см грунта на 50 см воды). Осажденные вещества легко перерабатываются водными животными в грунте, что сопровождается потреблением кислорода и может привести к анаэробным условиям. Эта проблемная ситуация усугубляется тем, что животные в аквариумах по сравнению с природой сильно перекармливаются. Они вообще могут поглощать только незначительную часть корма и недостаточно переваривают его. Поглощение корма усиливается из-за прожорливости животных и конкуренции за корм по отношению друг к другу. Быстро поглощающие пищу животные перекармливаются, и это приводит к более интенсивному поступлению органических веществ в воду аквариума по сравнению с природными водоемами.

Окисление и восстановление

Окисление

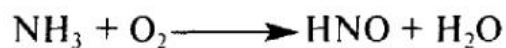
Когда мы зажигаем свечу или заводим автомобиль, мы используем процессы горения. Горение всегда представляет собой соединение какого-либо вещества с кислородом.

Углерод (в бензине или древесине) горит по уравнению:



Окислением, от латинского названия кислорода (*oxygenium*), называют процесс, при котором кислород образует соединения. Основу связи с кислородом представляют реакции присоединения электронов: в химии ее называют в настоящее время «передачей электрона». Реакции с участием кислорода протекают, конечно, не только как очевидные реакции горения. Как мы видели в главе «Вода как растворитель», многие природные поверхностные воды, особенно вблизи водного зеркала, содержат много кислорода, и этот кислород служит не

только для дыхания всех водных животных, но и принимает участие в определенных химических процессах. Представьте себе, например, такое токсичное для всех животных вещество, как аммиак (NH_3). Это вещество изменяется под действием кислорода:



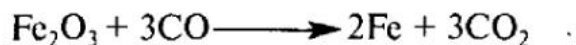
По этой реакции азот образует соединение с кислородом. При этом кислород вытесняет из аммиака водород (H). Процесс соединения с кислородом называется окислением. Во всех процессах окисления важнейшую роль играют электроны. В вышеописанных реакциях атом кислорода забирает два электрона у атома азота, в то время как атом азота отдает четыре электрона. Это только пример того, что принципиально определяет процессы окисления как процесс отдачи электронов.

Кислород — важнейший окислитель в природе. Существуют более сильные окислители, но они не играют в природе большую роль. Технические окислители представлены фтором, хлором, перекисью водорода (H_2O_2). В аквариумной технике из окислителей применяются только озон и перекись водорода, т. к. при разложении ила они не образуют никаких биологически опасных веществ.

Восстановление

Вместе с окислением протекает также противоположный процесс. Мы знаем о нем из техники получения металлов, которые в природе, как правило, встречаются в виде оксидов.

При получении чистых металлов необходимо вытеснить кислород из оксида металла. Однако это можно осуществить при помощи веществ, которые с кислородом реагируют активнее, чем с металлом:



В этом случае углерод взаимодействует с кислородом оксида железа, и оно восстанавливается. Итак, процесс отдачи

Различные области окислительно-восстановительного потенциала

100–0 мВ	Восстановительная среда, анаэробнозис	Непригодная область для рыб, беспозвоночных аэробных бактерий; оптимальна для анаэробных бактерий
0–150 мВ	Слабоокислительная среда	Плохо аэрируемая вода, постоянная угроза для жизни обитателей аквариума
150–250 мВ	Окислительная среда, аэробнозис	Хорошо аэрируемая вода, нормальные условия для жизни в аквариуме
250–350 мВ	Сильно окислительная среда	Очень хорошее снабжение кислородом, незначительное протекание или вообще полное отсутствие процессов восстановления
350–450 мВ	Завышенный ОВП (окислительно-восстановительный потенциал)	Экстремально аэрируемая вода в присутствии органической субстанции, достигается интенсивным озонированием
450–600 мВ	Экстремально высокий ОВП	Достигается только посредством добавки сильного окислительного средства, для жизни в аквариуме пригодна далеко не всегда. Окисление кожного покрова обитателей аквариума, производит сильное обеззараживающее воздействие.

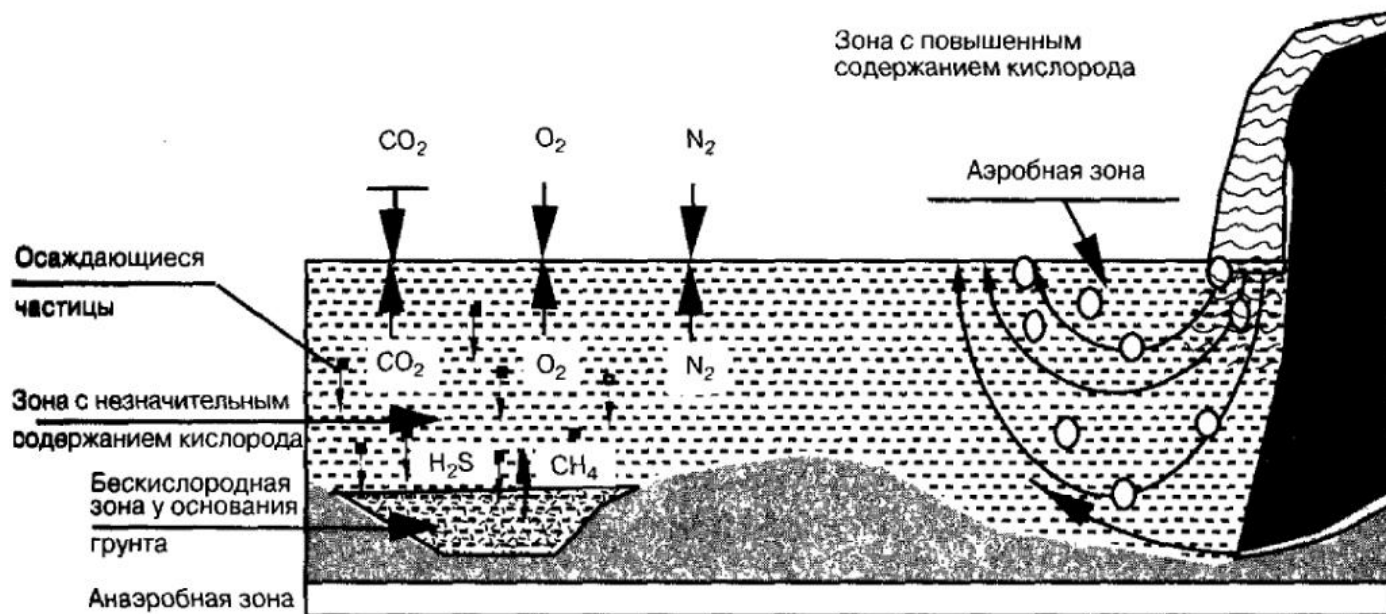
кислорода, противоположный окислению, называют восстановлением. Если вещество восстанавливается, то при этом принимает электроны. В качестве восстановителей, присутствующих в воде, конечно, прежде всего надо назвать органические вещества, которые образуются как продукты распада, как остатки корма, кала и мертвых растений. Они, как правило, содержат много белка и приводят к очень большому потреблению кислорода. При неблагоприятных условиях эти вещества могут образовывать бескислородные зоны, особенно в малопроточных областях грунта. В первом примере атом азота отдал электроны, он окислился. Атом кислорода забрал электроны, следовательно, он восстановился. Во втором примере железо восстановилось с помощью монооксида углерода, но монооксид углерода сам вступил в соединение с кислородом, следовательно, он окислился. На этих примерах становится ясно, что процессы окисления всегда идут с процессами вос-

становления и всегда сопровождаются переходом электронов. Эти связи очень напоминают механизм изменения значений рН. Когда протоны при реакциях с изменением рН забирают или отдают электроны, подразумеваются электроны в процессах восстановления.

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП)

Так как окислительно-восстановительные реакции зависят друг от друга, они имеют собственные названия. Их называют окислительно-восстановительными. В природных водах, как правило, находятся окисляющие вещества, большей частью кислород и восстанавливающие вещества, а именно органические соединения в корме или экскрементах.

Если представить отношение окисляющих веществ к восстанавливающим, то у водной поверхности преобладали бы окислители, а у грунта — восстановители. Подобное отношение, естественно,



В воде содержится разное количество кислорода

можно измерить приборами. Но, как мы видели выше, окисление и восстановление протекает посредством перехода электронов. Там, где двигаются электроны, возникает электрическое напряжение, которое через определенный чувствительный датчик (окислительно-восстановительный электрод) подается на измерительный прибор и дает показания. Многие природные воды характеризуются окислительно-восстановительным потенциалом 200 мВ, при экстремальной иррадии — до 300 мВ. Таблица на странице 45 показывает спектр различных окислительно-восстановительных потенциалов в связи с условиями жизни в аквариуме. Технические и химические вспомогательные средства позволяют им сегодня целенаправленно регулировать окислительно-восстановительный потенциал. Это имеет смысл, если нужно моделировать естественные процессы, которые не протекают в аквариуме или представлены незначительно. Избыточное повышение окислительно-восстановительного потенциала создает чистоту в аквариуме, но не всегда пригодно нашим животным. Об основных принци-

пах техники, измерениях окислительно-восстановительного потенциала будет в деталях изложено в главе об измерительной технике.

Зоны различной концентрации кислорода

В каждой второй системе присутствуют зоны с особенно высокими или особенно низкими концентрациями кислорода. Области с высоким содержанием кислорода встречаются в природе в виде хорошо проточных водоемов, например: быстрый поток или водопад, а также обычные водоемы с небольшим количеством органических веществ, особенно вблизи водного зеркала. Эти воды содержат достаточно большое количество кислорода, который позволяет химическим и биологическим процессам протекать в обогащенной кислородной среде (см. таблицу на стр. 25). Такое состояние называют аэробным. Водоемы в аэробном состоянии имеют восстановительный потенциал от 200 до 300 мВ. Аэробная среда создает предпосылки для хорошего состояния водоема.

В глубоких спокойных зонах воды могут легко возникать области, в которых еще достаточно кислорода из-за незначительной циркуляции и, соответственно, незначительной потери кислорода, но они чувствительны к резкому увеличению содержания органических веществ. Они находятся в состоянии «потери равновесия». Вблизи грунта и прежде всего в грунте возникают часто две проблемные ситуации (см. рисунок на стр. 46 вверху).

1. Вода часто находится в зонах спокойного течения или совсем при его отсутствии, вследствие этого в водоеме присутствует мало воды, насыщенной кислородом. Приповерхностная газовая диффузия практически не изменяет ситуацию.
2. Из-за седиментации на грунте увеличивается содержание органических веществ, таких, как остатки пищи, экскременты, мертвые животные, омертвевшие части растений, и это приводит в этой зоне к недостатку кислорода и интенсивному его потреблению. Содержание кислорода снижается до концентрации, не обеспечивающей рыб и беспозвоночных животных. Возникает область с низким или даже отрицательным значением окислительно-восстановительного потенциала, т. е. область с восстановительной средой. Такую воду называют анаэробной.

Зоны, которые описаны здесь для природной воды, появляются также в аквариуме, с той лишь разницей, что они нераздельны и тесно связаны с другими зонами, и часто даже одна переходит в другую. Большая часть аквариумов оборудована необходимой техникой для аэрации, из аэрационного аппарата поступает самая насыщенная кислородом вода, которая создает аэробные условия. Вода в самом аквариуме характеризуется уже несколько меньшим содержанием кислорода. В аквариуме следует избегать анаэробных условий, так как это может привести к образованию токсичного се-

роводорода. Анаэробные условия могут возникать в аквариуме в двух местах. На грунте этому способствуют два неблагоприятных фактора. С одной стороны, грунт представляет собой место сбора всех осажденных веществ, большей частью представленных остатками корма, экскрементами или даже умершими животными, т. е. органическим веществом, которое содержится в избытке. Одновременно дно грунта часто плохо промывается или совсем не промывается, т. е. грунт недостаточно снабжается кислородом, поэтому и создаются оптимальные условия для восстановительной среды. К другому фактору, к сожалению, относится проблема очистных устройств аквариума: присутствие механических фильтров. Для них существует такая же проблема, как и для грунта. Органические вещества накапливаются в фильтре, а обеспечение его кислородом, по крайней мере в некоторых зонах, минимально. Здесь также существует опасность возникновения восстановительной среды.

Биологическая потребность в кислороде (БПК)

Даже если вода не заселена рыбами и животными, в ней все равно потребляется кислород. Потребность в кислороде в данном случае объясняется наличием различных процессов. Так, неорганические вещества окисляются кислородом, например железо. Это окисление может происходить относительно просто и непосредственно до тех пор, пока все железо не будет связано. Окисление белковых соединений из-за своих, часто очень длинных молекул, приводит к значительному потреблению кислорода. Итак, для окисления органических соединений, необходимо существенно больше кислорода, хотя многие вещества вообще не окисляются.

В этом случае помогает природа. Существуют бактерии, которые способны окислять такие недоступные соединения.

Примеры биологической и химической потребности в кислороде

Вид воды	БПК мг/л	ХПК мг/л
Питьевая вода	0	0
Чистая аквариумная вода	1-2	2-10
Установка для аквариума	2-6	5-10
Выход из установки чистой воды	30	75
Индустриальный сток	>>10.000	>>100.000

Такой процесс называется бактериальным окислением. Чем больше органической субстанции находится в воде, тем больше кислорода требуется бактериям. Итак, потребность бактерий в кислороде — мера качества воды. Так как кислород поглощается бактериями, то и окисление может происходить только с участием бактерий. Мы называем эту величину «биологическая потребность в кислороде» или сокращенно БПК. В литературе часто встречается ХПК. Бактерии не машины, и для окисления веществ им необходимо некоторое время. Сточные воды в хорошо оборудованных установках полностью биологически окисляются за 20 дней. Опыт показал, что примерно за пять дней в контролируемых условиях биологически окисляется примерно на 70% органических веществ. Так как измерять интенсивность этого процесса по прошествии 20 дней не представляло большого интереса, измерения проводят после 5 дней. Но благодаря современным методам измерения, время возможно существенно сократить.

Химическая потребность в кислороде (ХПК)

Наряду с веществами, которые благодаря биологическим процессам могут разрушаться, в воде имеется группа соединений, которые не разрушаются бактери-

альным окислением и не удаляются из аквариума ни естественной самоочисткой, ни биологическими фильтрами. Их можно устранить механическим путем, а именно в природе — сильным течением, в аквариуме — сменой воды. Аквариумная техника предоставляет нам также другие средства, такие, как озон, перекись водорода (H_2O_2). Чтобы найти величину общей потребности аквариума в кислороде, в качестве очень сильного окислителя органического вещества используют бихромат калия ($K_2Cr_2O_7$), который может окислить всю органическую субстанцию. Чтобы ускорить окисление во время анализа, проба воды с бихроматом калия нагревается до 140 °С. Результат после пересчета дает соответствующую потребность в кислороде.

Естественная группа соединений, которые разрушаются биологическим путем незначительно или даже совсем не разрушаются, — типичные для болотных вод гуминовые кислоты, которые большей частью из-за больших молекул очень прочны. Они часто содержат металлы такие, как железо (Fe), марганец (Mn), медь (Cu), цинк (Zn). Они возникают биологическим путем из отмерших остатков растений, торфа и прочего, не разрушаются также биологическим путем и поэтому не регистрируются. Итак, чтобы обсуждать качество воды, загрязненной органическим веществом, мы должны измерить и биологическую, и химическую потребность в кислороде.

Оценка вод по БПК и ХПК

Естественно, измеряемые значения биологической и химической потребности в кислороде не являются достаточными критериями для оценки качества аквариумной воды.

Как показывает таблица на стр. 48, вода в наших аквариумах должна соответствовать нижней границе как по биологической, так и по химической нагрузке. Поэтому с помощью измерительной тех-

Температура

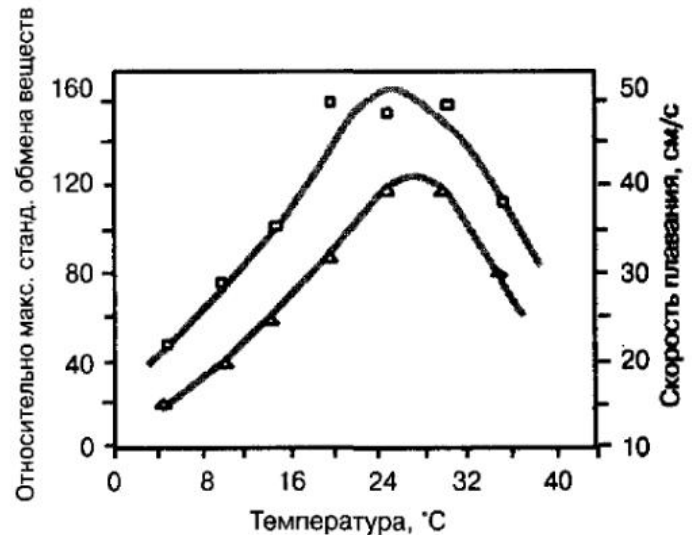
ники значения, оптимальные для аквариумной практики, очень трудно регистрировать. Тем не менее о них следует здесь упомянуть, т. к. позднее мы еще возвратимся к ним, но по другому поводу.

Обе эти величины сначала применяли в технологии очистки сточных вод. Типичные бытовые сточные воды характеризуются значениями биологического показателя до 500 мг/л. Обычные значения химической насыщенности для промышленных сточных вод варьируют в области от 1000 до 100000 мг/л, или до 100 г/л (100 мг/мл). При таких значениях можно легко себе представить, что небольшого количества такой жидкости будет достаточно, чтобы на длительное время отравить водоемы для рыб. Один миллилитр сточных вод, растворенный в литре чистой воды, со значением химической насыщенности 1 мг/л, поднимает химическую потребность в кислороде в 100 раз.

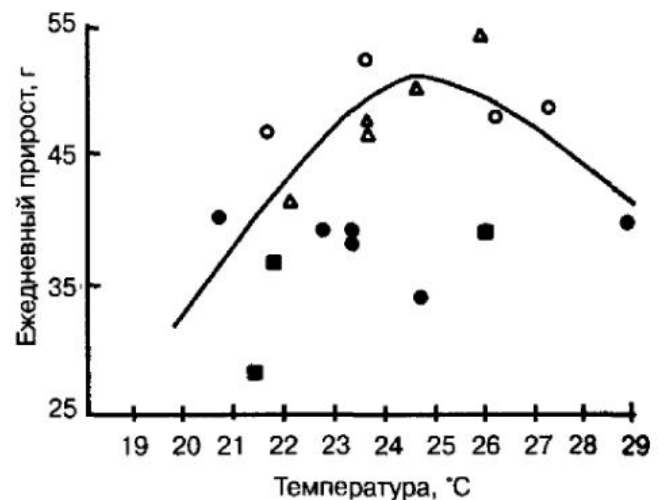
Температура

Температура для живого существа вообще является одним из важнейших факторов окружающей среды. Она влияет на физические, химические и биологические процессы в растениях и животных, а также на процессы в окружающей среде. Температура оказывает действие на вязкость воды, содержание кислорода, скорость химических реакций, рост водорослей и растений, а также на обмен веществ у животных. Рисунок справа вверху показывает поведение золотых рыбок при температуре от 0 до 40 °С. Оптимальная температура для животных составляет примерно 24 °С. При температуре как выше, так и ниже ее уменьшается активность обмена веществ и скорость движения. Понимание кривых на этой диаграмме крайне важно прежде всего для ухода за искусственными водоемами.

Если рыба, оптимальная температура для которой достигается при 28 °С, пере-



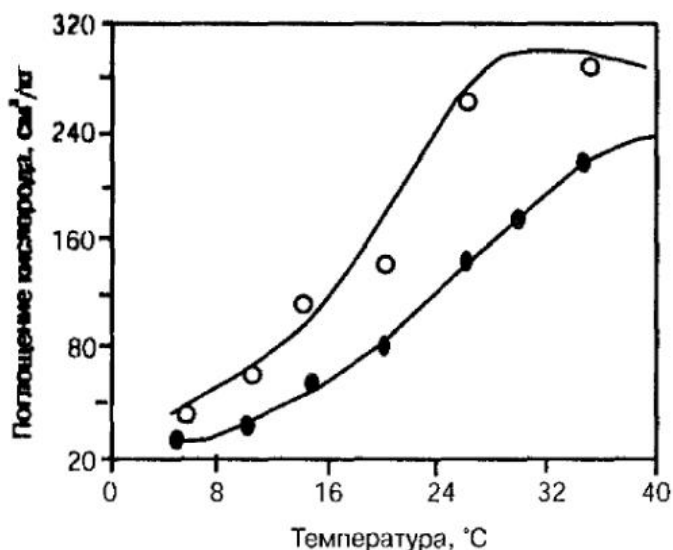
Скорость движения и обмен веществ золотых рыбок находятся в прямой зависимости от температуры воды



Увеличение массы водорослей хлореллы также зависит от температуры воды

сажена в водоем с другими животными, оптимальная температура которых находится при 22 °С, то она будет иметь замедленную активность, необходимую для жизни.

Подобные оптимальные кривые с возможными верхними и нижними границами значений имеются практически для всех растительных и животных форм жизни. При этом оптимальная



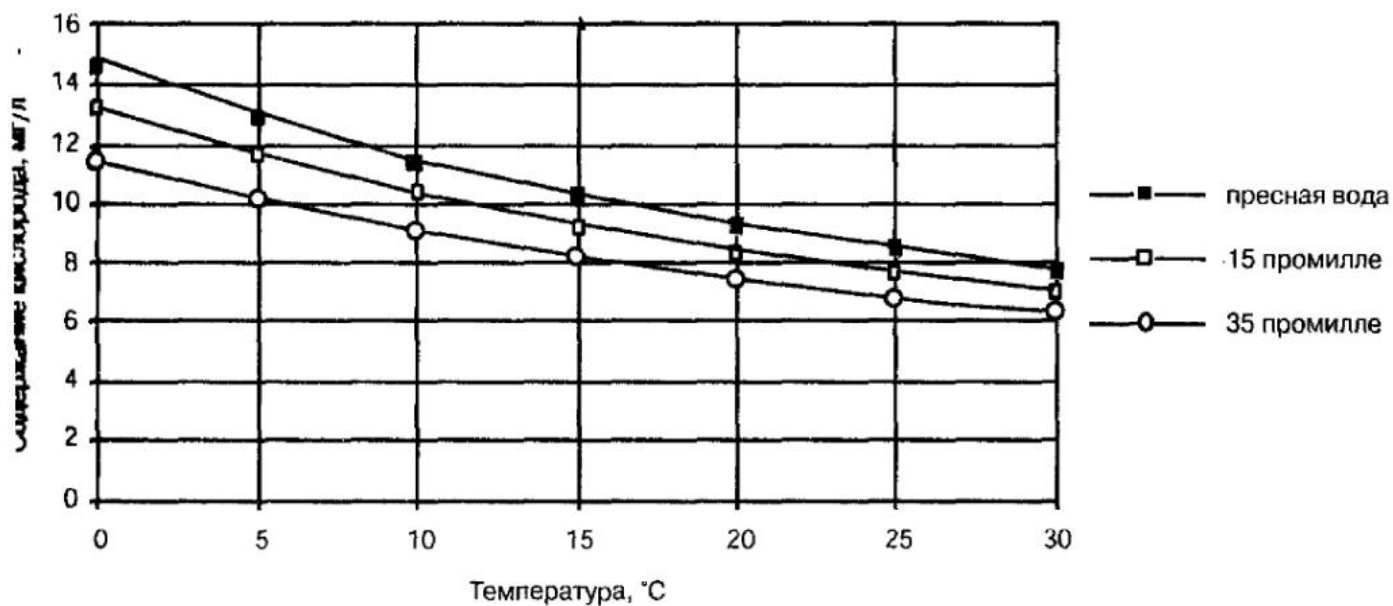
Потребление кислорода золотыми рыбками в зависимости от температуры

температура является, по существу, характеристикой жизненного пространства определенной популяции, в то время как внутри популяции могут быть отклонения.

Галапагосская рыба-доктор любит температуру от 12 °C до 15 °C, в то время

как коротконосая рыба-доктор предпочитает от 26 °C до 25 °C.

Похожее поведение известно также для водорослей. Так рисунок на стр. 49 внизу показывает ежедневный прирост водоросли хлорелла в зависимости от температуры. Чем выше температура, тем выше у животных и растений потребность в кислороде. Такое утверждение неоднозначно, так как содержание кислорода в воде ведет себя с точностью до наоборот, т. е. с повышением температуры содержание кислорода в воде всегда понижается. Рыба в спокойном состоянии может обходиться значительно меньшим количеством кислорода, чем рыба в полной активности, т. е. при охоте, бегстве или в состоянии стресса. Итак, живое существо оказывается в кислородной «дыре», если при большой температуре и связанным с этим низким содержанием кислорода в воде будет вынуждено интенсивно двигаться вследствие стресса или опасности. В морской воде это выражено в еще большей степени, чем в пресной, т. к. граница насыщения в морской воде лежит значительно ниже.



Граница насыщения кислородом пресной и морской воды зависит от температуры

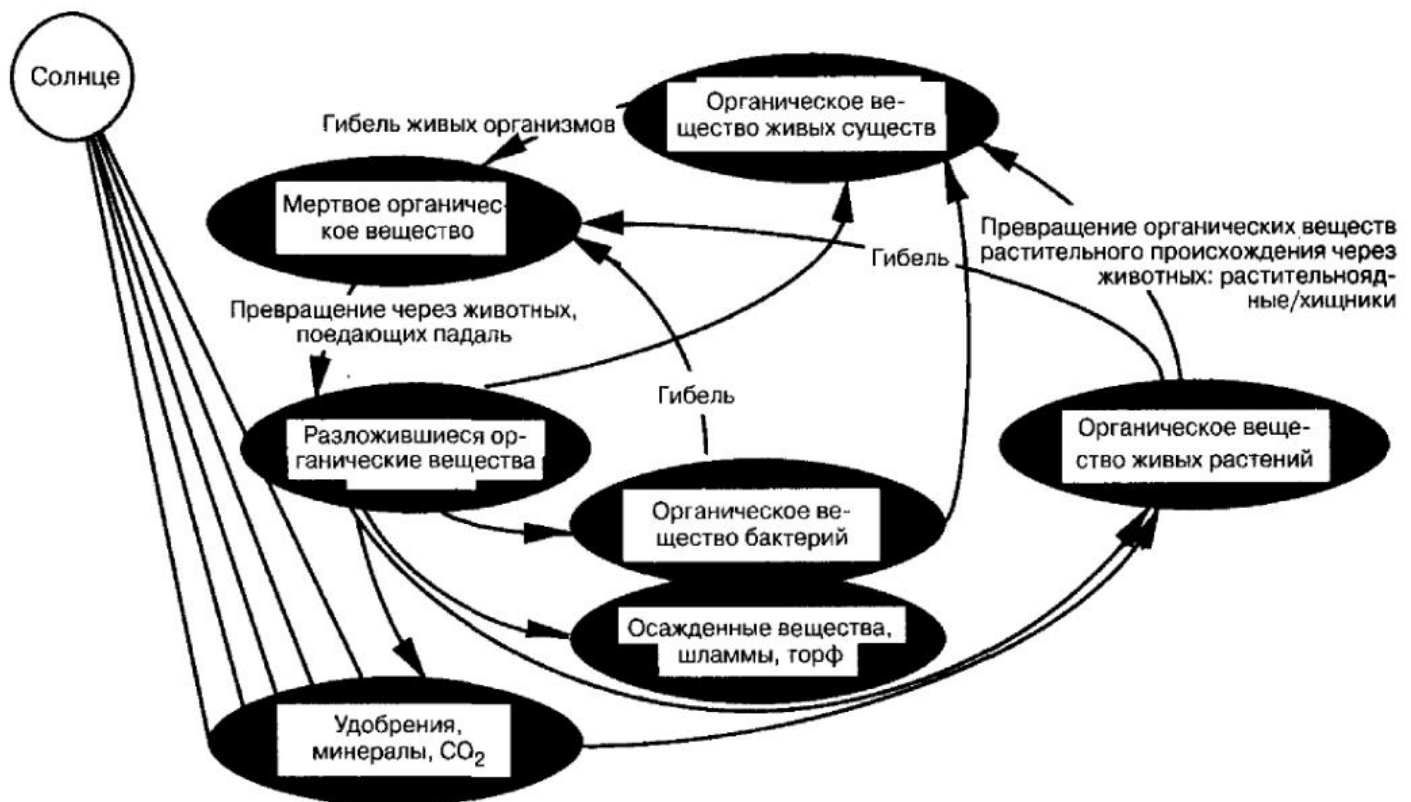
Биологические основы

Круговорот веществ

Вероятно, читатель не раз наблюдал, как стакан воды, даже закрытый, без дальнейшего внешнего воздействия со временем становился зеленым. Из минеральных веществ, двуокиси углерода и воды водоросли и более развитые водные растения создают органические вещества, в том числе зеленый хлорофилл. Этот процесс становится возможным благодаря Солнцу. Органическая субстанция растений — основа существования для всех живых существ. Растения могут аккумулировать энергию солнеч-

ного света в органической субстанции. Эта субстанция служит затем в качестве донора энергии живым существам, которые не могут непосредственно использовать свет. Так растения стоят вначале едва обозримой пищевой цепи. Растения поедаются растительноядными животными и преобразуются в живую животную субстанцию.

Вещества растительного и животного происхождения отмирая, возвращаются в окружающую среду. Эта мертвая органическая субстанция является источником энергии для потребителей падали и экскрементов, а также для бактерий.



Органические и неорганические вещества — в постоянном круговороте

Автотрофия		
Источник углерода CO ₂	Неорганические доноры электронов (H ₂ , NH ₃ , H ₂ S, S, CO, Fe ⁺⁺), литотрофы	Снабжение энергией. Свет => фотоавтотрофы. Окисление/восстановление => хемотротрофы
Миксотрофия		
Источник углерода, органическая субстанция		Снабжение энергией. Свет => фотоавтотрофы. Окисление/восстановление => хемотротрофы
Гетеротрофия		
Источник углерода. Органический субстрат	Донор электронов органического происхождения	Снабжение энергией. Свет => фотоавтотрофы. Окисление/восстановление => хемотротрофы

Бактерии могут получать энергию различными способами

Таким образом, органические вещества ступенчато трансформируются живой бактериальной субстанцией в питательные вещества отложения, такие, как ил и торф. Первичное образование веществ ограничено в воде верхними слоями, которые достаточно хорошо освещены. Только здесь в изобилии могут обитать водные растения, в особенности водоросли. Образованные органические вещества оседают вниз; те, которые ближе к берегу, — доступны для дальнейшего круговорота. Этим можно объяснить то, что во многих случаях в прибрежных зонах морских и пресных вод гораздо выше плотность заселения и большее разнообразие жизни. Следует учитывать и массы воды у берега, в которые через горизонтальное перемещение (потоки, волнения, боковые течения) попадают вредные вещества, а со свежей водой поступают питательные вещества. Это огромное пространственное взаимодействие и вместе с тем взаимосвязанный

обмен масс полностью отсутствует в аквариуме. До сих пор большой круговорот органического вещества представлялся «жизнью и смертью». На самом деле он сплетен из огромного количества частных круговоротов, которые важны для аквариума.

Питание микроорганизмов

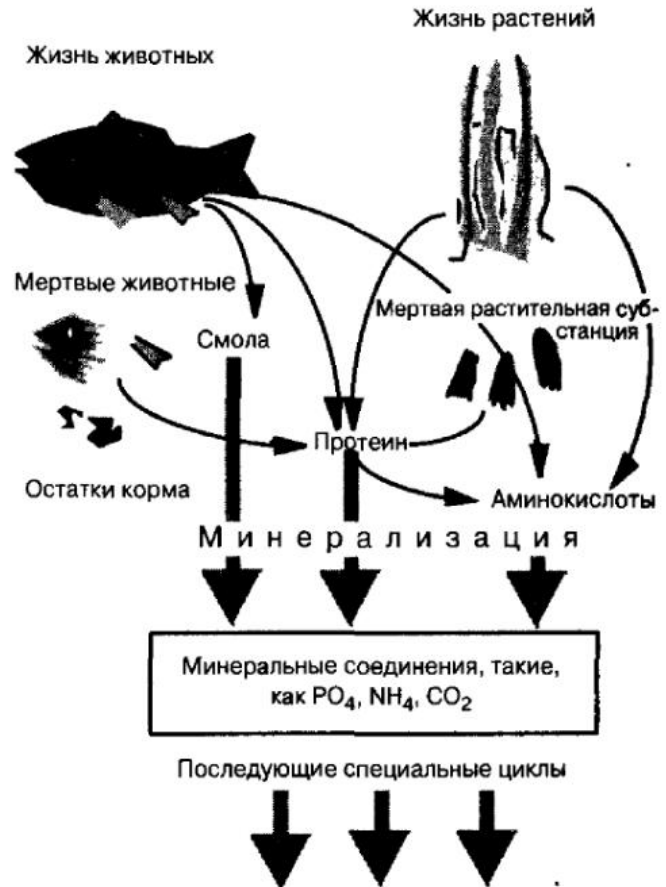
Микроорганизмы подразделяются на гетеротрофные и автотрофные. Под автотрофными организмами понимают зеленые растения, водоросли и микроорганизмы, которые могут питаться неорганическими веществами: минеральными солями, двуокисью углерода. Дальнейшая классификация микроорганизмов ориентирована на виды источника углерода, получения энергии, отдаче электронов. Важнейшая подгруппа литотрофные организмы, которые используют неорганические доноры элек-

тронов, такие, как водород, аммиак, сероводород, сера, монооксид углерода или железо (Fe^{2+}). В качестве источника углерода используется неорганический оксид углерода, большей частью в форме двуокси углерода. Энергию, необходимую для фиксации углерода, может поставлять свет. Этот процесс называется также фотоавтотрофией. Другим источником энергии являются окислительно-восстановительные реакции. Такое питание называется хемоавтотрофией, или хемолитотрофией. Таким образом питаются важные группы бактерий нитрификации и денитрификации. В противоположность автотрофным, гетеротрофные организмы получают углерод из органических соединений. Большая часть бактерий принадлежит к этой группе. Так же как и при автотрофии, для гетеротрофии важен способ получения энергии и характер передачи электронов. Большая часть гетеротрофных бактерий получает энергию из органических соединений; некоторые, однако, — из света или посредством окисления неорганических соединений. Важнейшая гетеротрофная группа бактерий — денитрифицирующие бактерии, которые получают углерод из таких органических соединений, как метанол, этанол, целлюлоза, меласса или уксусная кислота. Миксотрофами называют микроорганизмы, у которых снабжение энергией происходит путем окисления неорганических веществ, а углеродом — из органических веществ.

Минерализация

Под минерализацией понимают разрушение органической субстанции до неорганических веществ. Это разложение осуществляется в основном микроорганизмами.

Минерализации подвержены животные и растения, а также их части, экскременты, продукты обмена веществ, такие, как белковые соединения, аминокислоты,

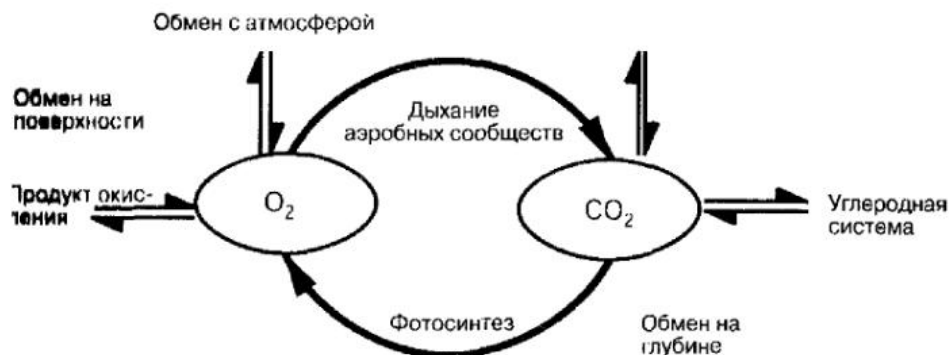


Органические соединения разлагаются до неорганических путем минерализации

мочевина и мочева кислота. В процессе минерализации образуются неорганические вещества, такие как фосфор, углерод, азот, а также соединения на их основе.

Цикл кислород–углерод

Растения используют углерод из двуокси углерода для того, чтобы из него построить органическую субстанцию. При этом они не используют избыточный кислород, который поступает в окружающую среду. Поэтому вода сильно заросших прибрежных зон содержит много кислорода. Все водные существа используют этот кислород. Рыбы вдыхают его через жабры и выдыхают двуокись



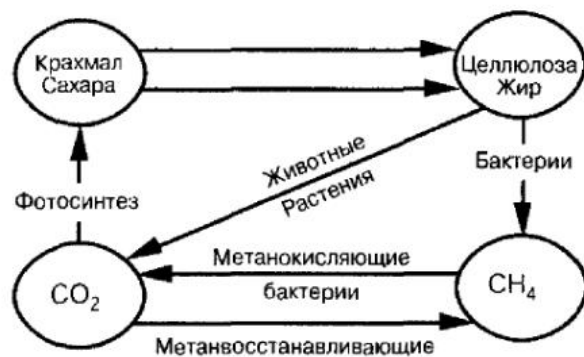
Двуокись углерода образуется посредством дыхания и обмена веществ некоторых бактерий и служит растениям в качестве источника углерода

углерода. При аэробном разложении бактериями расходуется кислород и выделяется углекислый газ. Кислород и углекислый газ не остаются только в этом цикле, так как они принимают участие в обмене с атмосферой. При аэробном окислении кислород может быть связан в нитраты, а также в сульфаты, в то время как углекислый газ поглощается карбонатной системой. Растворимость углекислого газа повышается с увеличением давления, поэтому его содержание увеличивается с глубиной. Вблизи поверхности воды угольная кислота находится в дефиците. Это приводит к тому, что карбонат кальция, используемый кораллами содержится в большом количестве. Одновременно вблизи водной поверхности повышается содержание кислорода. С глубиной запас он быстро истощается. Поступление кислорода в эти слои воды происходит только с глубокими течениями. На большой глубине нельзя получить кислород, так как из-за недостаточного освещения не может осуществляться фотосинтез. Как уже упоминалось выше, растения поглощают углерод из двуокиси углерода и строят органическое вещество, прежде всего углеводы. Из углерода растения создают целлюлозный каркас, а животные нуждаются в этих веществах, чтобы получить жиры. Жир используется как источник энергии при сжигании или превращается в двуокись углерода, которая выделяется

в результате дыхания или перерабатывается бактериями в метан (CH_4), который снова другими бактериями окисляется до двуокиси углерода. В присутствии метана преобладает сильно восстанавливающая среда, малоприспособленная для жизни. Образование метана происходит в определенных условиях (восстановлении) и может быть полностью исключено в аквариуме.

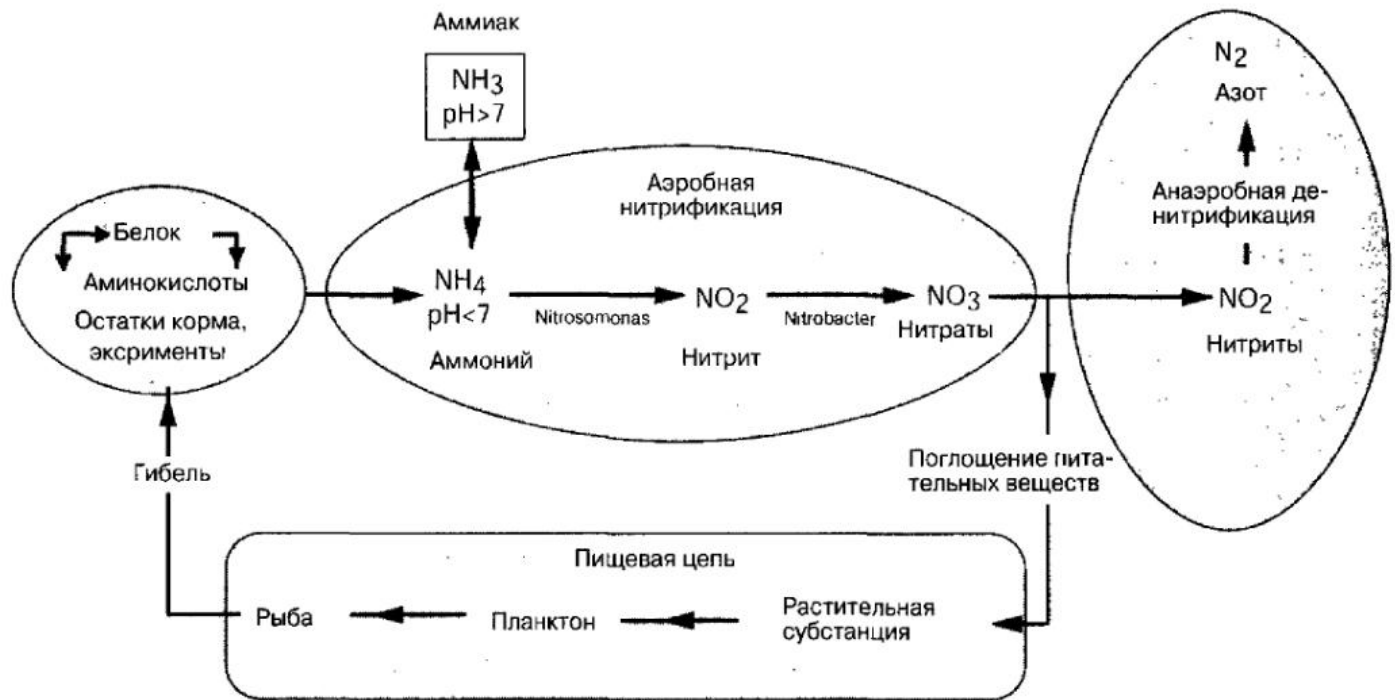
Круговорот азота

Важным питательным соединением солью являются нитраты, поглощаемые растениями из воды. Таким образом азот участвует в круговороте веществ. Азот,



Двуокись углерода (CO_2) продуцируется благодаря дыханию и обмену веществ некоторых бактерий и является источником углерода для растений

Круговорот азота

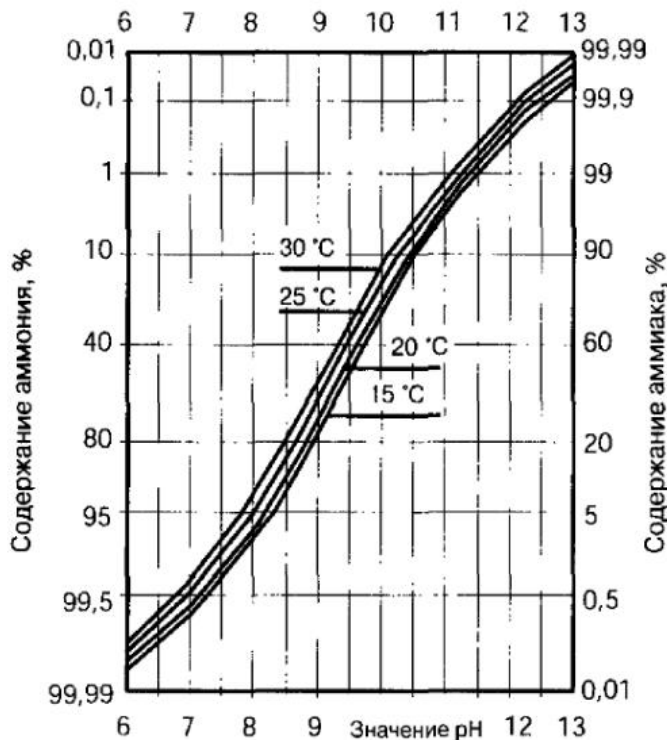


Цикл азота охватывает трофическое разложение органических веществ и процессы нитрификации и денитрификации

поступающий с кормом, всегда находится в составе сложных химических структур, — в молекулах белков, пептидах, аминокислотах, в хлорофилле, в рибонуклеиновых кислотах (РНК), дезоксирибонуклеиновых кислотах (ДНК) и отчасти также в витаминах. Азот необходим в различных ключевых аспектах жизни, например, фотосинтез, образование белка, воспроизведение рода. Например, образование хлорофилла прекращается при отсутствии доступного азота. Планктон с большим трудом получает необходимое количество азота, концентрируя азот, содержащийся в воде, в 30–50 тысяч раз, в то время как углерод концентрирует в 2000 раз. С экскрементами или погибшими животными в воду поступают готовые органические соединения, прежде всего белок. *Bacterium coli*, *Bacterium proteus*, *Bacterium subtilis* переводят белки в пептиды и аминокислоты. Ученые различают два разных вида аминокислот. Группа аминокислот, содержа-

щих серу, обладает сильными восстанавливающими свойствами и может при больших количествах значительно снизить окислительно-восстановительный потенциал. При анаэробных условиях в этом случае может образовываться сероводород (H₂S), чему способствует очень толстый слой мелкозернистого грунта на дне аквариума. Ароматические аминокислоты имеют слабые восстановительные свойства, но легко окисляются. В качестве промежуточных продуктов образуются фенолы и крезолы, из которых первые весьма ядовиты. Фенолы, однако, легко окисляются до неопасных меланинсодержащих красителей.

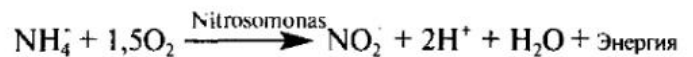
Бактерии переводят аминокислоты в амины, которые бактериями опять превращаются в органические кислоты и аммиак. Если накапливаются органические кислоты в высоких концентрациях, то может временно понизиться значение рН до такой степени, что бактерии относительно быстро трансфор-



Соотношение аммония и аммиака в воде зависит от pH и температуры

мируют органические кислоты в угольную кислоту и воду. На следующем этапе в круговороте участвует аммоний или, в зависимости от значения pH, аммиак. В частности, у морских животных выделения сильно сконцентрированы и содержат до 80 мг азота на 100 мл. Основным компонентом в выделениях, от 20% до 50%, является аммоний. Аммоний (NH₄⁺) может существовать и как аммиак, но следует знать, что в этой форме он высокотоксичен. Будет ли присутствовать аммоний, или аммиак, или обе формы в воде аквариума, как правило, зависит от значения pH. Рисунок сверху показывает, что соотношение между двумя формами смещает значение pH. В области значений pH, которая пригодна для аквариума (в морской воде примерно pH 9), токсичный аммиак содержится в небольших количествах, примерно 20%. Конечно, следует учитывать, что аммиак действует уже в малых концентрациях. Лососи особенно чувствительны к нему

и реагируют уже при содержании 0,006 мг на литр. Чем ниже значение pH, тем меньше содержания аммония. Уже при pH 7 его содержится только примерно 0,5%. Повышенная температура может увеличить содержание аммиака. Таким образом, понятно, почему в аквариумах с теплой морской водой таится опасность. При температуре 25 °C и при значении pH 8,4 содержится уже 10% аммиака. По этой же причине опасны жесткие пресные воды, которые могут показывать аналогичные концентрации аммиака. Особенно нужно обратить внимание на то, что кривые на диаграмме изображены в логарифмическом масштабе. В то время как смещение значения pH с 6 до 6,3 не влияет на концентрацию аммиака, смещение pH с 8 до 8,3 повышает его содержание с 5% до 10%. То есть оно удваивается! Смещение значений pH такого же порядка в аквариумах, густо населенных растениями, из-за ассимиляции может происходить в течение дня без последствий. Подобное происходит в аквариумах, которые заняты преимущественно беспозвоночными. Трансформация аммония/аммиака посредством бактериального окисления приводит к образованию нитритов. Этот процесс осуществляют аэробные бактерии *Nitrosomonas*. Для того чтобы существовать и окислять аммоний и аммиак в нитриты, им необходима вода, богатая кислородом:



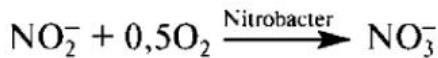
Это уравнение показывает потребность в кислороде. Это уникальное окисление возможно только с помощью бактерий.

Растворенный в воде кислород самостоятельно не может окислять аммоний и аммиак. Гораздо более активный озон только при высоких значениях pH в состоянии это делать. Но из этого уравнения также ясно, что бактерии окисляют аммиак не без пользы для себя. Они живут за счет освобождающейся энергии.

Интенсивность нитрификации зависит от имеющегося в среде кислорода

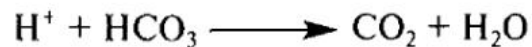


Подобно им действуют аэробные бактерии *Nitrobacter*, которые нитриты перерабатывают далее в нитраты. Такое простое условие, как «вода, богатая кислородом», к сожалению, часто не учитывается при конструировании фильтров всех видов. Даже если приведенные уравнения реакций для дилетанта не очень наглядны, для понимания процесса в биологическом фильтре они очень важны.



Вместе с тем можно представить некоторые расчеты. Ионная масса аммония NH_4^+ равна 18. Чтобы окислить эту массу бактериям нужно 1,5 молекулы кислорода с общей массой 48. Итак, чтобы один миллиграмм аммония окислить до нитритов необходимо 2,6 мг кислорода! Если провести подобные расчеты для окисления нитритов в нитраты, то можно установить, что требуется только 0,35 мг кислорода для 1 мг нитритов. Для проведения этой реакции необходима гораздо меньшая потребность в кислороде, и на практике она протекает значительно легче. Связь между потребностью в кислороде и скоростью нитрификации изображена на верхнем рисунке. Если нитрификаторы получают кислорода меньше, чем им это необходимо, они ограничива-

ют свою деятельность. Итак, установлено, что обе реакции протекают только в среде, обогащенной кислородом! Если мы еще раз посмотрим на верхнее уравнение, то увидим, что одним из продуктов реакции являются свободные ионы водорода! Не бойтесь, наш биологический фильтр не взорвется, но, как указывалось ранее, повышение концентрации ионов водорода снижает значение pH. Ион водорода не остается в свободном состоянии, а реагирует по следующему уравнению с бикарбонатом, в результате чего получается оксид углерода и вода:



Следовательно, хорошо работающий биофильтр может лишь незначительно понижать значение pH. Это не должно нас беспокоить, так как этот эффект в морской воде и в жесткой пресной воде может легко устраняться с помощью фильтровального материала, содержащего известь.

Разложение нитратов анаэробными бактериями

Как следует из рисунка на стр. 55, нитраты, относящиеся к круговороту азота, вовсе не являются конечной стадией разложения вещества. Наряду с использованием растениями, нитраты исполь-

зуются в качестве поставщика кислорода для так называемых анаэробных реакций, которые происходят при отсутствии кислорода или при крайне незначительном его содержании. Существуют бактерии, которые в зависимости от содержания в среде кислорода могут нитрифицировать или соответственно денитрифицировать. Другие могут функционировать только в однозначных ситуациях: чисто аэробные или чисто анаэробные. В целом можно исходить из того, что кислород препятствует денитрификации. Окисление органических соединений служит аэробным бактериям источником энергии. Использованный кислород переходит в нитраты, в то время как органический углерод в лучшем случае поглощается из воды в растворенной форме. При этом нитраты не сразу трансформируются в газообразный азот, а прежде образуются токсичные нитриты.

Это происходит согласно представленным ниже формулам.

Первую ступень нужно рассматривать особенно внимательно, так как нитрит более токсичен чем нитрат, следовательно, необходима уверенность в том, что следующая ступень безотлагательно выполняется. Фактически только лишь

на второй ступени азот удаляется из цикла путем образования газообразного азота. Денитрификация происходит в природе в основном в грунтовых осадках, разумеется, не непосредственно на поверхности, а на глубине нескольких сантиметров. В железосодержащем грунте автотрофные бактерии (например *Thiobacillus denitrificans*) могут окислять железо и добывать необходимый для этого кислород из нитратов (см. нижеследующие формулы). Другие автотрофные бактерии используют кислород, полученный из нитратов, чтобы атомарный водород окислить до воды. Это может происходить по следующему уравнению:



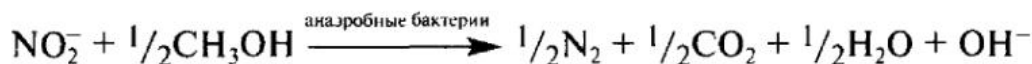
В аквариуме этими процессами управлять очень трудно. В частности, органический углерод, который в приведенных уравнениях представлен в виде метанола CH_3OH , едва ли может образовываться в аквариумной технике. Водород в аквариумной технике также известен как нежелательное вещество. В то время как нитрификацию мы можем легко наблюдать в природе, наблюдать денитрификацию гораздо труднее. В природе, даже ес-

Разложение нитратов

1. Первая ступень



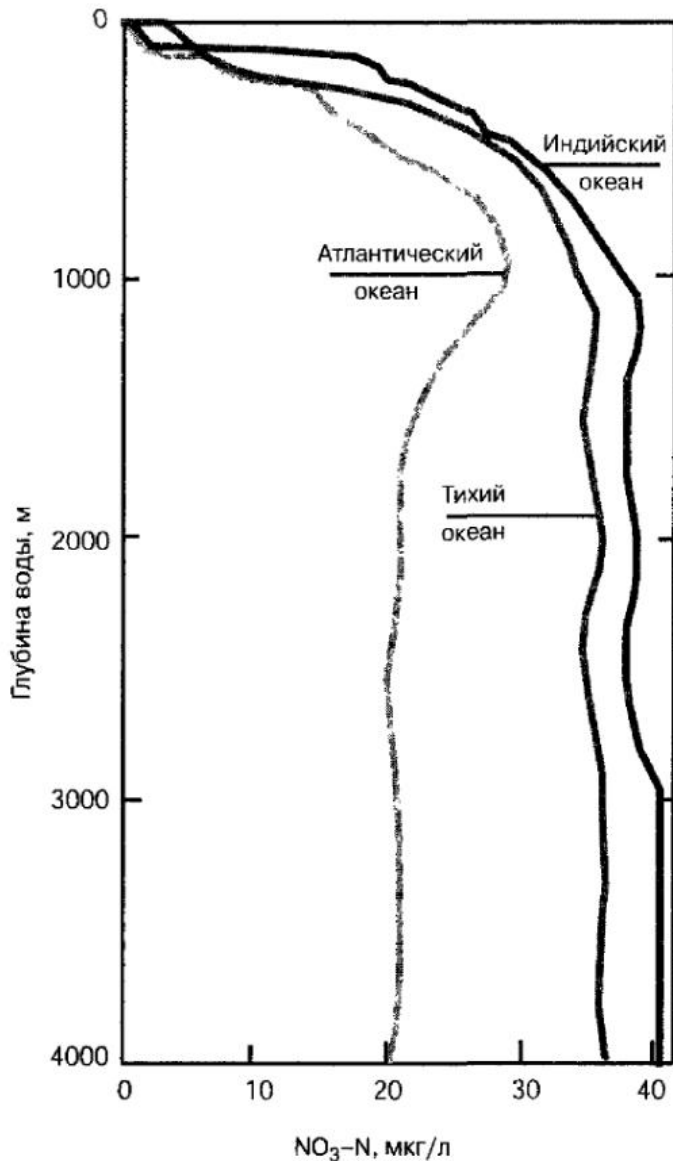
2. Вторая ступень



Разложение нитратов при окислении железа



Разложение нитратов анаэробными бактериями



Распределение нитратов в воде океанов мира в зависимости от глубины

ли незначительные количества нитрита накапливаются в среде, этот процесс проходит вне активного жизненного пространства для большинства водных живых существ, тогда как нитрит, образующийся в аквариуме, тотчас оказывает неблагоприятное воздействие на всех животных (см. также главу «Фильтрационная техника» стр. 77).

Находящийся рядом рисунок показывает нам вертикальное распределение нитратов в различных океанах мира. Мы ви-



Образование сероводорода анаэробными бактериями: процесс крайне нежелательный для аквариума

дим, что концентрация нитратов 40 мкг/л или соответственно 0,04 мг/л в Индийском океане уже относительно велика для морской воды. Это высокое значение достигается на больших глубинах. Следует отметить, что сильно заселенные зоны вблизи водной поверхности практически свободны от нитратов. Денитрификация протекает или непосредственно вместе с нитрификацией в анаэробных условиях, или существует значительный перенос нитрата в глубокие слои водоема. Для нашего аквариума, к сожалению, это несущественно. В то время как удаление нитратов из воды аквариума является для нас желательным микробным процессом, анаэробные бактерии образуют другие вещества, которые для нас очень нежелательны. Некоторые из них потребность в кислороде могут удовлетворять за счет сульфатов (SO_4). В этом процессе, который называется десульфуркация, возникает ядовитый газ (сероводород), который известен запахом тухлых яиц. Другие бактерии используют кислород из CO_2 и образуют ядовитый газ метан. Этими бактериальными восстановительными процессами, которые также происходят в природе, очень трудно управлять в аквариуме.

Подготовка водопроводной воды

Рыбы приспособились к составу своих «разных» вод через отбор во многих поколениях. Свойства воды определяются как протекающими в ее пространстве процессам, так и условиями в этом пространстве. Жизненное пространство нашего аквариума — это сам аквариум. Если не учитывать некоторые редкие исключения, когда можно использовать оптимальные региональные условия или даже чистую морскую воду, то почти во всех случаях источником воды является водопровод. Водопроводная вода — часто обсуждаемая тема, так как ее качество вызывает живой интерес людей. Но живые существа, которых мы содержим в наших аквариумах, гораздо чувствительнее к составу воды, чем человек, и часто очень остро реагируют на плохую воду. Следует учесть то, что на многих животных воздействуют такие незначительные количества вредных веществ, которые трудно измерить современными приборами с достаточной точностью. В связи с этим в аквариумах с рыбами должен быть налажен контроль качества воды. Это также наглядно демонстрируют следующие данные. Многие вещества содержатся в воде в концентрациях от 10 до 0,0001 мг/л, например: кислород, двуокись углерода, хлорофилл и адреналин. Но только в тысячу раз более низкие концентрации вредных веществ допустимы для нормального течения жизни водных животных. Такие сильнодействующие вещества, как гормоны, стероиды, вещества для приманок, а также вещества с запахом и прежде всего токсины, оказывают влияние, как показали испытания, в концентрациях до 0,0000001 мг/л, то есть рыбы и беспозвоночные реагируют на

изменения гораздо чувствительнее и быстрее, чем имеющаяся измерительная техника. Тем не менее в развитых индустриальных странах водоподготовка достигла очень высокого уровня. В частности, имеющиеся нормы и стандарты качества воды предъявляют очень жесткие требования, которые, к сожалению, не всегда достигаются. Все же следует сказать, что не совсем качественная для человека вода может быть рискованной или даже опасной для рыб и беспозвоночных, так как у животных совсем другая сенсорика по сравнению с человеком. Так, например, в водосборном бассейне гидротехнического сооружения произошел чрезвычайно большой мор рыбы. Исследования с использованием приборов показали, что в воде в повышенной концентрации оказался пестицид атразин. Этот пестицид долгое время применялся в сельском хозяйстве для борьбы с сорняками на полях до тех пор, пока его применение сильно не ограничили. Гидротехнические сооружения оборудовали лучшей фильтрационной техникой, и эта критическая ситуация постепенно была устранена. Но законодательные органы могут идти и на уступки. Так, федеральным землям Германии предоставлено право в особых ситуациях, таких, как «условия и структура географической области» или «чрезвычайные погодные условия», отклоняться от предельно допустимых значений, приведенных в списке, расположенном рядом.

Не будем утверждать, однако, что наша питьевая вода не качественна. Необходимо, чтобы стало ясно, что живые существа «водного жизненного пространства» имеют значительно более высокую чув-

ствительность, чем мы, и реагируют даже на следовые количества определенных веществ. Возможно, следует использовать в первую очередь стерилизованную воду. При отборе воды в месте, удаленном от водопровода, она должна хлорироваться даже тогда, когда проведена стерилизация ее озоном. Хлор подается в воду для того, чтобы на пути к потребителю гарантировать длительное бактерицидное действие. Для хлора и его соединений после водоподготовки установлена допустимая концентрация: для хлора — 0,3 мг/л, для диоксида хлора — 0,2 мг/л. На пути к потребителю эти концентрации снижаются. Несмотря на это, целесообразно удалять остатки хлора из воды при содержании восприимчивых животных.

Смягчение воды

Большую проблему для аквариума представляет жесткость воды. Она интересует большую часть потребителей, так как оказывает существенное влияние на функции и продолжительность срока действия многих технических приборов и, конечно, на биологические процессы в аквариуме; но в водоподготовке, как правило, не учитывается влияние жесткости воды. Жесткость воды не является гигиеническим параметром. Определенная жесткость воды делает воду даже «вкусной». В Германии значение жесткости воды сильно варьирует, так как по существу сохраняется природная ее жесткость. В рамках законодательства Европейского союза установлены очень похожие предельные концентрации вредных веществ в воде. Хотя используемая вода соответствует всем нормам законодательства по воде, при другом использовании она может не соответствовать требованиям или даже быть непригодной.

К сожалению, следует исходить из того, что принятые нормы не всегда оптимальны, в особенности из-за специфиче-

Раздел 2 §2 пункт 1. Предписание о питьевой воде от декабря 1990 г. Предельно допустимые концентрации химических веществ (при периодическом исследовании образцов воды)

Обозначения	Предельно допустимая	Рассчитывается как
Мышьяк	0,01	As
Свинец	0,04	Pb
Кадмий	0,005	Cd
Хром	0,05	Cr
Цианид	0,05	CN ⁻
Фторид	1,5	F ⁻
Никель	0,05	Ni
Нитрат	50	NO ₃ ⁻
Нитрит	0,1	NO ₂ ⁻
Ртуть	0,001	Hg
Полициклические ароматические углеводороды	в общем 0,0002	C
— Флуоранты		
— Бензо-(b) флуоранты		
— Бензо(k) флуоранты		
— Бензо(a) пирин		
— Бензо(g, h, i) перилен		
— Индено(1,2,3-cd) пирен		
Хлороорганические соединения	в общем 0,01	
— 1,1,1-трихлорметан		
— Тетрахлорэтан		
— Дихлорметан		
— Тетрахлорметан	0,003	CCl ₄
Особые исследования		
а) Химические органические вещества для обработки растений и борьбы с вредителями и главные продукты их разложения	Отдельные представители 0,0001, в общем 0,0005	
б) Полихлорированные, полибромированные бифенолы, трифенолы		
Сурьма	0,01	Sb
Селен	0,01	Se

Подготовка водопроводной воды

Раздел 4 §3 пункт 1. Предписание о питьевой воде от декабря 1990 г. Предельно допустимые концентрации для химических веществ

Обозначение	Граничное значение	Рассчитывается как
Температура	258 °С	
рН	6,5–9,5	
Проводимость	2000 мкСм/см	
Окисляемость		
Проба на перманганат калия	5 мг/л	O ₂
Алюминий	0,2	Al
Аммоний	0,5	NH ₄
Барий	1	Ba
Кальций	400	Ca
Железо	0,2	Fe
Калий	12	K
Азот по Кьельдалю 1		N
Магний	50	Mg
Марганец	0,05	Mn
Натрий	150	Na
Фенол	0,0005	фенол C ₆ H ₅ OH
Фосфор	6,7	PO ₄ ³⁻
Серебро	0,01	Ag
Сульфат	240	SO ₄ ²⁻
Растворенные или эмульгированные углеводороды, минеральные масла		0,01
Вещества, экстрагированные хлороформом	1	остаток после выпаривания
Поверхностно-активные вещества		
а) анионные	0,2	а) метиленовый синий
б) не ионные		б) Висмут-активная субстанция

ских отклонений в некоторых странах. С точки зрения аквариумиста могут встречаться следующие ситуации.

- Вода содержит (в следовых количествах) токсичные для рыб вещества, такие, как пестициды, тяжелые металлы, хлор, двуокись хлора.
- Вода содержит нетоксичные вещества в концентрациях, которые угнетают рыбу, такие, как нитраты, вещества, определяющие жесткость воды, ионы водорода (рН), соли (проводимость).
- В воду были добавлены, например, для стерилизации определенные окислительные средства, такие, как хлор, диоксид хлора, гипохлорит, которые негативно действуют на рыб и всех беспозвоночных, а также на биологическое фильтрование.
- В воде отсутствуют определенные вещества, которых нет в природе (водозаборные бассейны сооружений водоподготовки), или они были удалены интенсивной очисткой, например, витамины, вещества, придающие жесткость воде, ионы водорода, соли.

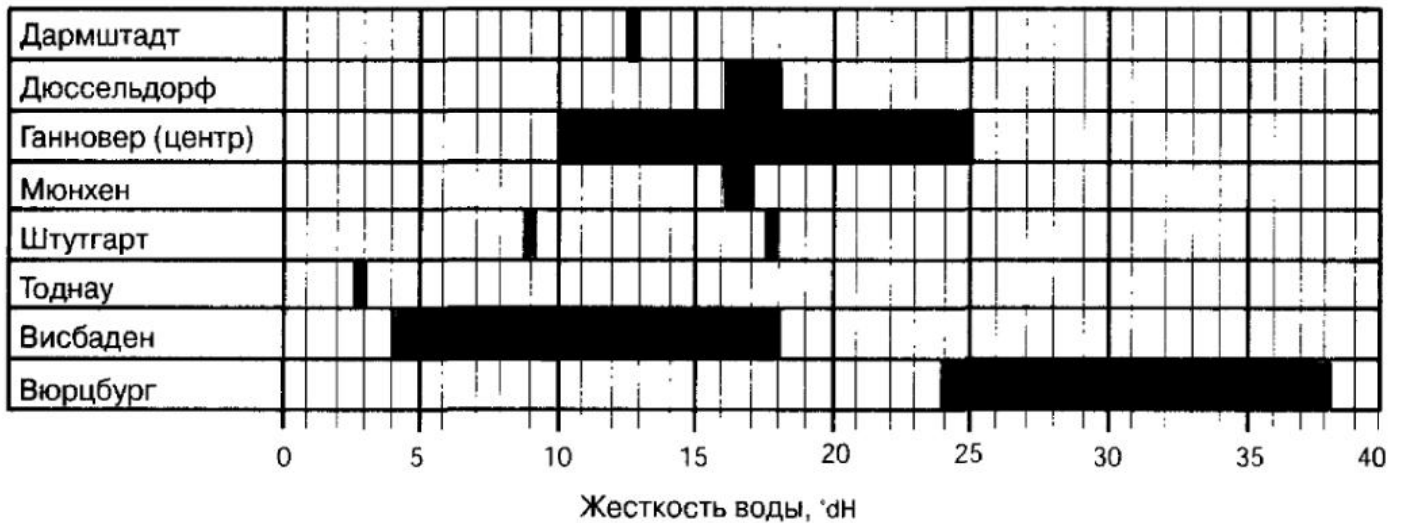
В таких случаях аквариумист, прежде всего, видит для себя задачу отфильтровать вещества, которые содержатся в «хорошей питьевой воде» для того, чтобы создать оптимальные условия для питомцев. Возможны различные пути, которые должны быть взаимозаменяемыми в зависимости от качества воды и поставленной цели. К примеру, могут быть применены ионообменники, обратный осмос, адсорбция на активированном угле и химические методы.

Ионообменник

Принцип действий ионообменника не является современной технологией. Процессы ионного обмена происходят прежде всего в природе. Они играют ключевую роль при поглощении питательных веществ корнями растений.

В природе ионообмен происходит в минералах, органическом веществе

Ионообменник



Жесткость питьевой воды в различных городах может сильно отличаться

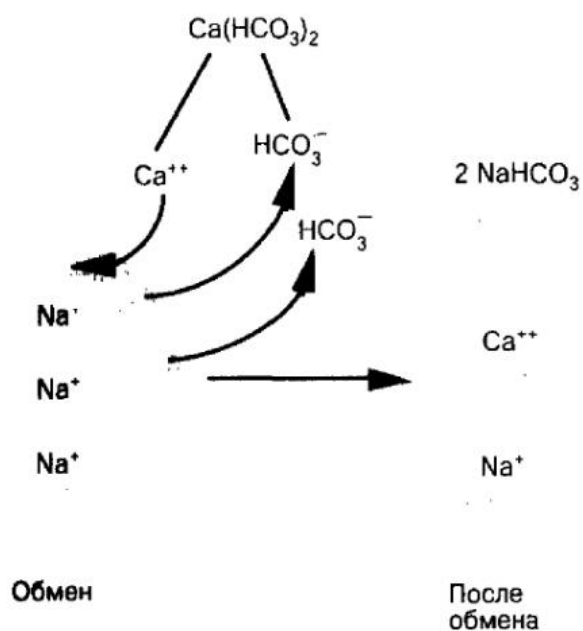
и свободных металлооксидах. Основой ионообменных материалов, используемых в технике, являются, как правило, полистирол или полиакрил. Материалы не содержат пластификаторов и других добавок, которые могли бы загрязнять воду. На эти основные искусственные материалы наносятся необходимые для ионообменного процесса вещества. Ионообменный материал имеет, как правило, форму зерна или жемчужины с диаметром несколько миллиметров. Имеющимися в настоящее время ионообменниками можно снизить или устранить общую жесткость, карбонатную жесткость, общее содержание солей, нитраты, сульфаты, органические вещества и следы тяжелых металлов. Ионы — это носители положительного или отрицательного заряда. Все ионообменники изготовлены таким образом, что они могут обмениваться с одинаково заряженными ионами. Ионообменник, который обменивает положительно заряженные ионы, называют катионитом. Ионообменник, который обменивает отрицательно заряженные ионы, называют соответственно анионитом.

Катионит. Важнейшая функция катионита — удаление жесткости.



При удалении жесткости с помощью ионообменника ионы кальция и магния заменяются на ионы натрия. Хотя жесткость больше не обнаруживается измерением, общее содержание солей остается тем же

Подготовка водопроводной воды



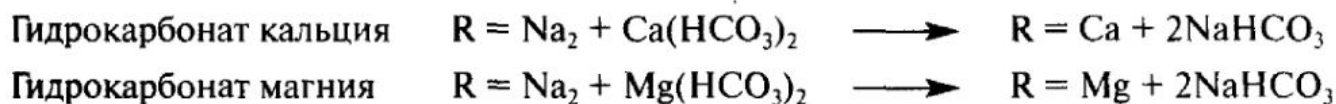
Химические процессы при обмене ионов кальция на ионы натрия

Другие возможные области применения — удаление из воды тяжелых металлов и декарбонизация. Допустим, что у вас имеется жесткая вода. Жесткость воды создают щелочноземельные металлы, и прежде всего кальций (катион кальция Ca^{2+}) и магний (катион магния Mg^{2+}). Цель смягчения воды — замена ионов щелочноземельных металлов на другие ионы. Именно так и происходит в ионообменнике. Для устранения жесткости выбирают обменный материал, который насыщен, например, ионами

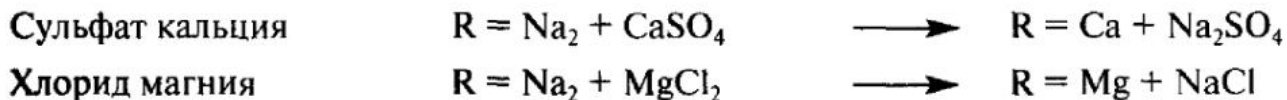
натрия. Если ионы гидрокарбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ попадают в ионообменник, то получается игра «свободно растущее дерево».

Материал обменника притягивает из воды ион кальция (Ca^{2+}) и отдает в нее два иона натрия 2Na^+ . Ион натрия поступает в воду вместо иона кальция и образует с анионом HCO_3^- гидрокарбонат натрия. Так как ион кальция является двухвалентным, а ион натрия только одновалентным, ионообменник освобождает за каждый поглощенный ион кальция два иона натрия, и соответственно образуется две молекулы гидрокарбоната натрия. Гидрокарбонат натрия, конечно, подщелачивает воду. Значение pH после удаления жесткости устанавливается в области от 8 до 9, что не подходит для большей части аквариумов. Следовательно, значение pH необходимо довести до 7 добавлением разбавленной соляной кислоты. Если жесткость невелика, то добавление кислоты после ионного обмена вообще не требуется. Подобные реакции происходят и с веществами, вызывающими жесткость. Если материал ионообменников обозначить в химических уравнениях за R, то процесс обмена при смягчении воды можно изобразить следующим образом (см. стр. 64). Итак, при смягчении воды с помощью ионообменника обмениваются друг с другом положительно заряженные ионы кальция и натрия.

карбонатная жесткость



некарбонатная жесткость



Регенерация ионообменника для смягчения воды. Рисунки и уравнения поясняют, что процесс обмена ионами не может протекать непрерывно. В какой-то момент обменный материал израсходуется все ионы натрия и насытится кальцием. Поэтому он должен регенерироваться соответствующими мероприятиями. В случае обменников, насыщенных натрием это происходит посредством обработки поваренной солью определенной концентрации. Это относительно легко может проделать даже дилетант. Раствор поваренной соли вытесняет из обменника ионы, придающие жесткость воде, и насыщает его снова ионами натрия.

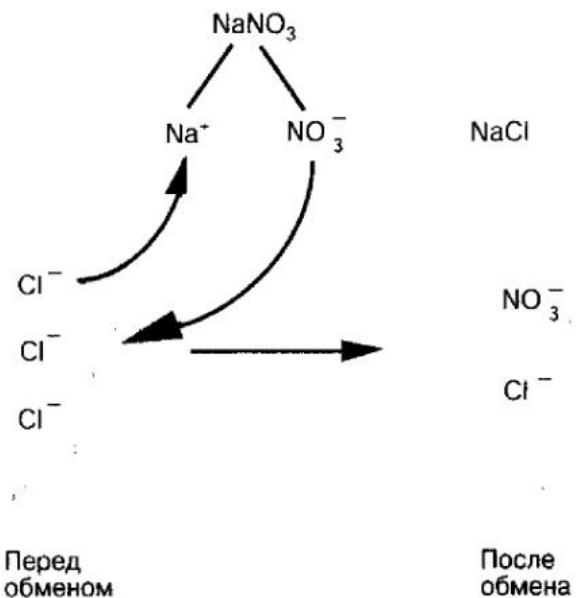
Связывание тяжелых металлов. Другая область применения катионообменника — связывание тяжелых металлов. Тяжелых металлов нет в воде, которая поступает из гидротехнического завода. Однако вода, особенно мягкая, может экстрагировать соединения металлов из трубопроводов и фитингов. Это могут быть медные или в редких случаях свинцовые трубопроводы, которые, возможно, еще имеются в очень старых домах. Свинец может также высвободиться из некоторых полимерных соединений. Следовательно, водопроводная вода на пути от места очистки к потребителю может обогащаться тяжелыми металлами. Основным источником может быть трубопровод потребителя, и такие металлы, как медь (Cu) и свинец (Pb), поступают в воду в виде катионов и могут задерживаться катионитом.



Анионообменник. Анионообменник применяется для обмена отрицательно заряженных ионов. Основная область применения анионообменника в аквариумистике — удаление нитратов. Так как только 50 мг/л — ПДК (предельно

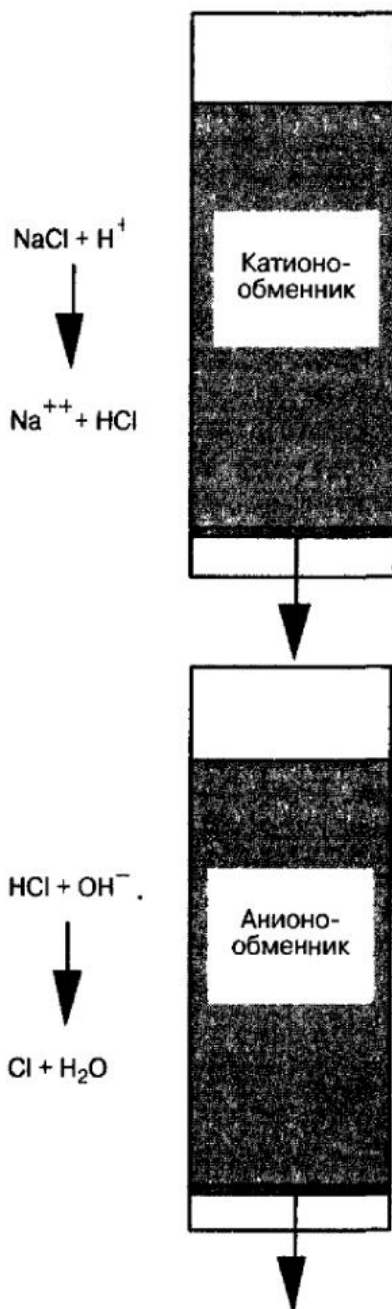
допустимая концентрация) допускается в питьевой воде, то значение нитрата более 100 мг/л вообще недопустимо. Но для аквариума и 50 мг/л нитратов может быть слишком много.

Обмен нитратов. Ионообмен в анионообменнике в основном происходит по такому же принципу, как и в катионообменнике, но только с противоположным знаком. Рисунок на стр. 65 показывает нитрат-ион вместе с ионом натрия. Оба находятся в растворе в диссоциированном виде. Нитратная группа связывается в этом случае с материалом ионообменника, одновременно освобождается хлорид-ион (Cl⁻). В водном растворе тогда вместе окажутся оставшийся там ион натрия и перешедший в раствор хлорид натрия. Нитрат является солью азотной кислоты, хлорид натрия — солью соляной кислоты. При нитратном обмене соли обмениваются анионами и, соответственно, изменяются. Общее содержание солей не должно изменяться, варьирует только их состав.



При нитратном обмене нитрат-ионы обмениваются с ионами хлора. Общее содержание солей в воде не меняется

Подготовка водопроводной воды



Для полного удаления солей катионообменник и анионообменник подключают последовательно

Регенерация нитратообменника. Так как нитратообменник это такой же обменник, насыщенный натрием, его также можно регенерировать поваренной солью. Описание регенерации должно прилагаться в инструкции по применению.

Опреснение. Во многих случаях желательно полное удаление или снижение содержания солей. Это касается всех живых существ, которые нуждаются в особо чистой воде. И тогда недостаточно применения одной колонки с ионообменником. В этом случае включают последовательно, друг за другом, две колонки. Сначала вода протекает через катионообменник, который в отличие от процесса смягчения воды заряжен не ионами натрия, а ионами водорода. Второй фильтр — анионообменник, который заряжен ионами OH⁻. Реакцию можно изобразить с помощью следующего упрощенного уравнения:

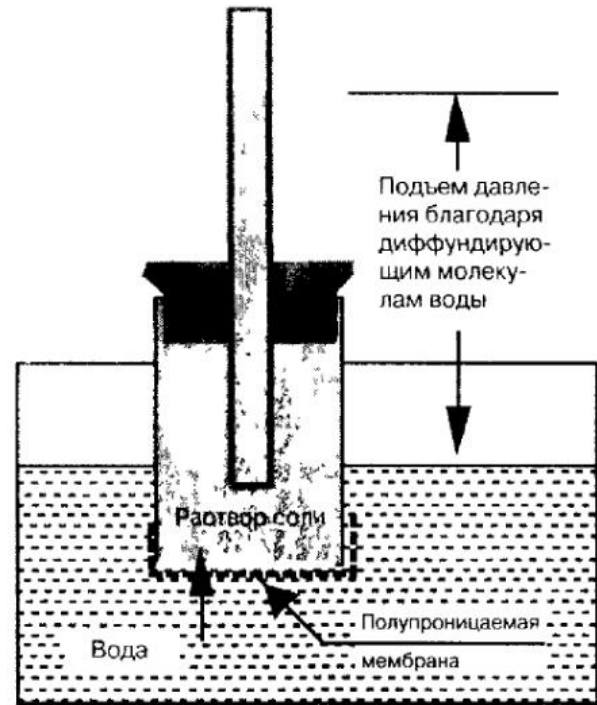


На этом первом этапе в катионообменнике катион соли, диссоциированной в воде, в нашем примере катион натрия, связывается ионообменной смолой и за счет этого освобождается катион водорода. Последний в нашем примере возвращается на место катиона соли и образует соляную кислоту (HCl). Вода, которая вытекает из первой колонки, имеет кислую реакцию. Затем эта вода направляется во вторую колонку, наполненную анионообменником, который насыщен ионами OH⁻. Обменную реакцию можно представить следующим образом:



Кислотный остаток Cl⁻ связывается с ионообменной смолой, а освобожденные OH⁻-группы связываются с остающимися в растворе ионами водорода в молекулу воды. С помощью этого уникального метода удается достичь качества воды, которое сравнимо с качеством дистиллированной воды. Возможно, вода, вытекающая из второго ионообменника, окажется кислой из-за поглощаемого углекислого газа, который может затем удаляться с помощью интенсивной аэрации.

Регенерация ионообменников при удалении солей. Описанные материалы ионообменника насыщены не ионами натрия, а ионами водорода и гидроксида. В соответствии с этим применяются другие средства регенерации. Первый обменник в H^+ -форме (Lewatit S100G1) может регенерироваться 6% раствором соляной кислоты. Вторую колонку в OH^- -форме нужно зарядить OH^- ионами, следовательно, использовать основание. В этом случае (Lewatit MP62) можно использовать 3% раствор гидроксида натрия. После процесса регенерации колонны промываются деминерализованной водой, чтобы предотвратить попадание кислоты или щелочи в обрабатываемую воду. Используемые растворы кислоты или щелочи имеют невысокую концентрацию, однако работать с ними необходимо с осторожностью. По возможности регенерацию лучше проводить специалисту. Даже при единичном использовании следует обращать внимание на инструкции изготовителя, особенно в отношении мер безопасности.



Через мембрану в раствор солей проникает вода. Осмотическое давление видно по водяному столбу

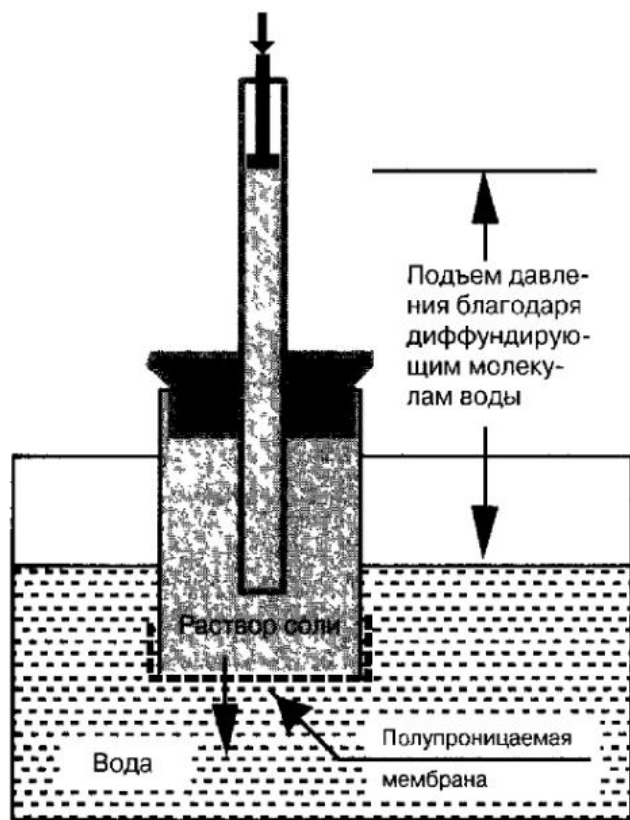
Обратный осмос

Проблемы регенерации, которая проводится в аквариумистике иначе, чем в промышленной технике, а именно большей частью без автоматизации, вручную, вызвали необходимость использовать другую технику для очистки воды. Так как химические методы особенно нежелательны, стали применять физический метод, который основан на законах осмоса. В физических основах мы уже упоминали об осмосе. Молекулы воды проходят через полупроницаемую мембрану для того, чтобы выровнять разницу концентраций растворов по обеим сторонам мембраны. При этом из-за перемещения молекул в ограниченном пространстве возникало избыточное давление, которое, возрастая, противодействует осмосу и приводит наконец к состоянию равновесия.

Степень очистки при использовании обратного осмоса

Алюминий	97-98%	Никель	97-99%
Аммоний	85-95%	Нитраты	92-97%
Мышьяк	94-96%	Пестициды	85-99%
Барий	96-98%	Гербициды	85-99%
Бикарбонат	90-95%	Фосфаты	98-99%
Свинец	96-98%	Ртуть	95-97%
Бромиды	93-96%	Селен	94-96%
Кадмий	95-98%	Серебро	95-97%
Кальций	95-98%	Силикаты	94-96%
Хлориды	90-95%	Стронций	98-99%
Хром	96-98%	Сульфаты	97-98%
Хроматы	90-97%	Сульфиты	96-98%
Цианиды	90-95%	Тиосульфаты	97-98%
Железо	97-98%	Цинк	97-99%
Фториды	93-95%	Соединения, придающие жесткость воде	95-98%
Калий	94-97%	Бактерии	>0,99%
Медь	97-98%		
Магний	95-98%		
Марганец	97-98%		
Натрий	94-98%		

Подготовка водопроводной воды



Если на водяной столб оказывать воздействие, которое больше, чем осмотическое давление, то чистая вода возвращается через мембрану: принцип обратного осмоса

Давление в состоянии равновесия системы называется осмотическим. Если из-за внешнего воздействия с повышением концентрации увеличивается давление в камере, то начинается обратное движение молекул воды через мембрану. Чем выше становится давление, тем больше молекул проходит через мембрану. Вследствие этого повышается концентрация соли. Если движение молекул через мембрану продолжается, то повышается давление. Мембрана построена таким образом, что могут проходить только молекулы воды, молекулы соли будут оставаться таким образом; в зависимости от качества мембраны можно получить очень чистую воду. Этот процесс противоположен осмосу и называ-

ется обратным осмосом. В обоих приведенных рисунках процесс осмоса или обратного осмоса должен через короткое время перейти в состояние равновесия, так как давление постоянно повышается до определенного значения.

Энергозатраты для установки обратного осмоса. Осмотическое давление поднимается с увеличением содержания соли. Итак, есть существенная разница в очистке относительно бедной солями питьевой воды и соленой воды для получения питьевой. Чем выше содержание солей, тем выше давление, которое должно применяться. Осмотическое давление воды Красного моря равно тридцати барам. Чтобы молекулы воды в большем количестве и за короткое время проходили через мембрану, необходимое давление для установки по опреснению морской воды должно удваиваться, т. е. быть равным 60 бар. Такие давления, конечно, недостижимы, для домашних аквариумистов, да и вообще не нужны. Им необходимо очищать не соленую воду, а удалять из нашей питьевой воды остаточное количество солей. В то время как морская вода имеет проводимость 60 мСм/см (60000 мкСм/см), наша питьевая вода имеет проводимость от 200 до 600 мкСм/см. К сожалению, дождевые воды также не совсем чистые и имеют проводимость от 50 до 100 мкСм/см, что отличается от дистиллированной воды. Для установки обратного осмоса или соответствующего устройства для очистки питьевой воды используется предварительное давление от 3 до 5 бар (от 30 до 50 метров водного столба). Это соответствует давлению в водопроводе, из которого вода, как правило, подается для домашнего хозяйства.

Таким образом, в установке обратного осмоса без особых проблем может использоваться давление воды в трубопроводе. Это очень важно, так как водные насосы высокого давления для неболь-

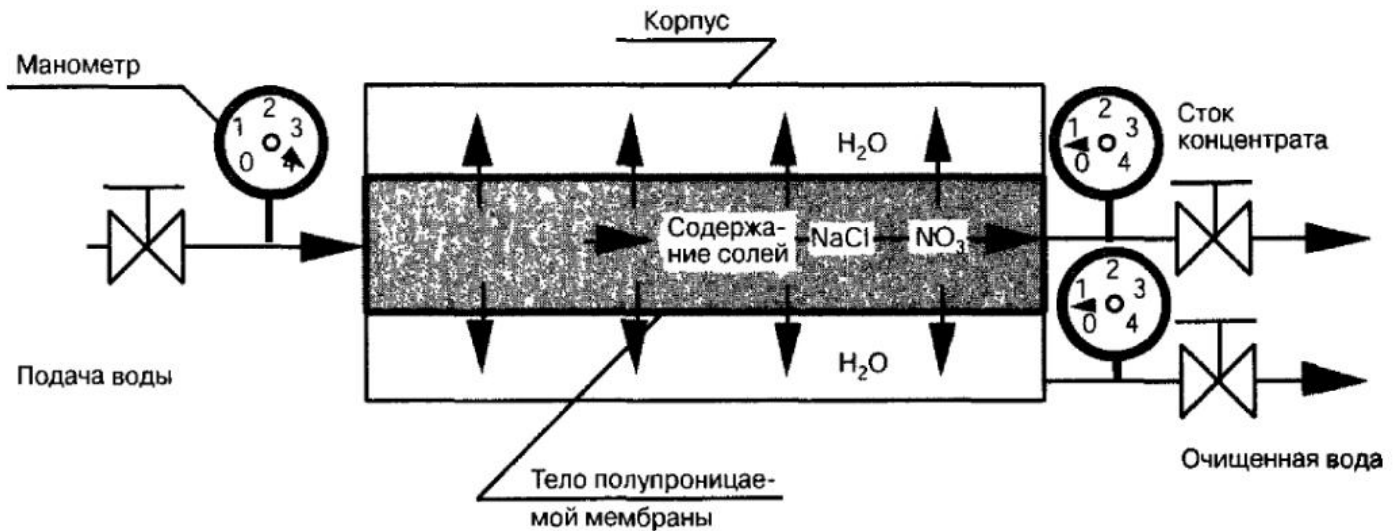
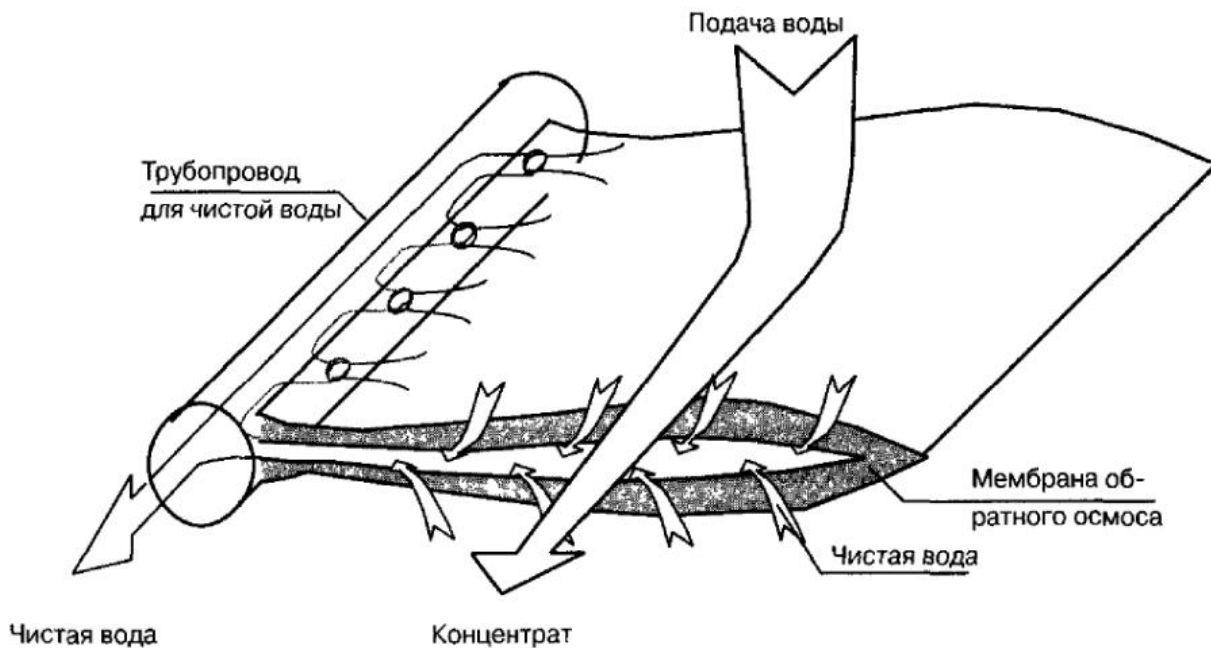


Схема установки обратного осмоса

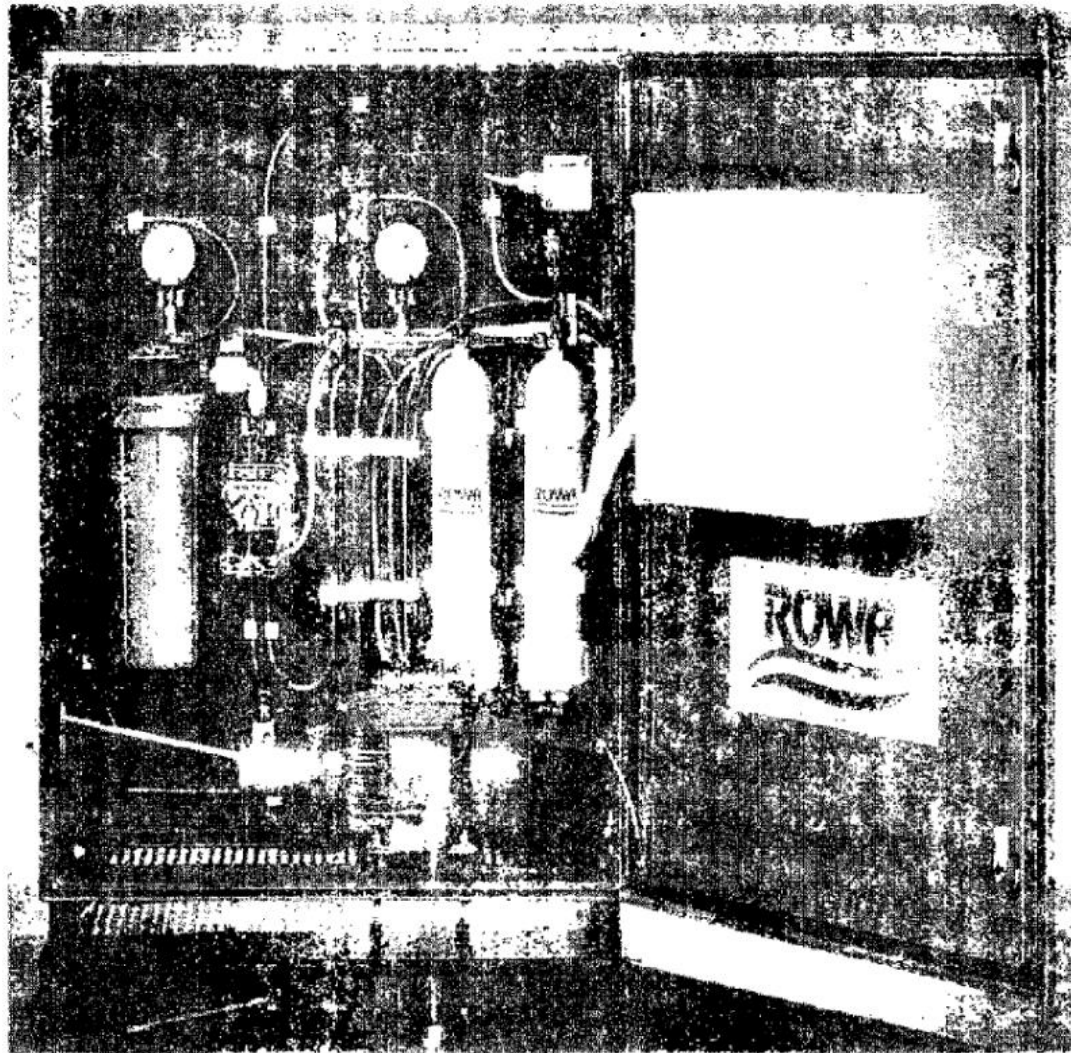
ших количеств воды почти не используются и требуют значительного потребления энергии. Таким образом, установка обратного осмоса для аквариума проста в эксплуатации и экономична.

Устройство приборов и установки обратного осмоса. Мембрана на практике —

очень сложное, структурированное тело. Чтобы по возможности использовать большие поверхности в маленьких объемах, мембраны, как правило, упаковываются в связанные волокнистые пучки или в рулоны. Достаточно одной упаковки на три подсоединения. Одно подсоединение нужно для входящей воды, вто-



Конструкция и схема циркуляции воды модуля рулона



Установка очистки воды, используемая в промышленности для повышения производительности, укомплектована насосом высокого давления

рое — для выходящей воды и третье — для стока концентратов.

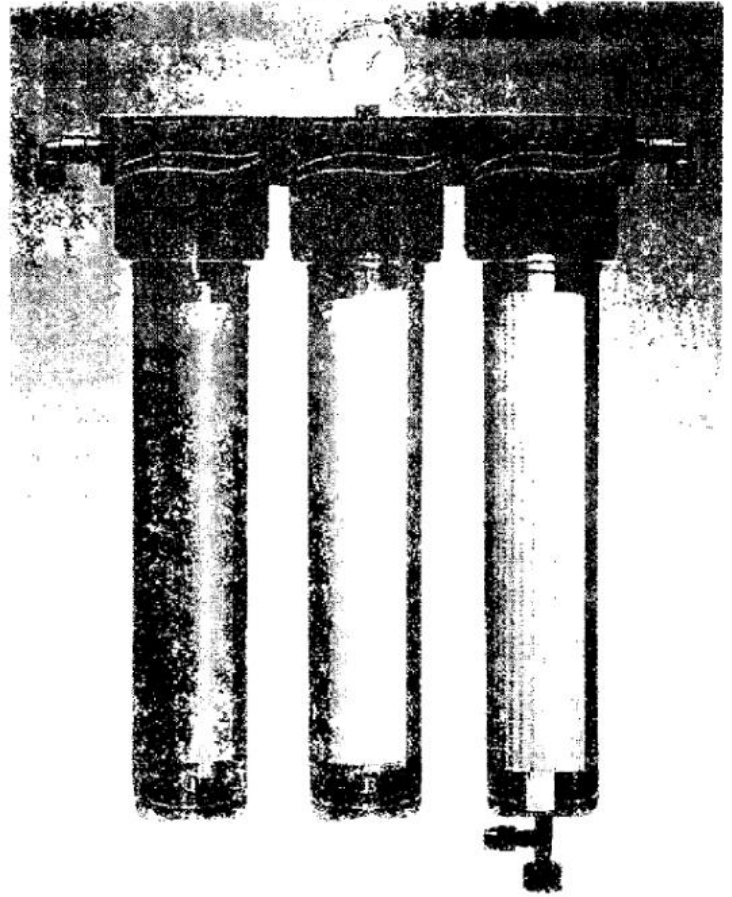
Давление входящей воды в мембране почти полностью расходуется, так что вода из установки выходит без давления. Перепад давления и количество мембранных тел определяет также объемы очищенной воды и стока концентратов. Давление в системе ограничено возможностями водопровода, а количество мембранных тел — финансовыми возможностями. При использовании одного мембранного тела получается неудовлетворительное соотношение чистой воды и концентратов. При этом понятие «концентрат» некорректно, так как соотношение чистой воды и концентрата равно 90 к 10. Так как количество используемой воды невелико, то такое соотношение можно оправдать. Выход концентрата присоединяется к отработанной воде. Для чистой воды необходимо исполь-

зовать достаточно большой резервуар. Чистота воды определяется, наряду с качеством мембраны, соотношением количества концентрата и чистой воды. Чем больше количество концентрата, тем быстрее отводится общее содержание солей от мембраны. Свежая вода подходит к мембране и проходит через нее. Если в определенной мере повышается количество концентрата, то не происходит дальнейшего улучшения очистки воды. Отношение количества концентрата к количеству чистой воды должно постоянно проверяться. Как правило, для этого достаточно измерять оба потока мерным стаканом или ведром по часам. Гораздо удобнее, прежде всего на больших установках, контролировать оба потока расходомером, тогда можно регулярно без больших затрат производить нужную настройку. Чтобы была возможность при необходимости производить

коррекцию, оба водопровода снабжаются ручным вентилям.

Предварительная фильтрация. Мембраны предназначены для того, чтобы отделять растворенные соли от воды. Следовательно, они имеют размеры пор в молекулярной области. Ясно, что эти поры легко засоряются грубыми частицами. Если даже вода поступает из гидротехнического сооружения без загрязнений, на длинном пути к потребителю вода часто загрязняется в трубопроводе, например, такими веществами, как отложения железа, продукты коррозии. Поэтому перед каждой установкой обратного осмоса рекомендуется поставить фильтр тонкой очистки, который задержит грубые частицы и защитит мембраны. Предварительный фильтр из активированного угля служит прежде всего как катализатор, с помощью которого предотвращается возможное разрушение мембраны хлором. Предварительный фильтр можно легко очистить или заменить. Он доступен по цене и его можно применять в больших количествах. Целесообразно также установить манометры перед предварительными фильтрами и перед мембраной.

Техническое оснащение. Установка обратного осмоса может быть оснащена собственным насосом высокого давления (см. рисунок на стр. 70), если вода из сборного резервуара должна изыматься или давление в водопроводе недостаточно для установки. Установки меньшего размера (рис. вверху) присоединяются непосредственно к водопроводу, который должен давать давление от 2 до 6 бар. Рисунок на стр. 72 показывает очень дорогое техническое оснащение установки обратного осмоса. Для большей части случаев затраты могут быть меньшими, но здесь изображены все устройства, и становятся понятными их функции. Установка присоединяется с помощью ручного вентиля к водопроводной сети. Таким же спосо-

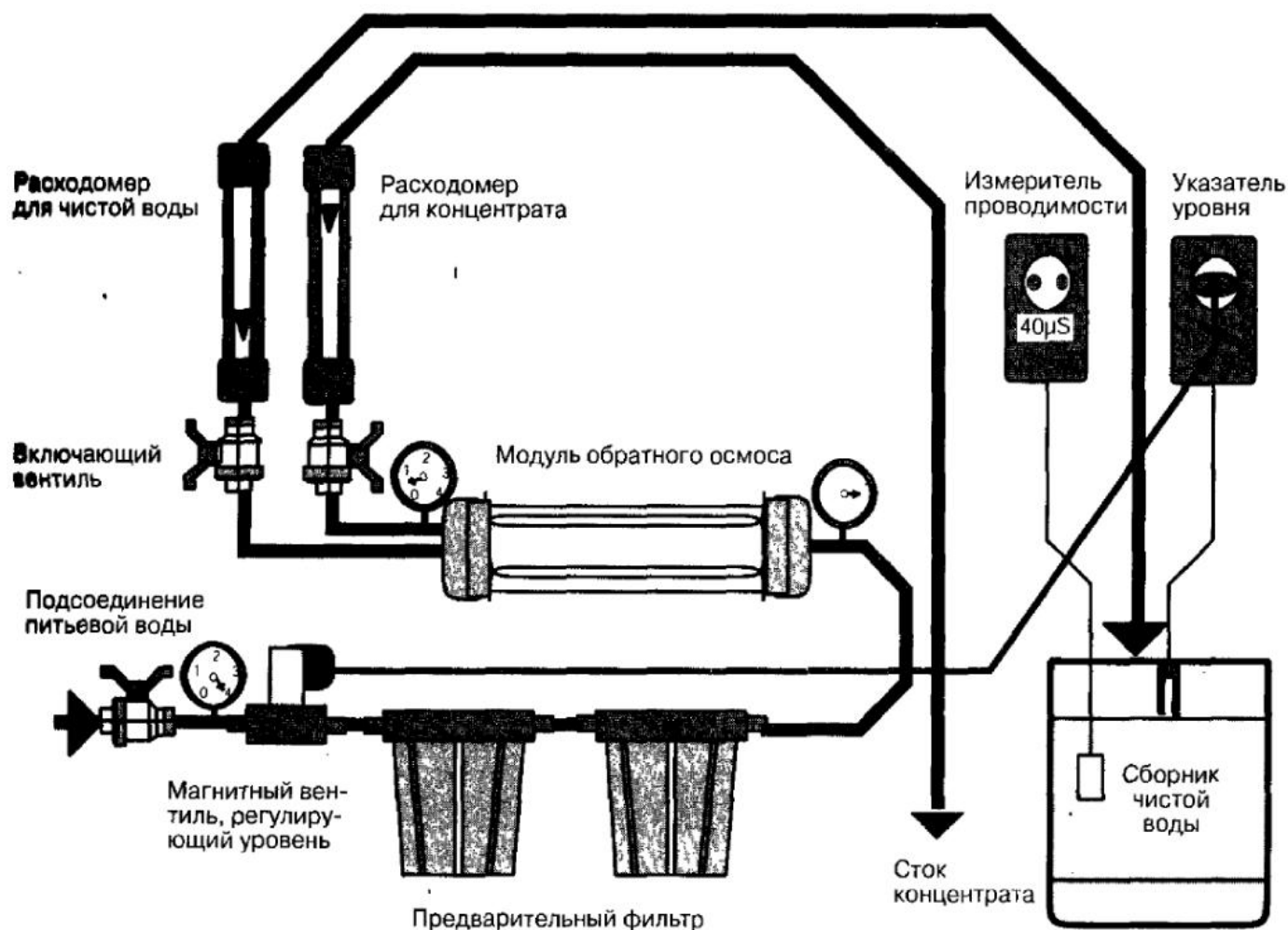


Установки, используемые в аквариумистике, «работают» с трубопроводами высокого давления

бом ее можно отсоединить для очистки и технического обслуживания без давления.

Манометр показывает рабочее давление установки. Следующий клапан с электромагнитным переключением управляется регулятором уровня. Если сборный резервуар для чистой воды заполнен, магнитный вентиль закрывается, и процесс автоматически останавливается. Два фильтра грубой очистки необходимы для того, чтобы отфильтровать крупные частицы. Манометр между предварительным фильтром и модулем обратного осмоса показывает степень загрязнения фильтра грубой очистки. Если регистрируется падение давления по отношению к первому манометру, то предварительный фильтр следует очи-

Подготовка водопроводной воды



Техническая схема дорогостоящей установки обратного осмоса

стить или заменить. На выходе модуля присоединяется трубопровод для чистой воды, а концентраты с помощью двух ручных вентилях и расходомера могут точно направляться в локальные потоки. Часто для небольших установок рекомендуется подключение вентилях. В этом случае можно отказаться от расходомеров.

Тем не менее, следует контролировать количественные отношения чистой воды и концентрата с помощью часов и мерного стакана. Вытекающий концентрат отводится непосредственно в сток. Он может еще использоваться в домашнем хозяйстве для других целей.

Чистую воду можно непосредственно заливать либо в аквариум, либо в резервуар для чистой воды. В обоих случаях следует предусмотреть неприятные неожиданности с помощью измерителя уровня. Прибор для измерения проводимости показывает фактическую остаточную проводимость и, таким образом, постоянно контролирует качество воды. Устройство это необязательно, но рекомендуется для больших установок. Любое качество воды можно непосредственно контролировать с помощью измерения проводимости. Поломки, такие, как разрыв модуля, могут тотчас же устраняться.

Обработка воды с помощью специальных фильтровальных средств

Активированный уголь

Применение активированного угля для предварительной очистки воды является самым старым и самым известным способом. Конечно, он имеет ограниченные возможности. В частности, активированный уголь позволяет удалять только окислители и органические вещества.

Между атомами твердого тела действует сила притяжения во всех направлениях. В твердом теле эти силы поглощаются атомами самого тела. На границах поверхности тел они действуют в свободном пространстве и влияют на атомы и молекулы, находящиеся поблизости. Силы, действующие на границах поверхностей, могут быть так велики, что окружающие поверхность атомы и молекулы прикрепляются к ней. Это процесс называется абсорбцией. Абсорбция действует между всеми телами. Можно представить себе, что сила сцепления будет тем интенсивнее, чем более активна поверхность, которая причастна к процессу абсорбции. Очень ценное свойство активированного угля — экстремально большая поверхность в малом объеме. Его мелкопористая структура возникает, когда вещества с большим содержанием углерода, такие, как уголь, древесина или кость, обрабатываются водяным паром. Для сравнения: в то время как кубик из графита весом 1 грамм имеет площадь поверхности только 4 см², активированный уголь низкого качества может иметь площадь от 5 до 50 м² на грамм. Специальные сорта активированного угля имеют площадь поверхности от 800 до 1000 м² на грамм. Это число свидетельствует о том, что 10 граммов активированного угля имеют площадь фут-

больного поля (примерно 7500 м²)! К важным свойствам активированного угля следует отнести не только его активную поверхность. Чем больше отдельное его зерно, тем хуже используются внутренние поры и тем интенсивнее используется только часть активной поверхности, непосредственно контактирующей с отложениями. Активированный уголь должен соответствовать своему применению. При относительно небольших потоках воды, используемой для аквариума, рекомендуется угли с меньшим гранулированием. Если активированный уголь непрочен структурирован, он может распыляться из-за взаимного истирания гранул. При этом активированный уголь, хотя и бесполезен, но приводит к образованию активных углеродных участков, которые в биологических процессах приводят к образованию нежелательной восстановительной среды. Этого, безусловно, нужно избегать. Кроме того, порошковый активированный уголь вымывается в воду и в виде взвеси плавает в аквариуме там, где мы его меньше всего хотим видеть. Наряду с описанным абсорбционным действием активированного угля, нужно хотя бы коротко привести два других свойства этого фильтровального материала. Активированный уголь состоит из чистого углерода, следовательно, он может действовать восстанавливающим образом, например, в реакции с таким окислителем, как озон. Кроме того, известны также каталитические эффекты, которые в аквариуме однако, играют незначительную роль. В дополнение следует упомянуть, что активированный уголь из-за своей большой удельной поверхности очень хорошо подходит для биологического фильтра, в качестве грунта для роста растений. На практике описанные здесь процессы не отделимы друг от друга, а протекают в фильтре большей частью одновременно.

Торф

С 1952 г. в литературе по аквариумистике с пресной водой постоянно сообщается о торфе и торфофилтрации. Торф используется прежде всего рыбоводами, которые занимаются рыбами, живущими в бедной солями черной или прозрачной воде. Торф часто добавляют в грунт. Опубликованные в последнее время негативные высказывания не касаются аквариумной практики, а затрагивают сложные химические процессы, которые возникают при применении торфа, причем для аквариума пригоден только «белый торф» из глубоких слоев верховых болот. Тем не менее определенные виды торфа используются в аквариумистике. Химическая структура торфа еще недостаточно известна, и, по-видимому, не скоро будет изучена. Вследствие этого трудно определить критерии качества и гарантировать одинаковые свойства определенных сортов торфа. Было бы хорошо информировать покупателя о происхождении, составе и чистоте торфа.

С другой стороны, в литературе и на упаковках описывается иногда до 20 почти магических свойств торфа. Многие из этих свойств должны быть обусловлены определенными химическими веществами. Из-за сложной химической структуры торфа и содержащихся в нем гуминовых веществ некоторые свойства его крайне трудно предположить. Когда речь идет о торфе или о гуминовых веществах, имеется в виду сложная смесь веществ, практически не разлагаемых биологическими процессами и представленная главным образом остатками болотных растений с молекулярным весом от 700 до 200 тысяч. Некоторые молекулы достаточно велики и имеют длинную цепь. Если смесь экстрагировать щелочью, то получается желтый, коричневый или почти черный раствор фульво- и гуминовых кислот. Если в эти растворы добавить кислоту, то в осадок выпадают гуми-

новые кислоты. Фульвокислоты, состоящие из молекул меньшего размера, остаются в растворе. Итак, в аквариумной воде могут присутствовать как фульво-, так и гуминовые кислоты (вместе как «гуминовые кислоты»). Они окисляются в воде и вследствие этого получается темная окраска. Наряду с гуминовыми кислотами торф содержит минеральные вещества, смолы и другие органические вещества. Невозможно изменить состав торфа, не потеряв при этом важной для аквариумиста составной части. Если необходимо удалить известь соляной кислотой, то при этом теряются также важные фульвокислоты. Следовательно, торф не должен перерабатываться; он чист и сбалансирован настолько, насколько это возможно.

Ароматическая основа молекулы¹ содержит очень много карбокси-, фенольных и аминок групп. Нерастворимая в воде, состоящая из больших молекул часть торфа может функционировать как катионообменник (см. главу «Ионообменник» стр. 62). Однако для водоподготовки, имея в виду снижение жесткости и рН, более подходят ионообменные смолы, так как известна их производительность, и они могут регенерироваться.

Гумусовые кислоты в естественных водоемах. Растворенные гумусовые кислоты придают известным черным водам, например водам реки Рио-Негро, окраску. Похожие вещества вызывают желтую окраску прибрежных вод и окрашивают мангровую воду в желтый цвет. Следовые количества таких веществ играют в море важную роль и используются также в культуре морских водорослей.

¹ Под ароматическими соединениями понимают химические соединения, которые имеют структуру бензольного или другого кольца с сопряженными связями. В данном случае под названием подразумевается другое, более широкое понятие.

Торф в аквариумистике. Водорастворимые гуминовые кислоты, состоящие из молекул небольшого размера, очень стабильны. Они могут функционировать в качестве кислых буферных растворов (рН примерно 6), в качестве хелатных соединений (управление химией, биологией и токсичностью металлов) и в качестве фотокаталитических редукторов. Эти свойства являются, вероятно, самыми важными для аквариумистов; поэтому дорого и неоправданно заменять водорастворимые гуминовые кислоты другими продуктами. Фильтр из торфа имеет и бактерицидное действие. Так как все, что помогает уменьшить применение медикаментов в аквариуме, является очень важным, это свойство, конечно, высоко ценится. С другой стороны, бактерицидное свойство торфа имеет недостаток, так как нарушает принцип биологической фильтрации. Также вызванное торфом снижение значений рН и регулярный обмен веществ уступают преимуществам биологического фильтрования. Часто рекомендуют применять один литр торфа на сто литров воды и менять торф каждый месяц. Однако здесь нельзя давать общие указания. Каждый аквариумист должен проводить регулярный контроль аквариумной воды и устанавливать, в каком количестве торфа он нуждается и как часто он должен его менять.

Контроль чистоты. Контроль чистоты представляет собой самую важную проблему при применении торфа, так как он загрязнен следующими веществами:

- летучие кислоты;
- известь и другие неорганические вещества;
- продукты обмена веществ (аммоний, нитраты, нитриты, фосфаты);
- сельскохозяйственные ядохимикаты;
- разлагающиеся органические вещества, сильно потребляющие кислород.

Как на упаковке, так и в болоте бесполезно искать соответствующие ссылки на эти вещества. Поэтому необходимо тестировать каждый торфяной фильтр, прежде чем применять его в аквариуме. Для этого торф сначала нужно измельчить, затем поместить 30 мл торфа и 150 г деминерализованной воды в бутылку с закручивающейся пробкой и оставить на 72 часа, время от времени встряхивая ее. Затем прозрачную жидкость сливают, причем ее окрашивание не позволяет делать никаких выводов о содержании гумусовых кислот. Далее измеряют электрическую проводимость небольшой пробы жидкости (см. главу «Измерение параметров воды»). Проводимость должна быть очень низкой, иначе проба загрязнена растворимыми минералами. Затем растворяют в пробе немного хлорида калия и измеряют значение рН на электрическом рН-метре, так как колориметрическое определение этой величины в слабобуферных и сильноокрашенных растворах мало пригодно. Затем в течение нескольких часов проба аэрируется (диспергатор из дерева). Значение рН должно слегка повыситься, менее чем на 0,2, в противном случае в торфе содержится недостаточное количество фульво- и гуминовых кислот, да к тому же много летучих кислот: стабилизирующее действие подобного торфа было бы очень незначительно. Следующие пробы воды проверяют общепринятым способом на карбонатную жесткость, общую жесткость (катионы кальция и магния), аммоний, нитриты, нитраты и фосфат. При этом нужно обращать внимание на цвет пробы. Все упомянутые вещества должны быть представлены только в очень небольших количествах. В кислой, мягкой и бедной хлоридами воде аммоний не токсичен. Нитриты, напротив, очень токсичны (уже при значении 1 мг/л). В аквариуме при подобных значениях может инактивироваться денитрификация, поэтому концентрация нитратов должна постоянно контролироваться.

Подготовка водопроводной воды

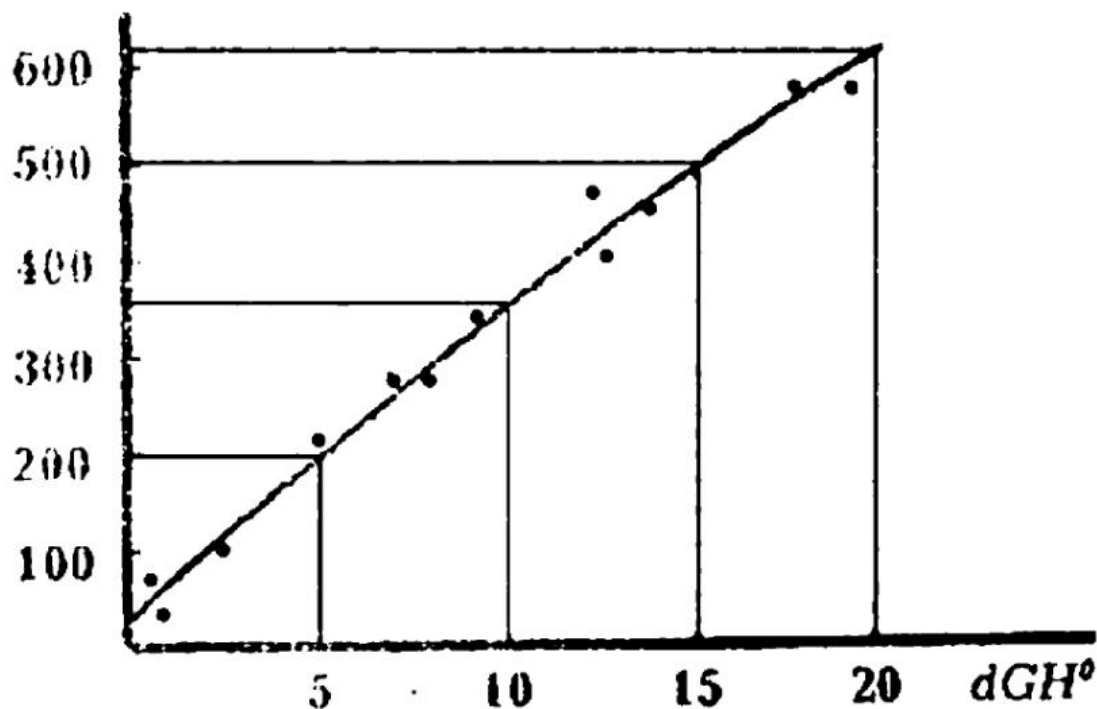
Если анализы не показали значительных концентраций нитратов и фосфатов в торфе, можно с большой вероятностью утверждать, что торф не добывался рядом с землями сельскохозяйственного пользования. Гербициды и пестициды в торфе также скорее всего отсутствуют. В противном случае необходима осторожность, так как содержание ядохимикатов измерять трудно. Тест с помощью дафний, предложенный DATZ-редакцией (см. Krause 1991), не подходит для любителей, так как его слишком трудно воспроизвести. Простые тесты на кислородный обмен торфа, к сожалению, еще не разработаны. Торфофильтрация не может комбинироваться с озонированием, ультрафильтрацией, фильтрацией на активированном угле и с ионообменными смолами. С торфяными фильтрами невозможна также большая по объему замена водопроводной воды. Озон, ультрафиолетовые лучи разрушают гумусовые кислоты. Кроме того, ультрафиоле-

товые лучи не могут проявлять своего бактерицидного эффекта, так как растворы гумусовых кислот их не пропускают. Активированный уголь и ионообменные смолы почти необратимо адсорбируют гумусовые кислоты. Кальций (карбонатная жесткость) в водопроводной воде нейтрализует растворимые (в воде) и нерастворимые (на фильтре) гумусовые кислоты. Смена воды должна, следовательно, происходить только соответствующим образом подготовленной водой. Для этой подготовки должна использоваться по меньшей мере деминерализованная вода.

Заключение. Торф для аквариумистов является очень интересным материалом. Тот, кто хочет экспериментировать, должен заниматься аквариумной химией и анализом воды и перед применением исследовать торф. В библиографии приведены публикации, которые затрагивают эту тему.

λ , $\frac{\text{мксм}}{\text{см}}$

График из книги
"Современный аквариум и химия".
Москва, "Новая Волна", 1997 г.
Авторы:
И.Г. Хомченко,
А.В. Грифонов,
Б.Н. Разуваев



Фильтрационная техника

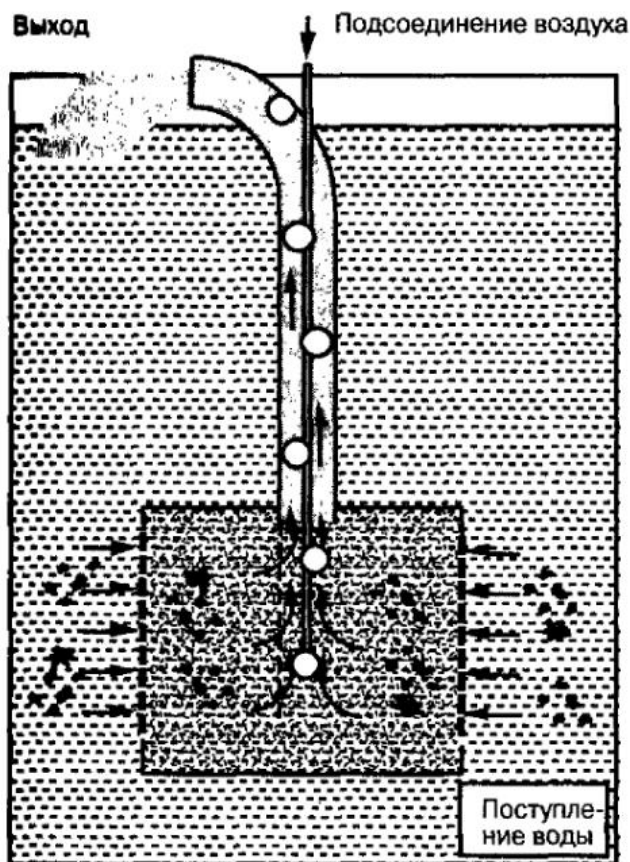
Внутренний фильтр с использованием воздуха

Внутренний фильтр, использующий воздух, является одним из самых традиционных в аквариумной технике. Причина его появления — наблюдение над тем, как пузырьки воздуха, покидающие источник их образования или также открытую трубку, уносят с собой наверх некоторое количество воды. Этот эффект известен также как «насос мамонта». Рисунок на стр. 78 показывает также принцип этого эффекта. Преимущество метода состоит в том, что для него нужен лишь воздушный насос, т. е. в этом случае затраты невелики. Так как поднимающиеся газовые пузырьки образуются только при относительно небольшой подаче воздуха, эти фильтры находят применение большей частью для маленьких аквариумов. Транспортирующая трубка расположена в середине фильтра, так что вода восходящими пузырьками засасывается в фильтр. Фильтр заполняется обычной фильтровальной ватой, но возможны также другие материалы, например активированный уголь. Как уже упоминалось выше, эта конструкция фильтра из-за незначительной циркуляции воды в аквариуме ограничена в применении. В современных аквариумах она скорее нежелательна, но, однако, полезна для начинающих аквариумистов для освоения аквариумной техники. При использовании этого принципа аэрация происходит после того, как вода уже прошла фильтр. Снабжение фильтра кислородом зависит от его содержания в аквариуме, так как фильтр аэрируется неактивно. Поэтому нужно обращать

внимание на то, чтобы он не работал в анаэробных условиях. Для предотвращения этого фильтр должен быть не очень плотным. Уплотнение фильтра уменьшает скорость потока, следствием чего являются «мертвые зоны» и плохое снабжение кислородом. Фильтр должен также относительно часто очищаться. Цикл очистки определяется размером аквариума, количеством животных и фильтрацией. При чистке фильтра нужно очищать старую фильтровальную вату и использовать ее без предубеждения. Биологически активные культуры бактерий на вате способствуют фильтрации. Аквариумы большего размера при необходимости могут снабжаться двумя фильтрами. Когда пузырьки газа устремляются к поверхности, они интенсивно журчат из-за их разрыва, и работа фильтра не мешает лишь в том случае, если это журчание не раздражает окружающих. Описанный фильтр пригоден для небольших аквариумов с пресной водой (емкость примерно 50 л), так что их можно порекомендовать новичку. Опытным аквариумистом это устройство будет применяться как дополнительная, но не основная техника.

Внутренний фильтр с водяным насосом

Одним из вариантов описанного выше внутреннего фильтра, использующего воздух, является похожее устройство, снабженное водяным насосом. Преимущество его состоит в том, что устройство пропускает значительно больше воды, чем фильтр, использующий воздух. Конечно, внутренний



Во внутреннем фильтре, использующем воздух, воздушные пузырьки транспортируют воду по подъемной трубке

фильтр не обогащает воду кислородом. Поэтому рекомендуется выход фильтра устроить у водной поверхности или над ней, так, чтобы с потоком воды, падающим на водную поверхность, в воду поступал воздух.

Не каждый находит связанное с этим фильтром журчание приятным, но нельзя недооценивать обогащение воды кислородом. В фильтрах большего размера имеется возможность оборудовать выход воды инжектором. Вследствие этого примешивается больше воздуха. Обогащение кислородом происходит лучше, так как пузырьки воздуха более мелкие. Всегда возникают трудности, когда внутренний фильтр необходимо вынимать из аквариума. Чтобы предотвратить вытекание воды из фильтра при его подъеме,

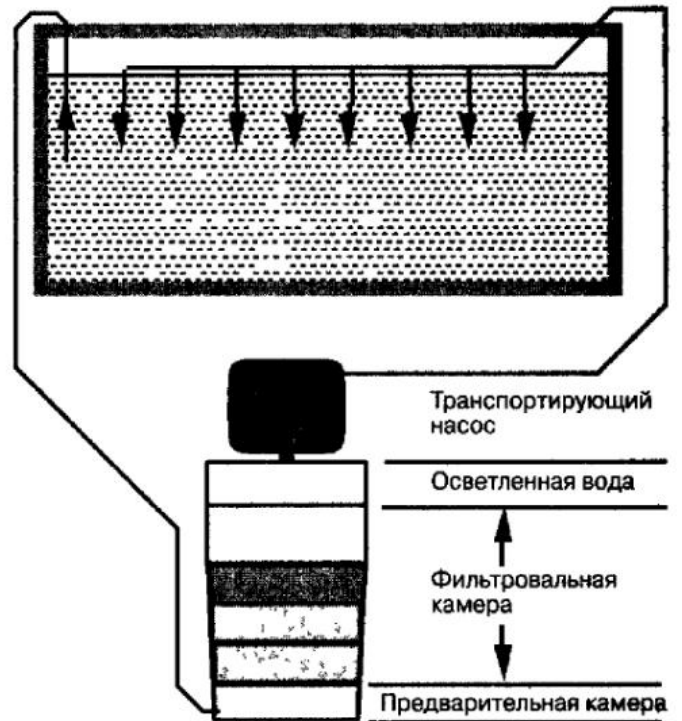
он снабжается шибером. Несмотря на это, все же нужно быть осторожным, чтобы уберечь домашний ковер от воды.

Закрытый быстрый фильтр

Закрытый быстрый фильтр является наиболее распространенным видом аквариумных фильтров. Он соответствует желанию аквариумиста отделить технику от аквариума. Быстрый фильтр устанавливается, как правило, под аквариумом и оборудован на стороне всасывания или давления подающим насосом, который, по сравнению с фильтром, использующим воздух, создает принудительное движение воды. Фильтры можно подбирать для аквариумов разных размеров, учитывая производительность насоса. В качестве контрольного значения можно исходить из того, что все содержимое аквариума в течение часа должно проходить через фильтр. Для аквариума 200 л следовало бы выбрать производительность насоса 200 л/час. Большинство закрытых фильтров можно рассматривать как чисто механические фильтры. Причина в том, что они не могут активно снабжаться кислородом. В этом помогает биологически активный фильтровальный субстрат, т. е. фильтровальный материал с высокой удельной поверхностью. Биологическое фильтрование в аэробной среде связано именно с кислородом, который подводится в закрытые быстрые фильтры только с аквариумной водой. В аквариумах, в которых используются такие фильтры, важна интенсивная аэрация воды. Это касается также аквариумов, в которых двуокись углерода вводится как питательное вещество. Эти аквариумы обычно используются при небольшой подаче кислорода, чтобы не так быстро удалять угольную кислоту. Эти фильтры особенно повреждаются при экстремальных режимах. Закрытые быстрые фильтры особенно хороши при

механической фильтрации. Частицы загрязнения, экскременты, остатки корма относительно быстро удаляются из аквариума и улавливаются фильтровальным материалом.

Следствие этого — практически прозрачная вода, что благоприятно и для человека, и для рыбы. Но аквариумы — это только «комната» для рыбы. Быстрый фильтр включается в водное жизненное пространство. Загрязнения, которые накапливаются в фильтре, образно выражаясь, находятся только под «ковром». Но там они не депонированы прочно. В каждом случае фильтр далее обрабатывается биологически. При оптимальных условиях вода насыщена кислородом, что способствует развитию аэробных бактерий, осуществляющих процессы разложения. Менее желательная ситуация, когда фильтр эксплуатируется анаэробно, т. е. при общем недостатке кислорода. Теоретически и в анаэробной среде может протекать процесс разложения. Но в целом в отношении насыщения кислородом в быстром фильтре маловероятны стабильные условия. Вероятнее всего аэробные и анаэробные бактерии будут конкурировать. Это приводит к тому, что стабильные условия вообще не устанавливаются. Фильтр находится в постоянной опасности «биологически опрокинуться» и выбросить большое количество вредных веществ в аквариум. Чем дольше он эксплуатируется, тем больше будет накапливаться биологически активного материала. В этом случае нужно срочно искать выход. Как показывает рисунок на стр. 81, при эксплуатации закрытого быстрого фильтра в замкнутом цикле невозможен выход для органических веществ. Здесь необходимо творчество. Вещества из фильтра должны удаляться, т. е. он должен регулярно очищаться. Это единственный выход, если фильтрация ограничена в основном механическим эффектом, поэтому при покупке фильтра следует обратить внимание на то, чтобы



Применяемый в настоящее время быстрый фильтр с использованием торфа установлен под аквариумом

он легко открывался. К тому же хорошо было бы его очищать через вентиль. Промежутки времени между очистками должны регулироваться по количеству обитателей аквариума. Для этого нет жестких правил. Некоторые аквариумисты предпочитают точно установленный срок, другие пытаются найти его посредством измерений.

Но когда измеряемые величины показывают снижение качества воды, может быть уже слишком поздно. Итак, следовало бы очищать фильтр один раз в неделю или чаще. Если фильтр используется чисто механически, то очистка должна происходить чаще и очень основательно. Если есть перспектива использовать фильтр как биологический в обогащенной кислородом воде, то ему после каждой очистки для нормальной работы необходимо некоторое время. Поэтому не нужно часто вмешиваться в его работу. Очистка должна быть основательной,

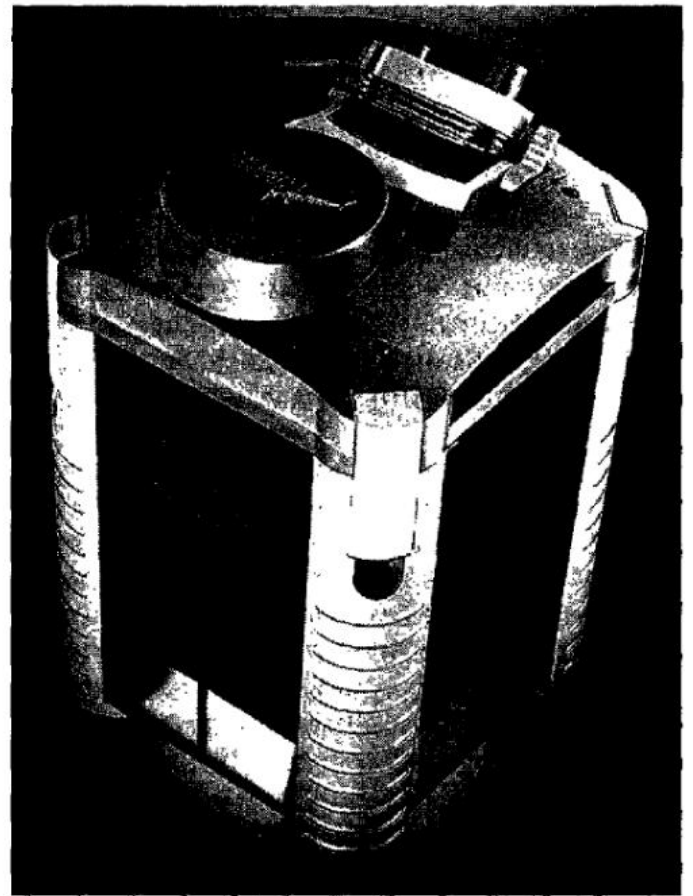
но не чрезмерной, чтобы все-таки оставить на материале биологически активные вещества для быстрой активизации промытого или нового фильтровального субстрата. Часто быстрые механические фильтры выполнены из прозрачного материала, и механическое загрязнение можно установить на них визуально.

Конечно, на это нельзя полагаться. Внутри фильтра могут образовываться сложные сообщества бактерий, которые снаружи не видны. Фактически нужно приложить усилия и открыть фильтр.

Фильтровальные патроны из различных материалов

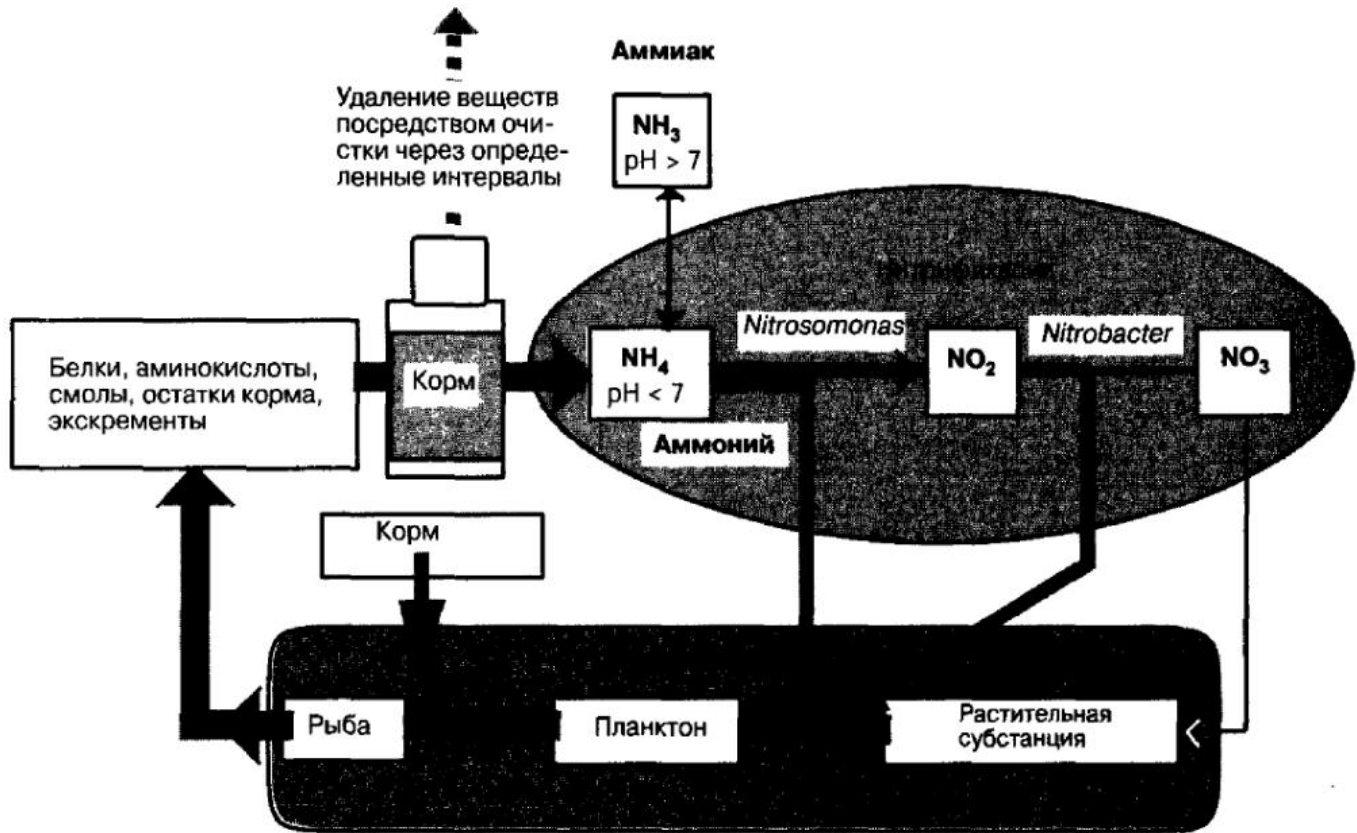
У многих фильтров есть возможность помещать различные фильтровальные субстраты в разные камеры. С одной стороны, такие варианты с комбинированием можно приветствовать, с другой стороны, их следует рассматривать критически. Не следует от укладки разных фильтровальных материалов ждать чуда. Как правило, фильтровальный объем имеющихся в продаже быстрых фильтров и без того точно определен. Если он разделен на контейнеры с различными субстратами, то весьма вероятно, что правильно не будет работать ни одна ступень фильтрации. Мы также видим, что фильтр преимущественно биологической функции отличается от фильтра преимущественно механической функции временем протоя. Если нужно очистить механическую часть фильтра, это помешает биологическому разложению вредных веществ. Если мы все-таки начинаем с очистки механической ступени, то механический фильтр может биологически обособиться и «опрокинуться», т. е. выделять ядовитые вещества. Как мы увидим позже, рекомендовать нужно в основном комбинации фильтров. Необходимо, конечно, очищать каждую ступень в отдельности, не касаясь другой. Это едва ли достигается при одном фильтровальном резервуа-

ре, так что лучше использовать имеющиеся фильтровальные объемы последовательно с одним субстратом. Эти предложения не должны отрицательно влиять на работу быстрого фильтра. Как и прежде, он является важным устройством, особенно для небольших аквариумов. Но необходимо ясно видеть границы. Как уже упоминалось выше, микрофлора всегда будет поселяться на фильтре, но не всегда смогут происходить оптимальные процессы разложения. Из рисунка на следующей странице ясно, какие опасности это вызывает. Органические соединения, такие, как белки, окисляются прежде всего до аммония как это было описано в главе «Биологические основы». Бактериальное окисление аммония до нитритов очень сильно зависит от кислорода ($2,6 \text{ мг O}_2/\text{мг NH}_4^+$). При недоста-



В быстром фильтре может применяться многослойное заполнение

Аэробная биологическая фильтрация



Круговорот азота в аквариуме, использующем механический быстрый фильтр

точном снабжении кислородом происходит замедление окисления в нитриты. Аммоний всегда будет в избытке. Следующая ступень нитрификации — окисления нитритов до нитратов — не так сильно зависит от кислорода.

Если аммоний не достаточно интенсивно превращается в нитрит, в системе отсутствует не только кислород, но и нитраты; аммоний и нитриты будут достигать опасных высоких концентраций. Это создает неблагоприятные условия для бактерий. Токсичные вещества возвращаются с водой из фильтра в аквариум и негативно воздействуют на обитателей аквариума. Обновление воды, протекающей через фильтр, не может устранить все неисправности. Богатая растительность не способствует поглощению этих веществ, так как растение питается только полностью окисленным до нитратов азо-

том. В заключение я хотел бы привести высказывание Рюкштедта (1963) из его первого научного труда: «Дрянь остается дрянью, даже если ее не видеть». Как ни банально звучит эта фраза, она не утратила силу со времени ее первого изложения.

Аэробная биологическая фильтрация

Биологическая фильтрация возникла из механической. Очень давно при очистке сточных вод было замечено, что материал фильтра биологически активен и что бактерии, поселяющиеся на фильтровальном материале, оказывают на систему специфический эффект. Поэтому начинали с того, что фильтр с наполнителями заливали сточными водами и после определенного времени воздействия

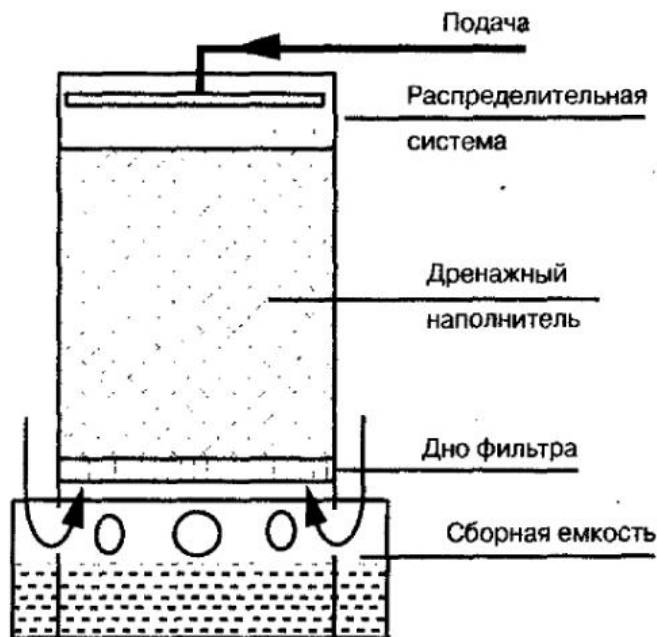


Принцип погружного биофильтра

их удаляли. Этот процесс не дал оптимальных результатов. Вскоре пришли к тому, что фильтровальный материал должен постоянно находиться в погруженном состоянии. Далее это происходило не в резервуаре заполненном водой, а в так называемом капельном теле. Эти два способа до настоящего времени используются в аквариумной технике; используются как «сухие», так и «мокрые» биофильтры.

«Мокрый» биофильтр

Этот тип фильтра напоминает механический быстрый фильтр. Он называется так из-за того, что подложка фильтра лежит на уровне воды. Скорость фильтрации, конечно, ниже, чем у быстрого фильтра, и фильтровальный материал выбирается грубее. Из-за низкой скорости потока есть вероятность того, что твердые вещества будут накапливаться в фильтровальном материале, и фильтр зашлакуется. Она повышается вследствие того, что органические вещества очень легкие, имеют незначительную

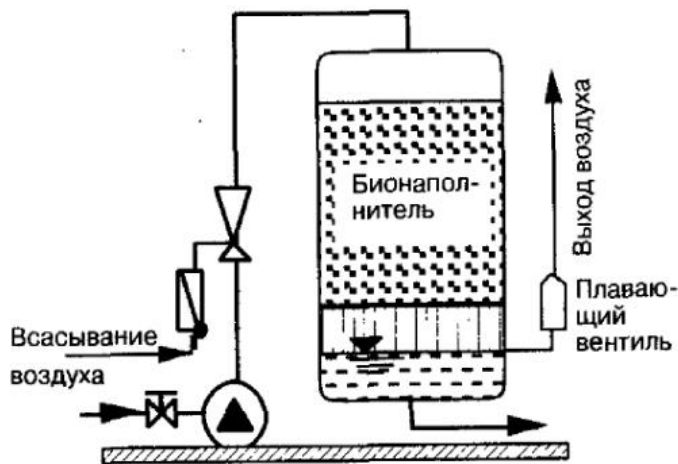


В «сухом» фильтре могут происходить нежелательные анаэробные процессы

скорость оседания и легко располагаются на зернах фильтра. Таким образом, уменьшается свободный путь потока. Могут возникать также недостаточно или совсем непроходимые зоны, которые становятся скоплениями бактерий. Биологически активный фильтровальный материал, загрязненный органическими отложениями, равномерно снабжается кислородом. Этот вид фильтра вообще недостаточно обеспечивается кислородом, т. к. кислород может поступать только с потоком воды. Для этого фильтра имеется, таким образом, опасность задохнуться, особенно в аквариумах с относительно высокой температурой.

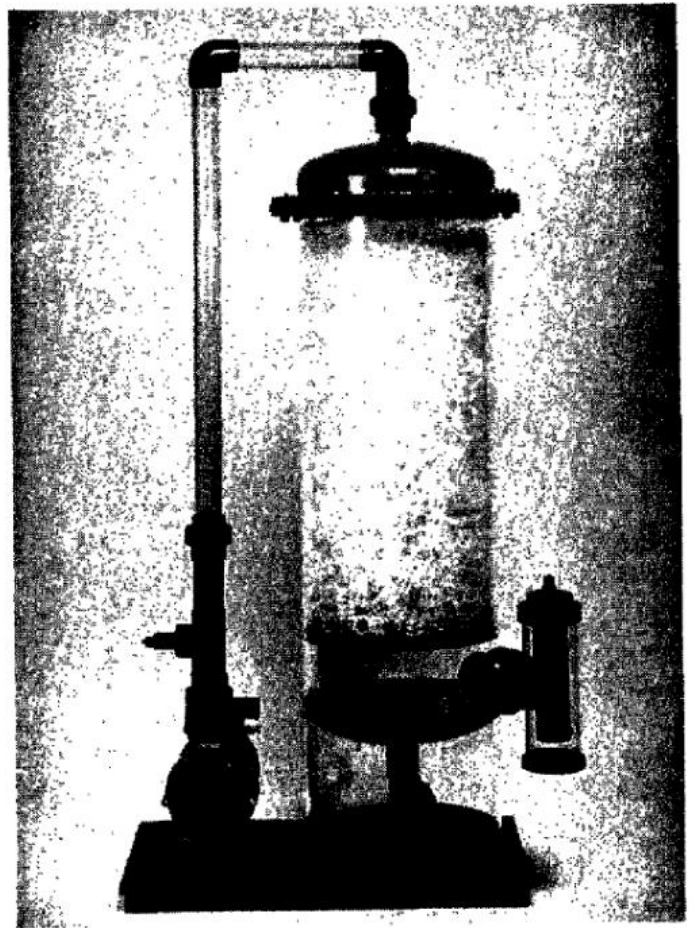
«Сухой» биофильтр

На основании многолетнего опыта, накопленного при эксплуатации механического быстрого фильтра и погружного биофильтра, был разработан «биологический большой фильтр» для очистки сточных вод. Эта конструкция часто называется «сухим» биофильтром, так как



Биологический фильтр, работающий под давлением: функциональная схема и используемый фильтр

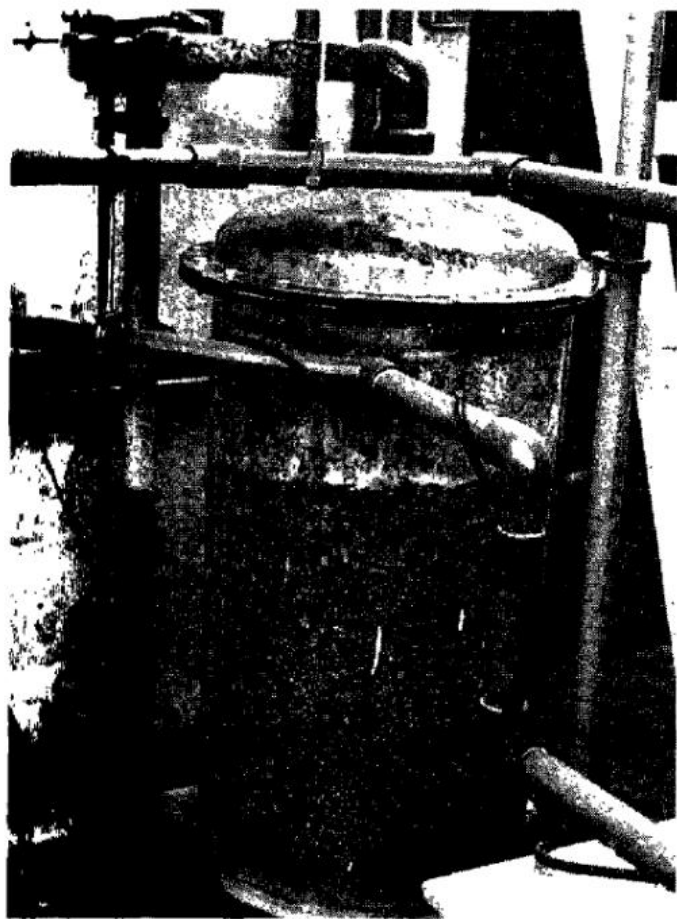
материалы фильтра находятся не под водой, а на воздухе и орошаются ею. Вследствие этого достигается два существенных преимущества. Кислород подводится из двух источников, а именно из окружающего воздуха и из воды. Кислород может проникать непосредственно в водную пленку, которая окружает биологически выращенное зерно фильтра. Таким образом, гарантируется, что в фильтре всегда будет преобладать богатая кислородом среда. Анаэробные процессы при этом будут замедляться. Чтобы обеспечить оптимальный приток воздуха, фильтр не должен закрываться внизу поверхностью воды. Если дно фильтра располагается над уровнем воды и оборудовано отверстием, то воздух может подводиться не только с водой, а свободно устремляться через фильтр. Каждое зерно фильтра орошается только через определенные интервалы, а затем определенное время находится в покое. Если происходит новое орошение, «отложенные вещества» можно легче отвести, таким образом можно препятствовать закупорке фильтра. Пути через фильтр остаются свободными как для потока, так и для кислорода. Скопления бактерий исключаются.



Биологический фильтр, работающий под давлением, заполненный наполнителем из пластмассы

Биологический фильтр под давлением

Эта конструкция биологического фильтра представляет собой промежуточную форму между закрытым быстрым фильтром и биофильтром. Фильтр, так же как и биофильтр, имеет закрытый тип конструкции, чтобы гарантировать снабжение кислородом. Водяной насос нагнетает воздух через инжектор, т. е. воздух засасывается и в виде мелких пузырьков смешивается с водой. Воздух захватывается водой и проводится через фильтровальный материал, который лежит на дне фильтра. Под ним находится емкость для очищенной воды. Только здесь вода и воздух разделяются. Чистая и обога-



Биологический фильтр, работающий под давлением, в действии. Наполнитель состоит из измельченного коралла

щенная кислородом вода устремляется назад в аквариум, в то время как использованный воздух выводится наружу через вентиль для выхода воздуха.

Следовательно, аэрация фильтра идет не случайным образом, а свежий воздух принудительно подается через фильтр. Вследствие этого гарантируются аэробные условия. Эта конструкция более всего подходит там, где для открытого биофильтра нет места. Биологический фильтр решает эту проблему, так как он может применяться в закрытом водопроводе под давлением. Конечно, название «фильтр под давлением» не означает, что фильтр включается под высоким давлением, так как иначе инжектор не сможет всасывать воздух. Рисунок наверху показывает новый заводской фильтр, а рисунок на стра-

нице 84 — фильтр, который используется длительное время, и на его основе разработан целый ряд таких фильтров. В фильтрах такого вида можно отчетливо видеть распределение воздуха и воды, которое изменяется не только по месту, но и во времени, и гарантирует, таким образом, оптимальное снабжение бактерий кислородом и питательными веществами.

Биологический внутренний фильтр

В качестве «биологического внутреннего фильтра» фирма Eheim разработала для рынка интересное изделие: фильтр устанавливается внутри аквариума и состоит из трех расположенных друг над другом отсеков. Вода поступает из аквариума внутрь фильтра. Для этого предусмотрен поверхностный отсос, хотя воду можно также отсасывать и из области грунта. Вода поступает прежде в самый верхний отсек, который вначале еще не содержит воды. Когда он заполнен, то вода отсасывается сифоном и поступает в нижний отсек. Выход воды происходит значительно быстрее, чем ее поступление, так что верхний фильтровальный отсек почти осушается. Благодаря этому весь фильтрующий материал интенсивно аэрируется, так что определенно в фильтре преобладают аэробные условия.

Нижний отсек фильтра наполняется до тех пор, пока не начнет действовать сифон, и затем вода попадает в отсек очищенной воды. Здесь установлен насос подачи, который возвращает воду в аквариум. Автоматическое регулирование обеспечивается конструкцией вентиля. Система одинаково хорошо снабжает бактерий как питательными веществами, т. е. органическими загрязнениями, так и кислородом, в котором нитрификаторы нуждаются для биологического окисления. Постоянный обмен воды избавляет установку от накопления частиц, которые будут вымываться благодаря эффекту отлива и наполнения. Этим достигается

Сравнение используемых биологической фильтрацией наполнителей

Вид	Цилиндрическое керамическое кольцо				Еж из пластмассы		Пористая трубка	
	5	8	10	15	40	56	5/8"	1"
Размер, мм	5	8	10	15	40	56	5/8"	1"
Вес, кг/м ³	900	850	900	700	124	106	112	72
Удельная поверхность, м ² /м ³	1000	550	450	310	300	184	330	180
Свободный объем, %	63	65	63	72	86	88	88	92

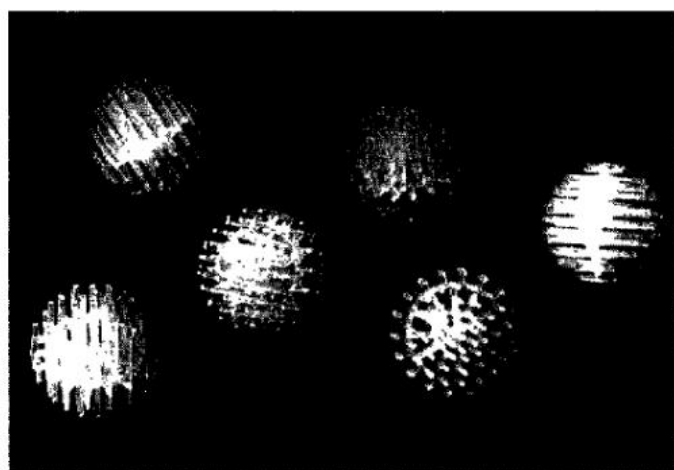
то, что фильтр работает исключительно биологически, а не механически. Фильтровальный материал должен выбираться соответственно. В пресной воде рекомендуются материалы из камня, в морской воде — грубая коралловая галька.

Выбор фильтрующего материала

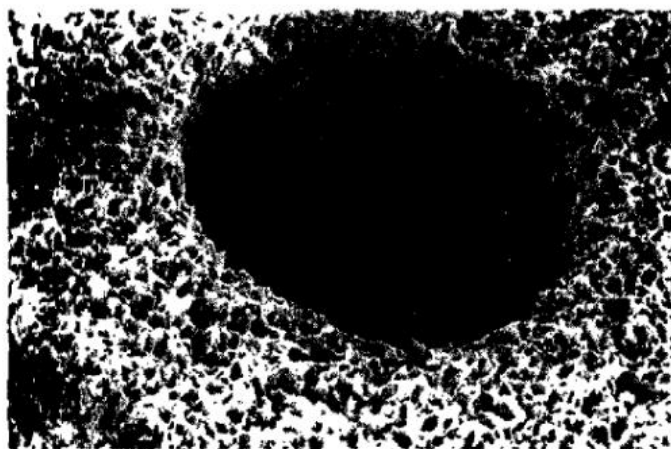
При выборе фильтрующего материала в первую очередь необходимо отдать предпочтение грубому материалу. В то время как механический фильтр может работать с ватой или с тонким слоем гранул размером примерно 2 мм, для биологического фильтра это слишком мало. Можно порекомендовать размер гранул от 5 до 30 мм. Меньший размер гранул приведет к зашлаковыванию и «удушению» фильтра. Необходимы большие размеры, чтобы потоки были свободными. По расчетам биологически активная поверхность будет тем больше, чем меньше зерна фильтра. Но, как мы уже обсуждали это в главе о механическом фильтре, при размере зерна ниже 5 мм возрастают проблемы. Хорошие результаты получаются при грунтоструктурированном материале, который, конечно, для нашего случая должен выбираться отдельно. В морской воде хорошо себя зарекомендовали слои коралла, измельченные от среднего до грубого размера. На его пористой поверхности бактерии находят оптимальные условия роста. Кроме того, коралловый известняк стабилизирует значение рН для морской во-

ды. В этом случае в аквариум должны помещаться материалы, которые имеют нейтральную среду. Для этого предлагаются различные виды горных пород и лавы, которые перед закладкой в фильтр, безусловно, должны основательно промываться. Большей частью эти камни подвержены истиранию, в результате чего образуется пыль, которая, попадая в аквариум, оседает на растениях и на грунте. Если каменная крошка остается в фильтре, то снова образуются мертвые зоны. Хороший результат дают также искусственные наполнители.

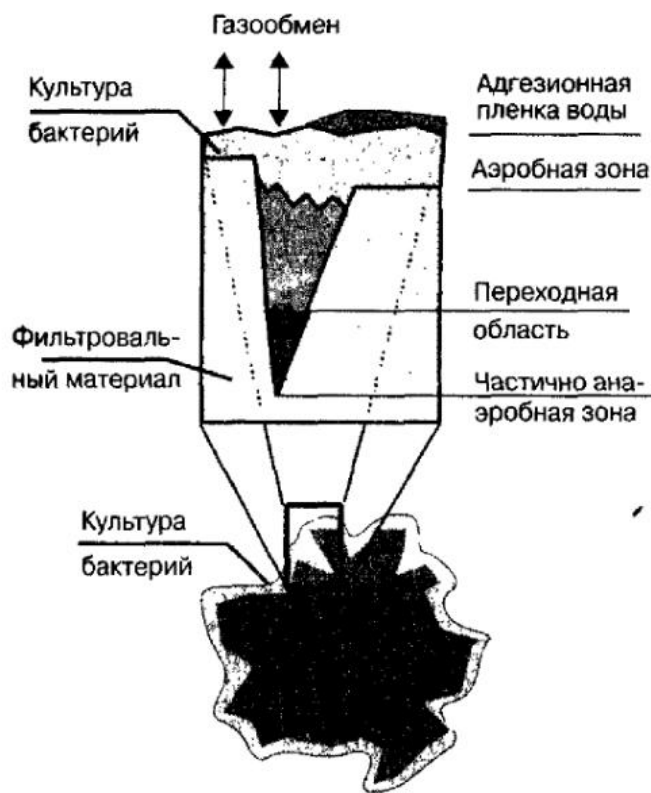
Их удельная поверхность может быть меньше, чем у естественных камней, не возникает истирания, фильтрующий материал хорошо осушается и пропускает потоки. Шлакование и закупорка в этом



Пористая трубка и «еж» из пластмассы в биологической фильтрации



Снимок, сделанный электронным микроскопом, показывает структуру наполнителей из стекла

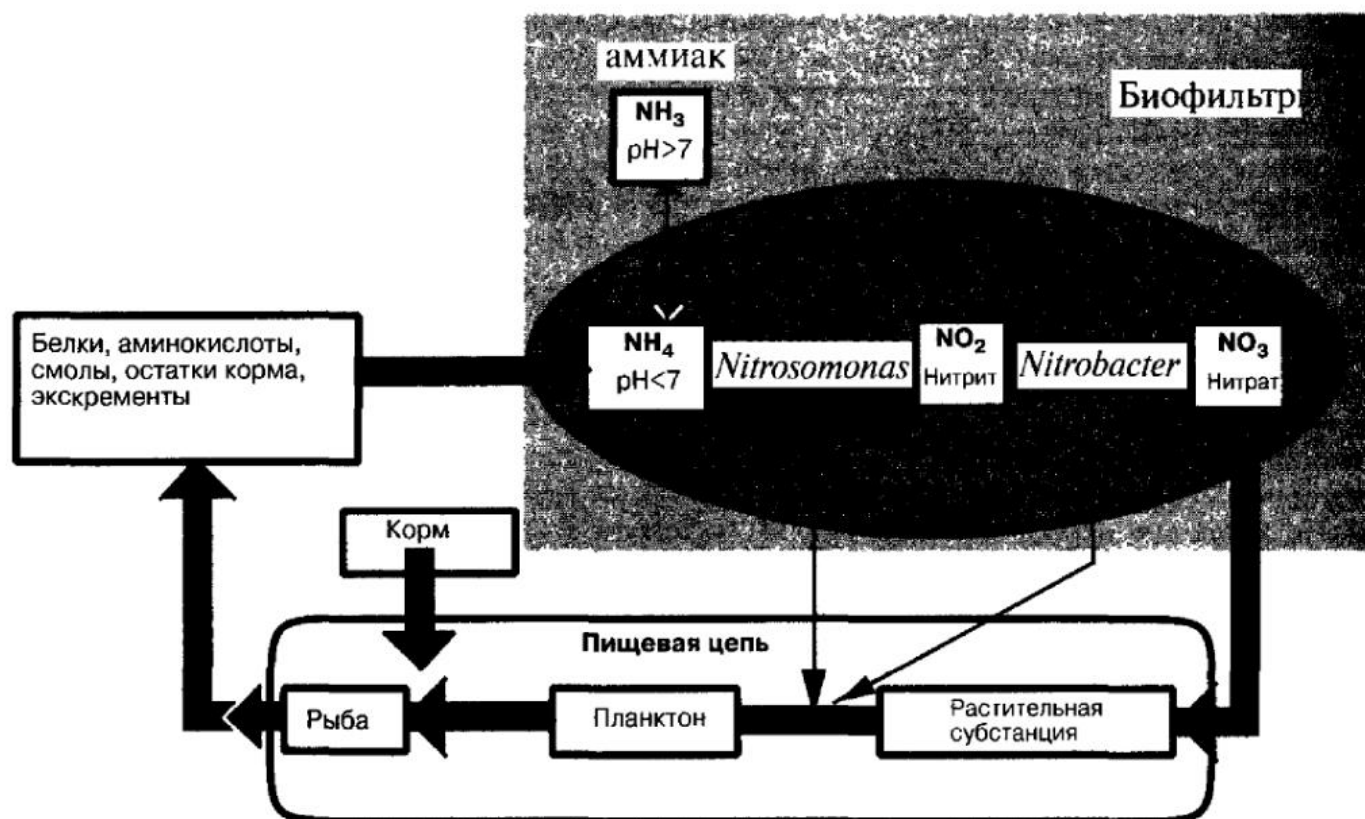


Разрез поверхности фильтровального зерна показывает реакции, протекающие на поверхности

случае уменьшаются. Биофильтры с искусственным материалом должны быть несколько больше, чем биофильтры из камня. Для аквариумных целей в расчет принимается минимально возможный по

размеру наполнитель. У искусственных материалов рассчитывается большей частью удельная поверхность. Она, как правило, приводится изготовителем и представляет собой очень важный критерий выбора. Форма наполнителя не имеет существенного значения. Конечно, важно при заполнении фильтра распределить наполнитель равномерно, так, чтобы не возникали каналы протечек. Часто используются вспененные материалы, которые, однако, должны быть нерастворимы в воде. Пенные материалы характеризуются очень большой удельной поверхностью, которая хорошо заселяется бактериями. Конечно, они, как правило, имеют очень плотную структуру, вследствие чего они склонны к зашлаковыванию. Поэтому их следует часто очищать. Большим преимуществом наполнителей из кораллов и из вспененных материалов по сравнению с материалами из камня является их небольшой вес. Об этом свидетельствуют данные таблицы на стр. 85, в которой приводятся различные наполнители. Если рассматривать удельную поверхность, то «керамическое кольцо» значительно превосходит искусственные тела типа «еж», «решетчатое кольцо». Конечно, оно имеет очень большой вес. «Еж» и «решетчатое кольцо» имеют одинаково хорошие характеристики, причем «решетчатое кольцо» проявляет себя немного лучше.

В качестве преимущества оба имеют незначительный вес, что очень важно для больших фильтровальных установок, т. к. конструкция легче и поэтому требует меньших затрат. К сожалению, для природных камней, которые очень хорошо подходят для аквариумных фильтров, нет сравнительных величин, т. к. их удельную поверхность почти невозможно определить. Для домашних аквариумов объемом до 500 л хороши природные материалы из камня, в то время как большие установки в качестве фильтровального материала должны использовать пластмассу. Очень хорошие результаты,

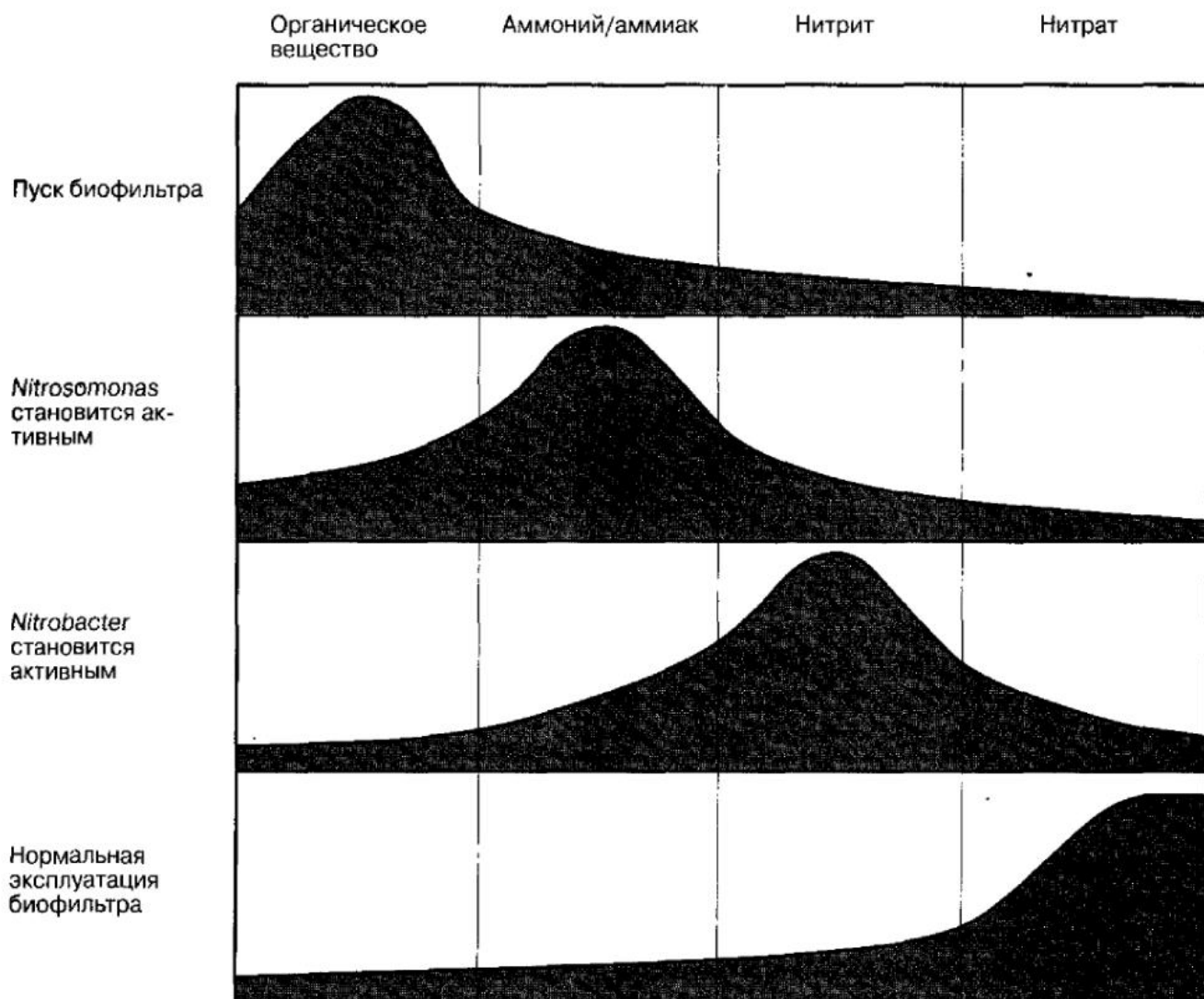


Цикл азота в аквариуме в биологическом фильтре

имеют также наполнители из пористого стекла. Они имеют очень высокую удельную поверхность, примерно $0,4 \text{ м}^2/\text{г}$ или $90 \text{ тыс. м}^2/\text{м}^3$, хорошо заселяемую микроорганизмами. К сожалению, этот материал очень дорогой и находит ограниченное применение в аквариумистике. Активированный уголь также используется как фильтровальный материал для биофильтров. К сожалению, его гранулирование слишком мало. Некоторые виды активированных углей имеют удельную поверхность до $1000 \text{ м}^2/\text{г}$, но они почти не активируемы биологически. Эта поверхность будет, если вообще будет, вовлекаться в массообмен только сорбционно. Как показывает расположенный рядом рисунок, верхний слой биологического «газона» будет активно нитрифицирующим слоем. Только во внешнем слое возможна подача кислорода внутрь бактериального «газона» с помощью диффузии. Чем глубже рас-

положен слой, тем меньше будет обмен кислорода, так как, с одной стороны, замедляется диффузия, с другой стороны, увеличивается потребление кислорода водой. В более глубоких слоях кислород полностью потребляется и начинаются анаэробные процессы. Насколько активно протекает нитрификация под анаэробными слоями, или как на этот процесс влияют другие микроорганизмы, можно только догадываться. При оптимальных условиях под аэробным слоем происходит анаэробная денитрификация. Конечно, следует опасаться того, что это приведет к неконтролируемым процессам гниения, т. к. анаэробные бактерии предъявляют особые требования к денитрификации.

Таким образом, выясняется, почему наполнители из пластмассы дают очень хорошие биологические результаты. Их поверхностная структура заключена в микрозоны и не образует анаэробных слоев



При использовании биофильтра в воде, содержащей органические соединения и накапливаются аммоний (аммиак, нитриты, нитраты) в относительно высоких концентрациях

в структурах на глубине. Бактериальная флора на наполнителях из пластмассы большей частью аэробной природы, и в связи с этим процесс нитрификации протекает беспрепятственно.

Место биологического фильтрования в цикле азота

Самыми важными обитателями биофильтра являются бактерии *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. *Nitrosomonas* окисляют токсичный аммиак до нитритов, в то время как

Nitrobacter перерабатывают ядовитые нитриты в нитраты. Подробнее процесс описан в главе «Биологические основы». Благодаря строго аэробной среде, для этих бактерий создаются оптимальные условия. Очень важно то, что органический азот полностью окисляется до нитратов. Нельзя этот процесс представлять таким образом, что неиспользованная порция корма немедленно бы полностью перерабатывалась. Бактерии работают медленно, но постоянно. Концентрация токсичных веществ увеличивается постепенно до критического уровня. Если функцио-

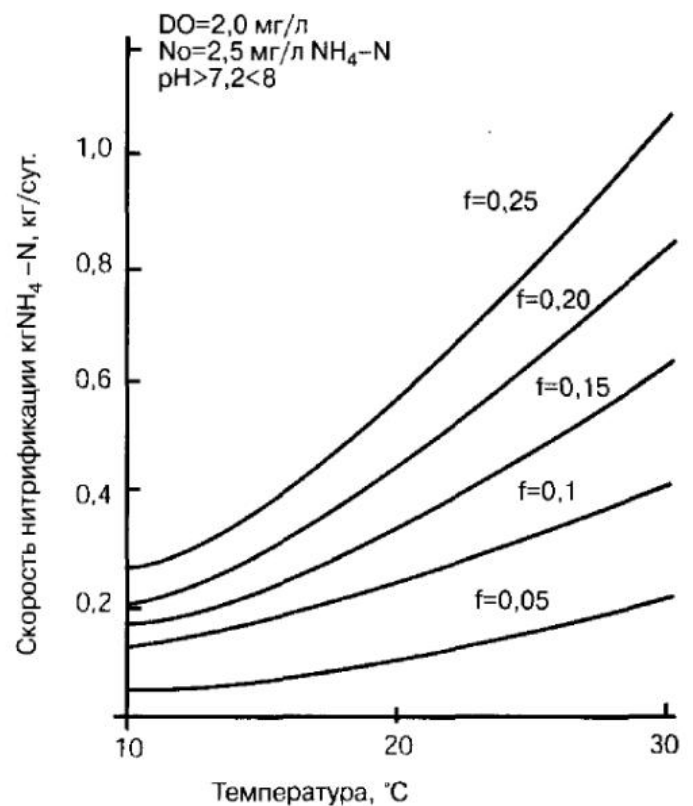
нирует биофильтр, то он может удалить ядовитые вещества посредством биологического окисления в том же количестве, в котором они поступают. Конечная степень окисления — нитраты, которые аэробными бактериями далее не могут перерабатываться. Но большая часть водных обитателей реагирует на относительно высокую концентрацию нитратов толерантно. Так концентрация около 50 мг/л приемлема, в то время как аммиак и нитриты ядовиты уже при концентрации 1 мг/л. Если присутствие нитратов все же нежелательно, то необходима прежде всего смена воды. В морской воде флотатор способствует тому, что белковые соединения удаляются из цикла до того как они будут разлагаться далее.

Маловероятным представляется разложение нитратов бактериями в аэробных условиях.

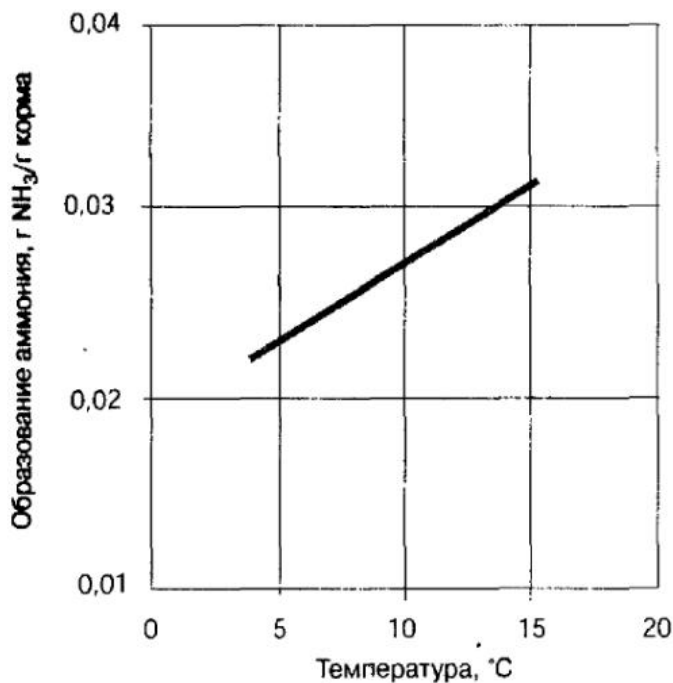
Запуск биофильтра

Если биофильтр длительно эксплуатируется или устанавливается в аквариуме заново, возникает особенно трудная ситуация. Корм и экскременты очень быстро образуют изобилие органических веществ, которые очень быстро разлагаются до аммиака. Но в этом случае еще долго количество бактерий в фильтре будет недостаточным для того, чтобы полностью окислять аммоний. Бактерии разрастаются очень медленно и достигают максимума при большой концентрации аммиака, которая затем очень медленно снижается. Колонии *Nitrobacter* не развивались, так как им не хватало питания. Только когда бактерии *Nitrosomonas* «наработают» нитраты, бактерии *Nitrobacter* получают базу для питания. Далее — первая фаза нитрификации, которая «производит» нитриты уже постоянно, в то время как вторая фаза, в результате которой нитриты окисляются в нитраты, только начинает активизироваться. Теперь максимум аммоний-аммиак медленно снижается, значение содержания

нитритов достигает максимума. Только после продолжительного времени, когда обе культуры стабилизируются, окисление будет происходить одновременно в обеих фазах. В это время следует содержать рыб только при самом незначительном кормлении. Хорошо оправдала себя «затравка» биологически активной водой. Полное заселение аквариума животными должно осуществляться спустя 4–6 недель. Максимумы нагрузок, показанные в расположенном рядом рисунке, могут проявляться также в разной форме в аквариумах, которые только вводятся в эксплуатацию. Биологические системы характеризуются тем, что они настраиваются на относительно уравновешенные условия эксплуатации. Если из-за внештатной ситуации (слишком большое заселение, незамеченная смерть животного) появляется пиковая нагрузка, то они способны устранить ее, но для



Скорость нитрификации в зависимости от температуры



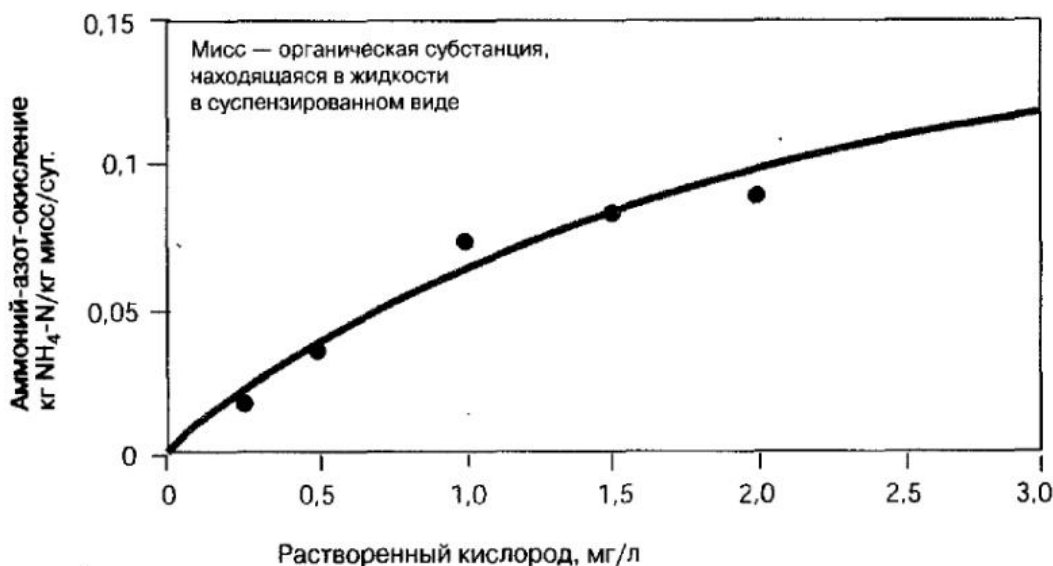
Образование аммония зависит от температуры

этого требуется определенное время. Биологические системы работают очень равномерно, но медленно! Поэтому необходимо соразмерять преимущества и недостатки биологических фильтров. При этом следует помнить, что в слишком больших фильтрах нитрифицирующие бактерии могут «голодать».

Влияние внешних факторов на эффективность биофильтров

Качество воды и жизни в фильтре находятся во взаимодействии. Поэтому не удивительно, что качество воды зависит в большей или меньшей степени от хорошего функционирования биофильтра. С другой стороны, бактериальная флора фильтра представляет определенные требования к воде для оптимальных жизненных условий.

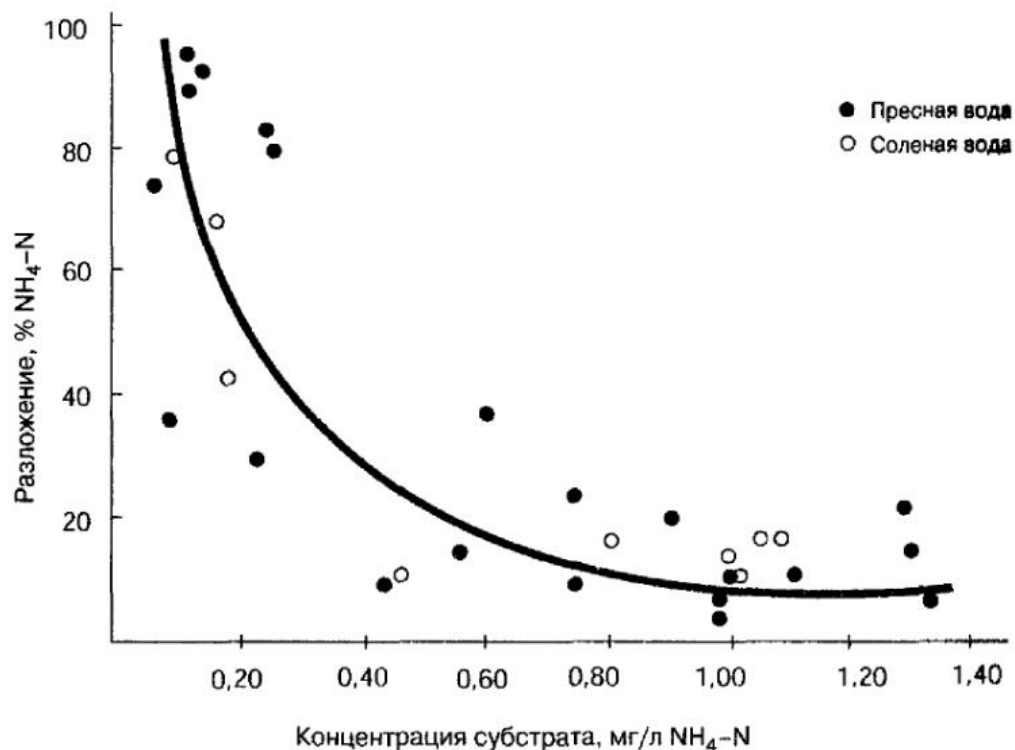
Температура. Важным фактором является температура. Нитрифицирующие бактерии лучше всего развиваются при температуре от 20 до 30 °C. Поэтому это важное требование в обыкновенном аквариуме с теплой водой выполняется. В верхней области оптимальной температуры всегда важнее естественное снабжение кислородом, потому что граница насыщения кислородом с повышением температуры снижается. С другой стороны, при температуре 20 °C значительно уменьшается эффективность нитрификации, как это показывает рисунок внизу. Различные кривые графика представляют среды фильтра с разными, сильно обросшими



Окисление аммония зависит от содержания кислорода в воде

Влияние внешних факторов на эффективность биофильтров

Разложение аммония в погруженном биофилт্রে зависит от концентрации субстрата



материалами фильтра. Для аквариумов с холодной водой очень важно выбирать соответствующие материалы для фильтра, для того чтобы было хорошее обрастание фильтра. Различные авторы приводят очень разные результаты.

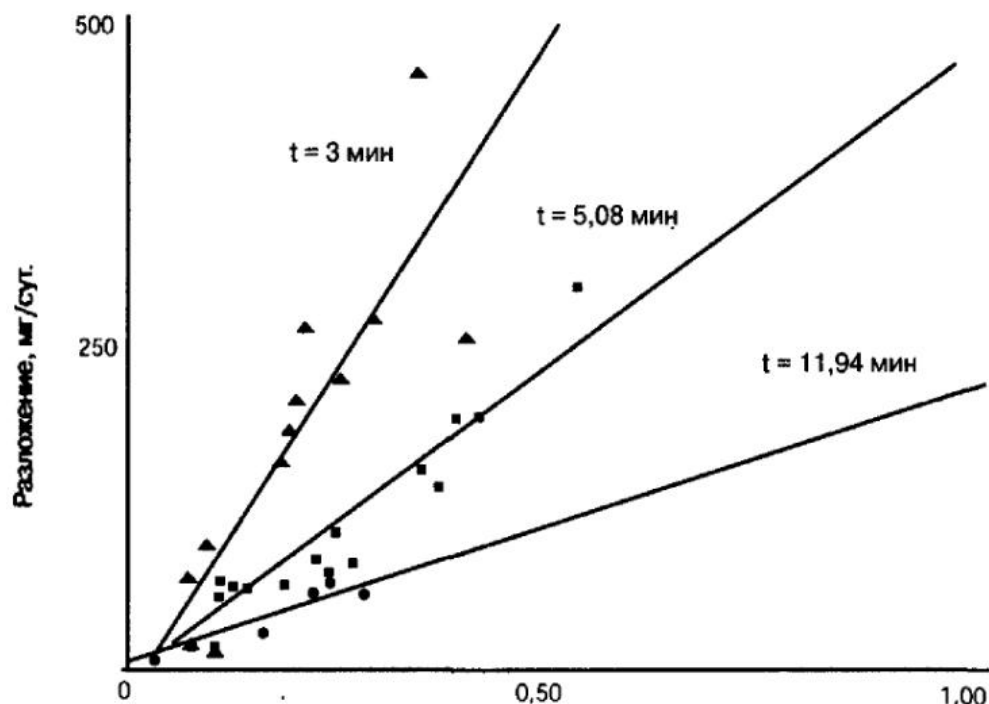
Итак, если фильтровальную систему устанавливают в холодной воде, в которой вредные вещества удаляются бактериями, то очевидно, что биологический фильтр должен быть больше, чем в теплой воде. С другой стороны, это входит в противоречие с фильтрацией, так как активность других организмов в воде снижается, а следовательно, образование органических веществ происходит медленнее.

Все же следует учитывать снижение производительности биофильтра в холодной воде для того, чтобы соответственно оценить другие факторы, такие, как биомеханическая фильтрация или флотация.

Содержание кислорода. В биологических основах мы видели, что необходимо более 3 г кислорода, чтобы окислить 1 г аммиа-

ка в нитрат. Нитрификация может происходить только в строго аэробной среде. Это должно гарантироваться конструкцией биофильтра, или скорость втекающей воды должна обеспечивать достаточное снабжение кислородом, иначе в среде фильтра будут создаваться анаэробные условия. К этому нужно добавить, что заселяют фильтр не только нитрифицирующие бактерии, а существует еще большое количество других конкурирующих бактерий. Если содержание кислорода повышается, то нитрификаторы получают возможность начать деятельность раньше, чем их конкуренты. Для биофильтра очень важно то, что нитрификаторы живут не только в прожиточном минимуме, а могут активизировать свой обмен веществ. В исследованиях, проведенных в США, показано, что при содержании кислорода от 2 мг/л происходило только 40% от максимально возможной нитрификации, в то время как при 4 мг/л достигалось 86%.

Рисунок на с. 90 внизу показывает зависимость окисления аммония до нит-



Скорость разложения аммония в больших биофильтрах с различным временем оборота

ритов от содержания кислорода в том случае, если содержание ниже 3 мг/л, что уже очень мало. В хорошо аэрированном аквариуме значения содержания кислорода должны находиться, конечно, выше. При этом, естественно, нужно обдумать то, что содержание кислорода в биофильтре или, лучше сказать, на поверхности бактериального «газона» ниже, чем может быть в аквариуме.

Содержание органического вещества. Здесь можно «на две стороны с лошади падать». Если содержание органики слишком высокое, то биофильтр не сможет ее перерабатывать, возникают пиковые значения, особенно для аммония и нитрата. С другой стороны, бактериям тоже нужно что-то есть. Это означает, что они свою деятельность прекратят, если в течение длительного времени они будут получать очень чистую воду, которая почти не содержит органику. Если произойдет внезапный сдвиг в питании в виде резкого изменения концентрации органического вещества, то бактериям необходимо некоторое время, чтобы опять полностью активизировать обмен

веществ. Следовательно, биологические фильтры не могут по мере надобности включаются и выключаются. Нагрузка должна быть по возможности равномерной как при кормлении, так и при смене воды. Биофильтр реагирует на изменения концентрации аммония: если концентрация аммония поднимается внезапно с 0,2 до 1 мг/л, снижается эффективность фильтра. Если разложение аммония составляет примерно 70%, то концентрация его будет еще безопасной и при 10–15%. Небольшой расчетный пример делает это понятным:

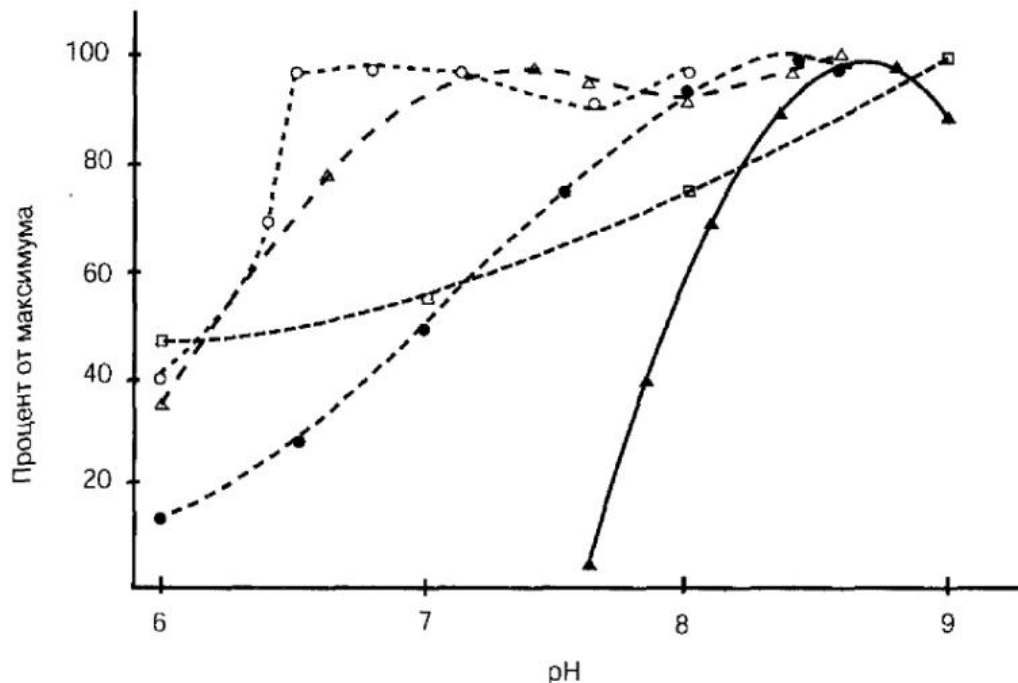
$$70\% \text{ от } 0,2 \text{ мг/л} = 0,14 \text{ мг/л};$$

$$14\% \text{ от } 1 \text{ мг/л} = 0,14 \text{ мг/л}.$$

Это означает, что бактерии перерабатывают примерно 0,2 мг/л аммония независимо от того, сколько его содержится, поэтому биофильтр для того, чтобы перестроиться, нуждается в продолжительном времени. Этот случай показывает также, работает ли он на границе своих возможностей или еще имеет резервы. Если необходимо повышать производительность бактерий, то, с одной стороны, следует создавать условия для интенсификации метаболизма, с другой стороны

Влияние внешних факторов на эффективность биофильтров

Окисление аммония
в зависимости
от значений pH



ны, для них нужно увеличить площадь и плотность заселения.

Если границы устанавливаются размером биофильтра, то повышенная нагрузка не сможет выровняться.

Поведение бактерий при недостатке питания. Если культура *Nitrobacter* длительное время содержалась без питания, то, разумеется, она еще не умирает. Бактерии снабжены специальной стратегией выживания, которая установлена с помощью электронно-микроскопических снимков. *Nitrobacter winogradskii* в состоянии активного обмена обладает мембранными оболочками, в которых локализованы ферменты нитритоокисления. Мембраны расположены упорядоченно под стенкой бактериальной клетки. Если нитритов больше нет в окружающей среде, то клетки не умирают, а инактивируются и образуют клетки длительного срока выживания, которые остаются жизнеспособными многие годы. Инактивные клетки длительного срока *Nitrobacter winogradskii* имеют особенную тонкую структуру. Полярная мембранная оболочка основной клетки отсутствует.

Цитоплазматическая мембрана отделяется от стенки клетки и двигается внутрь клетки. Она окружает ДНК и резервные тела и, вероятно, обезвоживает клетку в состоянии покоя. При новой добавке нитрита бактерии реактивируются. При повышающейся активности цитоплазматическая мембрана движется к стенке клетки и образует мембранную оболочку. Клетки начинают расти: Таким образом природа уже решила многие проблемы, которые возникают в нашем аквариуме. С другой стороны, мы не можем представить повторную активацию всех культур как включение лампы. Итак, по-прежнему, остается важная цель — создать по возможности стабильные условия.

Объем биофильтра. На графике (с. 92) нормы разложения аммония представлены в соответствии большими биофильтрами, которые промеряны так, что время выдержки воды составляло от 3 до 12 минут.

График отчетливо показывает, что фильтр только с тремя минутами времени выдержки имеет лучшую квоту разложения. Конечно, нужно добавить, что

эти значения относительны и от системы к системе могут изменяться. В аквариумистике принято, что вода в аквариуме перекачивается примерно три раза за час. В этом отношении нереально промерять биофильтр так, чтобы время выдержки составляло от 2 до 5 минут. Выражение «время выдержки» несколько дезориентирует, в особенности оно некорректно для орошаемых фильтров. Можно указывать также объем биофильтра в процентах от объема аквариума. Он соответствует тогда от 3 до 8% объема аквариума. Также нужно учитывать вид животных, заселяющих аквариум. Для аквариума с беспозвоночными, который заселен «живыми камнями», подходит биофильтр меньшего размера, чем для чисто рыбного аквариума с интенсивным кормлением. Кроме того, нужно принимать во внимание температуру. Аквариум с холодной водой нуждается в биофильтре большего размера, чем аквариум с теплой водой.

Значение рН. Интервал значений рН для воды, используемой в аквариуме, составляет от 5 до 8. Для живого существа, которое приспособлено к определенной реакции среды, это очень важный фактор. Поэтому необходимо знать, как реагирует нитрификация на указанные выше значения рН. Этому вопросу посвящено немало исследований. Но различные авторы приходят к разным выводам, — всё зависит от того, как и в каких условиях содержались культуры бактерий. Тем не менее следует считать, что наиболее интенсивно нитрификация протекает при рН 7,5–8,5; ниже рН 7,5 она замедляется. При рН 6,6 нитрификация составляет примерно 85 % от оптимального уровня рН от 8,4 до 9.

Внезапное снижение рН неблагоприятно отражается на бактериях, причем изменение рН от 7,2 до 6,4 переносится удовлетворительно, в то время как падение ниже 5,8 значительно ингибирует нитрификацию. Если рН повышается,

бактерии отвечают на смещение рН, повышением активности. Итак, низкие значения рН хотя и замедляют обмен веществ, но не приводят к гибели микроорганизмов.

Влияние медикаментов. Медикаменты в аквариуме используются, как правило, чтобы противодействовать возбудителям болезни через воду. Естественно, что медикаменты подавляют не только возбудителей болезни, но и полезных бактерий. Следующая таблица представляет различные медикаменты и их влияние на нитрификацию. Если под влиянием некоторых медикаментов уменьшение нитрификации составляет 25%, то становится очевидным, что они подвержены фактору риска. Здесь необходимо не устанавливать отдельные цифры или концентрации, а свести дозу медикаментов к абсолютному минимуму. Приведенные в таблице данные не носят общего характера, так как каждая система по-разному отзывается на медикаменты.

Влияние минеральных веществ. Вещества, содержащиеся в воде, могут как положительно, так и отрицательно влиять на нитрификацию.

Кальций. Высокое содержание кальция важно для обмена веществ *Nitrosomonas*.

Магний. Высокое содержание магния очень важно для фильтрационной активности *Nitrobakter* в биологическом фильтре. Концентрация магния 75 мг/л уменьшает и окисление аммония и нитрита.

Сульфат. Сульфаты блокируют нитрификацию и *Nitrosomonas*, и *Nitrobakter*.

Железо. Железо при концентрации 10 мг/л может замедлять превращение нитрита в нитрат, в то время как окисление аммония в нитрит до известной степени поддерживать.

Калий. Добавка калия оказывает положительное влияние на окисление аммония с помощью *Nitrosomonas*.

Влияние внешних факторов на эффективность биофильтров

Фосфат. Добавка фосфат-ионов оказывает положительное влияние на окисление аммония посредством *Nitrosomonas*.

Марганец. Марганец оказывает положительное влияние на окисление аммония и нитритов.

Хлорид. Хлорид положительно влияет на окисления аммония и нитритов.

Молибден. Молибден положительно влияет на окисление аммония и нитритов.

Кобальт. Кобальт отрицательно влияет на окисление нитритов до нитратов.

Медь. Медь отрицательно влияет на окисление нитритов до нитратов.

Цинк. Концентрации цинка от 0,48 г/л оказывают отрицательное влияние на окисление нитритов до нитратов.

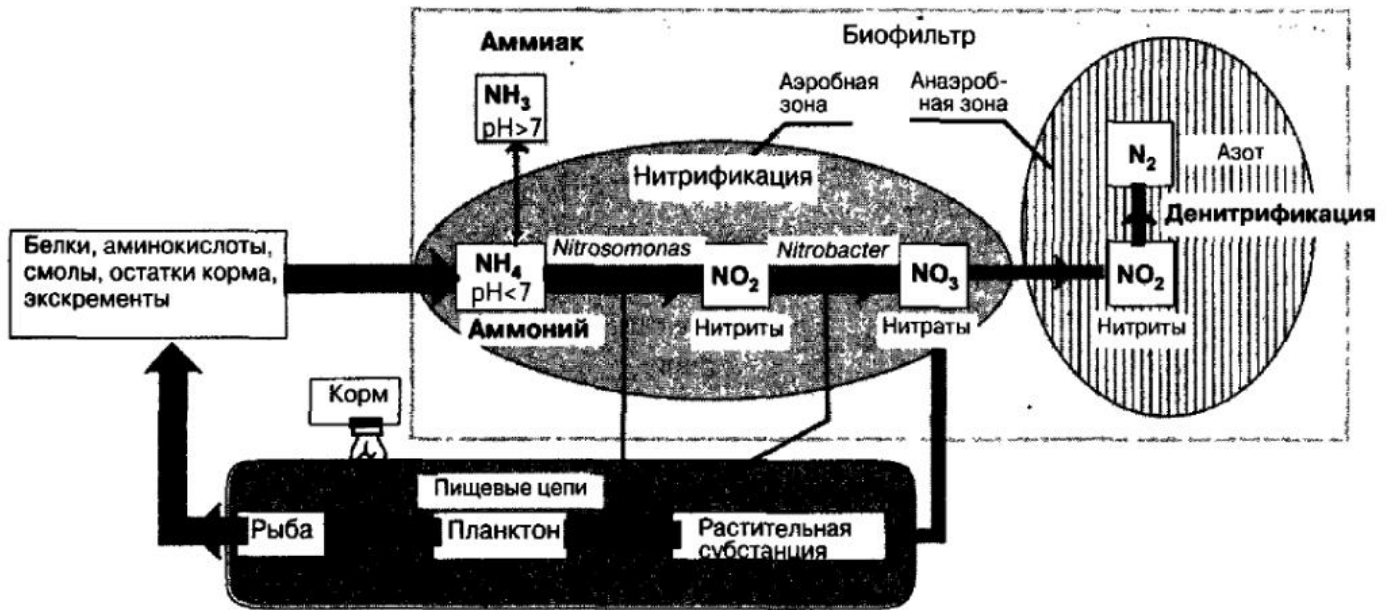
Приведенные здесь высказывания в основном подтверждаются другими авторами. Итак, прежде всего фосфор и другие элементы, такие, как магний, кальций и калий, — важные вещества, которые поддерживают нитрификацию. Важным считается также показатель биологической потребности в кислороде. Соотношение 100 : 5 : 1

к которому стремятся в очистке сточных вод, в действительности не достигается. Тем не менее соединения фосфата в особенности оказываются важными для обмена веществ нитрификаторов.

Влияние медикаментов на нитрификацию

Медикаменты	Источник	Концентрация	Вид воды	влияние
Хлорамфеникол	1	13,30	ИМВ	+
Хлорамфеникол	3	50	ПВ	0
Хлорамфеникол	5	50	ПВ	+
Хлортетрациклины		10	ПВ	+
Сульфат меди	1	1,2	ИМВ	+
Сульфат меди	2	1	ПВ	0
Сульфат меди	4	0,2-0,8	ПМВ	
Сульфат меди	5	5	ПВ	0
Эритромицин	2	50	ПВ	+
Формалин	2	25	ПВ	0
Формалин	5	15	ПВ	+
Формалин + Бриллиантовая зелень	2	25 + 0,1	ПВ	0
Сульфат гентамицина	1	5,3	ИМВ	0
Бриллиантовая зелень	2	0,1	ПВ	0
Метиленовая синь	1	8	ИМВ	+
Метиленовая синь	2	5	ПВ	+
Метиленовая синь	5	1	ПВ	+
Неомицинсульфат	1	66,7	ИМВ	+
Нифурперинол	1	0,1	ИМВ	0
Нифурперинол	3	1	ИМВ	0
Нифурперинол	5	4	ПВ	0
Окситетрациклин	2	50	ПВ	0
Перманганат калия	2	4	ПВ	0
Перманганат калия	5	1	ПВ	+
Хинакрингидрохлорид	1	12	ИМВ	0
Сульфомеразин	3	50	ПВ	0
Сульфаниламид	5	25	ПВ	+

0	Уменьшает интенсивность нитрификации не меньше чем на 25 %
+	Явно уменьшает интенсивность нитрификации
ИМВ	Искусственная морская вода
ПМВ	Природная морская вода
ПВ	Пресная вода



Цикл азота в аквариуме с аэробным и анаэробным фильтрами

Анаэробная биологическая фильтрация

Из предыдущего описания следует, что нитраты являются конечной ступенью нитрификации, то есть бактериального окисления аммония. Хотя они не являются токсичным веществом, как нитриты или аммоний, но в более высоких концентрациях может угнетать чувствительных животных. Так, в теле животного нитраты могут снова восстановиться до нитритов. Поэтому целесообразно

Окислительно-восстановительный потенциал в биологическом анаэробном фильтре

свыше 50 мВ	не происходит денитрификация
0–50 мВ	не хватает источника углерода
–50–200 мВ	оптимальная денитрификация
ниже 300 мВ	образование сероводорода

было бы использовать анаэробные бактерии, чтобы путем денитрификации удалить нитраты из воды. Типичными представителями денитрификационной микрофлоры являются *Flavobacterium*, *Pseudomonas aeruginosa* и *P. denitrificans*, *Thiobasillus denitrificans*, *Rhodospseudomonas sphaeroides*, *Bacillus licheniformis* или *Paracoccus denitrificans*. Эти бактерии денитрифицируют только при отсутствии кислорода, то есть в анаэробных условиях.

Конечно, использование анаэробно работающего фильтра — неоднозначно. Как мы видели в «Биологических основах», суть денитрификации — восстановление нитратов с образованием газооб-

Окисление	CO_2 + вода	← метанол
Восстановление	нитраты → нитриты → азот	

Восстановление нитратов до газообразного азота предполагает наличие источника углерода, который одновременно подвергается окислению

разного азота, который удаляется из воды. Этот путь важнее, чем используемый во многих аквариумах цикл, в котором выращиваются растения, поглощающие нитраты.

К сожалению, процесс денитрификации не всегда происходит беспрепятственно. Существует большая опасность, что нитраты хотя и восстановятся до нитритов, но нитриты не восстановятся далее до азота. В этом случае возникает опасный источник нитритов в нашей системе. Техническая проблема при использовании нитритного фильтра состоит в том, чтобы найти источник углерода. Углерод используется бактериями как основное питательное средство, в то время как потребность в кислороде удовлетворяется за счет нитрата.

Активированный уголь не может служить в качестве углерода. В качестве питательного вещества для бактерий пригоден лишь углерод в растворенной форме.

Хороший источник углерода — метанол (метиловый спирт), но он ядовит для рыб. Проблема прежде всего в правильном дозировании. Согласно уравнению, приведенному в «Биологических основах», на восстановление 1 мг нитрата до азота необходимо 1,9 мг метанола. Эти расчеты, к сожалению, для практики мало пригодны, так как концентрация нитратов непрерывно изменяется.

Если метанола вводится немного, то денитрифицирующие бактерии не могут довести восстановление до азота.

Процесс останавливается на нитритах, так что теперь вместо небольшого количества относительно безвредных нитратов получаем ядовитые нитриты. Если метанол будет передозирован, это может привести к гибели рыб или беспозвоночных. Могут также активизироваться восстанавливающие сульфаты нежелательные культуры бактерий, которые необходимый им кислород берут из сульфатов (SO_4^{2-}) и при этом производят вредный H_2S . Соотношение углерода

и азота должно находиться в постоянных узких границах, что возможно для содержания рыб и в домашних, и в больших аквариумах. На практике до настоящего времени денитрификация не используется. Если все-таки поставить цель ее применить, нужно поступать очень осторожно. В любом случае следует обращать внимание на окислительно-восстановительный потенциал. Так как положительные окислительно-восстановительные потенциалы приводят к преобладанию окислительных реакций, необходимо окислительно-восстановительный потенциал сдвигать в отрицательную область. В таблице на с. 96 приведены исходные данные. Важно, что это не происходит, если через фильтр медленно пропускать небольшое количество воды так, чтобы кислород потреблялся в фильтре, а анаэробные условия приводили бы к денитрификации, но в этом случае отсутствует источник углерода. Необходимо считаться с неконтролируемыми бактериальными реакциями, которые регенерируют токсичные вещества, которые мы с таким трудом удаляем. Уравнения денитрификации приведены в частности в «Биологических основах». Речь идет о двух фазах, которые должны полностью заканчиваться, во-первых, восстановлением нитрата до нитрита и, во-вторых, восстановлением нитрита до газообразного азота. Для обеих фаз необходима дозировка метанола. Метанол окисляется в этом процессе восстановления до CO_2 и воды, в то время как процесс восстановления заканчивается газообразным азотом. Оба газа выделяются в виде пузырьков газа из воды. Ученые на основе опытов с вспененным стеклом на ядерной исследовательской установке «Julick» предлагают использование другой реакции. Органические вещества, такие, как белки, жиры и углеводы, вначале гидролизуются с помощью ферментных бактерий. Продукты гидролиза: аминокислоты, жирные кислоты и многоатомные спирты — с помощью

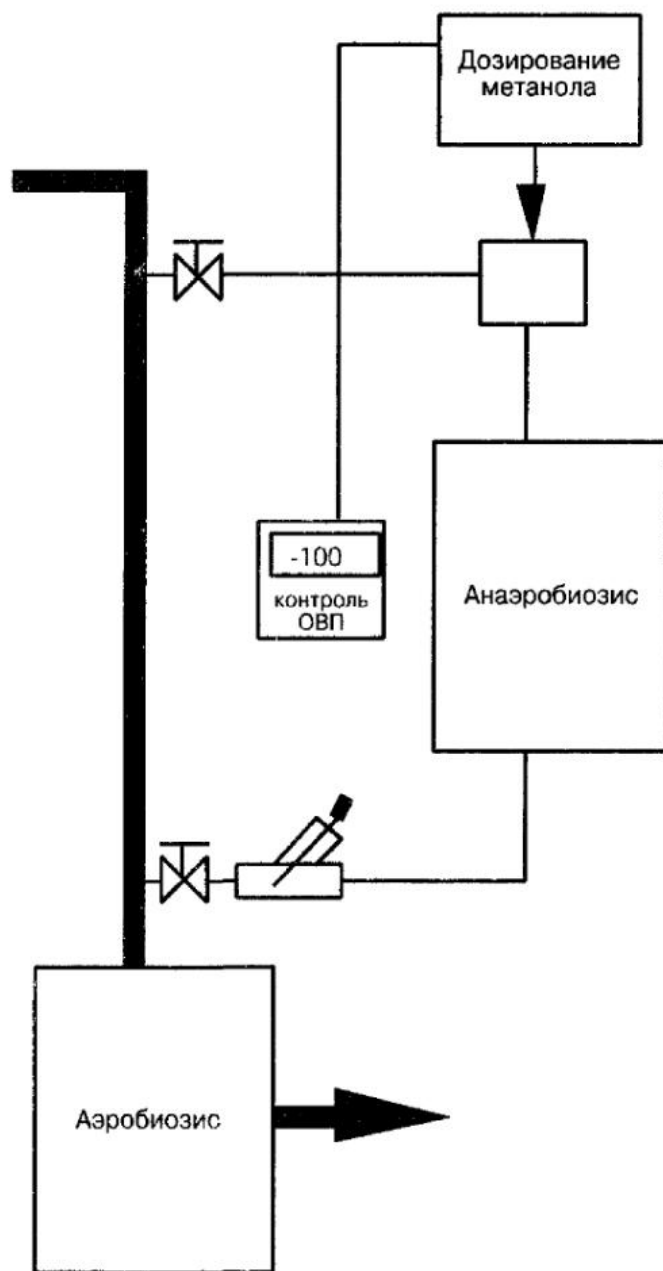
Гетеротрофная денитрификация

Добавляемое вещество	10 мг/л NO ₃	мг/л O ₂
Метанол	5,6	0,67
Этанол	4,0	0,48
Глюкоза	7,8	0,94
Метан	2,1	0,25
Уксусная кислота	7,9	0,94

ацетогенных бактерий превращаются далее в уксусную кислоту, водород и оксид углерода, прежде чем они в лучшем случае метаболизируются метаногенными бактериями до метана и оксида углерода. Если также будет гарантироваться отношения сосуществования между всеми тремя группами микроорганизмов, для того чтобы экологическая система функционировала безупречно, то у ацетогенных и метаногенных «участников» возникает совершенно особенный симбиотический аспект. Продукт обмена веществ — водород — вызывает термодинамическую задержку микробного разложения жирных кислот, если его парциальное давление в системе превысит критическую границу (104 бар). Если при использовании метановых бактерий не позаботиться о быстром потреблении продуктов, то происходит накопление масляной и в особенности пропионовой кислоты («Закисание реакторов для сточных вод»). В действительности процессы очень сложны, и только имея определенный состав микроорганизмов, можно избежать недостатка субстратов и накопления промежуточных продуктов. Наряду с метанолом, донорами углерода могут

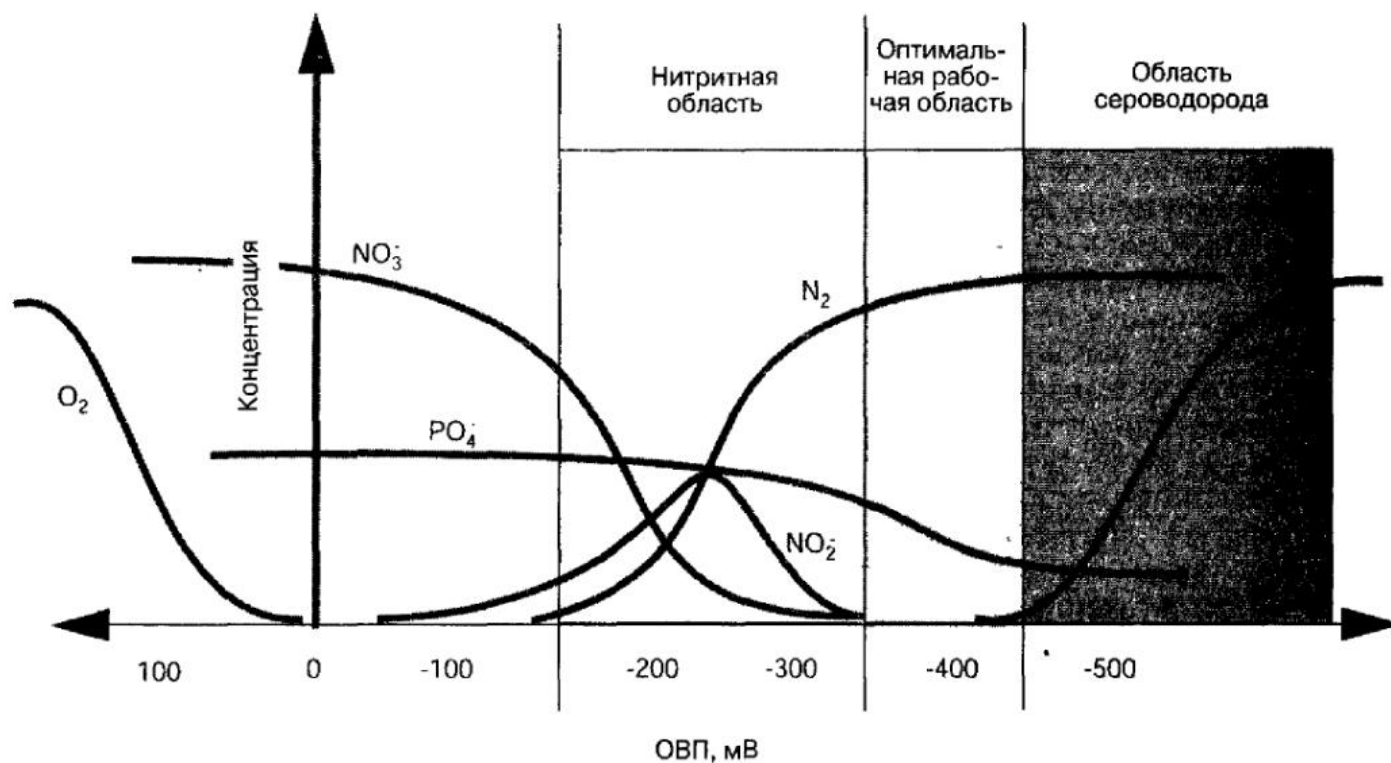
Автотрофная денитрификация

Добавляемое вещество	10 мг/л NO ₃	мг/л O ₂
Водород	0,8	0,06
Сера	3,4	0,67



Возможное интегрирование анаэробного фильтра в аквариумный цикл

быть другие вещества. Для гетеротрофных денитрификаторов можно добавлять вещества, приведенные в таблице на стр. 98 вверху, которые могут служить источником органического углерода. Одновременно они восстанавливают растворенный в воде кислород и сдвигают окислительно-восстановительный потенциал в отрицательную область. Другие



Разложение органических веществ в воде. Денитрификационный фильтр работает в узкой области ОВП

реакции происходят при использовании автотрофных бактерий. Они получают энергию при окислении водорода или серы, в то время как источником углерода служит находящийся в воде природный органический углерод.

Такое течение реакции было бы оптимальным для аквариумистики, так как исключается дозировка органических веществ, которые при неполном превращении будут сильно загрязнять воду. Точное дозирование водорода можно также исключить из аквариумистики. При обеих реакциях необходимый кислород потребляется для окисления органической субстанции, а азот восстанавливается в виде газа.

Строение анаэробного фильтра

Следующий рисунок показывает, каким образом анаэробный фильтр может подключаться в фильтровальную систему.

Основной поток воды проводится через аэробный фильтр. Небольшой поток воды отсюда разветвляется и отводится на анаэробную бактериальную ступень. Течение в биофильтре должно быть очень медленным. Это означает, что время выдержки здесь существенно больше.

Если в аэробном фильтре мы исходим примерно от 3 до 8 минут, то промежутки времени в анаэробном фильтре должны были бы быть до нескольких часов. На входе в анаэробный фильтр добавляется в небольшом количестве метанол. Количество метанола управляется с помощью прибора, измеряющего окислительно-восстановительный потенциал. Этот прибор должен как измерять, так и регулировать окислительно-восстановительный потенциал в отрицательной области. Дозирование происходит с помощью насоса или электромагнитного вентиля. Выход из анаэробного фильтра должен быть связан с аэробным филь-

Фильтрационная техника

зм, так как в аквариуме не удается создать полностью бескислородный поток. Кроме того, подобным образом аквариум защищается от возможных непредвиденных обстоятельств. Для практического применения используются различные системы. Представляется важным в любом случае измерение окислительно-восстановительного потенциала проводить вместе с измерением нитрита. Рисунки на с. 99 показывают принципиальное изменение состава некоторых растворенных веществ в воде. В области денитрификации должен прежде всего отсутствовать доступный кислород. Вследствие этого окислительно-восстановительный потенциал снижается до нуля. Из-за дальнейшей добавки органических источников углерода, в качестве доноров электронов, окислительно-восстановительный потенциал снижается еще в отрицательную область. Этот процесс сопровождается убылью аэробных бактерий и увеличением анаэробных или факультативно анаэробных бактерий. Они не используют более растворенный в воде кислород, а перерабатывают кислород, содержащийся в ионах нитратов, фосфатов, нитритов. Процесс происходит примерно в следующей последовательности.

При окислительно-восстановительном потенциале примерно до 300 мВ вначале нитраты лишаются только одного атома кислорода. Вследствие этого из нитратов возникают токсичные нитриты. Они являются первой ядовитой фазой в начале денитрификационного фильтра. Нужно ограничивать циркуляцию воды на фильтре так долго, пока полностью не пройдет нитритная фаза. Только если нитраты почти полностью разложились (NO_3^- меньше, чем 2,5 мг/л), начинают восстанавливаться нитриты. Полное разложение нитратов и нитритов будет заметно по образованию пузырьков азота. Очень важно сконструировать нитрат-

ный фильтр так, чтобы азот можно было легко удалить. В случае, если это не наблюдается, то это может привести к замедлению обмена веществ. Для практики можно рекомендовать постоянное наблюдение за фильтром с помощью измерения концентраций нитритов.

Если значения окислительно-восстановительного потенциала равно приблизительно -300 мВ, а концентрация нитритов $-0,1$ мг/л, то нитраты полностью восстанавливаются, и биофильтр работает оптимально. Теперь важно следить за тем, чтобы окислительно-восстановительный потенциал не снижался далее. Если это все же происходит, то бактерии переключаются на другие источники кислорода. Вначале разлагаются фосфаты, затем в возрастающем количестве сульфаты, причем образуется токсичный сероводород. Между оптимальными рабочими точками для разложения нитратов и начала образования сероводорода разница окислительно-восстановительного потенциала составляет только 100 мВ. Опасная область начинается примерно при 400 мВ. Значение окислительно-восстановительного потенциала представлено здесь только для исходных данных. Они могут отличаться в зависимости от системы (для этого смотри также таблицу на стр. 96 внизу). В любом случае никогда не нужно отказываться от комбинированного постоянного контроля за окислительно-восстановительным потенциалом и концентрацией нитрита. В заключение этой темы можно подчеркнуть, что для успешного восстановления нитратов в аквариуме необходимо создавать условия, далекие от природных, чтобы этот процесс мог действительно надежно управляться. Дело в том, что концентрация нитратов, которые мы находим в море (см. распределение нитратов «Биологические основы»), значительно отличаются от таковых в большей части наших аквариумов.

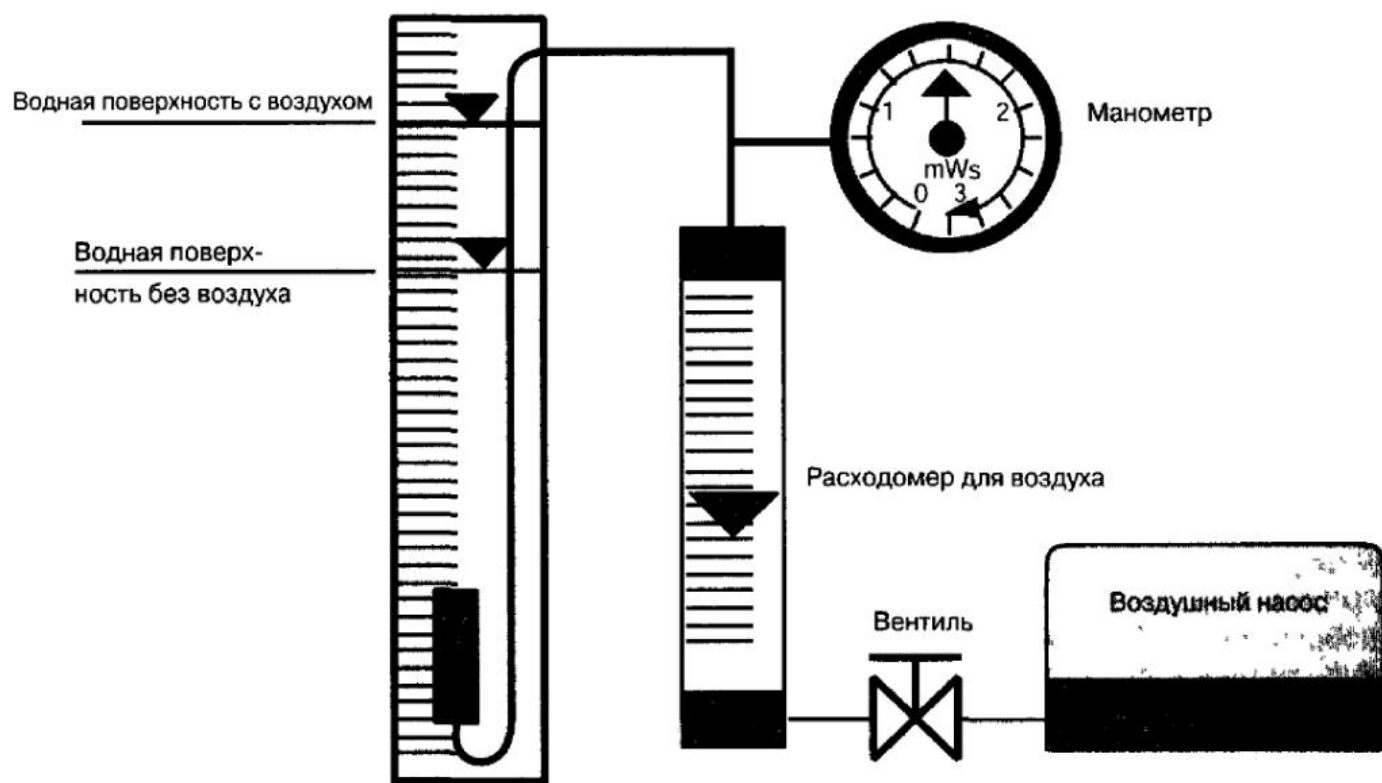
Природные и технические газы

Система, производящая пузырьки

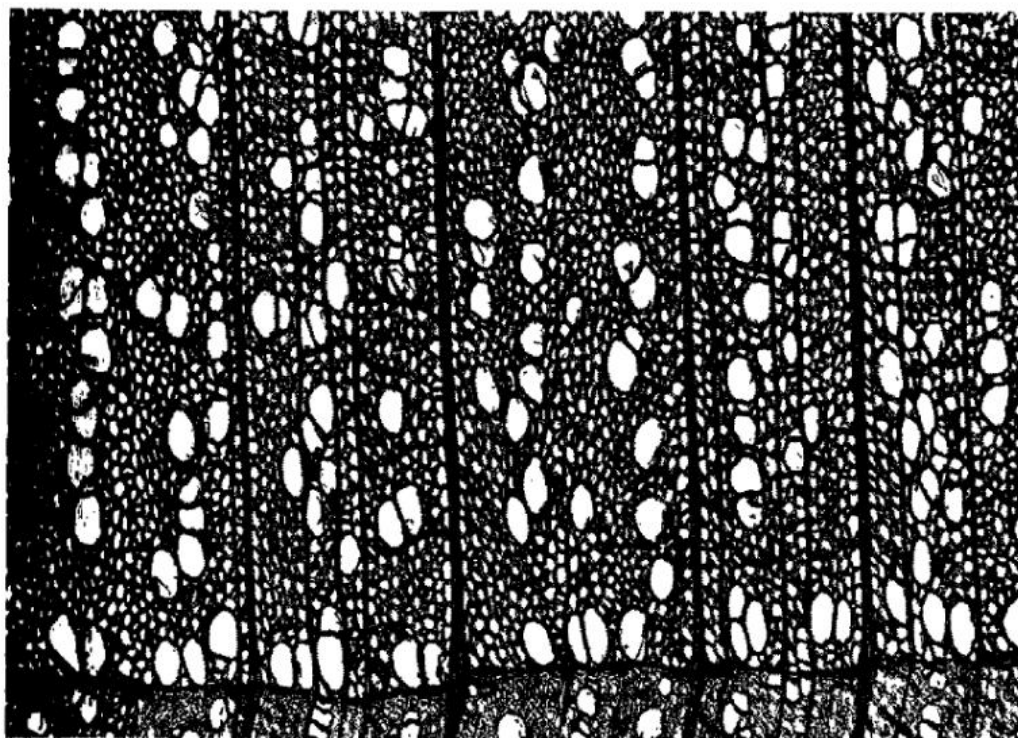
Насыщение аквариумной воды кислородом всегда было центральной проблемой аквариумистики. Классическим методом насыщения воды воздухом в виде мелких пузырьков является применение распылителя (аэратора) с использованием древесины. К этому нужно добавить различные инжекторные системы и диспергатор. Хороший старый распылитель через древесину и в настоящее время используется в аквариумистике, даже если время от времени испытываются новые материалы.

Флотатор (аэратор, вспениватель)

Область применения флотатора – насыщение кислородом, получение мелких пузырьков с целью вспенивания и получение воздушных пузырьков для водного движения (водяные валцы, насос-«мамонт»). В то время как для инициирования движения воды подходят относительно большие пузырьки воздуха, то насыщение кислородом и вспенивание функционируют тем лучше, чем меньше пузырьки. Поэтому необходимо приложить большие усилия для того,



Экспериментальная конструкция установки аэрирования воды воздушными пузырьками с измерением количества воздуха и давления водного столба



На срезе древесины хорошо видны мелкие поры, которые пригодны для мелкопористого аэратора

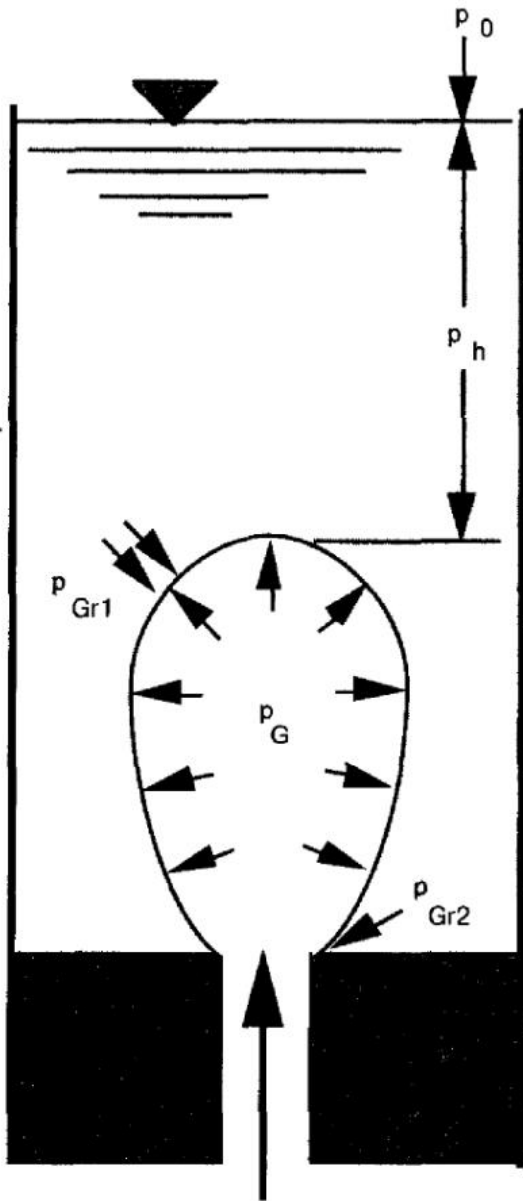
чтобы выбрать материал, который позволяет получить оптимальный размер воздушных пузырьков.

Имеются различные материалы для применения. Наряду с флотаторами из древесины, используются флотаторы из стекла, керамики и камня. Все материалы предлагают приемлемые размеры пузырьков, причем самые мелкие получаются при распылении через древесину.

При сравнении различных типов распылителя нужно обращать внимание не только на размер пузырьков, но и на используемое давление. При этом и простая аппаратура безотказна. Она состоит из насоса для воздуха, который связан через вентиль с расходомером для воздуха. Из расходомера воздух поступает в распылитель, который находится в мерном цилиндре. Манометр постоянно измеряет давление. При одинаковых количествах воздуха и одинаковом водяном слое (столбе) в мерном цилиндре используются различные распылители. Поэтому, наряду с количеством воздуха, измеряются давление и расстояние до водной поверхности. Обоснование этого измерения заключается в следующем:

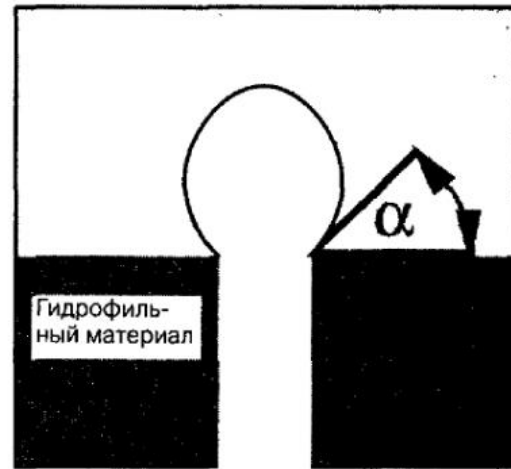
большие пузырьки имеют высокую скорость подъема, маленькие пузырьки — маленькую. Если в водяном столбе остается некоторый рой маленьких пузырьков, то при расходе воздуха примерно 100 л/час получается увеличение объема примерно на 130 мл, и это делает заметным подъем водной поверхности. Пузырьки большего размера с удвоенной скоростью подъема обладают только половинным увеличением объема и поэтому также половиной подъема водной поверхности. Таким простым способом можно рассчитать относительный размер диаметра пузырьков. Если проводить испытания различных распылителей, то получается, что распылитель через древесину производит самые мелкие пузырьки и одновременно показывает самую небольшую потерю давления. Эти факторы определяют его использование для обогащения кислородом в качестве флотатора малой мощности. Конечно, следует подчеркнуть и то, что древесный распылитель является природным продуктом и поэтому изменяется в воде. Длительность его использования составляет от 4 до 8 недель.

Система, производящая пузырьки

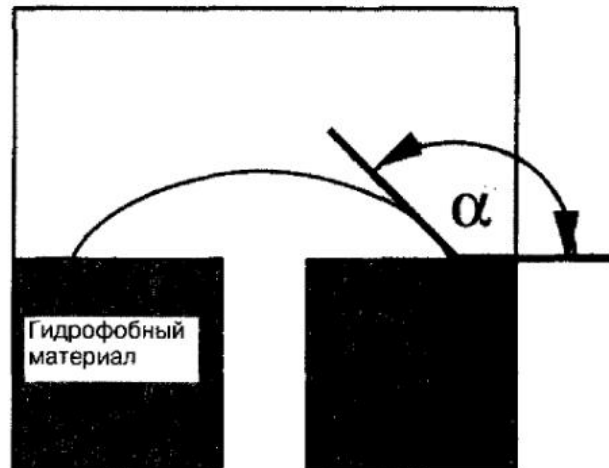


На газовый пузырек изнутри действует давление от воздушного насоса 1, а снаружи — поверхностное натяжение 2

Острый краевой угол



Тупой краевой угол



Размер газового пузырька зависит от материала аэратора, а именно от его гидрофильности или гидрофобности

Кроме того, распылители из камня и керамики также должны меняться через некоторое время, так как их поры загрязняются и трудно очищаются.

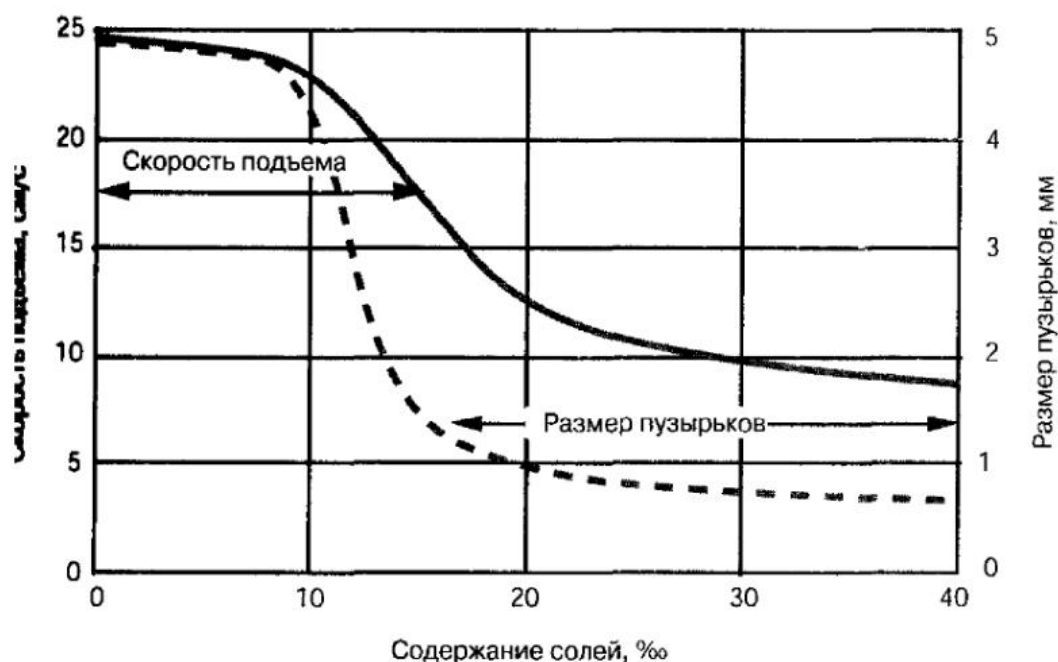
Незначительная потеря давления у «распылителя через древесину» представляет интерес для любителей, так как для него достаточно доступного по цене небольшого насоса с незначительным потреблением энергии. Для образования

мелких пузырьков самое главное найти нужную пористую структуру древесины. Особенность распылителя через древесину состоит в том, что древесина исключительно гидрофильна.

Рисунок вверху слева показывает, какие силы участвуют в образовании пузырьков.

Внутри действует давление газа, которое создается компрессором, снаружи —

Природные и технические газы



Диаметр пузырьков и скорость их подъема зависят в основном от содержания солей

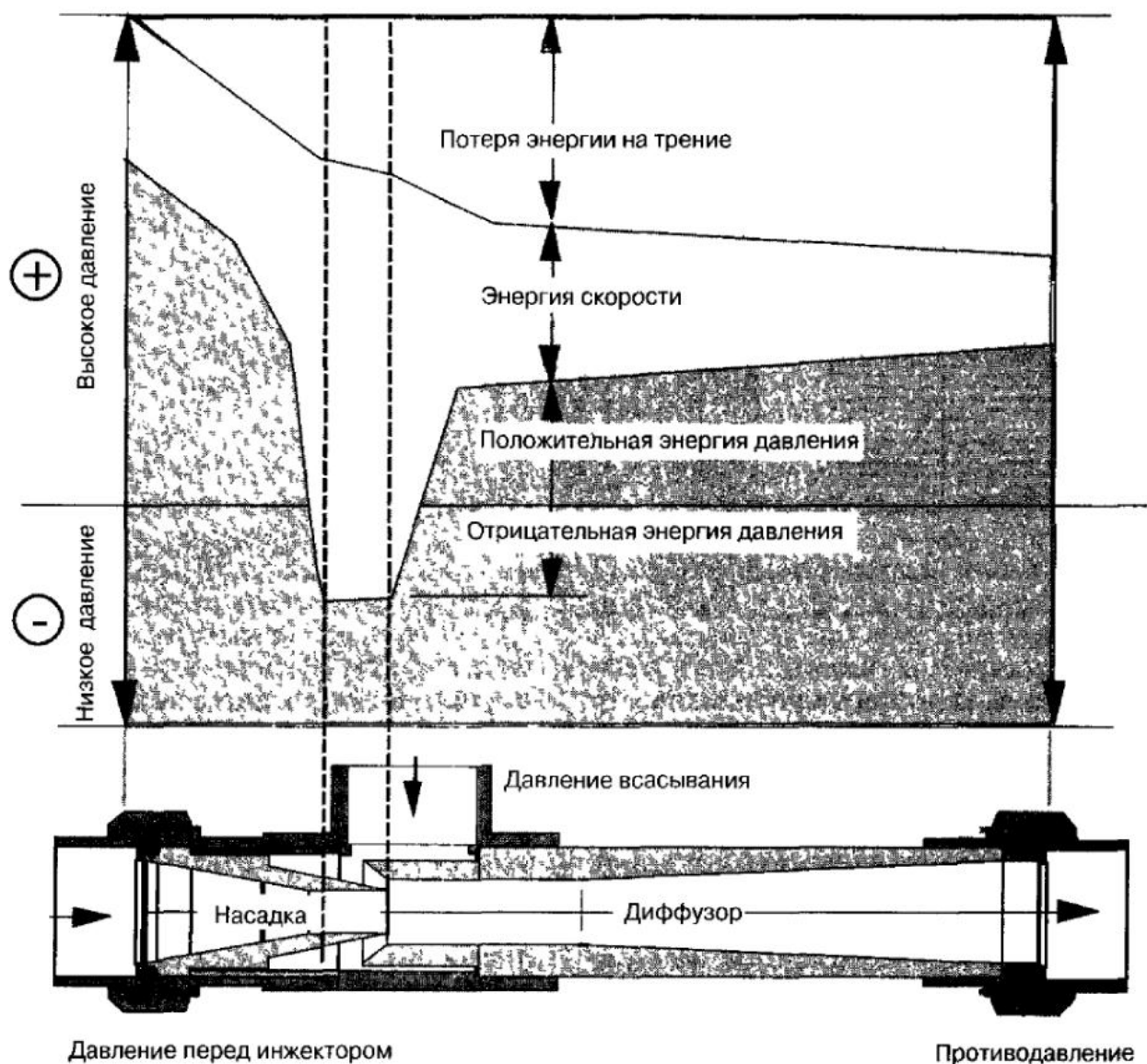
поверхностное натяжение в трехфазной системе вода/воздух/распылитель, поверхностное натяжение в двухфазной системе вода/воздух на поверхности воздушных пузырьков и гидростатическое давление в форме результирующей подъемной силы. Что касается граничной поверхности вода/воздух, для распылителя прежде всего важно, какие свойства проявляет материал распылителя — гидрофильные (средство к воде) или гидрофобные (нет средства к воде). Если имеется гидрофильное вещество, например такое, как древесина, то вода позволяет воздушным пузырькам как можно быстрее отрываться от поверхности.

В гидрофильных веществах, напротив, вода позволяет пузырькам, как можно дольше задерживаться на распылителе. Чем больше время сцепления их с поверхностью, тем сильнее пузырьки «надуваются» и тем больше они становятся. Относительно пограничной поверхности вода/воздух легко представить, что при высокой вязкости и вследствие высокого поверхностного натяжения образуются пузырьки большого объема. Увеличивающимися вязкостью и поверхностным натяжением часто можно объяснить об-

разование мелких пузырьков в морской воде. В соленой воде пузырьки воздуха достигают размера примерно 0,5 мм в диаметре, в то время как в пресной воде — до 5 мм. Мелкие пузырьки, гарантирующие достаточное вспенивание, образуются уже в малосоленых водах Балтийского моря. Таким образом, можно было в 1972 г. с успехом взяться за водоподготовку воды Балтийского моря для аквариума в Киле. Конечно, можно сделать неверный вывод о том, что способ образования пузырьков нужно списывать только на вязкость или поверхностное натяжение. Если рассмотреть соответствующий рисунок (см. диаграмму на стр.21), то видно, что между 20 и 25 °С имеется различие по вязкости примерно на 0,1. Подобное смещение происходит при изменении содержания соли от 0 до 30%. Так как смещение температуры тоже практически не влияет на процесс, можно с большой вероятностью сказать, что ни поверхностное натяжение, ни вязкость не отвечают за образование мелких пузырьков в морской воде.

Единственное значение, которое заметно зависит от содержания соли, — проводимость. Можно предположить,

Система, производящая пузырьки



Продольный разрез инжектора с энергетической диаграммой

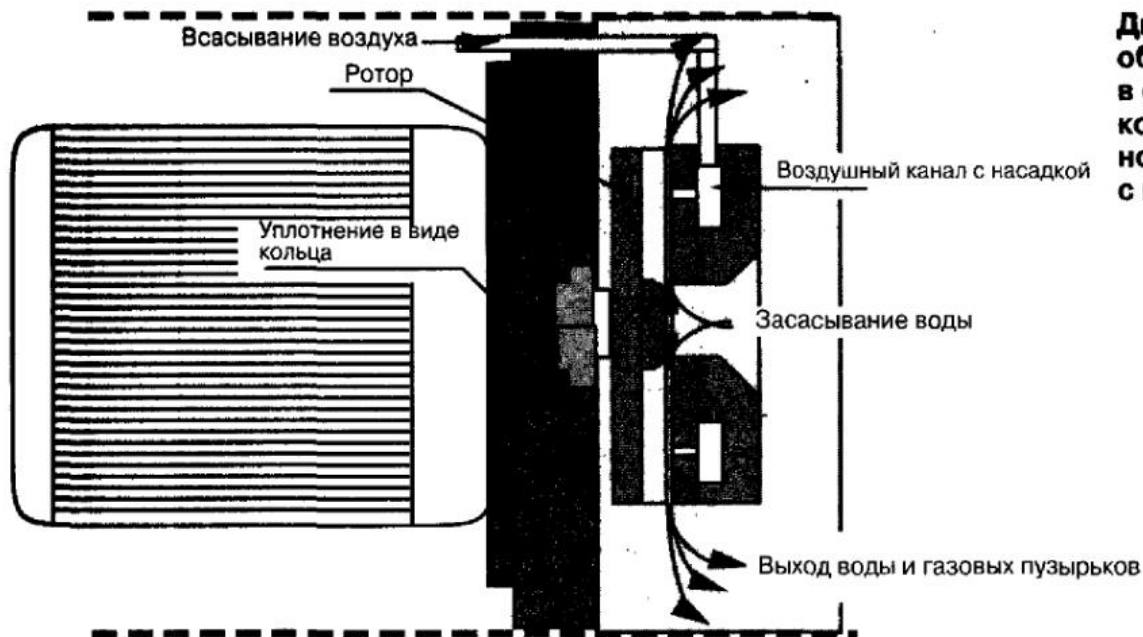
что в соленой воде электрические заряды на поверхности пузырьков предотвращают образование слишком больших пузырьков. Но это только гипотеза. Может быть, эта гипотеза вскоре будет научно и практически обоснована.

Гидростатическое давление рассматривается здесь в связи с тем, что оно должно преодолеваться при образовании пузырей компрессором.

Это естественный фактор, на который, к сожалению, не обращают внимания при покупке и подключении установки аэрации.

Инжектор

Функция инжектора, который также часто называют насадкой для подачи воздуха, для многих аквариумистов не совсем понятна. Прежде всего, отметим очевидное противоречие: для использования инжектора нужно очень высокое давление, чтобы получить вакуум. Очень трудно спланировать инжектор так, чтобы он при самой небольшой подаче воды и по возможности незначительной потере напора засасывал достаточно большое количество воздуха, давал мелкопузырь-



**Диспергатор
объединяет
в одном
корпусе водя-
ной насос
с инжектором**

ковую смесь в условиях противодействия от одного до нескольких метров водного столба. Лучше всего функция инжектора разъясняется при рассмотрении затраты энергии. При этом следует рассматривать три формы энергии: энергию потери на трение, энергию скорости (кинетическую энергию) и энергию давления. Для дальнейшего рассмотрения необходимо знать, что общая энергия системы остается одинаковой, но значения различных форм энергии могут варьировать и переходить друг в друга.

На входе инжектора мы имеем определенную энергию скорости, которая зависит прежде всего от поперечного сечения трубопровода и количества воды. Чтобы пропустить это количество воды через инжектор, нужна определенная энергия. На входе инжектора находится относительно короткая насадка. Отверстие для протекающей воды внутри этой насадки сведено к минимуму. Так как количество воды в каждой точке инжектора одинаково, то соответственно простому уравнению $V=Q/A$ скорость потока должна увеличиваться пропорционально уменьшению поперечного сечения. Чем выше скорость, тем выше, конечно, потеря энергии на трение. Итак, эти обе формы

энергии должны экстремально возрастать в узком месте насадки. Так как общая энергия остается одинаковой, в то время как две известные нам энергии стремительно возрастают, должна быть энергия, которая значительно снижается. Это энергия давления. Целью конструкции является определение параметров инжектора таким образом, чтобы абсолютное давление в насадке было столь малым, что он смог бы использовать окружающую атмосферу. Если это достигается, возникает разность давлений, которая выравнивается поступлением большого количества воздуха в инжектор. На выходе инжектора получается смесь воздух-вода, которая имеет энергию скорости подобную энергии в трубе, но меньшую энергию давления. Эта смесь фаз, — так называемая неньютоновская жидкость. Ее нельзя рассчитать по относительно простым стандартным формулам гидродинамики. Но из-за турбулентных процессов обмена в такой газовой смеси происходят более значительные потери на трение, чем в нормальной жидкости. К этому можно добавить, что газовые пузырьки в трубопроводах проявляют тенденцию собираться в слишком большие пузыри. По этим причинам

следует держать трубопровод за инжектором по возможности близко. Практический опыт показывает, что потребление энергии в инжекторе не намного выше, чем у распылителя, и что размер пузырьков сравним. Значительное преимущество, которое важно для больших установок с инжектором, состоит в том, что он практически не подлежит износу и равномерно образует мелкие пузырьки, и по сравнению с распылителем затраты на обслуживание снижаются.

Диспергатор

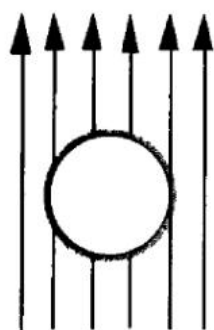
Принцип действия диспергатора основывается на тех же законах, что и инжектора. Поток воды ускоряется так сильно, что в определенном месте возникает вакуум и вследствие этого пузырьки воздуха засасываются в воду. В диспергаторе соединены в одном агрегате функциональные элементы водяного насоса и инжектора. Ротор, который специально создан для диспергатора, приводится в действие непосредственно мотором, так же как у центробежного насоса. Когда колесо ротора вращается, в непосредственной близости от оси возникает пониженное давление. Вода всасывается перегородками колеса и с повышенным давлением и высокой скоростью устремляется наружу. Благодаря высокой скорости воды, между вращающимся колесом и всасывающей тарелкой возникает, так же как в инжекторе, пониженное давление, воздух по круговому каналу всасывается в воду, и образуется мелкопузырьковая смесь. Это только один из примеров диспергатора, в настоящее время разработано множество подобных конструкций. Самым известным и самым простым является непосредственное введение воздуха в засасывающее устройство центробежного насоса. Принцип действия подобных диспергаторов в большинстве случаев очень хорош и убедителен. Но тем не менее возникает проблема, которая до сих пор технически недостаточно проработана. Мы уже упоминали выше, что смесь из воздуха и воды — «неньюто-

новская жидкость». В корпусе ротора возникают неопределенные состояния давления, которые из-за бегущего колеса производят колебания, которые через вал передаются на торцевое уплотнение или на подшипниковый вал магнита. Эти колебания часто приводят к повреждениям на уплотнении или на подшипниковой системе.

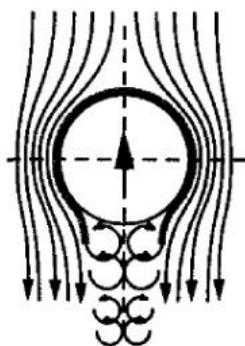
Насыщение кислородом

Целью аэрации, все равно, каким способом она достигается, является почти всегда обогащение кислородом. Часто аэрация и обогащение кислородом означает одно и то же. Но есть большое различие, так как воздух содержит только 21% кислорода. Если мы аэрируем наш аквариум со скоростью 200 л/час, то кислород подается со скоростью только 40 л/час. Но это относительно небольшое количество кислорода не приводит к проблемам в аквариуме. По сравнению с канализационными установками для воды в аквариуме необходимо меньшее количество кислорода. Ситуация меняется при содержании рыбы для пищевых целей. Системы для промысловой рыбы как для разведения, так и для содержания большей частью значительно мощнее; там выпадает гораздо больше органического вещества, остатков пищи и экскрементов. Корм подается также в гораздо больших количествах, так как рыба не содержится, а откармливается. Чем меньше рыба съедает корма, тем больше органического вещества падает на дно и разлагается, потребляя кислород. В то время как в плотно заселенных аквариумах содержание органики очень велико, можно большей частью пренебречь ею в декоративных аквариумах с рыбками. Тем не менее, и в них происходит значительное отложение органического вещества как на основании грунта, так и в фильтре прежде всего, если речь идет о механическом фильтре. Эта органика требует значительного потребления кислорода. Следовательно, обогащение воды кислородом необходимо не только для снабже-

Природные и технические газы



Поднимающийся пузырек в направленной вверх воде. Ламинарное течение. Насыщенная кислородом пограничная пленка не удаляется. Плохое обогащение кислородом



Поднимающийся пузырек в текущей вниз воде. Турбулентное течение. Насыщенная кислородом пленка быстро уносится. Хорошее обогащение кислородом

Если вода течет вниз, то из воздушного пузырька в жидкость переходит больше кислорода, чем при движении пузырька и воды в одном направлении

Завихрения

ния им животных, но и для того, чтобы пополнять кислород, потраченный на окисление органического вещества. Если биологический фильтр находится в фильтровальной системе, то снабжение кислородом имеет дополнительное значение. Биологический фильтр функционирует при аэробных условиях, следовательно, при условиях, обогащенных кислородом. Если для нитрификации не хватает кислорода, процесс протекает неудовлетворительно, и фильтр может «опрокинуться» в анаэробную среду.

Итак, если для рыбы подается, как минимум, 4 мг/л кислорода, то это значение следует понимать как предельную величину, необходимую для дыхания. Если она будет ниже, то рыбы задыхаются. Эта предельная величина недостаточна для того, чтобы вся биологическая система аквариума функционировала правильно. Цель вентиляции — по возможности достигать границ насыщения кислородом. Чтобы внесенный кислород равномерно распределялся по объему аквариума, необходим интенсивный оборот воды. Прежде всего, движение воды должно быть таким, чтобы избежать «мертвые углы».

Какие факторы влияют на насыщение кислородом?

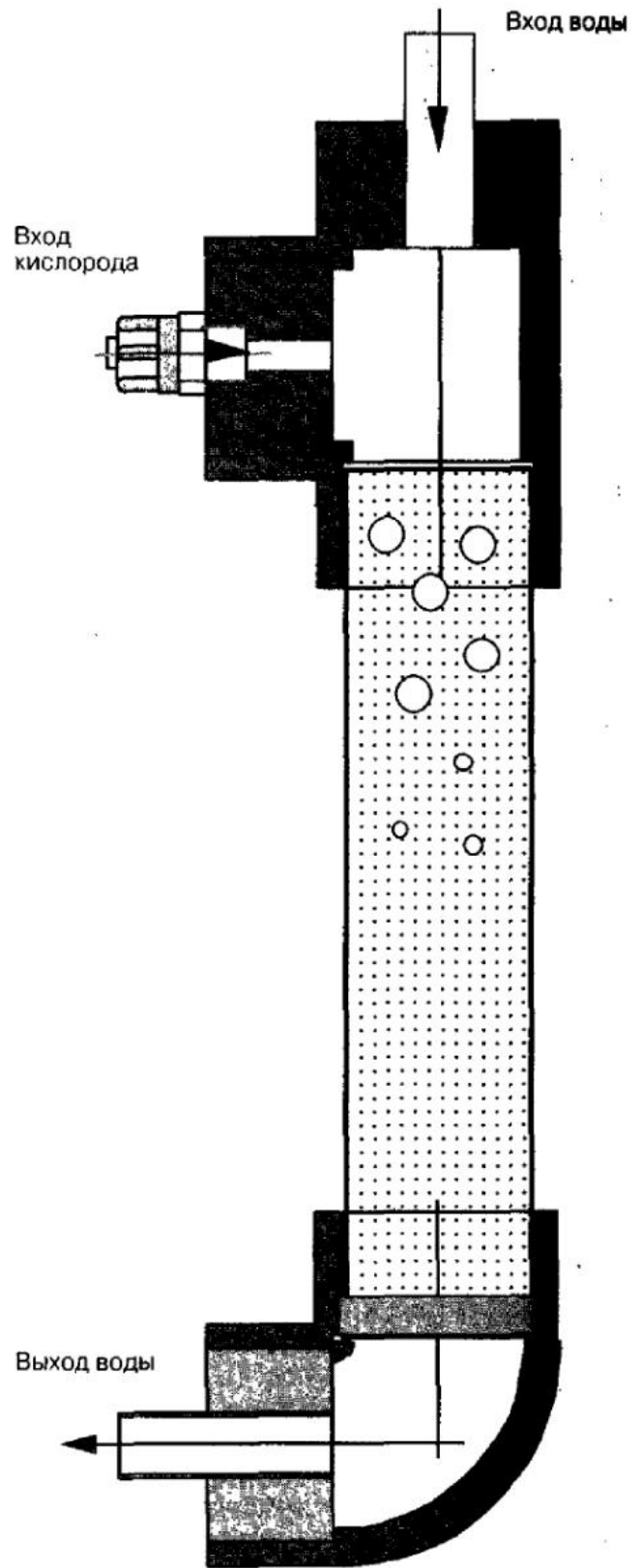
Размер пузырьков значительно влияет на обогащение воды кислородом. Чем мельче пузырьки, тем лучше кислород переходит в воду. Испытания показали,

что при аэрации мелкими пузырьками (диаметр пор около 0,1 мм) достигается обогащение кислородом примерно 10 г на кубический метр воздуха при глубине погружения 1 м, в то время как аэрация крупными пузырьками (размер пузырька 2 мм) уменьшает эту величину наполовину. Конечно, размер пузырьков сложно контролировать. Если размышлять о пузырьке в воде, можно себе представить, что сначала кислород диффундирует из пузырька в водную пленку. Если кислород не удаляется из пленки, то его концентрация в ней будет расти до тех пор, пока не установится состояние равновесия. Диффузия в этом случае прекращается. Если кислород отводится достаточно равномерно, то он будет постоянно диффундировать. Пузырьки воздуха, которые поднимаются в некотором роде, постоянно забирают с собой приграничную воду. В результате этого возникает восходящий вверх поток воды. Направленный вверх поток пузырьков обладает достаточной скоростью. Между водой и пузырьками воздуха имеется очень небольшая разница скоростей. Пузырек движется в очень равномерном потоке. Чем сильнее будет выражена турбулентность, тем лучше снимется поверхностный слой на пузырьке, который уже насыщен кислородом. Вода, обедненная кислородом, быстро подводится к поверхности пузырька и обогащается кислородом. При возможности следует подводить во-

ду сверху вниз, то есть противотоком. Вследствие этого достигается оптимальный объем в пленке.

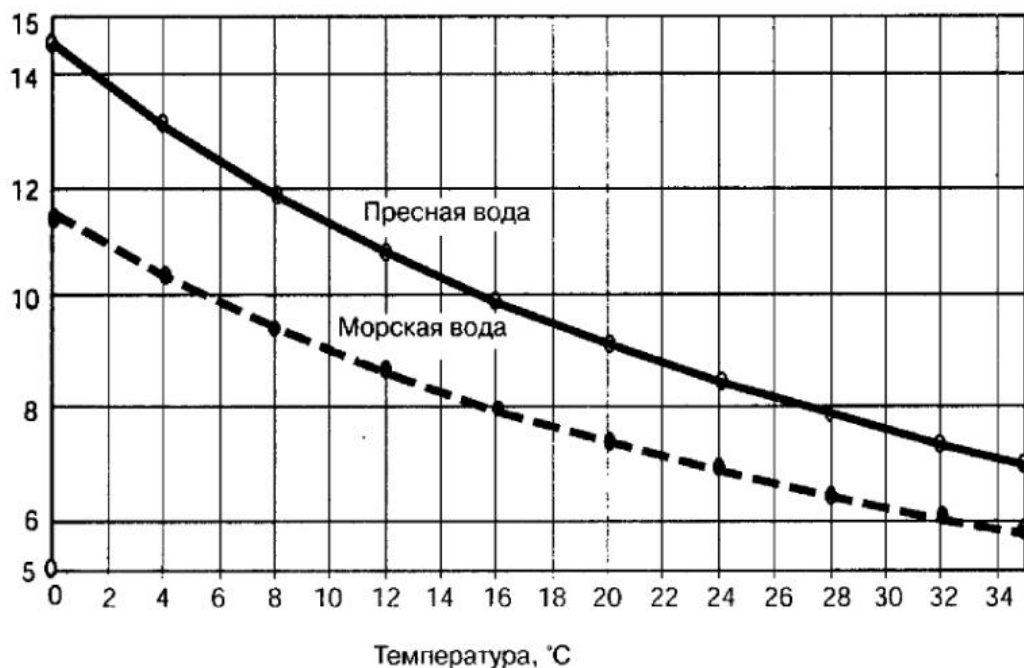
С увеличением давления, которому подвергается пузырек все время, пока находится в воде, больше кислорода переходит в раствор. Чем глубже погружается распылитель в воду и чем выше реакционная колонка, тем лучше происходит обогащение кислородом, эффективность передачи кислорода пропорциональна высоте водяной колонки.

Этот эффект можно усилить, если использовать реакционную трубу с избыточным давлением, такие кислородные реакторы вполне можно приобрести в торговой сети. Разумеется, придется понести новые расходы. Используется водяной насос, который транспортирует воду с повышенным давлением в кислородный реактор. Воздух также должен поступать в реактор с соответствующим избыточным давлением. Так как обычный аквариумный насос создаст давление от 2 до 3 м водного столба, можно рекомендовать небольшой компрессор. В качестве кислородных реакторов могут использоваться колонки как пузырьковые, так и с наполнителем. Вместо реактора может подсоединяться кислородный баллон под давлением, с помощью этого достигается значительное повышение производительности. В этом случае в литре газа теперь находится пятикратное количество кислорода, который к тому же быстрее диффундирует в воду. Этот способ относится к дорогостоящим, так как баллоны весьма тяжелые и не дешевы. При этом, однако, исключаются расходы на компрессор. Если используется кислород, реактор следует использовать в качестве наполнителя. При хорошей регулировке кислород можно дозировать так, что он весь растворяется. Это значит, что вода будет без пузырьков и не произойдет потери поднимающегося кислорода. Если работают с чистым кислородом, есть,



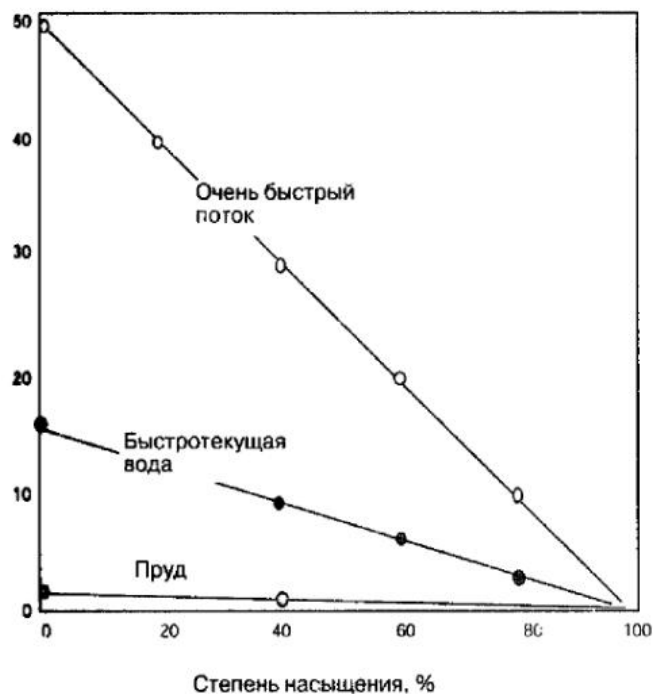
В кислородном реакторе используется принцип противотока и повышенное давление для лучшего насыщения кислородом

Природные и технические газы



Чем ниже температура, тем больше кислорода растворяется в воде

оченно, вероятность, что вода перенасытится. Следовательно, с чистым кислородом нужно работать очень осторожно.



природе обогащение кислородом зависит от поверхностного движения воды

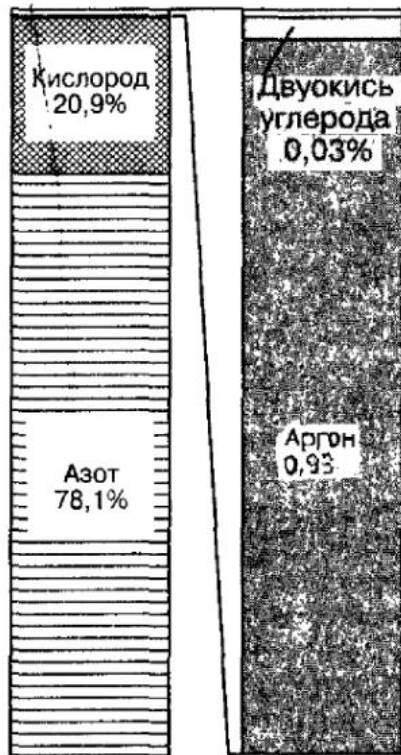
Температура воды и степень насыщения кислородом

Чем ниже температура воды, тем выше граница насыщения кислородом.

Чем выше будет разница уровней между имеющимся кислородом и границей насыщения, тем лучше происходит передача кислорода. Следовательно, аквариумы с холодной водой существенно легче обеспечить кислородом, чем аквариумы с теплой водой.

Это поясняет также верхний рисунок. Возьмем два экстремальных примера. Аквариум с холодной пресной водой при температуре 16 °C имеет границу насыщения кислородом приблизительно 10 мг/л. Теплый аквариум с морской водой при температуре 24 °C имеет предельную границу насыщения около 7 мг/л. Тем не менее оба должны иметь содержание кислорода 7 мг/л. Для бассейна с пресной водой это означает, что должна достигаться степень насыщения приблизительно 60%, в то время как для бассейна с теплой морской водой достигается уже степень насыщения 85%. Если предположить, что наш аквариум имеет такую же хорошую степень обогащения кислородом, как быстротекущие водоемы,

Концентрация кислорода и парциальное давление



Содержание газов в воздухе. Правая колонка представляет газы, содержащиеся в 1% газов левой колонки

то окажется, что холодная пресная вода поглощает примерно 6 г кислорода на квадратный метр в день, в то время как морская вода — 1,5 г. Итак, становится ясным, что в теплых аквариумах не только предельная граница насыщения ниже, но и подача кислорода значительно труднее. Далее, с повышением температуры увеличивается активность живых существ, и, соответственно, потребность их в кислороде. Также повышается обмен веществ у микроорганизмов, и они также используют больше кислорода.

Итак, мы констатируем две противоположные тенденции: снижение границы насыщения и повышение потребности в кислороде. Чем выше температура, тем более важным для биологической системы в аквариуме становится снабжение кислородом. Критические ситуации могут появиться, если в теплые летние дни температура в аквариумах с теплой водой еще более повысится.

Состав воздуха

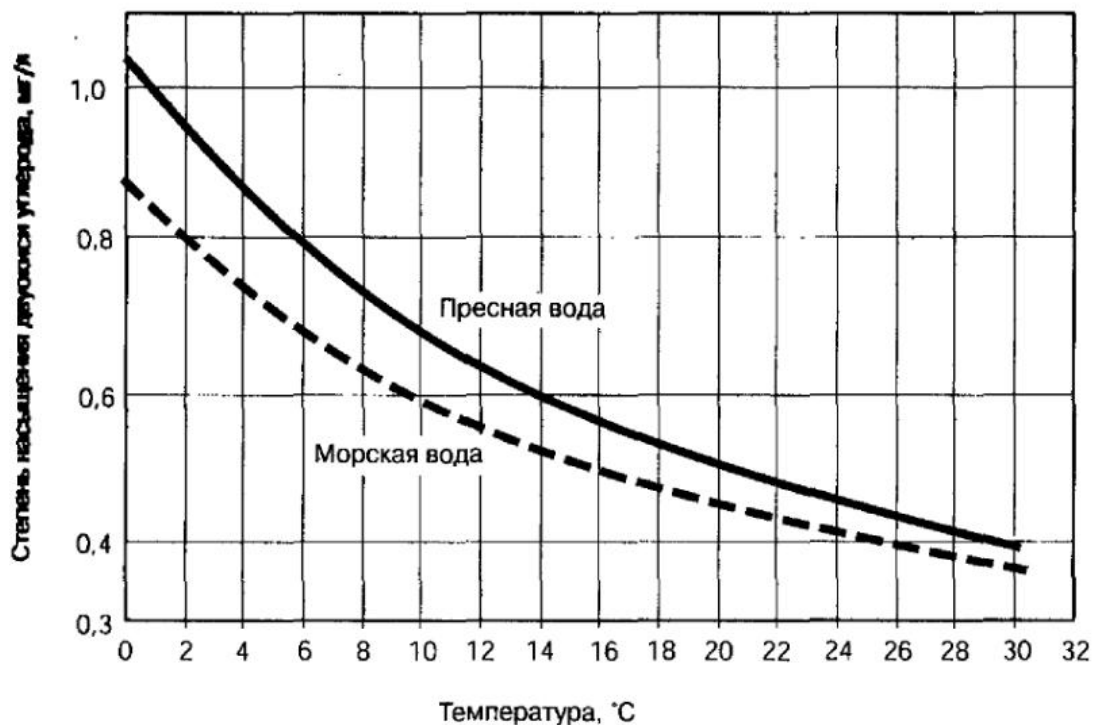
Азот	78%
Кислород	21%
Инертные газы	1%
Двуокись углерода	0,03%

Концентрация кислорода и парциальное давление

Таблица вверху еще раз поясняет пропорциональное содержание газов в окружающем нас воздухе. Ясно, что одного азота в воздухе содержится 78%, а азот вместе с кислородом составляют уже 99 %.

Если вообразить левую колонку как сосуд с газами, в котором газы расположены слоями, то можно представить, что молекулы на основе броуновского движения регулярно с большой скоростью ударяются о стенки сосуда.

Вследствие этого в сосуде возникает давление. Удалим из этой смеси все газы, за исключением только кислорода. Молекулы кислорода занимают теперь значительно больше места. Они не так часто ударяются в стенки сосуда, давление снижается. Давление, которое производит один кислород, называется парциальным. Оно составляет примерно пятую часть общего давления газов. Теперь мысленно заполним колонку полностью кислородом. Теперь в сосуде столько же молекул, сколько их было вначале нашего теоретического эксперимента. Ударяется столько же молекул в стенки сосуда, но теперь это только молекулы кислорода. Давление кислорода поднимается пятикратно! Теперь представим сосуд, который полностью заполнен кислородом, погрузим его в воду и откроем на нижней стороне. Так как давление со всех сторон действует одинаково, то теперь молекулы кислорода с пятикратным по сравнению с обычным воздухом давлением сталкиваются с поверхностью воды. В противоположность стенке сосуда водное зеркало не является твердой поверхностью. Из-за этого пятикратного (парциального) давления скорость растворения кислорода



Холодная вода поглощает больше двуокиси углерода, чем теплая вода

значительно увеличивается. Насыщение воды производится чистым кислородом, следовательно, значительно быстрее, как мы это видели в главе об осмотическом давлении, процессы диффузии происходят до тех пор, пока не будет достигнуто состояния равновесия.

Теперь на одной стороне весов — чистый кислород, на другой — бедная кислородом вода. Так как мы сильно повысили парциальное давление кислорода по отношению к воздуху, то повышается и скорость обогащения кислородом. Этот процесс протекает до максимального содержания кислорода, который мы можем растворить в воде.

Азот

Хотя до сих пор мы рассматривали обогащение воды кислородом, нельзя забывать об азоте. Этот газ в наибольших количествах (78%) содержится в воздухе. Следует помнить, что при аэрации всегда вносится также азот. В том, что азот — неакционноспособный газ и что он практически не оказывает влияния на химические реакции в воде, нет ни недостатка, ни

преимущества. Поэтому азот называют инертным газом. Инертные газы — газы, которые в данной химической системе не принимают участия в реакциях. Прежде всего это благородные газы, такие, как гелий, неон, аргон. Но все же азот может принести неприятные неожиданности. Когда воздух при избыточном давлении растворяется в воде, азот достигает в растворе очень высокой концентрации и поглощается рыбами при дыхании. В кровеносной системе рыб возникают пузырьки азота, которые могут привести к эмболии.

Двуокись углерода

Значение двуокиси углерода для круговорота веществ описано в различных главах. Диоксид углерода является очень важным для химии и биологии воды газом, особенно если учесть, что его доля в воздухе составляет только 0,03%, то есть примерно $1/700$ часть от содержания кислорода. Соответственно низким предполагается и содержание двуокиси углерода в воде. В пресных водах это соответствовало бы примерно 0,01 мг/л при 20 °C. В действительности граница

насыщения для диоксида углерода в теплой воде при 20 °С равна 0,5 мг/л, то есть в пятьдесят раз выше, чем ожидалось. Из этого следует, что диоксид углерода существенно лучше, чем кислород, растворяется в воде.

Как ни парадоксально, диоксид углерода также быстро и освобождается, если воду турбулентно мешать или аэрировать. Следовательно, двуокись углерода можно относительно легко смещать как в водную фазу, так и в газообразную.

Как и для кислорода, так и для углекислого газа считается, что при повышении температуры растворимость снижается. Очевидно, что пресные воды могут поглощать диоксида углерода больше, чем морские. Двуокись углерода будет в дефиците в сильно заросшем растениями аквариуме. В природе только небольшая часть водной поверхности заселена растениями, так что имеется весьма благоприятное соотношение общей водной поверхности, которая может поглощать диоксид углерода, и поверхности с растениями, на которой диоксид углерода используется. Аквариумы с пресной водой,

сильно заросшие растениями, нуждаются в большем количестве диоксида углерода, чем его может поглотиться через аэрацию или водную поверхность. Следовательно, необходимо дополнительное дозирование двуокиси углерода.

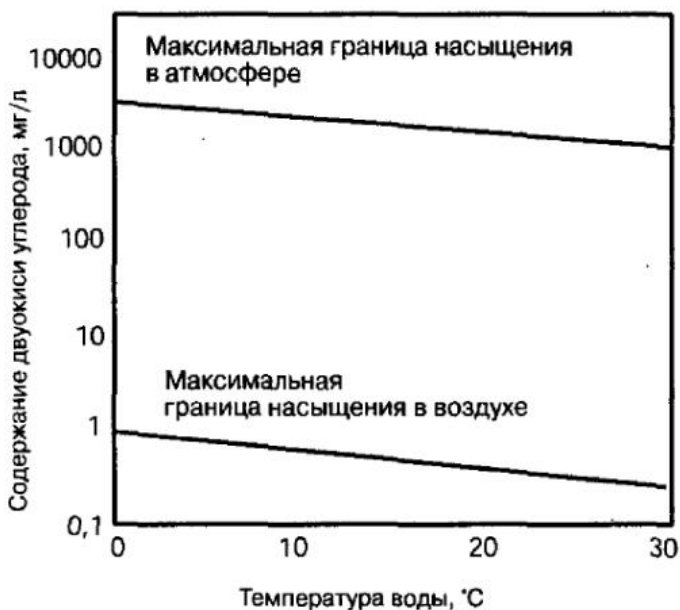
Дозирование двуокиси углерода

В то время как обогащение кислородом можно производить обычным воздухом и озоном с помощью озонатора, то обогащение воды диоксидом углерода сопряжено с трудностями, так как необходим источник этого газа. Это достигается различными путями, которые в дальнейшем будут представлены.

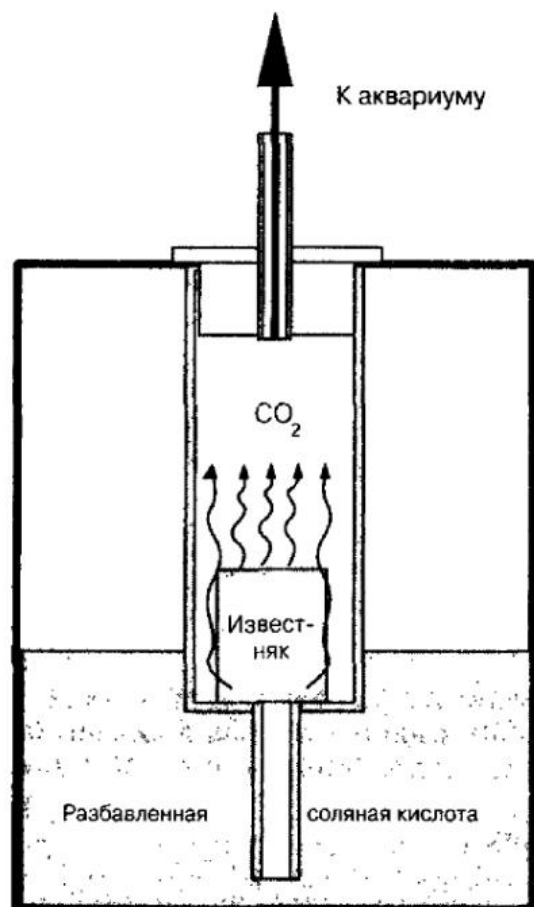
Брожение с дрожжами. Этот способ получения двуокиси углерода известен из технологии получения спирта. Готовят раствор сахара и добавляют немного дрожжей, на один литр воды добавляют 100 г сахара и 10 г дрожжей. Спустя некоторое время раствор начинает бродить, причем наряду со спиртом образуется двуокись углерода. Возникающее при этом давление достаточно, чтобы угольная кислота из реакционного сосуда поступала в аквариум. Недостаток этого метода состоит в том, что не получается непрерывного снабжения углекислым газом.

Когда брожение заканчивается, раствор приготавливают снова. Подача газа также плохо регулируется, т. к., конечно, изменять обмен веществ у дрожжей не просто.

Описанный выше процесс протекает очень медленно. Конечно, температура существенно влияет на брожение. Чем больше температура, тем быстрее происходит брожение, и тем быстрее необходимо готовить новый раствор. Этот метод уже описан в специальной литературе. Процесс может проводиться таким образом, чтобы через воздушное пространство бродильного сосуда постоянно с помощью насоса закачивать воздух, который отводит углекислый газ и подает его в аквариум.



В атмосфере граница насыщения воды двуокисью углерода выше, чем в обычном воздухе



Прибор для получения двуокиси углерода при разложении известняка соляной кислотой

Реакция известняка с соляной кислотой. Двуокись углерода химически связана с известью, но ее можно освободить:

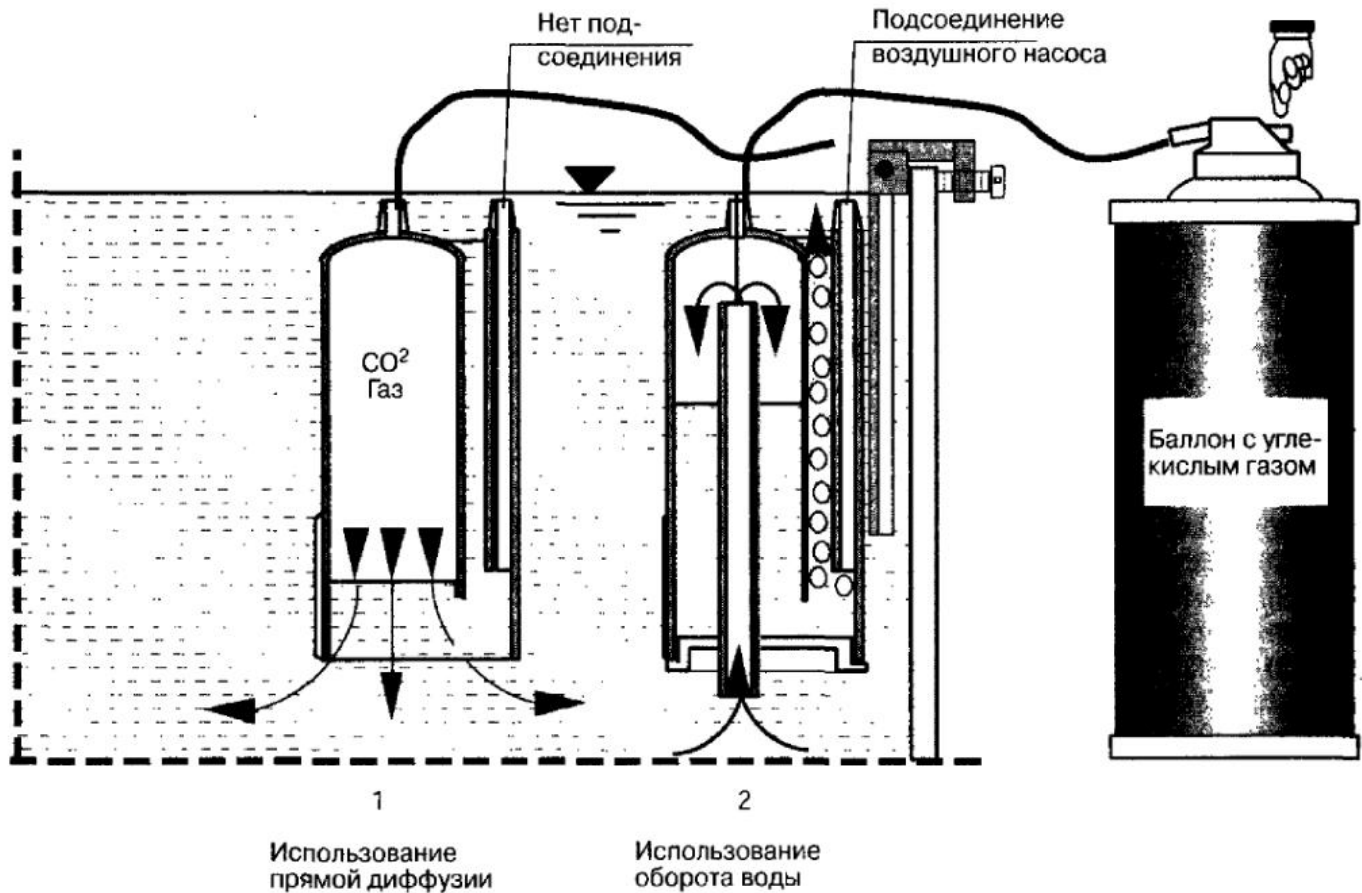


Когда мы приливаем соляную кислоту к известняку, возникает бурная реакция. Кальций (Ca^{2+}) связывается двумя ионами хлорида (Cl^-) с образованием хлорида кальция. Водород соляной кислоты реагирует с атомами кислорода известняка (CaCO_3) с образованием воды. Двуокись углерода образуется в результате этой реакции с характерным бульканьем. Если ориентироваться на уравнение реакции, то получается, что необходимо приблизительно 100 г чистой извести, чтобы получить около 2 л двуокиси углерода. При этом возникает 111 г хлорида каль-

ция. Чтобы привести реакцию в действие необходимо 73 г чистой соляной кислоты. Так как концентрированная соляная кислота очень опасна, необходимо работать с 25%-ной соляной кислотой, так что раствора получается соответственно больше.

В продаже есть доступные реакционные сосуды, в которых протекает реакция. При действии соляной кислоты на известь возникает диоксид углерода, который выделяется из зоны реакции и повышает давление. Это давление вытесняет в реакционный сосуд соляную кислоту, и дальнейшее образование двуокиси углерода замедляется. Если двуокись углерода израсходована в аквариуме, давление в реакционном сосуде снижается. Соляная кислота опять поднимается к извести, и реакция продолжается. Таким образом возникает определенный эффект автоматического регулирования. Но регулирование возможно только после того, как начинается реакция в сосуде, а не после того, как возникает потребность в двуокиси углерода в аквариуме. Целесообразно было бы также управлять системой через электромагнитный вентиль. Но это затрудняется тем, что электромагнитные вентили надежно работают при высоком управляющем давлении. Описанный способ химического получения двуокиси углерода весьма прост и экономически целесообразен. Конечно, общение с соляной кислотой опасно. Регулировка, зависящая от потребности, возможна только условно. Представленные выше возможности дозировки предоставляют простые и несложные способы дозирования. В настоящее время предлагаются устройства, в которых двуокись углерода не только производится, но и может отводиться из резервного баллона. Для этого имеются следующие возможности:

Двуокись углерода с дозировкой при впрыскивании. При этом способе двуокись углерода подводится из аэрозольного баллона. Аэрозольный баллон заполнен под давлением от 8 до 10 бар. Объем этого баллона составляет 0,5—0,6 литра, что



Два различных реактора двуокиси углерода

соответствует объему газа 5 литров или около 10 г двуокиси углерода.

Обслуживание аэрозольного баллона с двуокисью углерода очень простое. CO_2 -реакционный сосуд устанавливается в аквариуме и связывается с помощью микрошланга с аэрозольным баллоном. Теперь просто нажимают на вентиль аэрозольного баллона так, чтобы двуокись углерода вводилась в реакционный сосуд. В этом случае имеют простое дозирование двуокиси углерода без потерь. Недостаток состоит в том, что применение ограничивается небольшими аквариумами объемом от 100 до 200 л. Дозирование не может осуществляться автоматически. Подключение к регуляторам невозможно. Если реакционный сосуд с двуокисью углерода пуст, то дозировка происходит вручную. Баллон, к сожалению, нельзя заполнить заново, и он выбрасывается.

Двуокись углерода в газовой капсуле под давлением. Для домашнего хозяйства разработан маленький патрон с двуокисью углерода, который гораздо меньше, чем баллон с аэрозолем, и содержит 16 г CO_2 , но, конечно, гораздо больший полезный объем, так как газ находится под высоким давлением. Основная проблема здесь — сконструировать недорогой, но очень точный регулирующий клапан. При ненадежном управлении это приводит к значительным потерям двуокиси углерода. Для домашних аквариумов капсула с двуокисью углерода — это хорошее решение. Однако проблемы с вентилем все-таки остаются.

Двуокись углерода в баллоне для сжатого газа. Двуокись углерода используется во многих областях техники и при производстве напитков. Поэтому в промышленности используются баллоны под

Имеющиеся в продаже баллоны с CO₂

Вес, кг	Содержимое газов, м ³	Давление при наполнении, бар	Объем, л	Удельный вес, кг/м ³
0,15	0,07	57,6	0,20	1,97
0,35	0,17	57,6	0,50	1,97
1,5	0,76	57,6	2,0	1,97
10,0	5,07	57,6	13,0	1,97
20,0	10,15	57,6	27,0	1,97
25,0	12,69	57,6	33,0	1,97
27,0	13,70	57,6	40,0	1,97

давлением самых разных размеров, которые также пригодны для применения в аквариумной технике. По сравнению с другими газами двуокись углерода может сжижаться при относительно низком повышенном давлении. Итак, уже при температуре окружающей среды 20 °С и при давлении 55 бар двуокись углерода можно сжижать в баллонах высокого давления и отправлять в торговлю.

Вследствие того, что газ находится в баллоне в жидком виде, из довольно-таки маленького баллона может получиться значительный полезный объем. Выход газа производится через вентиль пониженного давления (редуктора), который располагается на головке баллона. Редуктор привинчивается накидной гайкой к головке баллона.

Крепление редуктора должно производиться очень тщательно гаечным ключом, при этом создается такое уплотнение, что накидная гайка не нуждается в сильном затягивании. Сначала выходное давление нужно выставить на ноль, что достигается вращением его влево до отметки, т. е. выходной вентиль закрывают. Затем следует осторожно открывать закрывающий вентиль баллона. Если подключение редуктора ненадежно, то это заметно по отчетливому шипению. В этом случае вентиль баллона нужно еще раз закрыть и закрепить редуктор. На новом баллоне первый манометр должен показывать давление от 55 до 60 бар, второй манометр — 0. Теперь производится соответствующая регулировка выходного давления вращением вправо. Давление считывается на втором манометре. Необходимое давление зависит от включенных приборов. Если включен простой CO₂-реактор, будет достаточным давление выхода 0,2 бар. Если подключается магнитный вентиль, то необходимо от 2 до 4 бар, так как большая часть магнитных вентилях использует давление для управления, чтобы бы-



Из баллона с газом под давлением никогда нельзя отбирать двуокись углерода без предварительного устройства, снижающего давление

ла возможность надежно открывать и закрывать. Если применяются такие высокие давления, необходимо обращать внимание на то, что должны применяться и шланги высокого давления.

Вентиль на оборудовании пониженного давления регулирует не давление выхода, а количество двуокиси углерода. Такое оборудование для пониженного давления оборудовано двумя вентилями. С помощью одного грубо устанавливается расход, а с помощью второго — точное количество. У некоторых пользователей такое оборудование вызывает опасения из-за высокого давления, которое подается на вентиль. Но оборудование работает так, что гарантируется повышенная безопасность и поэтому может обслуживаться и неспециалистами. Само собой разумеется, баллоны под давлением никогда не должны обслуживаться без установок понижения давления.

Баллоны высокого давления для двуокиси углерода. Баллоны с углекислым газом высокого давления выпускаются в различных вариантах. Они имеются в любых пунктах торговли техническим газом. Существуют и специализированные баллоны для аквариумов, причем имеются на выбор два или три размера баллонов. Можно рекомендовать закупку баллона в зоомагазине, так как торговля техническими газами имеет другие критерии качества. В зоомагазине можно также во многих случаях получить детальные советы специалистов. Чтобы исключить проникновение других газов или сырости в баллон, газовые баллоны под давлением никогда не должны оставаться полностью пустыми. Баллоны могут транспортироваться только в том случае, если завинчена крышка и отсоединено дополнительное оборудование. Баллон должен прочно устанавливаться на месте, чтобы исключить его возможное падение. Баллон нельзя также переворачивать во время отбора газа. Двуокись углерода находится в баллоне в виде жидкости. Если баллон перевернут и эксплуатируется, из него вытекает жидкая угольная кислота, и возможно

образование углекислотного снега. Это может привести к засорению и разрушению вентиляей.

Дозирование двуокиси углерода. Из-за большой растворимости в воде и очень хороших диффузионных свойств чистая двуокись углерода может очень быстро поступать в воду. При оптимальных технических условиях можно растворить 1700 мг CO_2 в теплой воде при 20 °С. Конечно, это в аквариуме невозможно. Но данные показывают, что с помощью простых средств мы можем получить хорошие результаты по насыщению воды газами. Существует очевидная разница между обогащением воды чистой двуокисью углерода и воздухом. Доказано, что с помощью аэрации не происходит дальнейшего обогащения воды двуокисью углерода. Конечно, также нереально во всем аквариуме установить дозаторы двуокиси углерода для того, чтобы достичь желаемых более высоких значений. Уже упоминалось о недостатках аэрации двуокисью углерода, но фактически этот газ подается в воду через распылитель. Вследствие этого получается большая потеря, так как время подъема пузырьков невелико, от 1 до 5 сек (пузырьки имеют скорость подъема от 15 до 30 см/с, следовательно, в аквариуме высотой 60 см время нахождения пузырька в воде составляет 2—4 секунды). Не весь газ может диффундировать в воду. Значительная часть вместе с пузырьками выносится на поверхность. Он, по возможности, остается на водной поверхности. Здесь двуокись углерода вскоре смешивается с воздухом, так что концентрация ее быстро уменьшается, однако это может привести дышащих воздухом рыб (лабиринтные рыбы, сомы) к затрудненному дыханию, что должно безусловно исключаться. Следовательно, должны выбираться такие методы внесения двуокиси углерода, которые по возможности исключали бы поступление ее на поверхность.

Это лучше всего достигается тем, что применяются чисто диффузионные при-

боры. Они имеют большое преимущество в том, что занимают небольшую площадь водной поверхности под чистую двуокись углерода и вследствие этого достигают высокого обогащения. Хорошо зарекомендовали себя два варианта.

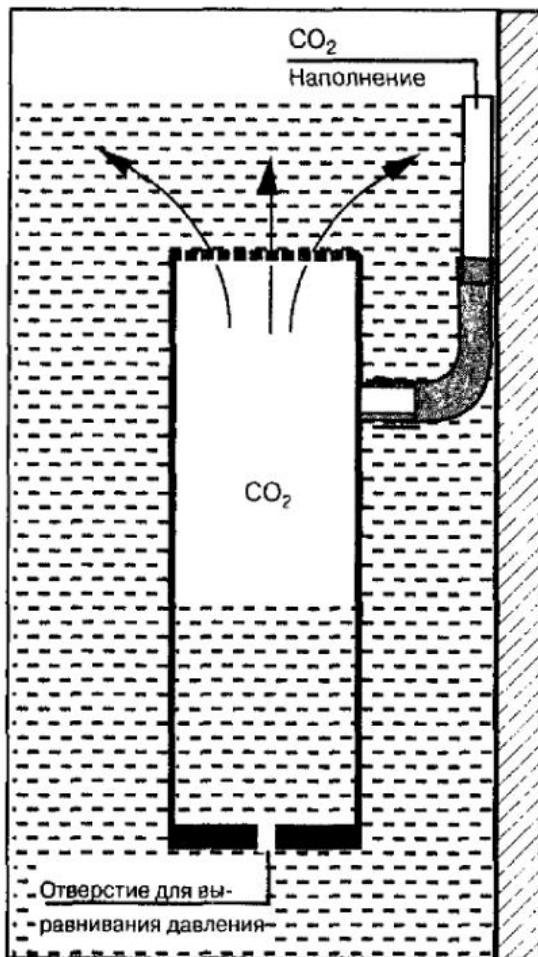
Диффузионная установка для внесения двуокиси углерода

Рисунок внизу показывает диффузионное устройство, которое выполнено в виде трубы. Эта труба с одной стороны закрыта крышкой, которая имеет маленькое отверстие.

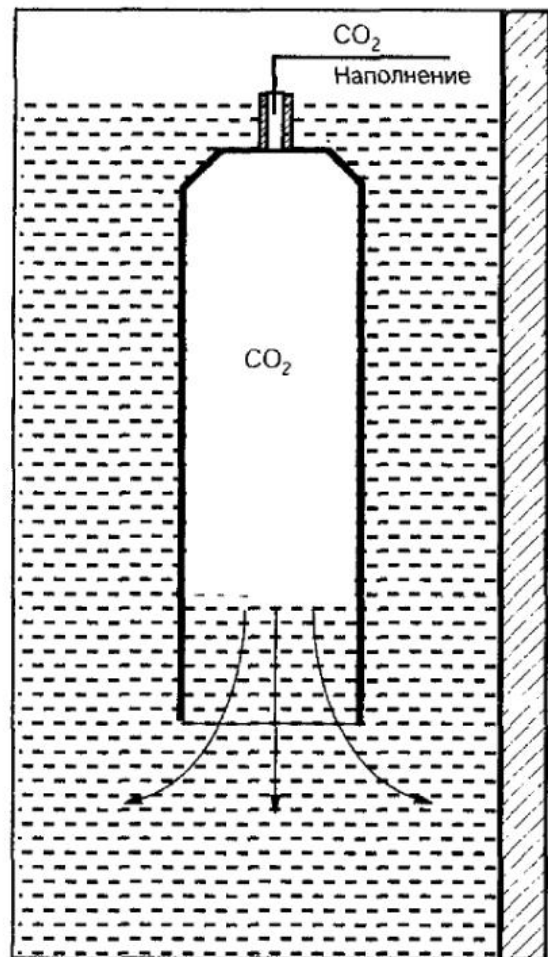
На другой стороне труба снабжена полупроницаемой мембраной. Эта мембрана устроена таким образом, что не может

пропускать молекулы воды, а молекулы углекислого газа очень хорошо через нее проходят. По сравнению с содержанием углекислого газа внутри трубы вода имеет незначительную концентрацию этого газа, и молекулам углекислого газа удается быстро проходить через мембрану в воду. Так как число молекул в объеме газа становится меньше, вода через отверстие в основании медленно поднимается внутрь трубы. По водяному столбу в трубе можно также узнавать, когда следует дозировать двуокись углерода.

В связи с тем, что около мембраны содержание двуокиси углерода со временем увеличивается, важно, чтобы создавалось движение для отвода воды, обогащенной двуокисью углерода.



Диффузия двуокиси углерода через мембрану в воду



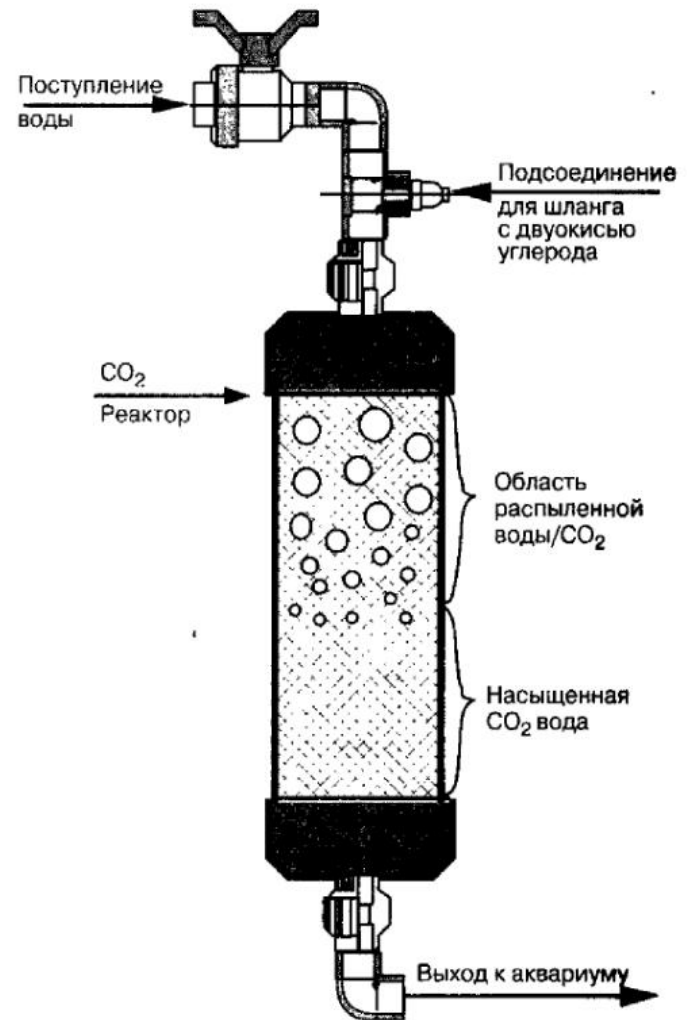
Диффузия двуокиси углерода на поверхности воды, находящейся в трубе

Чем больше снижение концентрации двуокиси углерода, тем быстрее происходит процесс диффузии. Рисунок на стр. 118 внизу показывает устройство для диффузии без мембраны. Двуокись углерода подается сверху; в противном случае верхняя сторона устройства закрывается. С нижней стороны труба закрыта. При введении трубы шланг для двуокиси углерода снимается, так что во время погружения он полностью деаэрирован.

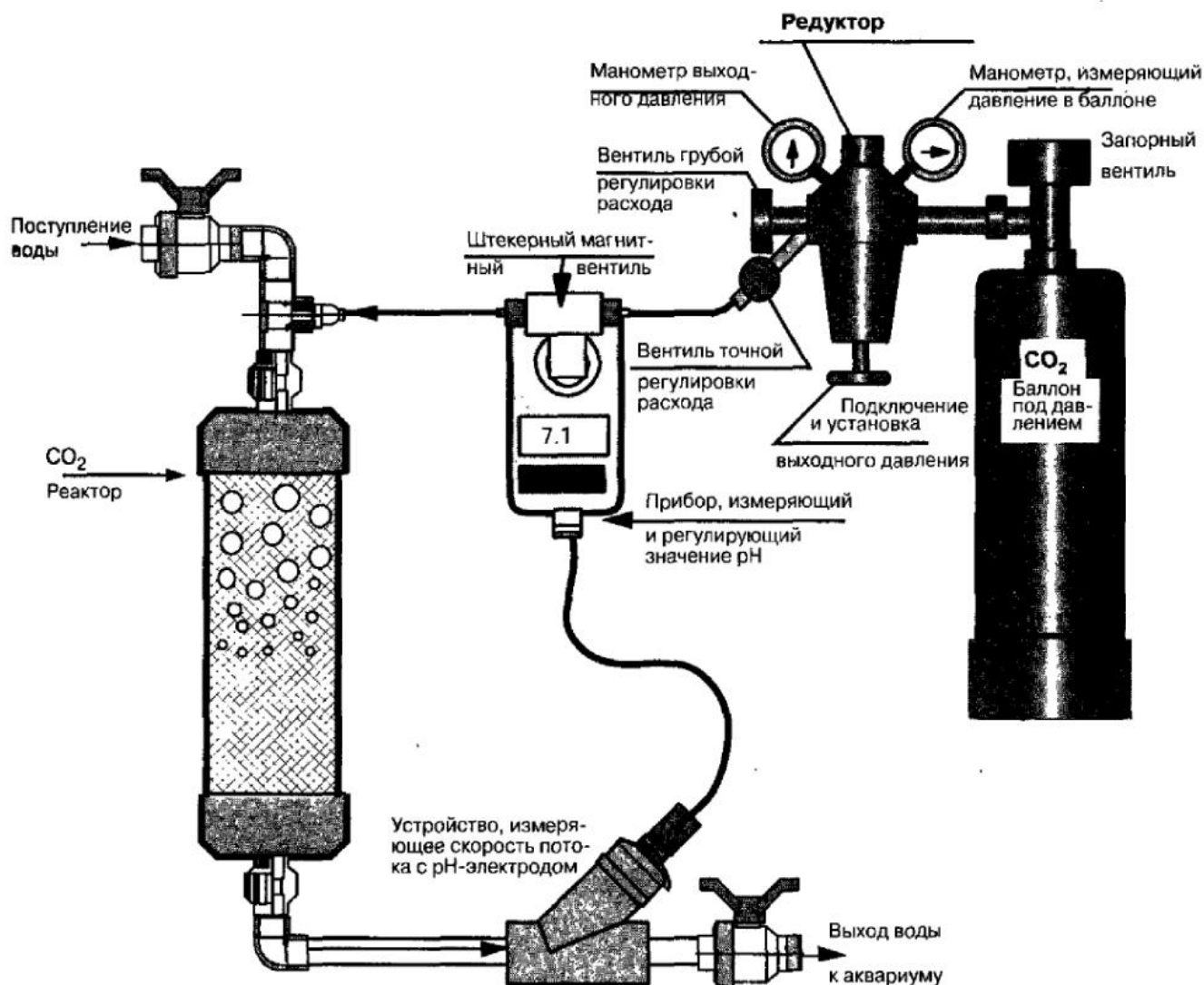
Если труба погружена и полностью заполнена водой, подключается подача двуокиси углерода. При этом вытесняется вода. Труба содержит теперь двуокись углерода, возникает поверхность раздела двух фаз — двуокиси углерода и воды. Можно представить, что в этом случае происходит еще более быстрая диффузия, так как полупроницаемая мембрана создает значительное сопротивление, которое при этой конструкции полностью отсутствует. Мембраны также загрязняются, что при данной конструкции исключается. Конечно, мембраны создают препятствие для животных, которые могут попасть непосредственно в колокол с двуокисью углерода. Но на практике это никогда не происходит. Оба метода имеют преимущество в том, что дозирование двуокиси углерода происходит абсолютно без потерь. Это экономит средства и не позволяет на поверхности воды образовываться слою из двуокиси углерода. Наряду с этими чисто диффузионными устройствами, имеется ряд других систем, которые в основном осуществляют газообмен с потерями газов. Для всех газопузырьковых систем известно, что с помощью распыления двуокиси углерода через распылитель получают однозначные результаты. Было исследовано, что пузырьки на пути к водной поверхности встречают множество помех. Двуокись углерода подводится через трубу с различными наполнителями. При подъеме пузырьки прикрепляются к наполнителю, и это увеличивает время их задержки в воде. При этом нужно проводить очень тонкую настройку дозирующего вентиля.

Проточные реакторы. Существенные преимущества и прежде всего повышенную производительность дают реакционные системы двуокиси углерода, через которые протекает вода. Их можно использовать как для установления в аквариуме так и для больших установок, для помещения снаружи корпуса. При этом речь идет о трубе, которая содержит наполнитель и которая служит для того, чтобы гарантировать оптимальный контакт между двуокисью углерода и водой.

Небольшой поток цикла фильтрации подводится сверху через реакционную трубу. Выход из трубы ведет в аквариум.



Проточные реакторы создают более высокий уровень насыщения воды CO_2 по сравнению с обычными диффузионными приборами



При использовании прибора, измеряющего и регулиющего pH, возможно полностью автоматизированное дозирование CO₂

Двуокись углерода вводится также с верхнего конца. Она поступает вместе с водой в реакционную трубу. Верхняя часть трубы заполняется двуокисью углерода, так что вода орошает практически чистую двуокись углерода, расположенную над наполнителем. При этом вода очень быстро насыщается газом. С помощью точного регулирующего вентиля на редукторе расход двуокиси углерода устанавливается так, что труба заполняется газом максимум на две трети. В нижней части должна быть вода без пузырьков. Для того чтобы это можно было контролировать, реакционные баллоны должны

быть изготовлены из прозрачного материала. Регулировка системы может быть такой точной, что потери двуокиси углерода исключаются.

Контроль дозирования двуокиси углерода

Дозированием двуокиси углерода мы активно вмешиваемся в жизнь аквариума, и поэтому важно, чтобы вода регулярно контролировалась.

Лучше всего это делать через значение pH. Контроль должен проводиться один раз в сутки, а лучше, если он проводится

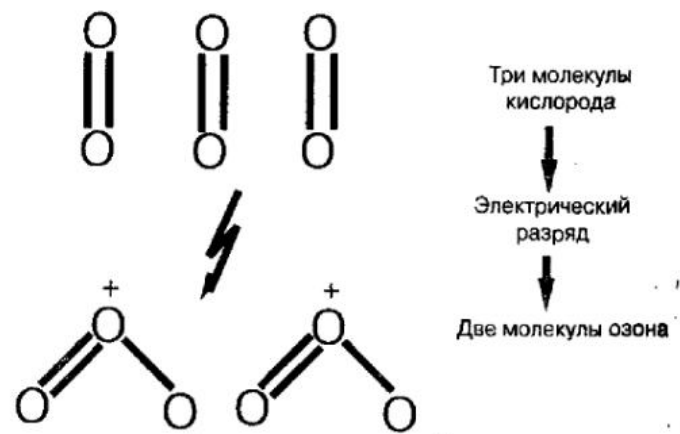
непрерывно. Непрерывные измерения рационально проводить только с помощью электрических приборов. Затем измеренную величину необходимо еще осмыслить и на основе расчета сделать правильное заключение. Для мощных установок можно рекомендовать прежде всего автоматические измерительные и управляющие системы. Рисунок показывает автоматическую установку для точного дозирования.

Двуокись углерода отбирается с помощью специального приспособления на баллоне со сжатым газом. Регулирующий вентиль устанавливает расход газа. Двуокись углерода проходит через магнитный вентиль, который регулируется прибором, управляющим рН. От магнитного вентиля газ поступает в реактор двуокиси углерода, где он смешивается с водой. Непосредственно сзади реактора находится электрод, измеряющий рН, который регистрирует изменения, связанные с подачей углекислого газа. Измененная величина оценивается измерительным прибором, который должен снабжаться переключателями. При этом на приборе выставляется желаемое значение рН в качестве заданной величины, и теперь измерительный прибор сравнивает текущее значение с заданным. Если заданное значение достаточно, измерительный прибор замыкает контакт, магнитный вентиль закрывается, и дозировка двуокиси углерода прерывается. Спустя некоторое время величина рН будет опять регистрироваться рН-электродами. Если это значение увеличится по сравнению с заданной величиной, магнитный вентиль опять открывается и освобождает двуокись углерода. Таким способом гарантируется достаточное снабжение двуокисью углерода без опасности передозировки. Так как у водных растений ассимиляция и поглощение CO_2 происходит только ночью, на это время суток дозирование можно отключать. Это можно сделать вручную или с помощью таймера.

Озон

«Озон» — слово, которое сейчас встречается почти ежедневно в газетах. Путаница состоит в том, что, с одной стороны, он изображается как жизненно необходимое соединение, если речь идет об озоновом слое, который улавливает опасное ультрафиолетовое излучение и таким образом защищает нас. С другой стороны, он считается опасным, когда летом в связи с фотоокислением выхлопных газов машин и дымовых труб накапливается в опасной концентрации. В положительном качестве озон действует как средство окисления в бассейнах или в водоочистке. Там он может заменять целиком или частично хлор или хлористые соединения, которые частично образуют в воде опасные с точки зрения гигиены вещества. В охране окружающей среды, например, в очистке воздуха и сточных вод, озон также успешно применяется. Сегодня озон встречается и в аквариумистике. Озон — особая форма кислорода. Обычно два атома кислорода связываются в одну молекулу.

Молекула озона состоит из трех атомов кислорода. Когда эта молекула распадается, отдельные атомы стремятся к реакциям окисления. Все воздействия,



Вместо обычных двух атомов кислорода в молекуле кислорода для образования молекулы озона соединяются три атома кислорода

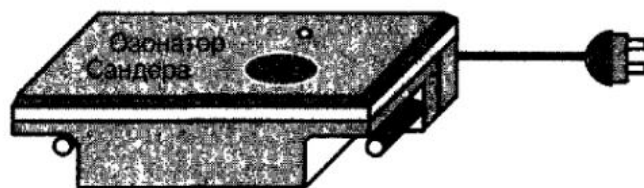
которые озон оказывает на ход биохимических реакций, основаны на этом сильном окисляющем действии. Озон — сильнейшее технически доступное средство окисления. Одновременно он не оказывает неблагоприятного воздействия на окружающую среду, т. к. состоит только из трех атомов кислорода и не вносит никаких химикатов в воду аквариума.

Области применения озона в аквариумистике

Несмотря на хорошие фильтровальные установки, которые оснащены механическими и биологическими фильтрами или, если это касается морской воды, флотатором, в аквариуме могут возникнуть ситуации, при которых используется озон, например:

- появление внезапных пиковых концентраций аммония и нитрита;
- накопление биологически неразлагаемых веществ;
- эпидемические болезни;
- мутная вода;
- слишком низкий окислительно-восстановительный потенциал.

Для решения этих проблем предлагается применение приготовленных растворов озона, которые будут описаны далее.



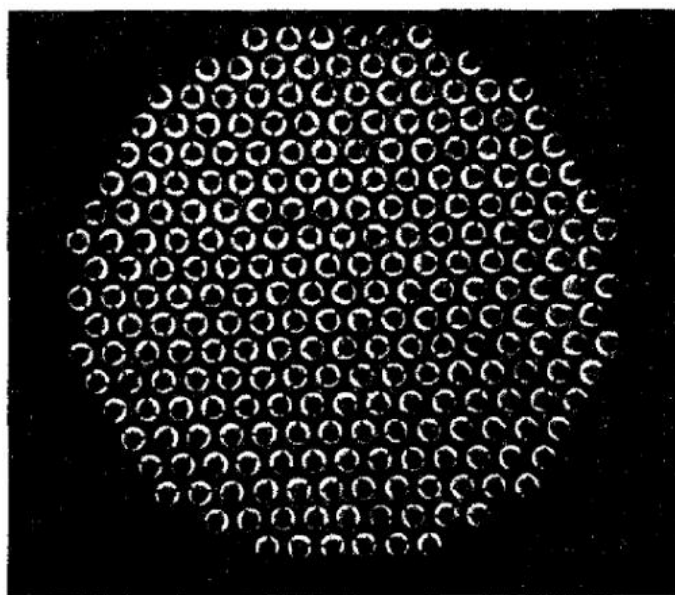
Вид озоновых электродов во время разряда

Как получается озон?

Так же как и в природе при грозовом разряде в виде молнии, озон получается с помощью электрического разряда на озоновых электродах. Рисунок справа вверху предоставляет нам возможность взглянуть на озоновые электроды во время разряда. Этот процесс, так же как и в природе, происходит при очень высоком напряжении, которое вырабатывается в озонаторе от трансформатора высокого напряжения. Озоновый электрод представляет собой конструкцию в виде трубки, выполненной из стекла и заполненной электропроводящим материалом, который подключается к высокому напряжению. В качестве противоположного электрода служит расположенный снаружи кожух. Между стеклянной трубкой и кожухом есть зазор, через который проходит воздух.



Обычный в аквариумистике озонатор



Вид озонных электродов во время разряда

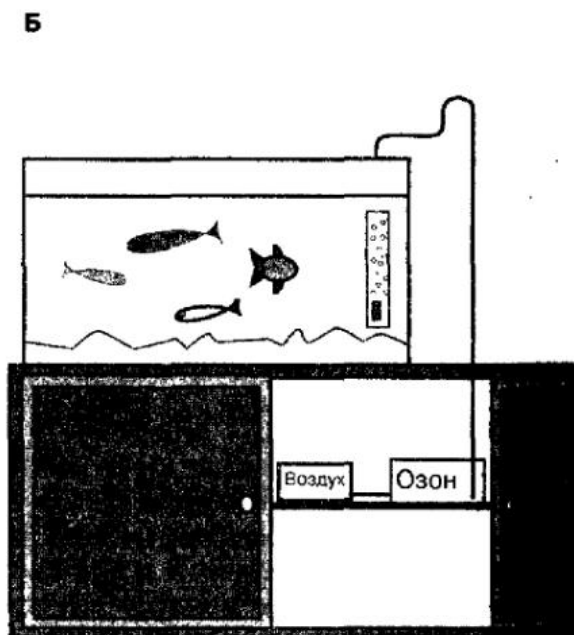
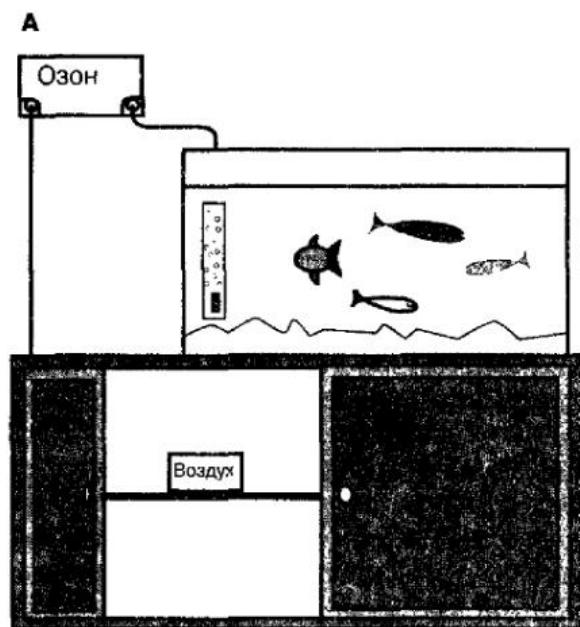
Непрерывный поток электронов между трубками образует из молекул кислорода молекулы озона.

Содержание озона в воздухе, который проходит через озонатор, и температура тем выше, чем больше напряжение на

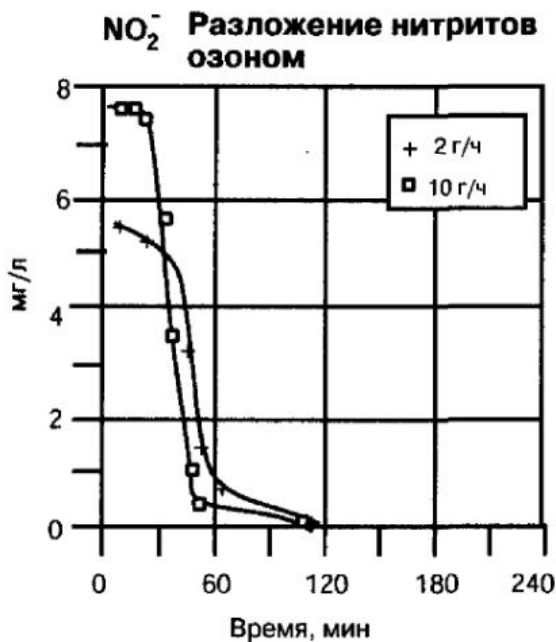
электроде. Если изменять с помощью потенциометра используемое озонатором напряжение, то таким простым способом можно регулировать количество озона. К сожалению, в озонаторе не только кислород превращается в озон. Водяной пар, который всегда в небольших количествах содержится в воздухе, в таких условиях также разлагается. При этом он вступает в реакцию с азотом, так что после некоторого времени использования на стеклянных электродах может появиться азотная кислота, которая приводит к явному снижению производительности. Следовательно, электроды следует регулярно очищать. Как правило, достаточно одной очистки в неделю.

Как подключается устройство, производящее озон?

Так как озонатор работает под высоким напряжением, следует обращать внимание на то, чтобы вода из аквариума не могла попасть в прибор. Здесь имеются две возможности.



Озонатор необходимо устанавливать выше водной поверхности (А), так как он является прибором высокого напряжения. Если это невозможно, озонатор подсоединяют через шланг, чтобы исключить нежелательное попадание воды (Б)



Как окисление аммония, так и окисление нитритов ускоряют введением озона

Прибор может устанавливаться на стене над водной поверхностью. Если это невозможно, то прибор помещается в шкаф под аквариумом и поэтому должен снабжаться шлангом. Озонатор нельзя ставить на крышку аквариума. Он имеет два присоединения для воздушных шлангов. Левое подсоединение шланга

для воздуха связано с воздушным насосом, правое также с помощью воздушного шланга связано с распылителем воздуха, который находится в воде. В лучшем случае озон подводят в морскую воду через флотатор, а в пресную воду — через маленький воздушный фильтр. Если шланги присоединены, можно включить сетевой штекер и... прибор уже в пользовании (каждый озонатор оснащен реостатом, так, что мощность озонирования можно плавно регулировать по потребности.) Контролирующий осветительный прибор говорит о правильном использовании озонатора.

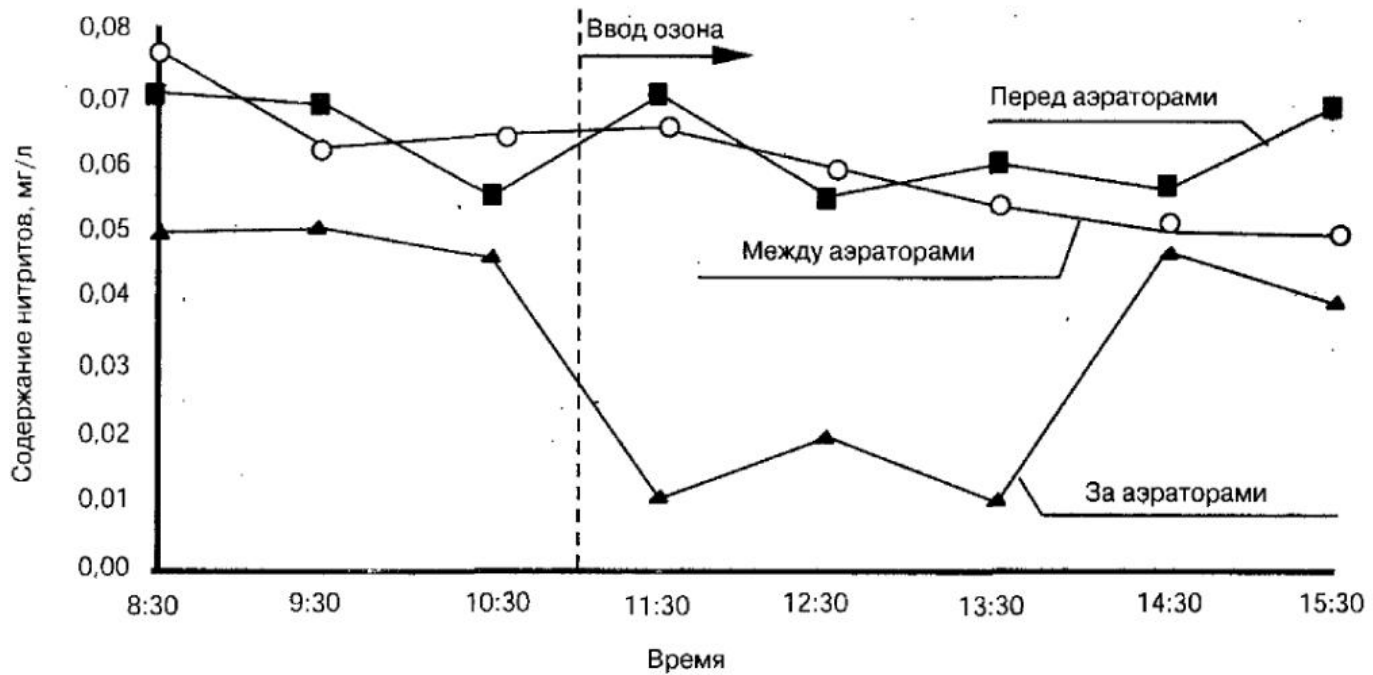
Влияния озона на цикл (круговорот) азота

Озон оказывает сильное влияние на круговорот азота. Он окисляет токсичный аммоний через нитриты до нитратов при значении pH выше 7, т. е. прежде всего в морской воде при значении pH 8,2. При значении pH около 7 в пресной воде аммоний/аммиак не окисляется озонем. Окисление в этих условиях возможно только бактериальным путем.

Особенно токсичные нитриты окисляются озонем до нитратов, причем эта реакция не зависит от значений pH, следовательно, в морской воде протекает так же как и в пресной. Это особенно важно, так как нитриты уже в следовых количествах имеют смертельное действие на рыбу. Разложение нитрита аммония происходит тем быстрее, чем выше мощность озонирования. Рисунок проясняет эту связь на примере установки аквариума в городе Киль. На этой установке последовательно включены два флотатора. Первый флотатор используется только с воздухом, в то время как ко второму подводится также озон.

На рисунке отчетливо показано, что концентрация нитритов позади этого флотатора наименьшая. Разница в значениях перед вспенивателем представляет количество поступления нитратов от животных. Так как вода оборачивается за час, то можно исходить из того, что это

Области применения озона в аквариумистике



Измерение уровня нитритов в аквариуме города Киль. Измерение проводили между и за двумя аэраторами, из которых во втором используется озон. Концентрация нитритов за этим аэратором (нижняя кривая) явно ниже, чем перед ним или между аэраторами

вклад за час. В течение 48 часов в воду вносится 0,48 мг/л. В описанном здесь цикле речь идет о воде Балтийского моря, с температурой примерно 15 °С, поэтому разложение нитритов озоном особенно важно, т. к. биологический фильтр при этом работает неудовлетворительно и плохо реагирует на изменения. При окислении нитритов озоном нужно иметь в виду, что это может быть только вспомогательным средством в подготовке аквариумной воды. При внезапном повышении концентрации нитритов необходимо не только установить озонатор на полную мощность, а прежде всего искать причину. Если все дело в незамеченном погибшем животном, то не происходят ли на дне неконтролируемые процессы гниения или не лежит ли оно в самом фильтре, который не снабжается кислородом и в котором поэтому не могут поселиться нитрификационные бактерии. Часто, особенно быстрые фильтры, вначале хорошо работают аэробно. Чем больше загрязнений отфильтровы-

вается на фильтре, тем больше используется кислорода внутри фильтра. Затем аэробные бактерии медленно отмирают и фильтр «опрокидывается». Следствием этого могут быть очень высокие концентрации нитритов в воде, т. е. фильтр больше не разлагает, а, наоборот, образует нитриты. Можно рекомендовать в этом случае регулярную чистку фильтра или лучше применение большого аэрируемого фильтра.

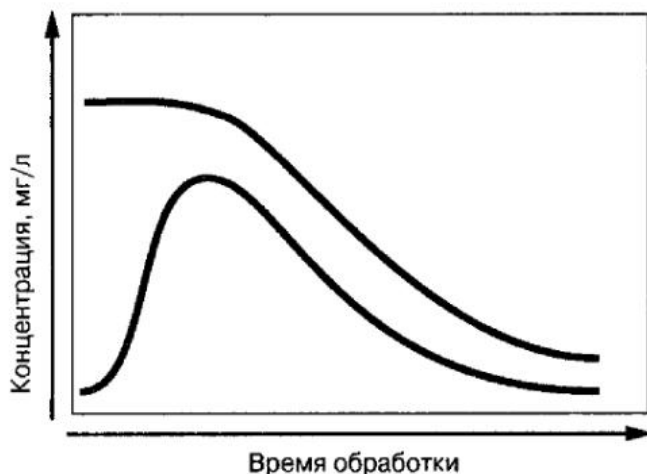
Влияние озона на органические вещества

Общую нагрузку воды органическими загрязнениями можно, не описывая отдельных соединений, оценить при помощи биологической потребности в кислороде.

Как уже упоминалось выше, в аквариуме накапливаются вещества, не доступные для биологического окисления. Причем речь идет прежде всего о молекулах с длинными цепями, которые от-

части придают воде неприятное желтое окрашивание. Желтые вещества по своим оптическим свойствам сходны с гуминовыми веществами. Они постоянно накапливаются в аквариумных установках, т. к. не могут разлагаться в обычных условиях. Они возникают в основном из корма и экскрементов рыб. Желтые вещества называются так из-за того, что они придают воде желтый оттенок. Их концентрацию измеряют по ослаблению интенсивности светлого луча, который проходит через пробу воды. Эта потеря интенсивности называется экстинкцией¹. Разложение желтых веществ с помощью озона не только устраняет нежелательные органические вещества, но имеет еще эстетическое значение.

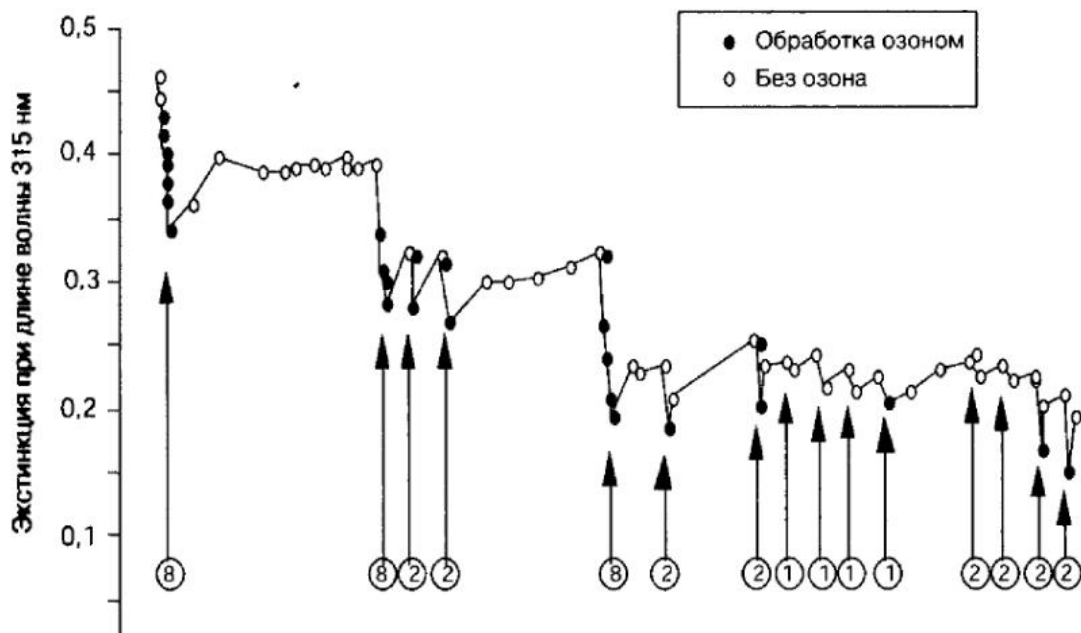
Желтые вещества приводятся здесь в качестве примера веществ, которые не разлагаются биологически и поэтому не включаются в значения биологической



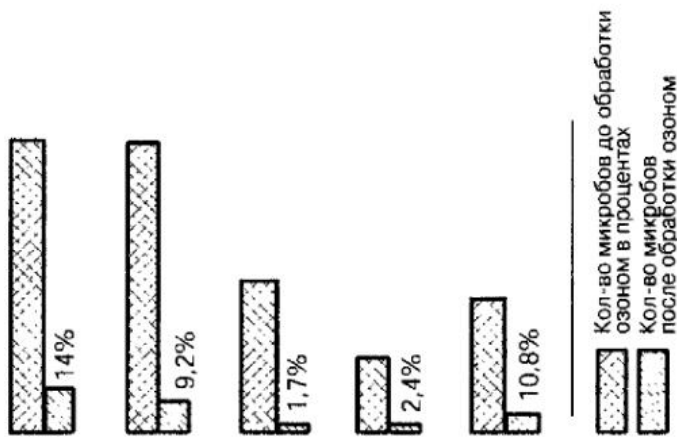
Наряду с биологически окисляющимися веществами, в аквариуме накапливаются также трудно разлагаемые вещества, которые окисляются озоном

потребности в кислороде. Когда бактерии не в состоянии разрушать желтые вещества, это осуществляется с помощью озона. Рисунок внизу приблизительно показывает увеличение разложения органических веществ озоном. В связи с этим экстинкция света при введении озона отчетливо уменьшается, в то время как без обработки озоном опять повышается.

¹ **Экстинкция** — величина для оценки спектрального поглощения $\log(I_0/I)$, интенсивность поглощенного (отраженного) водой светового потока, который водой поглотившись (отразился). Чем больше экстинкция, тем больше света отражается от воды и тем меньше света получают обитатели аквариума.

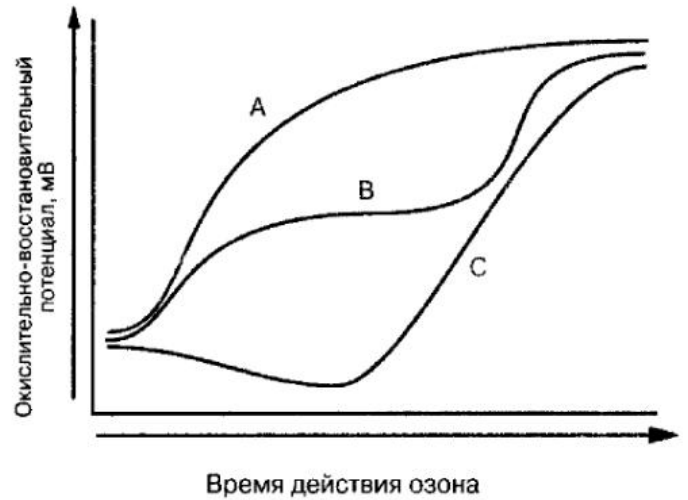


С помощью экстинкции измеряется потеря оптической проводимости воды. Так как озон разлагает желтые вещества, величина экстинкции после обработки озоном снижается



Введение озона снижает количество микробов в различных аквариумах города Кия

Данные по циклам указывают длительность обработки. Следовательно, разложение желтых веществ тем интенсивнее, чем длительней производится обработка озонном. Поэтому очень важно наряду с биологической потребностью в кислороде рассматривать также химическую потребность, которая связана с труднорастворимыми веществами. Рисунок на стр. 126 показывает очень важную взаимосвязь применения озона со снижением органической нагрузки. Озон окисляет молекулы с длинной цепью, значение химической потребности вначале снижается медленно, затем с продолжением окисления все быстрее. Окисление проводится не сразу же до конечной стадии (CO_2). Вначале на промежуточной стадии получаются молекулы с более короткой цепью, и это приводит к поразительному эффекту — при этих условиях повышается биологическая потребность, перерабатываемые до сих пор органические вещества из-за применения озона трансформируются так, что могут далее перерабатываться бактериями. Окисление озонном в этом случае не сле-

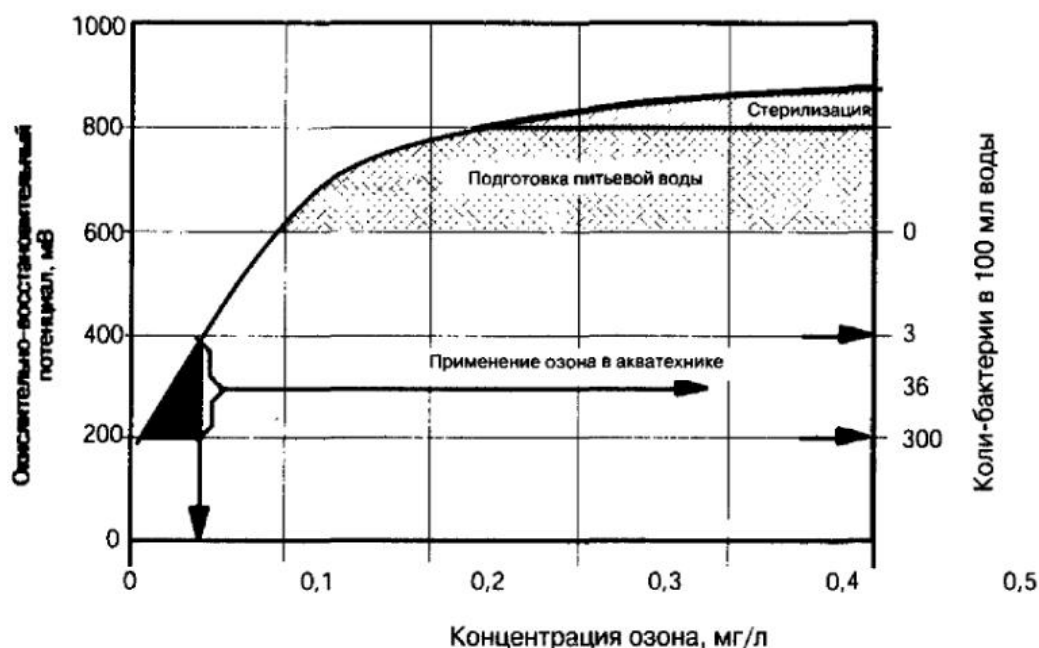


Изменение окислительно-восстановительного потенциала до и после обработки воды озонном

дует продолжать, так что используется относительно небольшое количество озона.

Влияние озона на содержание микроорганизмов

Очень важное свойство озона — его антимикробное действие. Озон даже в очень небольших количествах оказывает бактерицидное действие на вирусы, бактерии, а также на других возбудителей болезней. Конечно, целью применения озона не является получение стерильной воды, т. к. для рыб и беспозвоночных это было бы неприемлимым. Доступные для аквариумной техники озонаторы выполнены таким образом, что сильно размножившиеся культуры болезнетворных микробов погибают без достижения общей стерильности, как это показывает рисунок сверху слева. Таким образом, рыба живет в здоровой и, с точки зрения биологии, живой воде. С остаточным содержанием бактерий от 2 до 15% и животные, и люди, конечно, могут справляться.



С повышением концентрации озона ОВП повышается, и количество микроорганизмов снижается вплоть до стерилизации

Взаимосвязь озона с окислительно-восстановительным потенциалом

Окислительно-восстановительный потенциал — измеряемая величина, которая дает информацию об окислительном или соответственно восстановительном поведении воды.

Восстанавливающие — это вещества, принимающие кислород. К ним принадлежат все органические соединения: белки, экскременты, корм и кровь. Эти вещества очень быстро приводят к образованию таких ядовитых соединений, как нитриты и аммиак, и интенсивно загнивают. Восстанавливающие вещества снижают окислительно-восстановительный потенциал, и качество воды значительно ухудшается.

Окисляющие вещества — кислород и еще в большей степени озон. Чем больше восстанавливающих веществ содержится в воде, тем ниже опускается окислительно-восстановительный потенциал. Чем больше имеется окисляющих веществ, тем выше значение окислительно-восстановительного потенциала. Следовательно, мы имеем возможность

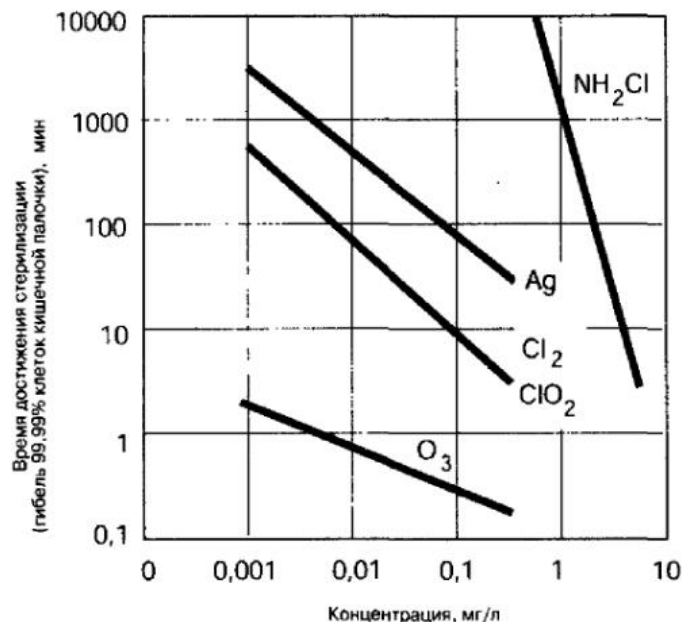
противодействовать негативному действию восстанавливающих веществ через повышение окислительно-восстановительного потенциала. Но этого большей частью не происходит. На рисунке стр. 127 вверху справа отражены три типичных кривые протекания процесса. Вначале рассмотрим первую А. Эта кривая описывает процесс в относительно чистой воде. Сначала окислительно-восстановительный потенциал остается почти постоянным или очень слабо повышается, и только лишь после значительного времени от начала процесса он поднимается, но потом достаточно быстро достигает стабильного уровня, который при увеличении дозировки озона больше не повышается. Кривая В вначале показывает подобное течение процесса. Спустя значительное время окислительно-восстановительный потенциал снижается. Только лишь после продолжительной дозировки озона он опять повышается и достигает наконец уровня, изображенного на кривой А. Как можно объяснить такой вид кривой? Когда идет описание кривой А, мы имеем дело с чистой водой, в случае с кривой В — это уже вода с определенными загрязнениями. Вещества загрязнений окисляются озоном, когда вода уже до-

стигла определенного значения окислительно-восстановительного потенциала. Дальнейший подъем окислительно-восстановительного потенциала возможен, если они окислились. Кривая С показывает совсем другое течение процесса. Здесь имеются существенные органические загрязнения воды. Часто содержащиеся в воде вещества этого вида не разлагаются биологически. Если такую воду обработать озоном, то эти вещества достаточно быстро разлагаются на более короткие молекулярные цепи, которые разрушаются легче. Теперь за короткое время большое число органических веществ доступно для биологических реакций, которые действуют так, что окислительно-восстановительный потенциал снова заметно снижается.

Только если вся органическая субстанция окислится, окислительно-восстановительный потенциал может снова возрасти. Если вначале падение окислительно-восстановительного потенциала представляется странным, на самом деле это важный этап, т. к. устраняется органическая субстанция, которая в противном случае еще долго держала бы в напряжении биологическую систему в аквариуме. Представленные здесь кривые показывают только типичные варианты. Конечно, именно так большей частью не происходит. Но, как правило, мы имеем дело с тремя подобными процессами.

Окислительно-восстановительный потенциал и стерилизация

Рисунок справа вверху поясняет объем дозирования озона в аквариуме. При стерилизации бутылок работают с окислительно-восстановительным потенциалом 900 мВ, при подготовке питьевой воды — 700 мВ, а в аквариумистике достаточно 350 мВ, так же как и при подавлении микробов. В то время как при окислительно-восстановительном потенциале до 200 мВ сохраняется 100%-ная микробная нагрузка, при повышении окислительно-восстановительного потенциала с 200 до 300 мВ она снижается на 90% и составля-

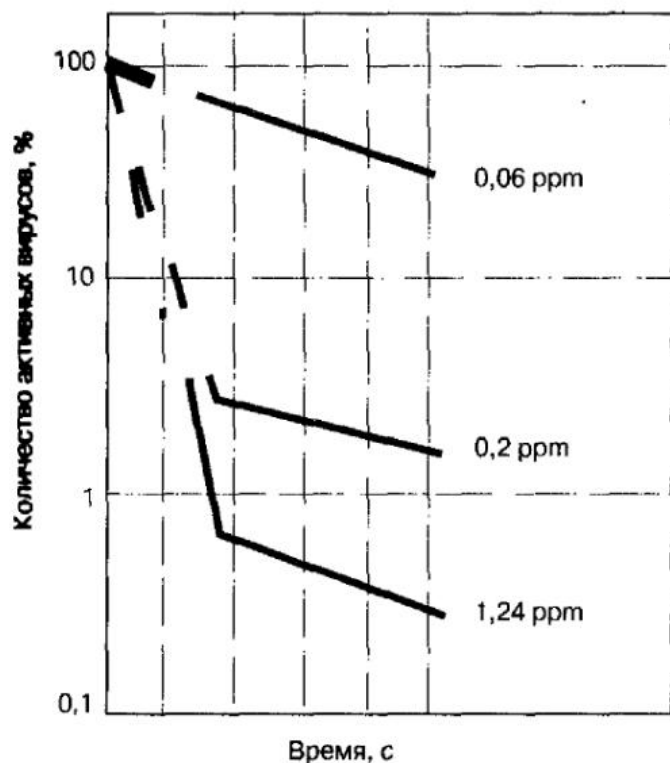


Сравнение различных окислительных средств по времени действия, которое необходимо для полной стерилизации. Озон проявляет особо сильное действие

ет 10% от первоначальной. Если окислительно-восстановительный потенциал достигает 400 мВ, то остается только один процент от начального содержания микробов. Абсолютная стерильность достигается при значении 700 мВ. Но такие высокие значения не достигаются с помощью аквариумных озонаторов. Из всего изложенного становится ясно, что в акватехнике не применяются значения ОВП выше 400 мВ. Можно рекомендовать значение ОВП около 350 мВ для рыб и 300 мВ — для беспозвоночных. Диаграмма показывает, что в аквариуме можно получить хорошие результаты при самых незначительных количествах растворенного озона (примерно 0,05 мг/л).

Если дозирование озона должно осуществляться непрерывно, то прежде всего для больших озонаторов лучше применять автоматическое регулирование посредством прибора, измеряющего окислительно-восстановительный потенциал, который производит дозирование озона непрерывно, в зависимости от нагрузки воды, и исключает передозировку.

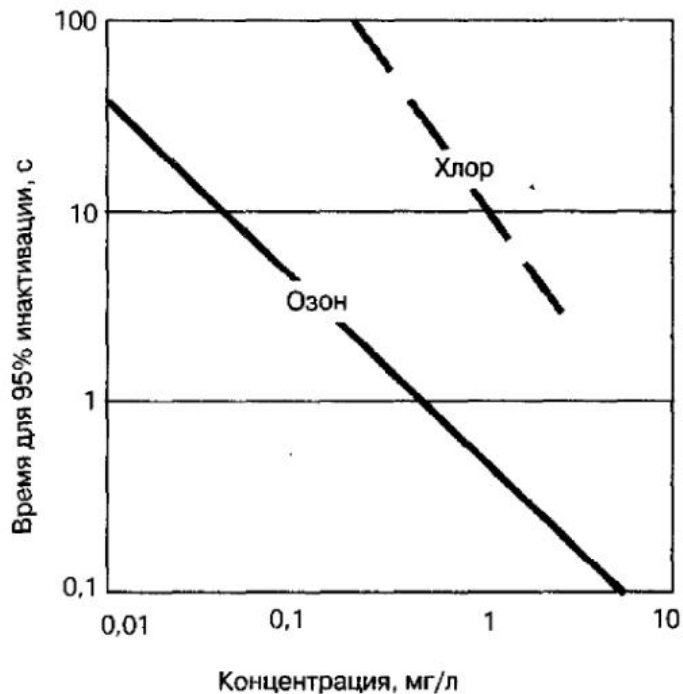
Природные и технические газы



Вирусы инактивируются под действием озона

Влияние на бактерии и вирусы. Бактерии и вирусы очень восприимчивы к окисляющему воздействию озона. Можно описать действие озона следующим образом. Бактериальное тело, несмотря на свою часто маловыразительную структуру, состоит из очень сложных различных веществ, которые способны участвовать в разных химических реакциях. Основа стенки клетки является тонкой защитной мембраной, состоящей главным образом из специальных белков, а последующие слои состоят из липополисахаридов и липопротеинов. Часто имеется еще оболочка, которая состоит из различных, связанных между собой полисахаридов и полипептидов.

Цитоплазма в клетке в целом не структурирована и содержит, наряду с не очень резко ограниченным материалом ядра, по большей части рибосомы и резервные вещества. Жизненный процесс в бактериальной клетке управляется специаль-



При одинаковом дозировании, под действием озона вирусы инаktivуются в 10 раз быстрее, чем под действием хлора

ной энзимной системой, в которой распределены высокомолекулярные органические вещества, содержащие серу или фосфат, которые очень легко реагируют с окислителями. Озон или другое окисляющее средство при обмене веществ воздействует на бактерию, в которой, вероятно, или изменяется структура стенки клетки, или блокируется энзимная управляющая система. С другой стороны, сообщается, что озон инаktivует бактериальные клетки посредством окисления входящей в белок протоплазмы. Озон убивает бактерии существенно быстрее, чем хлор или соединения хлора, как это наглядно показывает рис. на стр. 129. Озон не приносит посторонних веществ в воду.

Продукт его разложения — кислород. Другие окислители, прежде всего соединения хлора, частично оставляют после обработки продукты хлорирования, которые снижают качество воды или сте-

рилизацию. Не в последнюю очередь дезинфекция и стерилизация озонотом проводится из-за его экологичности. По этой же причине мы можем использовать озон в наших аквариумах. Вирусы также эффективно убиваются озонотом. На основе исследований аминокислот таких, как цистин и цистеин, имеется предположение, что быстрая инактивация вирусов основана на химическом превращении, которое приводит к быстрому окислению функциональных групп, содержащих серу. Содержание озона 0,4 мг/л при времени контакта примерно 4 минуты гарантирует безопасность при инактивации вирусов *Polio*. Недавние исследования подтверждают в основном эти величины, но дают более короткое время реакции.

Известно, что при содержании озона свыше 1 мг/л уже спустя одну секунду 99% вирусов *Polio* инактивированы. Но даже очень незначительные его концентрации, которые достигаются с помощью аквариумного озонатора имеют уже выраженное угнетающее действие на вирусы. По этому рисунку становится ясной разница между действием хлора и озона. При одинаковых дозировках озон достигает 10-кратной эффективности по сравнению с хлором. Экстремально короткое время реакции в этих исследованиях дает хорошее представление о ходе инактивирования вирусов. В аквариумах на помощь нам приходит то обстоятельство, что мы, имея закрытую систему, сможем уже при втором цикле полностью убить попавших туда вирусов.

Целительное действие озона. То, что озон оказывает непосредственное целительное действие на животных, можно доказать только в некоторых случаях. Небольшие концентрации озона (примерно 0,5 мг/л), в течение нескольких дней постоянно подводимые в воду, показали сдерживание гниения плавников у животных, пораженных во время ловли. У животных, не обработанных озонотом,

состояние гниющих плавников не улучшилось, а приводило часто к смерти рыб. Как видно из приведенных высказываний, незначительное количество озона при заболеваниях нужно использовать тотчас. Тем не менее ОВП при введенном озоноте благоприятен, благодаря образованию пероксидов и окисленных веществ. Это поможет с успехом бороться с патогенными микробами. И хотя и не убивает полностью микробов, но достаточно для того, чтобы снизить степень размножения. Наблюдения за губановыми рыбами, содержащимися в кильском аквариуме, подтверждают описанное действие постоянного, слабого озонирования. Большое количество привезенных из Швеции губановых рыб имели более или менее сильные повреждения от ловли, так что можно было рассчитывать на большую восприимчивость к инфекции. При содержании животных вода очищалась центральными установками по озонированию и флотации, и оказалось, что только у животных, имеющих очень сильные последствия от ран, появилась инфекция. Хотя никаких химических или медикаментов не применялось, последствия ловли зажили примерно за 20 дней. Исчезли также вызванные инфекцией нарывы на ранах, и процесс выздоровления протекал успешно. Из группы, которые можно называть выздоровевшими, рыбы пошли в два аквариума, которые работали без озона. Там животные вскоре заболели, в то время как в Киле животные полностью выздоровели. Принципиально важны для выздоровления животных от ран общее состояние воды и животных. Но с помощью озона можно, конечно, значительно улучшить общее состояние воды, и, таким образом, у животных появляется возможность активизировать собственную защиту. В этом случае, речь идет о рыбах с поверхностными ранами, к которым озон имеет непосредственный доступ. Внутренние болезни озонотом не вылечиваются.

Озон может снять нагрузки с животных, так как воду, в которой они живут, он оздоравливает. Если для лечения болезни нужно вводить медикаменты, то на это время дозирование озона следует прекратить, так как озонирование может привести к окислению медикаментов и поэтому к неконтролируемым реакциям.

Озон в пресной и морской воде

В аквариуме с морской водой озонирование является перспективным методом, в то время как в пресной воде его применение не всегда оправдано. При этом можно сказать, что озон применяется в пресной воде, так же как и в морской. В основном имеется одно расхождение, которое относится к окислению аммония. К сожалению, при озонировании оно возможно только в морской воде, так как реакция протекает с участием присутствующего в морской воде брома. Все другие свойства озона, такие, как обеззараживание, окисление нитрита, удаление желтых веществ и прочее, действуют также и в пресной воде. Исходя из этого реакции озона, в частности их скорости, зависят от рН. При высоких значениях рН озон разлагается относительно быстро и очень быстро вступает в реакцию. При низких значениях рН озон относительно долго стабилен, и в этом случае реакции не скоротечны. При низких значениях рН окислительно-восстановительный потенциал поднимается явно быстрее.

Влияние озона на людей

Типичный способ применения озонатора такой, при котором озон, содержащий воздух, пропускается через флотатор в воду. Для морской воды предлагается то же самое. Озон в воде растворим в гораздо большем объеме, чем обычный кислород. При этом можно исходить из того, что примерно 90–95% озона может оставаться в воде. Не следует, конечно, искать озон в окружающей среде.

Человеческий нос по отношению к озону необычайно чувствителен, он

Данные для расчета концентрации озона в помещении

Объем помещения	м ³	50,00
Озонатор	мг/ч	50,00
Использование	%	95
Остаточный озон	%	5
Остаточный озон	мг/ч	2,50
Значение максимальной концентрации на рабочем месте	мг/м ³	0,05
Предельно допустимая концентрация	мг/м ³	0,20

ощущает примерно 0,1-ю часть озона от предельно допустимой концентрации при ежедневной экспозиции 8 часов или 40 часов в неделю. Если озон попадает в помещение, то озонатор следует поставить на меньшую ступень нагрузки, чтобы предотвратить нежелательную передозировку. Можно управлять озонатором с помощью прибора, измеряющего окислительно-восстановительный потенциал, или прибора с часовым механизмом. Если озонатор управляется автоматически с помощью прибора измеряющего окислительно-восстановительный потенциал, то согласно опыту он работает только несколько минут за час. Следовательно, длительная работа не требуется. Озон не насыщает воздух помещения, так как он быстро разлагается. Верхняя таблица показывает расчетные данные для типичного применения. Озонатор находится в жилом помещении с площадью пола 4 x 5 м, следовательно, помещение имеет объем 50 м³. Озон поглощается водой на 95%, а 5% остатка поступает в помещение, и концентрация составляет примерно 0,05 мг/м³. Это четверть от предельно допустимой концентрации. Разумеется, на практике устанавливаются более низкие значения. Естественными концентрациями озона могут считаться концентрации примерно 0,08 мг/м³. Использование озонатора, следовательно, не наносит никакого вреда человеческому организму, но все же нужно всегда осторожно работать с озонатором.

Флотация

До того как флотация стала применяться в аквариумистике, она давно применялась при очистке сточных вод и добыче руды. Под флотацией понимают расположение пузырьков газа на твердом веществе, которое суспензировано в жидкости, а также последующее отделение твердых частичек от жидкости с помощью пены.

Хотя процесс флотации был известен еще Геродоту, который описывает способ добычи золота, все-таки с уверенностью можно сказать, что начало ее технического использования относится к началу двадцатого столетия. Англичанин Gaudin (1932) проводил первые опыты с газами в 1901–1905 гг. в Австралии. Последующие патенты из США и Великобритании известны в 1902 и 1903 гг. Там получали пузырьки газа посредством химической реакции с сильными кислотами. Вскоре после этого возникли флотационные установки, в которых уже воздух активно вырабатывали машины. Вскоре после этого стала применяться электрофлотация и вакуумная флотация, которая использует закон Генри-Дальтона. Своим зарождением флотация полностью обязана технологии обогащения руды. Именно там флотация приносила большую экономическую выгоду. Значение флотации в очистке сточных вод, в масложироперерабатывающей промышленности признали только позднее. Но прежде всего, в целлюлозно-бумажной промышленности флотация, а также белковое вспенивание является средством для водоподготовки. В аквариумистике флотация применяется около 60 лет. Вначале флотаторы имели дурную репутацию бесполезных приспособлений, до тех пор пока на основе лучших уст-

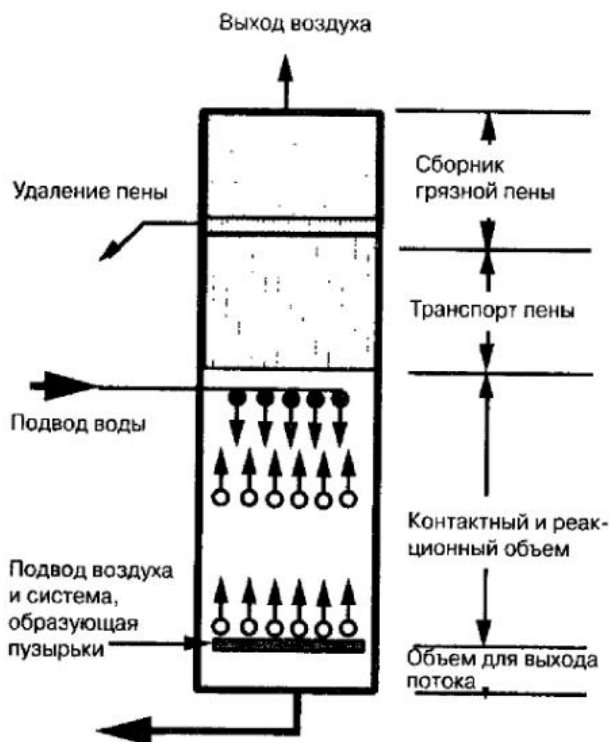
ройств и дальнейших разработок не появился их полезный эффект. В очистке сточных вод этот метод знают с начала столетия и называют флотацией. При этом для получения газовых пузырьков применяется флотация ослабленного давления, которая может в пресной воде создавать очень маленькие пузырьки (диаметр 0,01 мм). Для аквариумистики этот процесс очень дорогой, но он имеет преимущество в том, что в морской воде из-за высокого содержания солей уже обычными средствами могут получаться мелкие пузырьки. В дальнейшем будут обсуждаться основные элементы флотатора.

Функциональные элементы флотатора

На рисунке на стр. 134 показаны самые важные структуры и функциональные элементы флотатора: система, производящая пузырьки, с находящимся под ней объемом для оттока воды, а над ней контактный и реакционный объем, зона транспортировки и зона сбора пены. Объем для оттока воды делает возможным отвод чистой воды без пузырьков в аквариум. Ранее была обоснована необходимость получения по возможности самых мелких пузырьков, так как из-за плохого образования пузырьков в пресной воде невозможно никакое вспенивание.

Цель флотации — это обеспечение контакта между пузырьком газа, белковыми соединениями и загрязнениями. И контакт возможен тем быстрее, чем длительней пузырьки газа находятся в контактном пространстве.

Флотация



Важнейшие конструктивные и функциональные элементы флотатора

Следующая таблица поясняет некоторые связи. Если рассмотреть три выделенные строки, то видно, какое количество оказывает значение диаметра пузырьков на функционирование флотатора. Если взять 1 литр воздуха, то из не-

го можно получить 10 000 пузырьков с диаметром 5 мм и 1 миллиард пузырьков с диаметром 0,1 мм. Очень интересно при этом рассмотреть общую площадь поверхности пузырьков, получающуюся из 1 литра воздуха. Пузырьки с диаметром 5 мм дают общую площадь 1,2 м². Пузырьки с диаметром 1 мм дают общую площадь 6 м² и пузырьки с диаметром 0,1 мм — 60 м². Не нужно быть физиком, чтобы представить себе, что мелкие пузырьки, вследствие этого математического соответствия, обладают существенно лучшей контактной возможностью, чем пузырьки большого размера. Мелкие пузырьки газа появляются при равных введенных объемах воздуха в значительно большем количестве и одновременно имеют большую площадь контакта и обмена, но есть еще два физических фактора, которые имеют значение и интерес.

Скорость подъема пузырьков

На рисунке (стр. 135) показана зависимость скорости подъема пузырьков от диаметра пузырьков, при диаметрах до 30 мм. В пенообразовании для нас интересна только область до 5 мм.

Взаимосвязь диаметра пузырька с другими параметрами

Диаметр пузырьков, мм	Объем отдельного пузырька, мм ³	Количество пузырьков, шт./л воздуха	Площадь отдельного пузырька, мм ²	Общая площадь пузырьков, м ² /л воздуха
0,10	0,0005	1,91E + 09	0,0314	60,00
0,25	0,0082	1,22E + 08	0,1963	24,00
0,50	0,0654	1,52E + 07	0,7854	12,00
0,75	0,2209	4,53E + 06	1,7671	8,00
1,00	0,5236	1,91E + 06	3,1416	6,00
1,50	1,7671	5,66E + 05	7,0686	4,00
2,00	4,1888	2,39E + 05	12,5664	3,00
3,00	14,1372	7,07E + 04	28,2743	2,00
4,00	33,5103	2,98E + 04	50,2655	1,50
5,00	65,4498	1,52E + 04	78,5398	1,20

Скорость подъема пузырьков

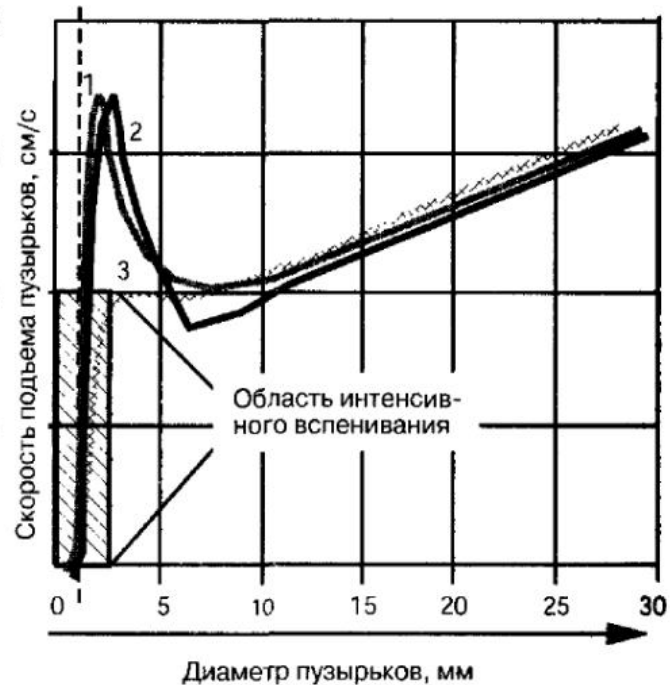
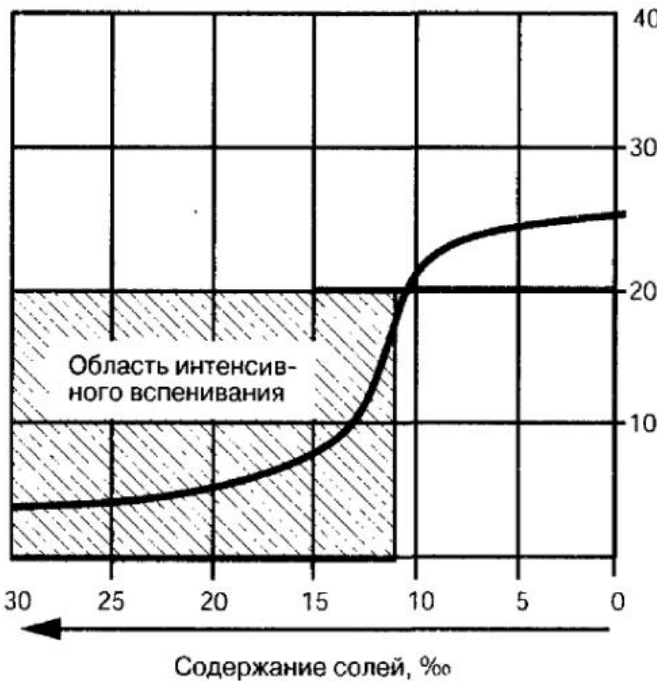
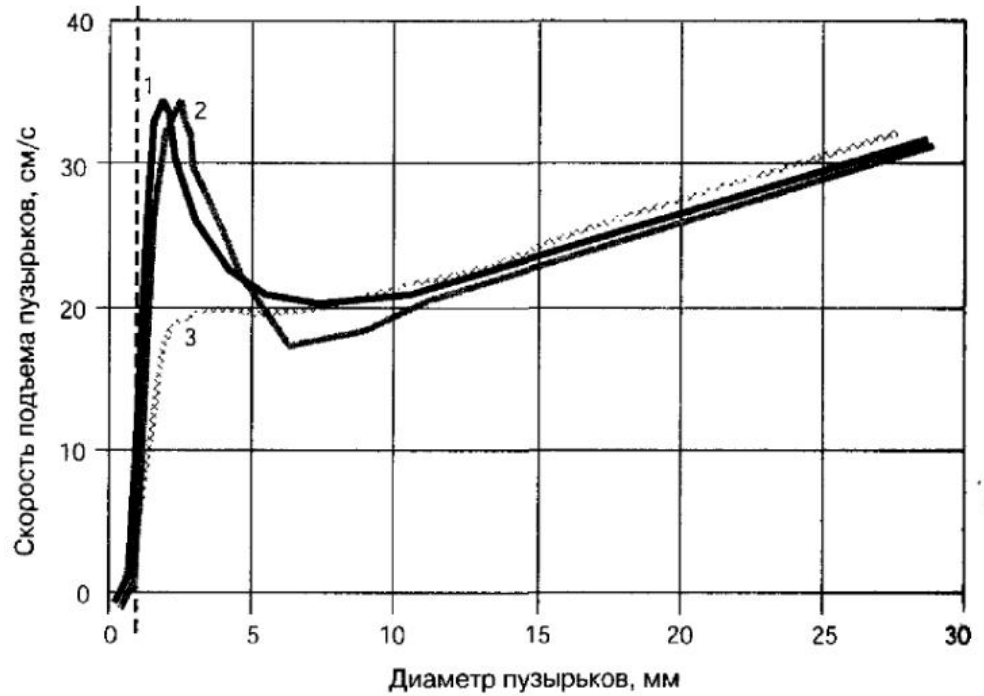
Пузырьки размером свыше 5 мм не образуются обычными системами получения пузырьков даже в пресной воде. Но как раз в этой области различные авторы дают очень различающиеся виды кривых. В нашем понимании кривая 3 очень приблизительно описывает про-

цесс в рое пузырьков, в то время как кривые 1 и 2 касаются отдельно поднимающихся пузырьков.

Пузырьки с диаметром до 1 мм практически могут рассматриваться как твердые шарики. Они постоянно поднимаются, следуя по прямой линии.

Скорость подъема пузырька воздуха существенно зависит от его диаметра

Область интенсивного вспенивания на одном рисунке в зависимости от содержания солей в воде, на другом — скорость подъема пузырьков в зависимости от диаметра пузырьков



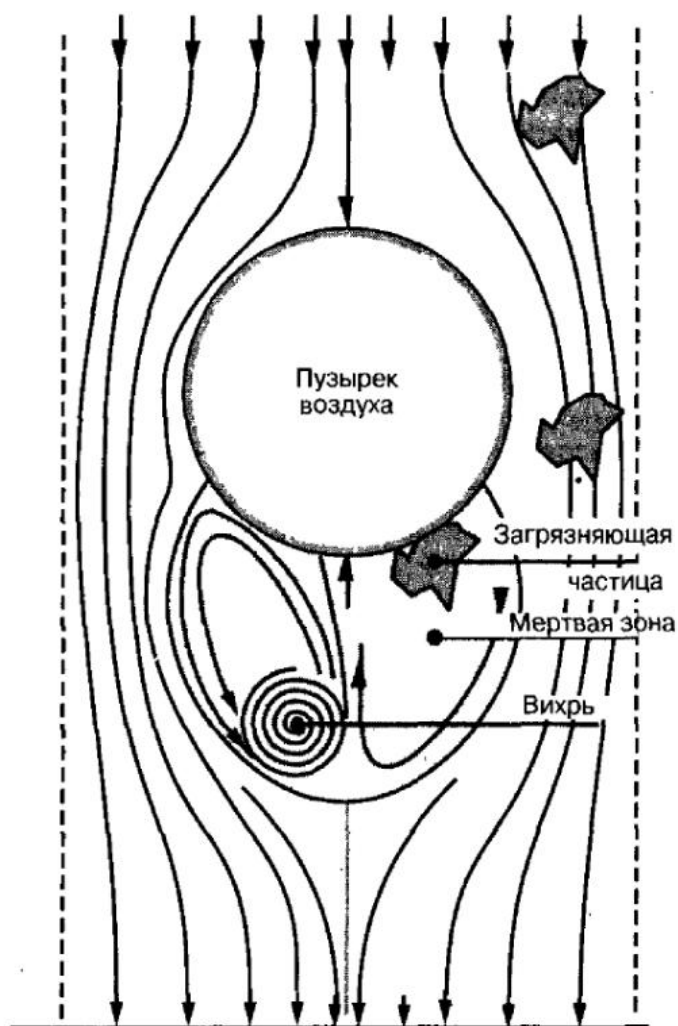
Пузырьки с диаметром до 2 мм из-за пересечения с потоком и появляющимся сжатием образуют эллипс и в результате движутся по спирали с частичной вибрацией. Эта вибрация получается через смещение вихря на нижней поверхности пузырька. Можно легко представить, что подобные перемещения вихрей противодействуют контакту с твердыми частичками или способствуют отрыву уже присоединенных к частицам пузырьков. На рисунке со стр. 135 (нижнем) это отражено. На левой стороне приводится уже упомянутая зависимость скорости подъема пузырьков от содержания солей. На правой — зависимость скорости подъема пузырьков от диаметра пузырьков. Если исходить из того, что в расчет принимается только диаметр 2 мм, то это соответствует скорости подъема примерно 20 см/с. Если при этом значении посмотреть на левую диаграмму, то понятно, что такая скорость достигается при содержании солей 10%. Как уже упоминалось выше, такое содержание солей делает возможным вспенивание с незначительными затратами и хорошими результатами уже в водах Балтийского моря.

Контакт пузырьков и твердых частичек

Гидродинамические аспекты

Если пузырек движется через столб воды, он образует вокруг себя специфическую картину движения потока. Расположенные перед пузырьком линии потока разделяются и уплотняются из-за обтекания пузырей.

Уплотненные области приводят всегда к зонам пониженного давления. Таким образом, перед и за пузырьком находятся области относительно низкого давления. При высоких скоростях подъема это приводит к вышеупомянутой деформации сферы от шара к эллипсу. За пузырьком образуются вихри, которые удалены

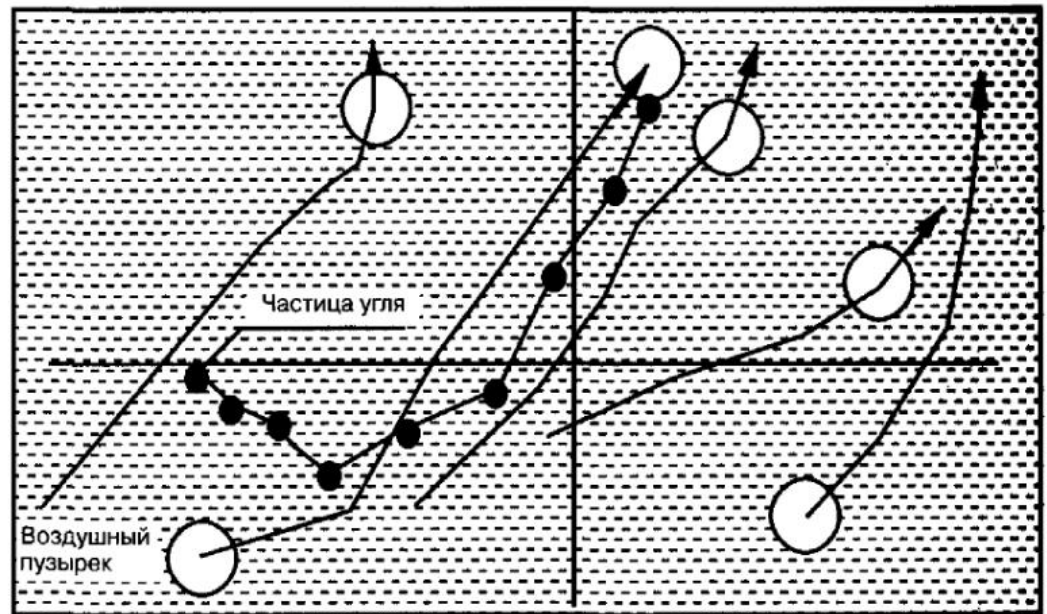


Действие потока воды на пузырек воздуха. В мертвой зоне пузырек может сопровождать загрязняющая частица

друг от друга на определенное расстояние. Они колебаниями смещают пузырек и приводят его к нестабильной форме движения. У пузырьков меньшего размера, по существу, сохраняется форма шара.

В этом случае позади пузырька возникает область относительно стабильного потока, так называемая мертвая зона воды, которая имеет важное значение для образования контакта. Твердая частичка, которая движется с пузырьком перемещается из области перед пузырьком с высоким давлением, в область сужения потока. При благоприятных условиях

Частица угля, захваченная пузырьком при осаждении в мертвой зоне, контактирует с ним



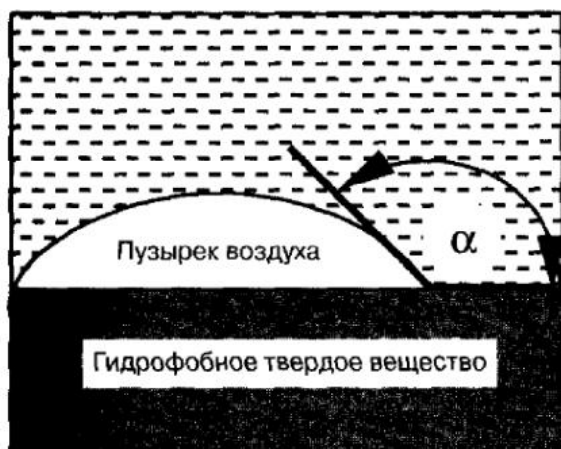
в потоке, если не преобладает турбулентное течение, твердая частица может из прилегающей к пузырьку области попасть в мертвую зону воды позади пузырька. Здесь она может сначала двигаться с пузырьком, чтобы затем в относительно спокойных условиях контактировать с ним. Процесс поясняется рисунком, где изображена угольная частица, которая вначале, при осаждении, была захвачена, затем перемещена в мертвую зону. Какое-то время она движется и контактирует с ней. Контакт пузырька и твердой частицы предполагает спокойное течение. Если через пенообразователь протекают большие количества воды, то образуется турбулентный поток, который приводит к образованию сильных вихрей за пузырьком, и, таким образом, контактирование загрязняющей частицы и поверхности пузырька затрудняется, или присоединенные частицы снова отрываются. Следовательно, нерационально пропускать большие количества воды через вспениватель. Необходимо стремиться к как можно более равномерному подъему пузырьков. Если расход воды будет выше определенной величины, то КПД вспенивателя снова снижается.

Краевой угол пузырька

Как уже описывалось в главе о флотаторе, при прилипании пузырька к поверхности образуется пограничная поверхность, которая определяется трехфазной системой. При этом большое значение имеют гидрофильные или гидрофобные свойства вещества. Гидрофобное вещество будет скорее контактировать с воздушным пузырьком, чем с водой. Пузырек воздуха, который контактирует с гидрофобным веществом, легко располагается на его относительно большой и стабильной поверхности.

Однако речь идет, как правило, о гидрофильных веществах, которые мы удаляем как частицы загрязнений. В этом случае обстоятельства противоположны. Пузырек воздуха слабо контактирует с гидрофильными частицами.

При контакте вещества с воздушным пузырьком вода будет стремиться разрушить его. В связи с этим размер пузырька очень важен. Как показывают оба верхних рисунка, гидрофобные вещества образуют большой краевой угол, гидрофильные, напротив, очень маленький. С помощью многочисленных измерений установлено, что малень-



На гидрофобном твердом веществе пузырек воздуха образует большую контактную поверхность, на гидрофильном — маленькую

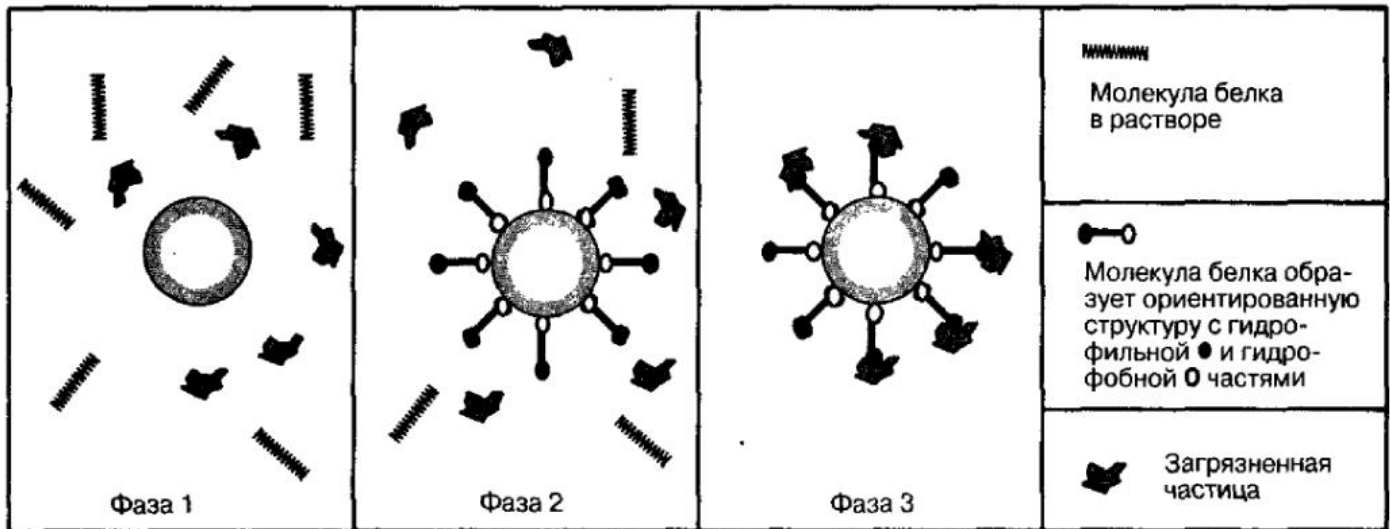
кие пузырьки воздуха при небольших краевых углах лучше прилипают, чем большие пузырьки.

Коллектор

При очистке сточных вод в них добавляются гидрофобные средства, которые делают поверхность твердых веществ пригодной для пенообразования. Конечно, это невозможно в биологических системах. Но в аквариумной системе имеется эффект с двойной пользой. На пограничной поверхности воздуха и воды возникает накопление протеиновых молекул (белков), которые приводят

к образованию мономолекулярной пленки на поверхности пузырька. При этом происходит вытягивание и выравнивание свернутых клубком пептидных цепей, из которых состоят молекулы, таким образом, что гидрофильные полярные группы располагаются со стороны воды, а гидрофобные остатки углеводорода — со стороны воздушного пузырька. Посредством изменения структуры молекулы белка на поверхности пузырька возможно прочно связать растворимые белковые соединения. Это чрезвычайно важно, так как в биологическом процессе разложения белок разлагается до аммония/аммиака и нитрита, которые в незначительной концентрации токсичны для рыб и беспозвоночных. Молекулы белка, с одной стороны, контактируют гидрофобной частью с пузырьком воздуха, а с другой стороны, связываются гидрофильной частью с окружающей пузырек водой. Здесь присоединяются твердые вещества с хорошей адгезией, которые вследствие своей гидрофильной поверхности вступают в контакт едва ли не с каждым пузырьком. Так вредные белковые молекулы проявляют естественную функцию коллектора, которая может достигаться в канализационной технике только с помощью добавки химикалий. Таким образом, возникают конгломераты из пузырьков, белковых соединений и загрязняющих частичек, которые выносятся с поднимающими газовыми пузырьками на поверхность воды. Собирающий эффект белковых молекул так силен, что может частично компенсировать плохую способность к пенообразованию у больших пузырьков. Таким образом используется пенообразователь в цикле для пресной воды, разумеется, не в домашних аквариумах, в которых пенообразование действительно невозможно.

Речь идет скорее об интенсивных циклах для аквакультур с высоким уровнем кормления. Здесь так много содержится



Молекулы белка расположены по отношению к воздушному пузырьку таким образом, что гидрофобная часть направлена к пузырьку, а гидрофильная — к воде. На гидрофильной части располагаются частицы загрязнений так, что молекулы белка выполняют «собирающую» функцию

белка и загрязняющих частиц, что непременно возникает достаточное вспенивание.

Гидратация

Под гидратацией понимают наложение молекул воды на находящиеся в растворе, на поверхности твердых веществ и на границе раздела фаз газовой пузырьки. Чем сильнее выражена гидратация, тем, следовательно, интенсивнее связываются молекулы воды на пограничной поверхности, тем больше они препятствуют контакту газового пузырька с твердой частичкой. Для контакта надо превысить энергетический порог, который тем выше, чем гидрофильнее частица твердого вещества.

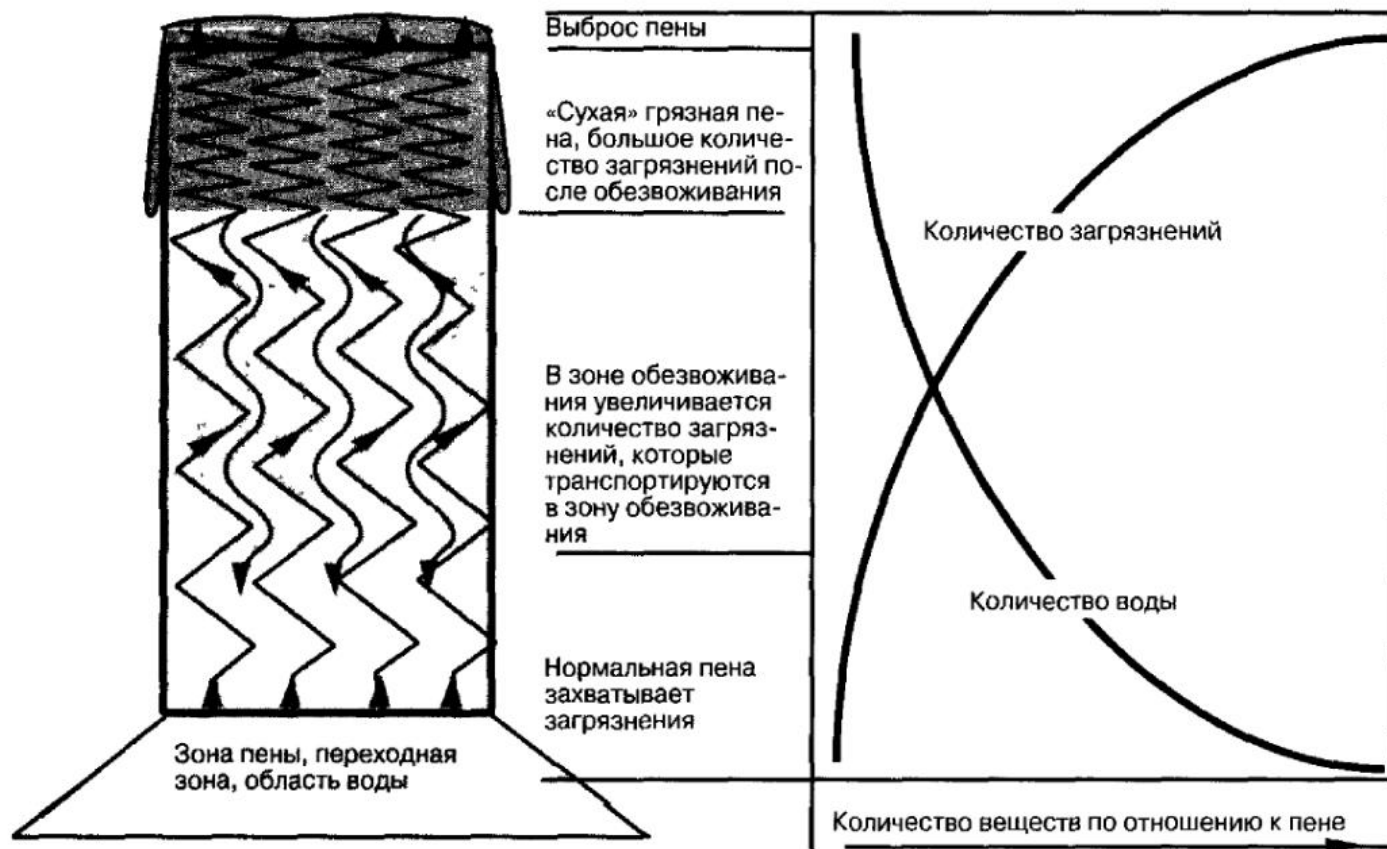
Двойной электрический слой

Двойной электрический слой образуется на поверхности твердого вещества, если она является носителем электрического заряда. Это происходит вследствие результирующего действия кулоновских

сил и одинаково заряженных ионов. Потенциал, который образуется между связанной гидратной оболочкой и раствором, называют зета-потенциал. Для флотации он играет практическую роль в том случае, если флокулянты должны дозироваться. Они могут подводиться до тех пор, пока зета-потенциал будет равен нулю, т. е. достигается изоэлектрическая точка. Если значение этой точки превышает, то дальнейшая подача флокулянтов действует отрицательно. Подобные эффекты имеют практическое значение и требуют дальнейшего изучения. Зета-потенциал изменяется также при изменении содержания соли (NaCl).

Зона пены

Описанные выше белковые молекулы играют также важную роль при образовании пены. Если загрязненный пузырек газа с белковыми молекулами и частицами достигает поверхности, он освобождает свои загрязнения, так как разрывается или сливается с другими пузырьками.



Обезвоживание пены в белковом аэраторе

При этом прежде всего возникают маленькие пузырьки пены. Загрязнения находятся с остатками воды и белковыми соединениями в слое пены.

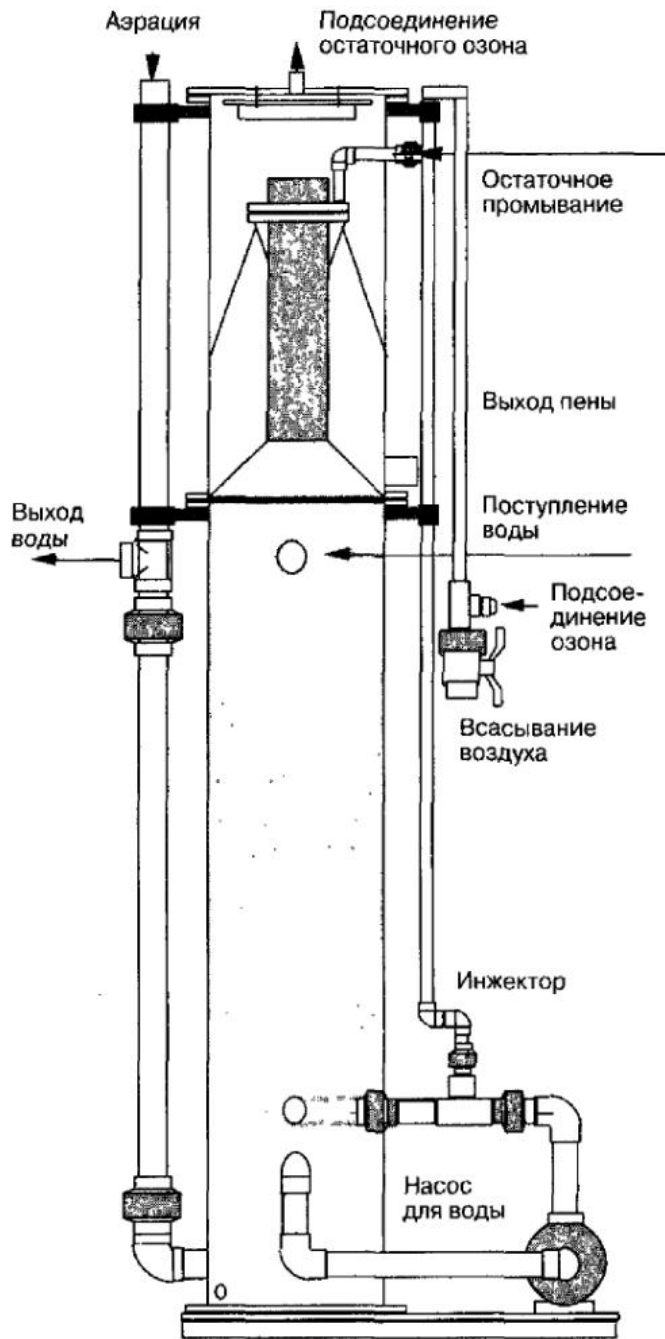
Самый нижний слой пены в литературе называется «нормальной пеной». Здесь в основном происходит образование пены. Фактически пена содержит много воды и незначительную концентрацию загрязнений. Накапливающаяся грязь быстро передается в вышележащую пенную зону Б.

Пенную зону Б можно назвать зоной обезвоживания и зоной транспорта. Она не должна быть слишком тонкой. Благодаря ей область пены всегда возвышается над аквариумом. Обезвоживание пены — очень важный процесс. Как раз в небольших аквариумных установках следует по возможности избегать потери воды через вспениватель. Одновременно с обезвоживанием происходит процесс

нарастания пены. Слои содержат все больше и больше белка и загрязняющих частиц. Транспорт пены происходит прежде всего из-за поднимающегося воздуха. Для того чтобы эффективно формировать пену, нужно прежде всего правильно выбрать отношение потока воздуха к поперечному сечению трубы с пеной.

Зона С внутри трубы с пеной является, по существу, зоной накопления. Здесь сильно сконцентрированы загрязнения в пене, и удаляется остаточная вода. В зависимости от регулировки и накопления грязи, грязная пена может так сильно концентрироваться, что она отводится в ковш для пены совсем сухой. Выпуск пены из зоны С должен происходить без помех. Поэтому нужно обязательно предусмотреть ковш для пены нужного размера. Сужения в трубе, приводящие к выбросу пены в контейнеры, располо-

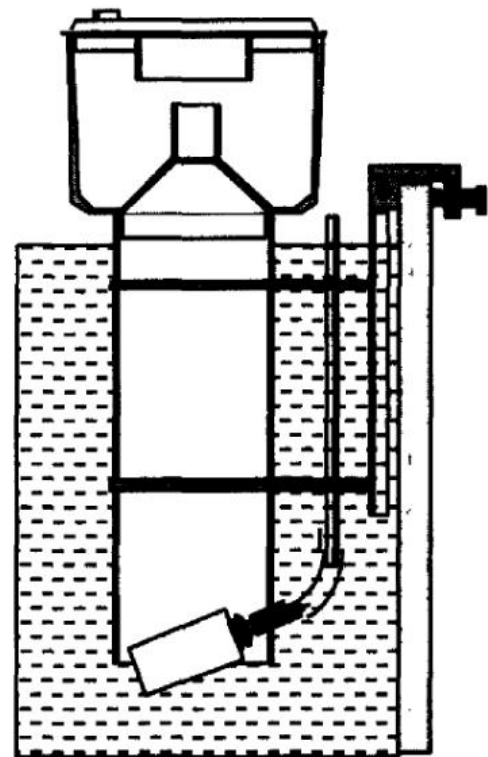
Пенообразователи с использованием воздуха



Конструкция белкового флотатора очень большой мощности

женные рядом, должны исключаться. Они быстро забиваются и снижают степень действия пенообразователя.

Описание трех зон пены позволяет оценить значение трубы для пены. На практике между этими зонами нет четкой границы.

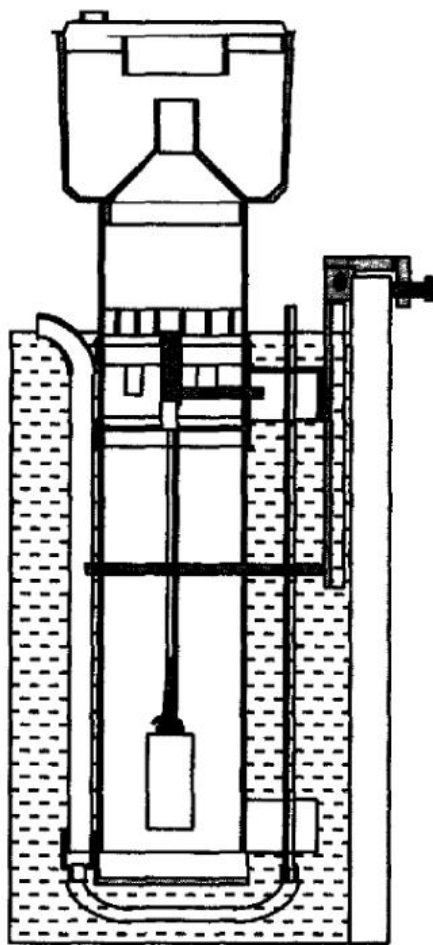


Простой аэратор с реакционной трубой и емкостью для пены

Представленные здесь теоретические основы и знания трудно в каждом случае реализовать на практике. Наиболее оптимально они осуществлены в конструкциях вспенивателей «Хельголанд». Левый рисунок – схема этих мощных устройств. Тем не менее в дальнейшем должны быть разработаны и другие виды пенообразователей, которые предназначены прежде всего для домашних аквариумов.

Пенообразователи с использованием воздуха

На рисунке вверху изображен простой пенообразователь первого поколения, используемый, однако, и в настоящее время. Поступающая вода захватывается газовыми пузырьками, которые поднимаются из распылителя и вносятся в реакционную трубу. В реакционной трубе



Улучшенная модель аэратора, в котором использован принцип противотока

происходит тесный контакт между водой, пузырьками воздуха и веществами, содержащимися в воде. Поднимающиеся воздушные пузырьки образуют над поверхностью воды слой пены, который в зависимости от интенсивности транспортировки попадает далее в емкость с пеной.

Недостаток этого метода состоит в том, что не гарантируется никакого определенного оборота воды. Существует опасение, что устройство, к удивлению пользователя, будет сильно пениться но пены не даст.

На рисунке вверху изображен аэратор усовершенствованного принципа. Немного ниже поверхности находятся входные отверстия, через которые вода

может поступать в реакционную трубу.оборот воды происходит по принципу засасывающего насоса. В маленькой трубке поднимающиеся пузырьки воздуха несут воду вверх и таким образом способствуют обмену воды. В нижнем конце реакционной трубы находится распылитель из дерева, который образует для флотатора необходимые мелкие пузырьки. В этом маленьком приборе осуществлен принцип противотока, который сегодня широко применяется в конструкции флотаторов. Вода поступает вверх, в реакционную трубу, и течет вниз в противотоке с поднимающимися вверх пузырьками воздуха. Таким образом, загрязнения, поступившие с водой, уносятся с потоком пузырьков, а устройство характеризуется рядом преимуществ. Его производительность, однако, остается ограниченной небольшим количеством воды. Можно рекомендовать этот флотатор в качестве дополнения к хорошо функционирующему фильтровальному устройству в аквариумах объемом до 200 л.

Флотатор, использующий насос

Для систем с сильным течением воды рекомендуются флотаторы с водяными насосами. Принцип действия в основном соответствует работе описанного флотатора, использующего воздух. Водяной насос дает возможность для большой производительности, а следовательно, для увеличения оборота. При этом важно, что при большем обороте воды используется соответственно реакционная труба большего размера, иначе значительно ухудшается коэффициент полезного действия (КПД). Рисунок на стр. 143 вверху показывает так называемый мощный вспениватель (флотатор), который устанавливается внутри аквариума и может использоваться как с распылителем из дерева, так



Мощный, использующий насос флотатор

и с инжектором для образования пузырьков. В связи с тем что требования к производительности флотаторов все больше увеличиваются, выявляются три тенденции развития: разработка внешних флотаторов, горизонтальных флотаторов и производство других систем образования пузырьков.

Внешний флотатор

С повышением требований к производительности флотаторов все больше возникает проблема места установки флотатора. Аквариумисты склоняются поэтому к тому, чтобы устанавливать устройства вне аквариума. В связи с этим производились внешние флотаторы, которые размещались непосредственно

рядом с аквариумом или на большом расстоянии. Их преимущество в том, что из-за большого объема они работают с большим расходом воды, и поэтому воздушные пузырьки имеют достаточное время для того, чтобы контактировать с молекулами белка и загрязняющими частицами. Таким образом достигается оптимальная мощность пенообразования. Конечно, устройства занимают рядом с аквариумом значительную площадь. В жилом помещении это может создавать проблемы.

Горизонтальный флотатор

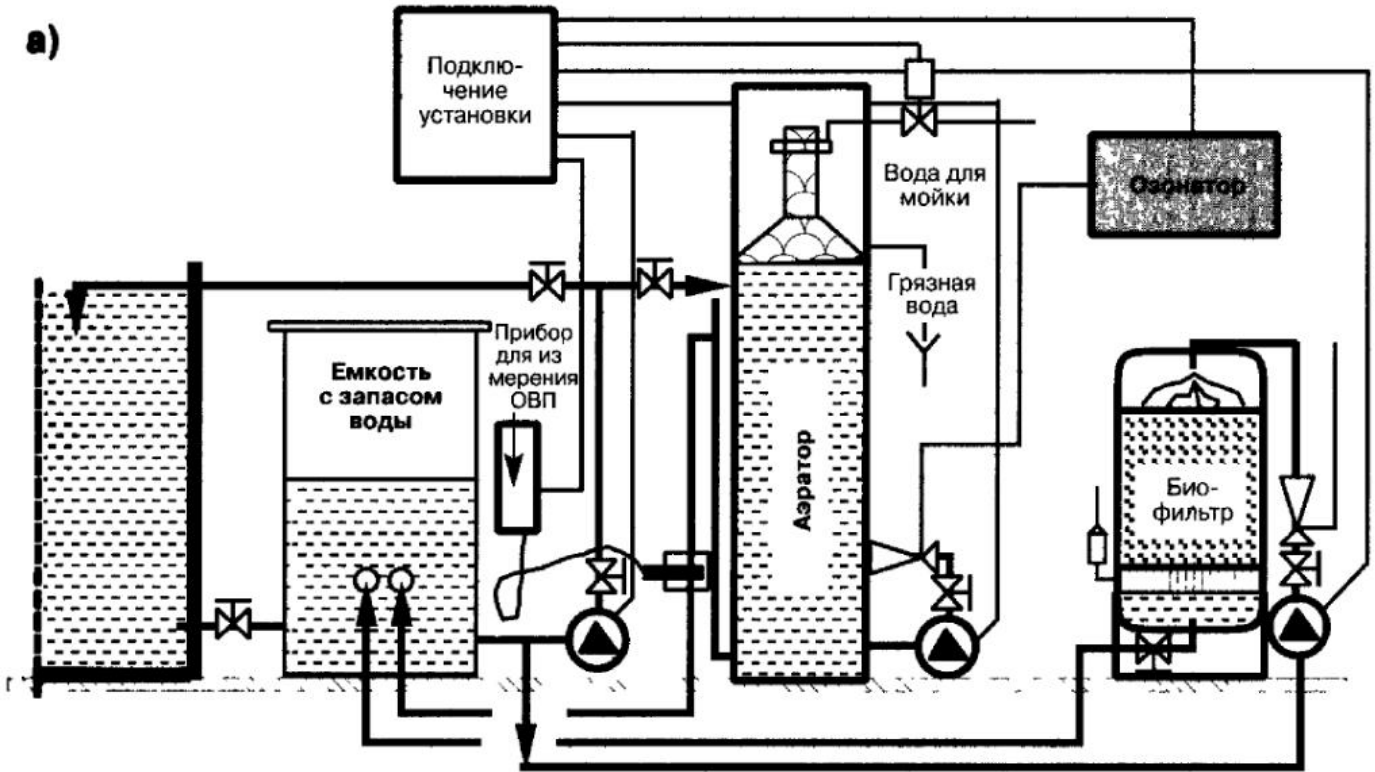
Следуя пожеланиям пользователей аквариумной техники, были сконструированы более компактные устройства, в которых объемы расширялись по горизонтали. Флотатор имеет, по существу, объем крышки. С помощью завихрительной пытаются достичь лучшего КПД. При этом всегда имеется опасность, что слишком малое время выдержки во флотаторе увеличивает турбулентность, и коэффициент полезного действия прибора сильно уменьшается.

Усовершенствованные системы получения пузырьков

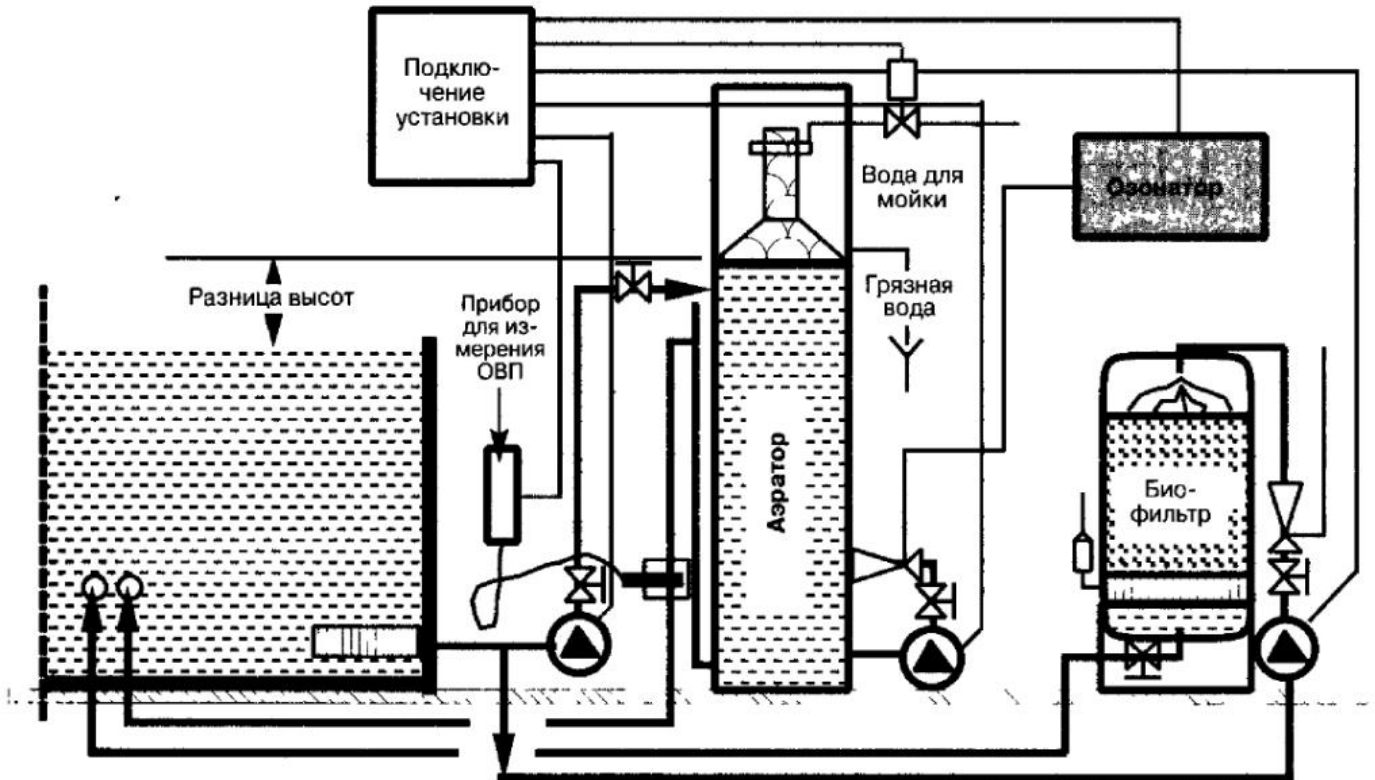
В то время как для небольшого пенообразования оптимальным производителем пузырьков может быть флотатор, для устройств с большей мощностью или большего размера используются альтернативные варианты. Они основаны на качестве пузырьков и ограниченной продолжительности жизни пены. Здесь предлагаются две альтернативы, а именно диспергаторы и инжекторы, которые были описаны в главе «Природные и технические газы». После такого краткого обозрения различных типов пенообразователей целесообразно углубленное рассмотрение основ пенообразования для квалифицированного обсуждения моделей пенообразователей.

Флотация

а)



б)



в)

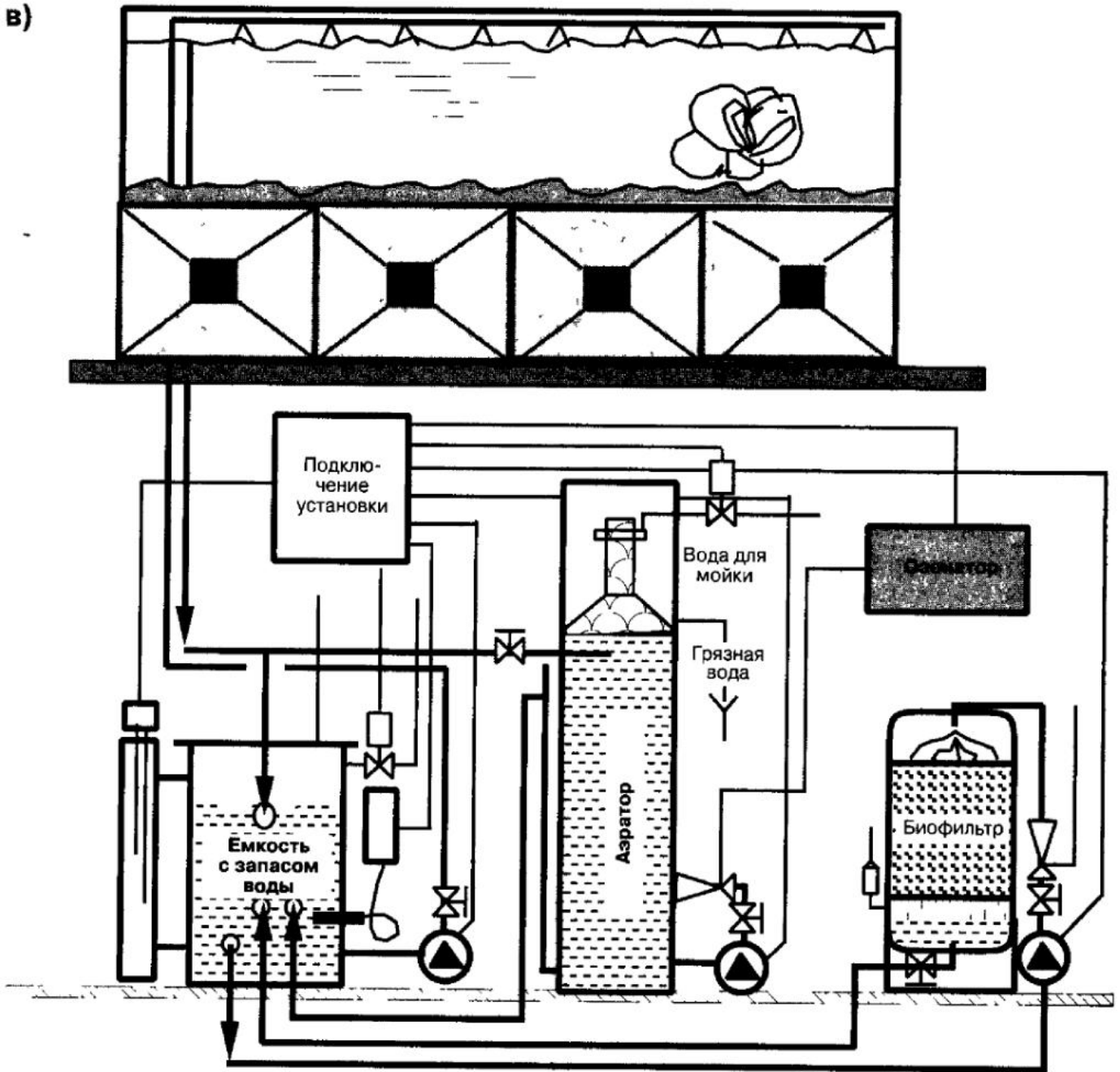
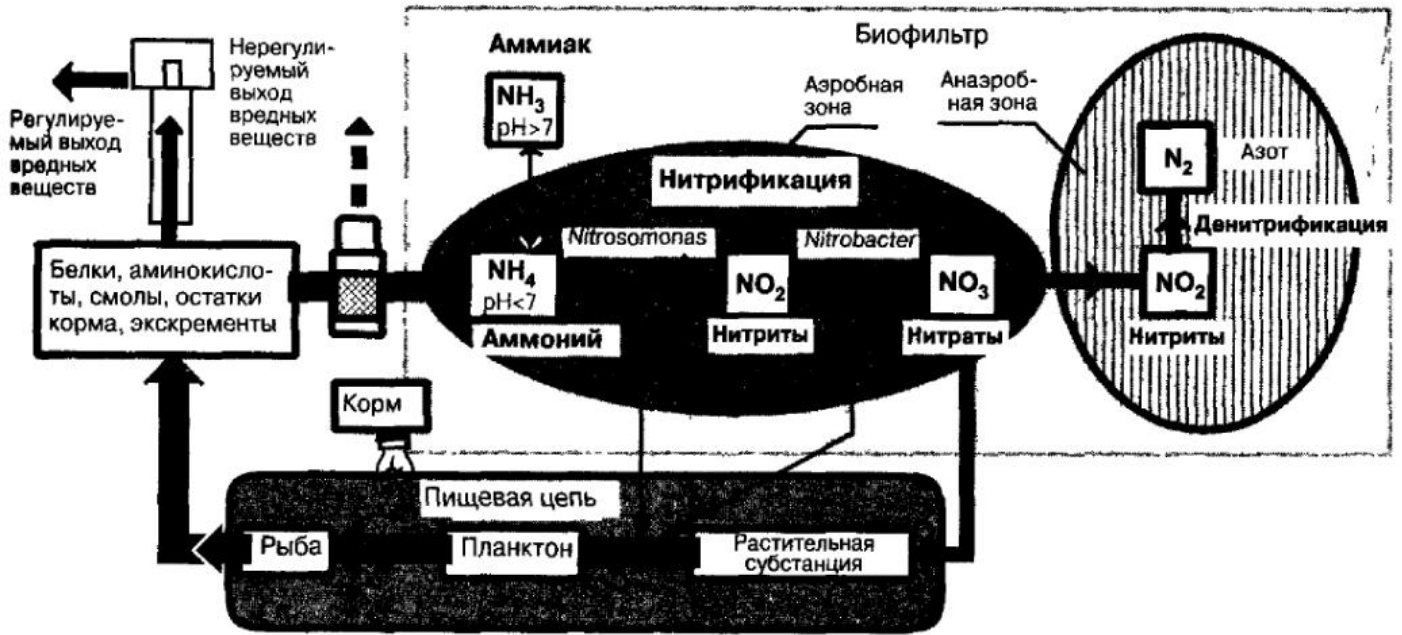


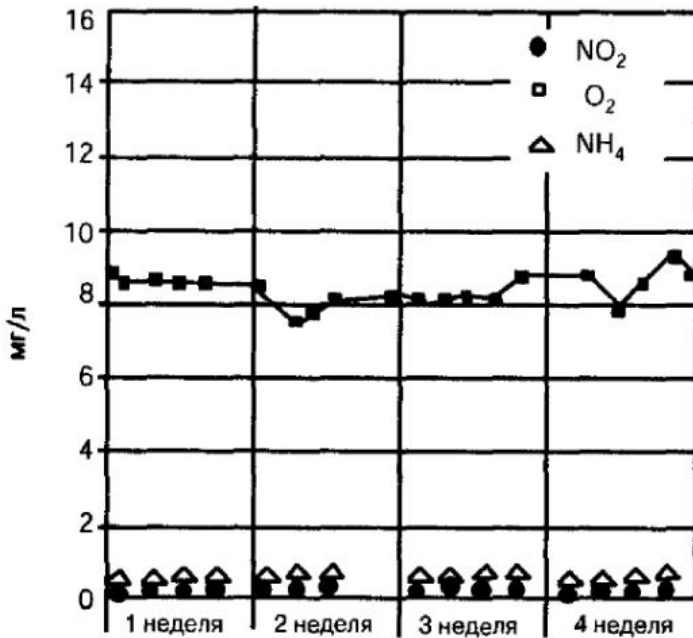
Схема большой установки с внешним флотатором и биологической фильтрацией под давлением.

- а) Флотатор установлен на одном уровне с аквариумом, его уровень воды соответствует уровню воды в аквариуме.
- б) Флотатор установлен на одном уровне с аквариумом, его уровень воды выше уровня воды в аквариуме.
- в) Флотатор установлен под аквариумом.

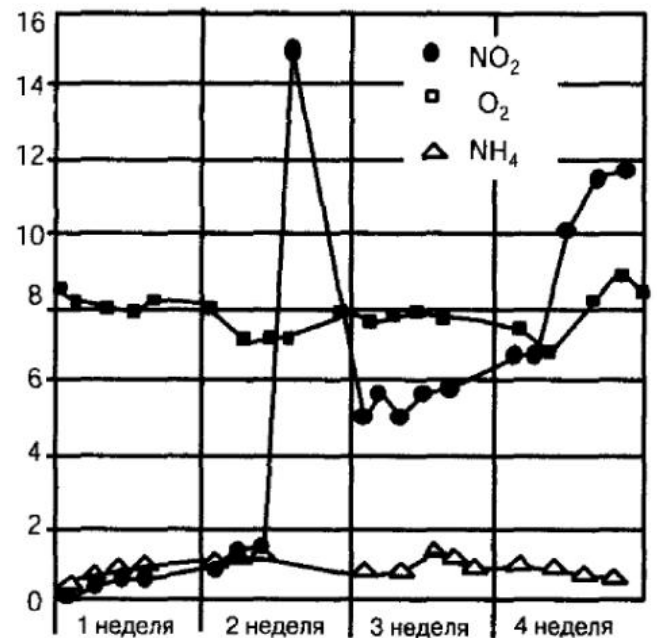
Флотация



Цикл азота в аквариуме с дополнительными приспособлениями



Система 1 с диспергатором, озоном и биологической ступенью



Система 2 с обычным фильтром

Сравнение фильтровальной системы с флотатором, озонированием и биологической ступенью, с обычным фильтром. При использовании обычного фильтра имеется явно выраженный пик в концентрации нитритов

Флотатор в круговороте веществ в аквариуме

Рисунок на стр. 55 упрощенно приводит цикл азота в природе. Так как в нашем аквариуме природное равновесие не сохраняется, мы должны вмешиваться в этот процесс. Причинами отсутствия равновесия являются, например, «перенаселение», слишком интенсивное кормление и ограниченное «биологическое пространство».

Схема на стр. 146 поясняет, как с помощью техники мы вмешиваемся в цикл азота. При этом ясно, что пенообразователь в этом закрытом цикле «открывает окно». Загрязнения и токсичные вещества удаляются из этого закрытого цикла и переносятся в емкость для пены, которая больше не соприкасается с циклом воды. И, как это становится ясно из приведенного изображения, это основное отличие от механического фильтра.

Хотя фильтр и отфильтровывает загрязнения, они все-таки остаются сначала в фильтре, а потом переходят в цикл воды. При этом происходят неконтролируемые биологические процессы, которые могут приводить к дальнейшему накоплению токсичных веществ или к недостатку кислорода. Пенообразователь, напротив, не только удаляет загрязнения и ядовитые вещества, но и обогащает воду кислородом, который необходим как для водных живых существ, так и для различных культур бактерий. Самой важной стадией разложения в нашем аквариуме является аэробная стадия. При этом речь идет о нитрифицирующих бактериях, которые в более насыщенной кислородом воде окисляют соединения азота, аммоний и нитриты до относительно безопасных

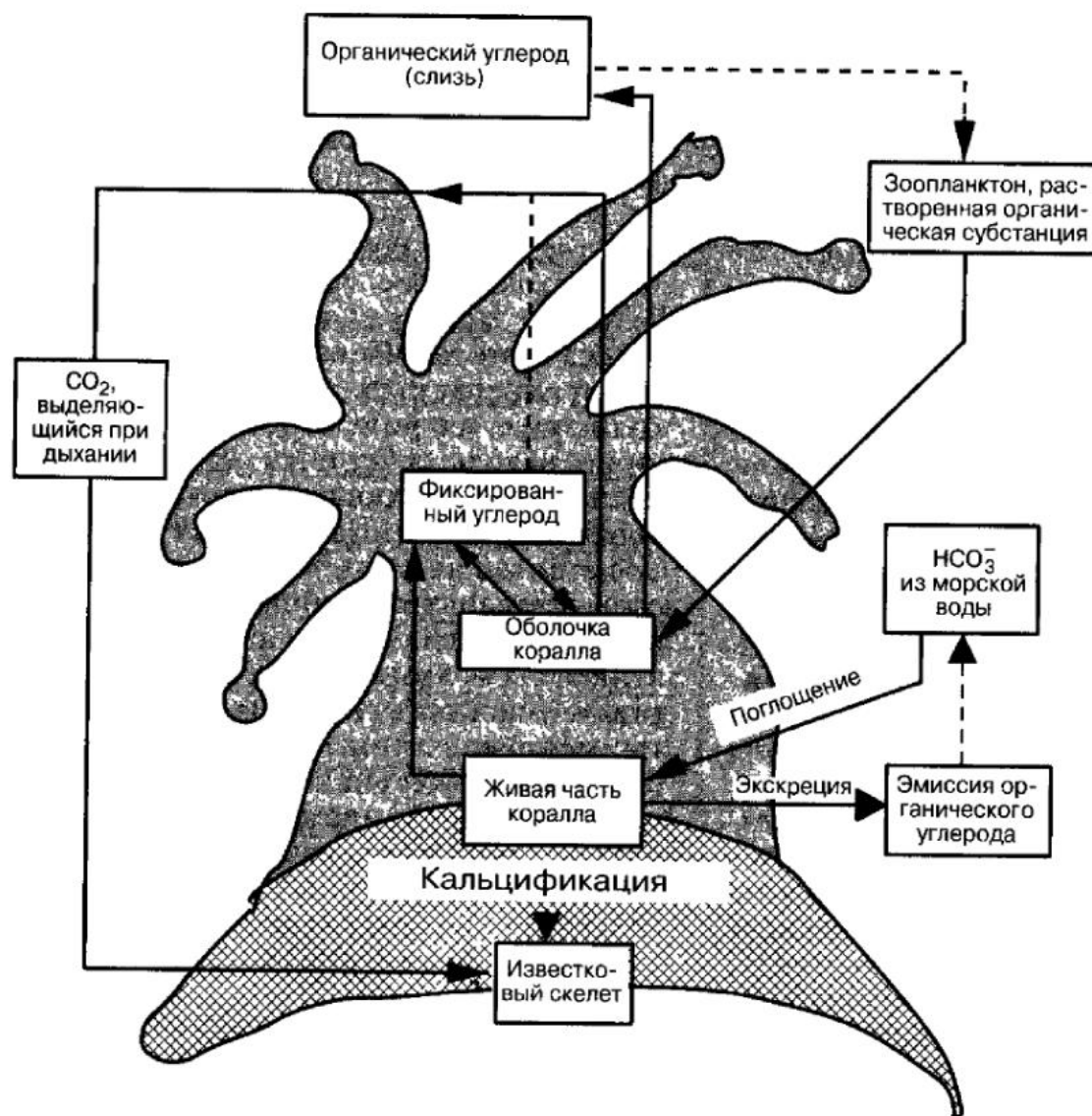
нитратов. Пенообразователь с равномерной подачей кислорода создает важную основу для их жизни. Бактерии со своей стороны образуют продукты обмена веществ, которые поступают в воду. Пенообразователь (флотатор) опять забирает эти продукты обмена веществ и окончательно выводит их из цикла. Эта взаимная функциональная поддержка становится очевидной, если пенообразователь присоединить к «неживой воде» или для сравнения — к воде с активным ростом бактерий. Пенообразование в воде, отфильтрованной биологически, более интенсивно. Рисунок слева внизу приводит результаты интересного эксперимента, который был проведен на исследовательской ядерной установке (Aivasidis и Wandrey). Диаграмма слева представляет данные, полученные на установке, которая была оснащена пенообразователем с культурами бактерий и подачей озона. Для сравнения один аквариум был оборудован обычным фильтром, использующим воздух, который затем спустя определенное время отсоединялся. Результат можно видеть на правом рисунке. В то время как содержание аммония возрастало слабо, повышение количества нитрита спустя неделю регистрировалось отчетливо, на диаграмме видны пики. В прошлом часто дискутировали на тему: «Пенообразование или биологическая фильтрация», «Может ли озон применяться одновременно с биологической фильтрацией?». Если много заниматься химией, понимаешь, как важно учитывать синергические эффекты, которые возникают, если пенообразование, бактериальное разложение и озон комбинировать осмысленно. Схемы таких комбинированных систем на строящихся установках показаны на стр. 144, 145.

Содержание извести в морской воде

Аквариумистика с морской водой с начала 70-х имеет обратную тенденцию: от чисто рыбных аквариумов, которые для декоративных целей были дополнены отдельными мертвыми кораллами, перешли к заполнению аквариумов беспозвоночными, живыми кораллами и высшими водорослями. Живые кораллы являются прежде всего потре-

бителями кальция и гидрокарбоната. Это становится ясно из двух нижеследующих рисунков.

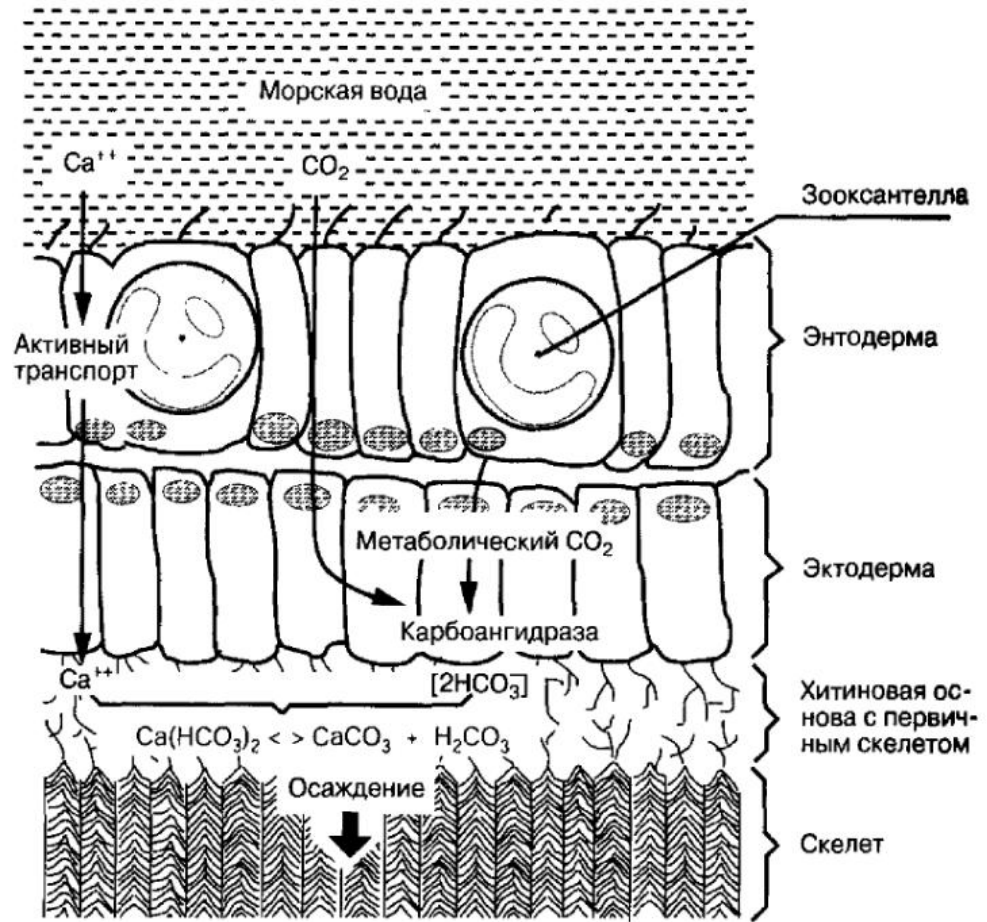
Схема показывает, в частности, внешний обмен веществ кораллов зооксантеллы как участников симбиоза с водорослями, живущими в кораллах, которые используют световую энергию, чтобы с помощью фотосинтеза преобразовы-



Перенос углерода и образование извести у кораллов

Содержание извести в морской воде

Процессы обмена веществ в организме коралла, которые при участии зооксантелл приводят к осаждению извести



вать гидрокарбонат в органический углерод. Этот углерод, который становится клеткой водоросли, существует в форме глицерина и глюкозы. Дальнейшими продуктами жизнедеятельности водорослей являются гуминовые кислоты и аминокислоты. Для этих процессов необходимы азот и фосфор.

В качестве источника азота зооксантеллы используют аммоний, получаемый из обмена веществ их хозяев. Это прекрасный пример того, что вещества, которые мы рассматриваем как вредные, при более близком рассмотрении оказываются даже питательными. Различные соединения азота и фосфора обмениваются между хозяином и симбиотическими водорослями. Этот процесс протекает так же, как у морского планктона. Так, например, *Scolecithus huxleyi* образует поддерживаемые фотосинтезом комплексные структуры, которые состоят из

CaCO_3 . Фотосинтез и образование скелетных структур прерываются при избытке двуокиси углерода. На втором рисунке детально изображен процесс образования извести, протекающий в кораллах. Ионы кальция Ca^{2+} и CO_2 переносятся различными способами через многие поверхности (энтодерма, эктодерма, хитиновая матрица) и реагируют с образованием CaCO_3 на неорганической поверхности с уже имеющимся скелетом из известняка. Во многих публикациях описывается, что кораллы нуждаются в дозировании кальция, другие говорят об избытке извести. Из рисунка ясно, что анион (HCO_3^-), так же как и катион (как правило, Ca^{2+}), равным образом используются кораллом и, следовательно, должен дозироваться. В морской воде содержатся ионы Mg^{2+} и Ca^{2+} в молярном соотношении 1 : 5,6.

Содержание извести в морской воде

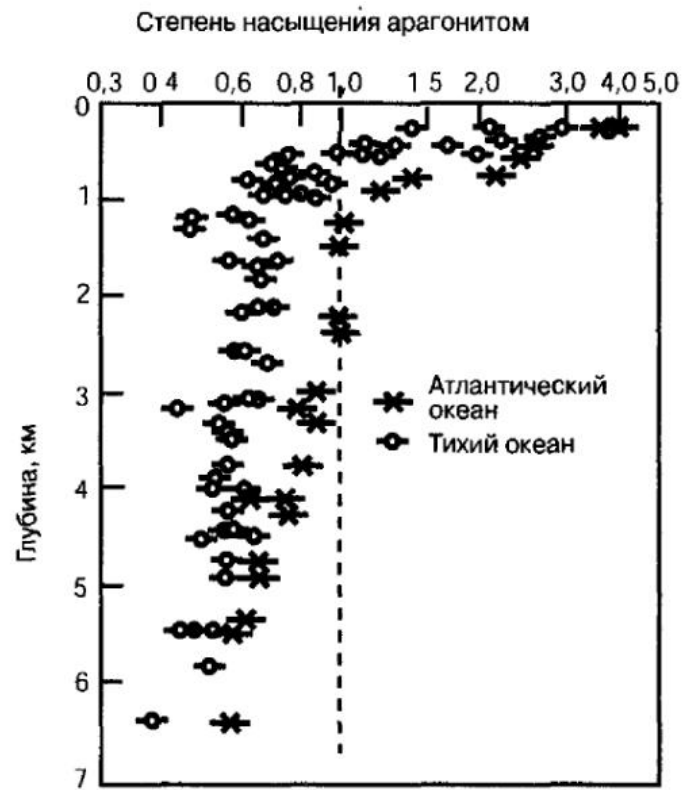
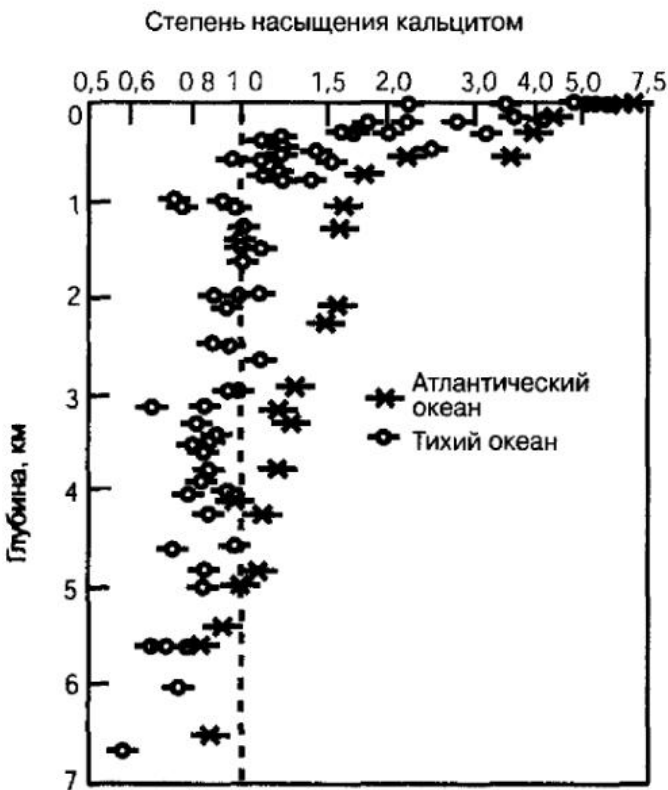
Реакции равновесия известь–угольная кислота

0.	H_2O	\leftrightarrow	H^+	+	OH^-
1.	$CO_2 + H_2O$	\leftrightarrow	HCO_3^-	+	H^+
2.	HCO_3^-	\leftrightarrow	CO_3^{2-}	+	H^+
3.	$CaHCO_3^+$	\leftrightarrow	Ca^{2+}	+	HCO_3^-
4.	$CaCO_3^+$	\leftrightarrow	Ca^{2+}	+	CO_3^{2-}
5.	$CaSO_4$	\leftrightarrow	Ca^{2+}	+	SO_4^{2-}
6.	$MgHCO_3^+$	\leftrightarrow	Mg^{2+}	+	HCO_3^-
7.	$MgCO_3$	\leftrightarrow	Mg^{2+}	+	CO_3^{2-}
8.	$MgSO_4$	\leftrightarrow	Mg^{2+}	+	SO_4^{2-}

При 25 °С из раствора образуются чаще всего соединения с составом: $Mg_{0,14}Ca_{0,86}CO_3$. Это означает, что кальций действительно является важнейшим катионом для образования извести, но и другие ионы, такие как магний, играют также важную роль.

Не вызывает сомнений, что фактические процессы в равновесной системе известь — угольная кислота в природной воде еще намного сложнее. В частности, происходят комплексные реакции между слоями кальция и магния и гидрокарбонатом, карбонатом или также сульфат-ионом. Важные для питьевой воды химические реакции показаны в таблице на стр. 193. Реакции по уравнениям 0–2 являются важнейшими реакциями. Можно легко представить, что реакции в морской воде протекают комплексно. В связи с этим становится ясно, что обсуждение — необходимо или нет дозирование извести и в какой также форме — очень сложная и неоднозначная тема.

Наряду с описанными здесь химическими взаимодействиями, имеются также физические аспекты, которые следует



Насыщение кальцитом и арагонитом в Тихом и Атлантическом океанах в зависимости от глубины воды. Насыщение обозначается 1, значения выше и ниже — перенасыщение и ненасыщение

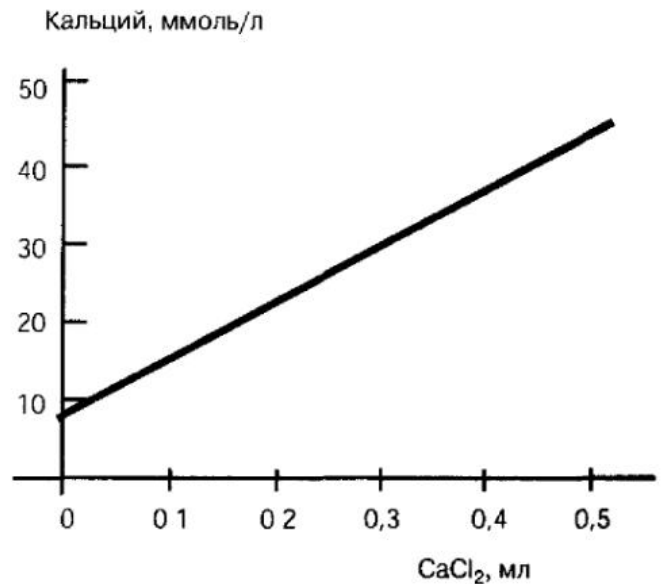
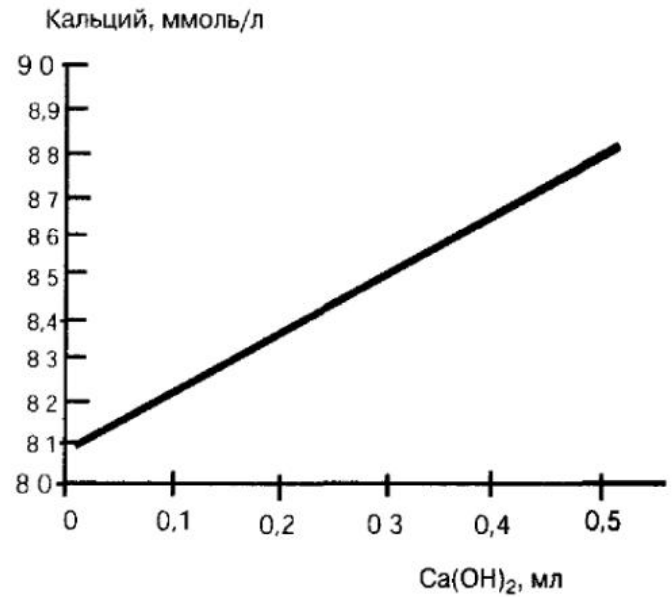
осветить хотя бы кратко. Известняк образует две кристаллические формы — кальцит и арагонит. В морях в различном соотношении встречаются обе формы. Рядом с поверхностью воды имеется пятикратное их перенасыщение. Обе формы представлены до глубины нескольких километров. Кальцит по сравнению с арагонитом представляет собой более стабильную форму. Важное требование при выращивании кораллов — обеспечение их гидрокарбонатом и кальцием без вреда для других обитателей аквариума. Для этого имеется много различных способов.

Метод Хюкштедта

Хюкштедт (Hückstedt) указывает метод для повышения pH. Он использует шесть частей гидрокарбоната натрия и одну часть карбоната натрия, которые растворяет в воде. По этому рецепту значение pH устанавливается в пределах от 8,3 до 8,4. Такой порядок действий рекомендует также Ланге. Конечно, Ланге подчеркивает то, что эта рецептура, хотя и пригодна для того, чтобы поднять значение pH, но обязательно приводит к смещению ионов в сторону натрия. А это означает, что важное для кораллов содержание кальция снова снижается. Для выравнивания концентраций Ланге рекомендует дозирование гидроксидом кальция. Связанные с этим проблемы обсуждаются в следующих разделах.

Следует отметить, что Ланге один из немногих, кто указывает на возможность дозировки карбоната магния. Как указано выше, содержание магния в морской воде составляет одну пятую от содержания кальция, но все-таки его гораздо больше выделяется по сравнению с другими, содержащимися в следовых количествах элементами, о которых в аквариумной технике много говорится.

Брокманн предлагает в качестве дополнения добавлять хлорид кальция, т. к. он пополнил бы недостающее содержа-



При добавлении в воду хлорида кальция (справа) достигается 4–5-кратная концентрация кальция по сравнению с использованием гидроксида кальция (обратите внимание на различный масштаб)

ние кальция. В общем, этот метод достаточно прост, но его недостаток в том, что ионы хлора и натрия дозируются в избытке. Проблемы, связанные с этим, хотя и не особо значимы, но все-таки можно себе представить, что беспозвоночные могут чувствительно реагировать на это.

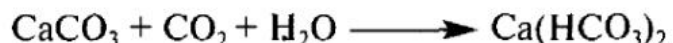
Рисунок на стр. 151 показывает содержание кальция в воде при дозировке гидроксидом и хлоридом кальция. Очевидно, что при одинаковых дозах при дозировании хлоридом кальция можно получить 4—5-кратное обогащение кальцием. Из этого также можно сделать вывод в отношении возможного сдвига ионов.

Добавка известковой воды

В этом процессе в воду вносится или гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, или оксид кальция CaO до насыщения раствора. Безразлично, какое из веществ использовать, т. к. оксид кальция в воде превращается в гидроксид кальция. Этот процесс называется «гашением извести». Если гидроксид кальция находится в суспензии, то возникает похожая на молоко жидкость, которая называется известковым молоком. При добавке оксида кальция не обязательно точно находить точку насыщения раствора, как правило, это будет передозирование. Нерастворенный материал откладывается на дне сосуда. В каждом случае раствор имеет щелочную реакцию; раздражает кожу и слизистые оболочки. Значение pH для насыщенного раствора составляет 12,4. Прозрачный раствор называется известковой водой. Содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в известковой воде варьирует от 1,8 до 1,65 г/л.

Если добавить этот раствор в аквариум, образуются Ca^{2+} -ион и два OH^- -иона. Очевидно, что при добавлении этого раствора повышается значение pH. Следовательно, с известковой водой следует обращаться осторожно. Передозировка невозможна. Нужно обязательно иметь прибор, измеряющий pH, для того, чтобы контролировать его значение. Прежде всего к воде добавляют кальций. Еще не образуются ни карбонат ни гидрокарбонат, так как они возникают при воз-

действии двуокиси углерода, который поступает или через поверхность, или через аэрацию, или через дозирование CO_2 . Чтобы перевести 1 г гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в CaCO_3 нужно использовать примерно 0,6 г CO_2 . Это количество содержится примерно в 1200 м воздуха или в 300 мл чистого CO_2 . Чтобы для беспозвоночных количество гидрокарбоната кальция было достаточным, для реакции требуется точно вдвое большее количество.



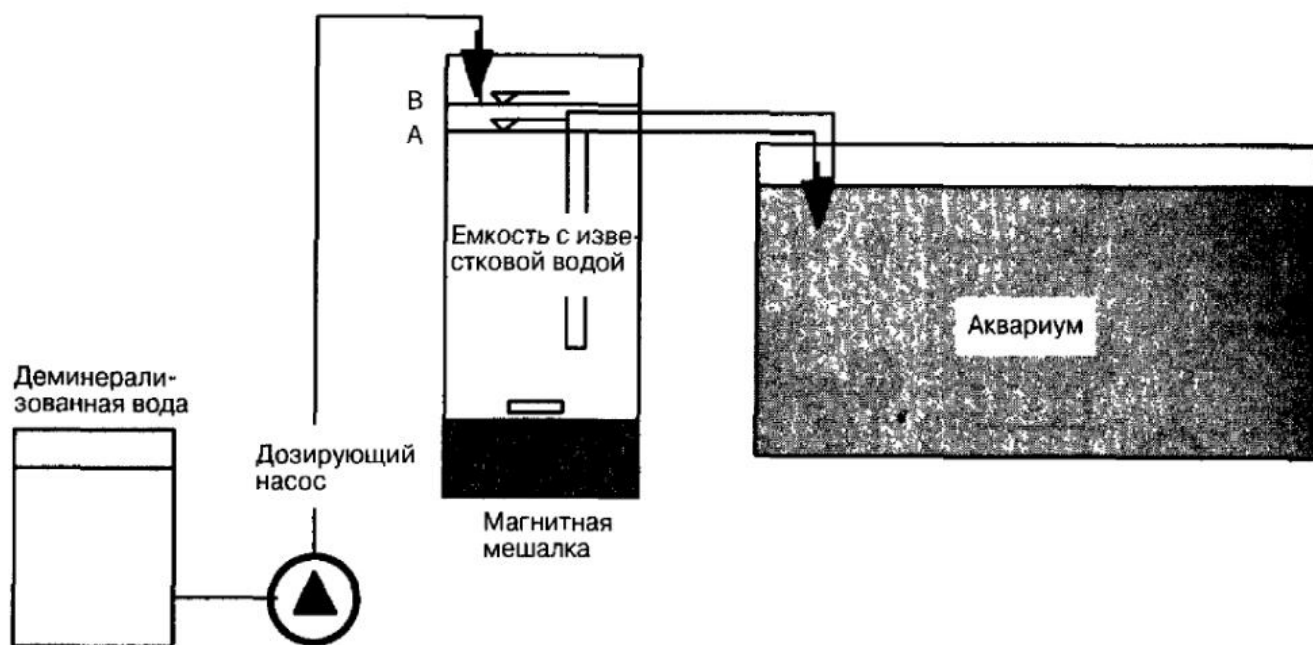
С подачей CO_2 следует регулировать pH воды. В качестве системы, дозирующей CO_2 , может применяться обычное дозирование CO_2 , как это более подробно описано в главе о дозировании CO_2 . В общем, метод известковой воды не так прост, как это представляется, требует мастерства и умения оценки «на глаз». По достоверным источникам правильное применение его дает хорошие результаты, которые выражаются в чудесных коралловых рифах.

Этими методами много занимались Фоска и Нильсен. Они прежде всего указывают на то, что по возможности должна использоваться известковая вода с очень высокими значениями pH. Оптимальные значения pH для известковой воды — выше 12. Если pH меньше 10, то для аквариума эта вода не используется.

На рисунке (стр. 153) показано дозирующее устройство для известковой воды. Дозирующий насос засасывает деминерализованную воду из резервуара и переносит ее в сосуд с известковой водой, который стоит на магнитной мешалке, это способствует тому, что оксид кальция и гидроксид кальция могут постоянно перемешиваться.

С помощью воды в резервуаре поднимается уровень, и соответствующее количество известковой воды и переходит в аквариум. Таким образом исклю-

Известковый реактор с простым протоком



Устройство для дозирования известковой воды

чается попадание извести в дозирующие слои. С другой стороны, известковая вода постоянно разбавляется поступающей водой, так что гидроксид кальция должен дозироваться. Применение дозирующего насоса гарантирует, что в этой системе подача известковой воды происходит постоянно. При дозировании известковой воды в качестве побочного эффекта нужно учитывать, что она применяется как в очистке сточных вод, так и в качестве флокулянта. Это же происходит и в аквариуме. Известно выпадение фосфата кальция, причем образуется гидроксилapatит ($\text{Ca}_5\text{PO}_4\text{OH}$), который осаждается на фильтре или удаляется с помощью флотатора. Ионы аммония и железа реагируют согласно расположенным внизу уравнениям с образованием хлопьев гидроксида алюминия. Тему не стоит углублять далее. Если есть сомнения

в том, что флотатор не сможет удалить очень малые количества микроэлементов, напомним о седиментирующем действии гидроксидов.

Флотатор работает с большими хлопьями гидроксидов, которые присоединяют к себе другие вещества, принимающие участие в образовании пены.

Известковый реактор с простым протоком

Когда говорят о так называемом известковом реакторе, речь идет об устройстве для приготовления гидрокарбоната кальция. Принцип действия основывается на том, что реакционная емкость заполнена известняком и одновременно водой, через которую проходит углекислый газ. При этом известняк раство-

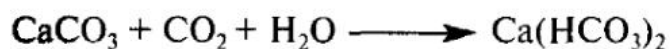


Содержание извести в морской воде



Известковый реактор с простым течением. Перед емкостью с известью подключают CO₂-реактор

руется и возникает гидрокарбонат кальция.



К этому процессу подходят ранее описанные недостатки. В определенных количествах получаются ионы — кальций и гидрокарбонат, смещения ионов не происходит. Гидрокарбонат кальция — более всего доступная форма для всех живых существ, не пользующихся известью. Для известковых реакторов предлагаются самые различные варианты конструкций. Здесь представлены только две из них. Рисунок сверху показывает схему

с простым протоком. Вода поступает сверху через вход CO₂-реактора вместе с дозированием двуокиси углерода. Пузырьки двуокиси углерода подаются в раствор в первую реакционную емкость. Возникает насыщение CO₂. Вода покидает первую емкость без пузырьков, но с высоким содержанием растворенной H₂CO₃ и относительно низким значением pH. Затем вода проходит в следующий резервуар, который заполнен известняком. Здесь реагирует растворенный CO₂, или соответственно H₂CO₃ с известняком, и возникает гидрокарбонат кальция Ca(HCO₃)₂.

Для того чтобы в этом методе гарантировать оптимальное значение pH, на выходе установлен pH-электрод, который работает постоянно. Прибор оценивает измеряемую величину и сравнивает ее с действительной заданной величиной. Если заданное значение занижено, CO₂-дозирование будет автоматически выключено с помощью магнитного вентилля. Концентрация растворенного угле-

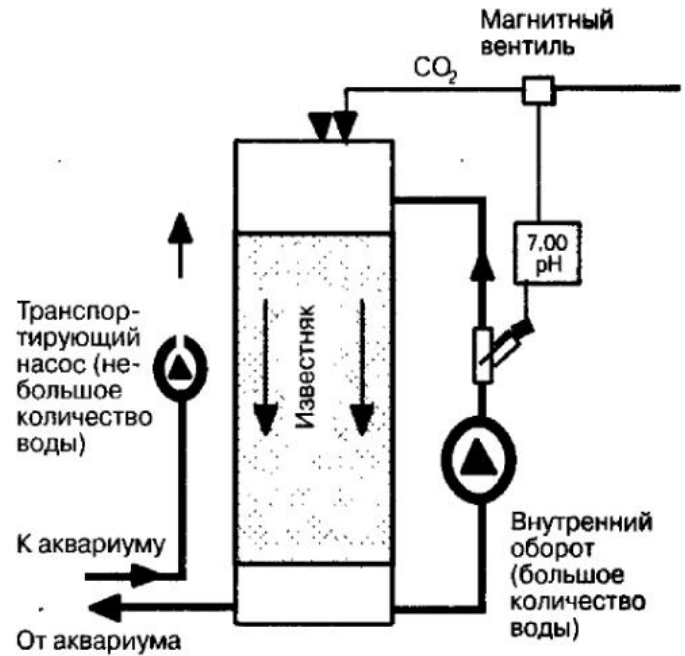
Известковый реактор с внутренним циклом

кислого газа снижается, и после некоторого времени поднимается значение pH до заданного значения, и измерительный прибор снова подключает CO₂-дозирование. Таким образом устроена наблюдающая и саморегулирующая система, которая постоянно подает CO₂ в воду. Известняковый реактор может заполняться или нормальным известняком или коралловым песком. Во втором случае есть преимущество в том, что микроэлементы, которыми возможно насыщен коралловый песок, становятся доступными для живущих кораллов.

Известковый реактор с внутренним циклом

Расположенный рядом рисунок показывает альтернативную конструкцию, которая основана, однако, на том же самом принципе. Две существенные особенности конструкции отличают этот реактор от первого. Эта система располагает только одной реакционной емкостью, которая заполнена известняком и служит одновременно для поглощения двуокси углерода. Поток направлен также вниз. Этим достигается оптимальное растворение CO₂. Один насос подачи с относительно небольшой производительностью подает воду из аквариума через реактор и обратно. Второй подающий насос с гораздо более высокой производительностью перемещает воду по постоянному циклу.

С помощью этой конфигурации достигаются оптимальные условия в известняковом растворе, и получается хорошо перемешанный раствор. Поток воды к аквариуму при этом сохраняется небольшим, чтобы воду, содержащую гидрокарбонат, подавать медленно, но не-

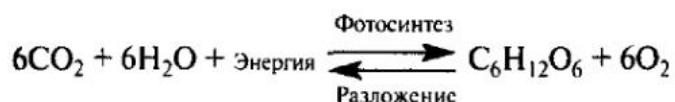


В известковом реакторе, состоящем только из реакционного сосуда, второй насос служит для внутреннего оборота воды

прерывно. С помощью этой системы можно исключить ряд проблем, например то, что значение pH в утренние часы достаточно низкое, т. к. значение pH не только фиксируется, но и регулируется. Такая система никогда не должна использоваться без измерения значений и регулирования pH. В аквариумах с известняковыми растворами содержание фосфора ниже, чем в других аквариумах. Это могло бы быть преимуществом дозирования известковой воды. Но вопрос должен ставиться таким образом: может ли контролироваться осаждение фосфата с помощью известковой воды? Фосфат в определенных границах является также очень важной составной частью для биологической системы.

Свет

Солнечный свет является природным поставщиком энергии.



Для создания глюкозы из двуокиси углерода необходима энергия не меньше 674 000 калорий, которые в природе составляет солнечный свет. Глюкоза — производное далеко не всех (из большого числа) органических веществ. Она очень реакционноспособна и может в процессе дыхания снова разложиться и предоставить запасенную энергию живому существу. Водные растения как основные производители органического вещества зависят от солнечной энергии.

Что такое свет?

Видимый свет является узкой полосой в спектре электромагнитных волн, которые отличаются друг от друга длиной волны. Длина волны определяется как интервал между двумя противоположными пиками волн.

Электромагнитное излучение простирается от космического излучения до видимого диапазона, и от видимого в длинноволновую часть спектра. Свет, который мы глазом воспринимаем, находится в области длин волн от 380 до 780 нм. Мы воспринимаем смесь различных длин волн как белый свет. Если на основе фильтрации или поглощения определенные длины волн затемнить, то свет не останется белым; он приобретет определенную окраску. Эта окраска четко соответствуют определенным длинам волн.

Возникновение цветов происходит, собственно, в нашем головном мозге, который связывает с различными областями длин волн соответствующее цветовое ощущение. Шесть основных цветов, названных также спектральными цветами, приводятся в нижней таблице: фиолетовый цвет на границе с невидимой ультрафиолетовой областью, затем с возрастанием длины волны голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный на границе с невидимой инфракрасной областью. Эти основные цвета мы знаем также как цвета радуги. Они возникают, когда свет в водяных каплях разделяется на различные цвета.

Путь света к Земле

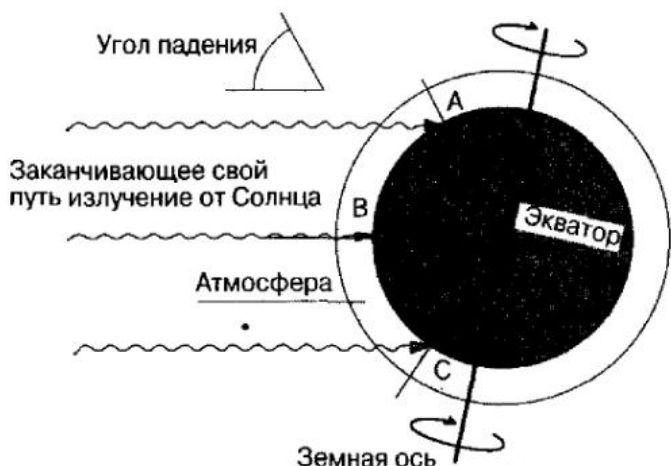
Солнце удалено от Земли примерно на восемь световых минут. За эти восемь минут свет проходит большое расстояние, не изменяясь в вакууме космического пространства. Только в конце пути,

Спектр электромагнитного излучения в световой области

Длина волны в нанометрах	Обозначения
100–280	Ультрафиолет С
280–315	Ультрафиолет В
315–380	Ультрафиолет А
380–436	Фиолетовый
436–495	Голубой
495–566	Зеленый
566–589	Желтый
589–627	Оранжевый
627–780	Красный
780–1500	Инфракрасный А
1500–3000	Инфракрасный В
3000–10 000	Инфракрасный С

незадолго до того как упасть на Землю, он подвергается значительному влиянию земной атмосферы. Интенсивность световой энергии, приходящаяся на земную поверхность, зависит прежде всего от географической широты и долготы. Чем дальше удаляется наблюдатель от экватора, тем более плоским становится угол падения солнечных лучей на земную поверхность, и тем ниже будет находиться самое высокое положение солнца в полдень.

В продолжение дня положение Солнца снижается еще дальше. Чем ближе Солнце к горизонту, тем длиннее участок, на котором атмосфера действует на лучи,



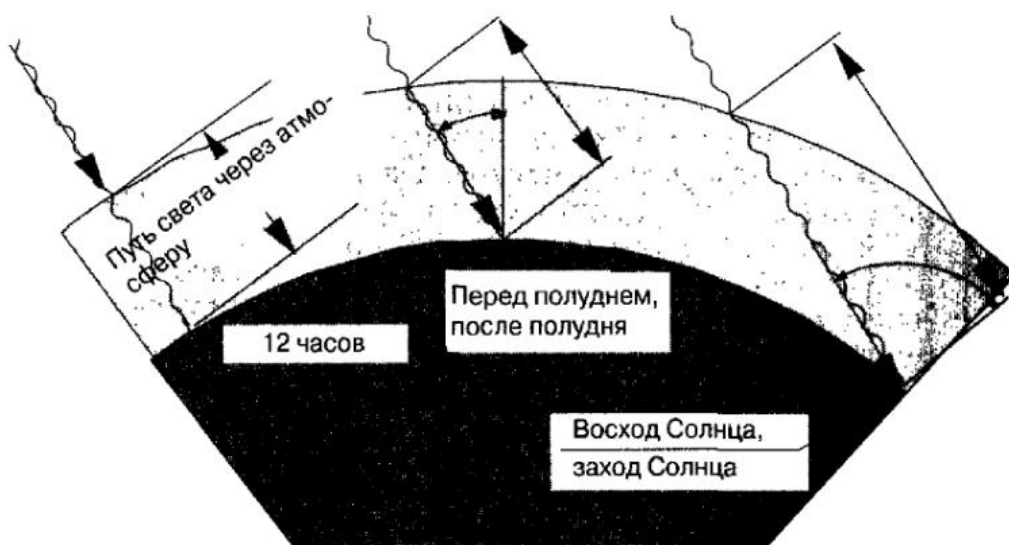
Угол падения света зависит от географического положения на Земле

Угол падения зависит не только от места, но также и от времени суток

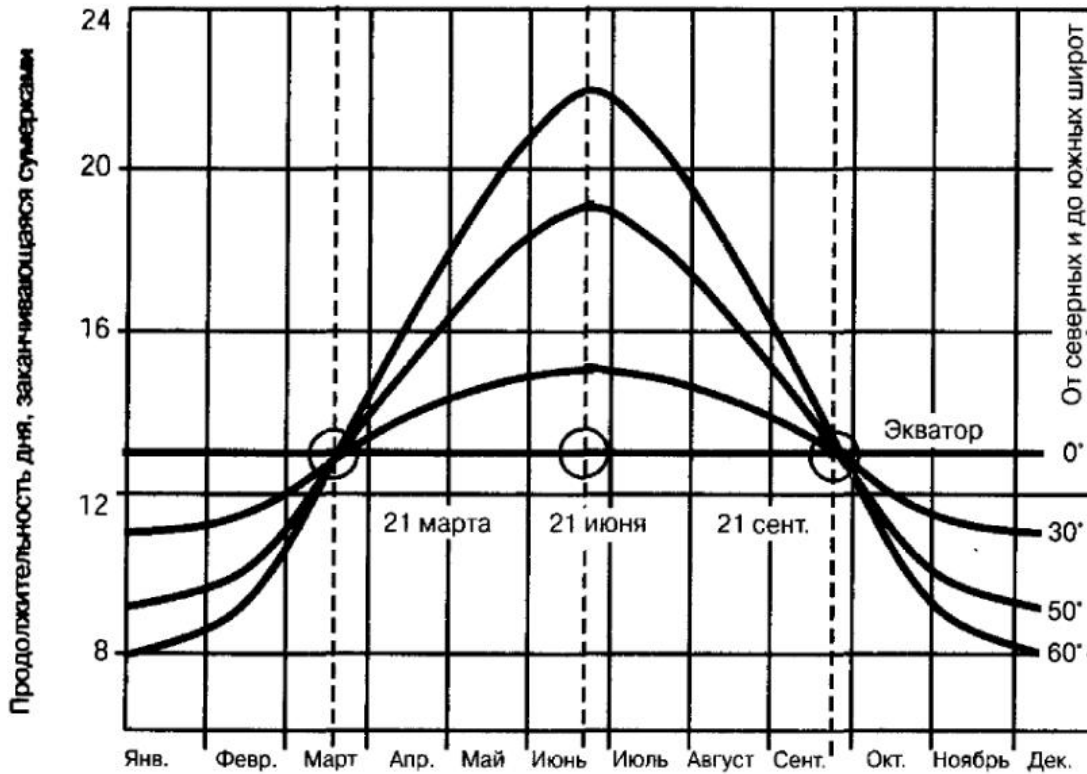
как фильтр. На высоте 10—50 километров расположен всем известный озоновый слой. Здесь из-за облучения кислорода ультрафиолетом возникает небольшая концентрация озона, которая все же достаточна из-за большой толщины слоя для поглощения ультрафиолетового излучения. Вследствие этого жизнь защищается от этого вредного ультрафиолетового излучения, которое не только преобразует кислород в озон, но может также разрушать живые клетки. Вместе с ультрафиолетом атмосферой также поглощается инфракрасное излучение. Из-за положения земной оси под углом к эклиптике в северных и южных широтах изменяется длина дня, больше там, где наблюдатель дальше удаляется от экватора. На экваторе день в течение всего года длится примерно 13 часов. Севернее и южнее в летние месяцы день становится длиннее, как это изображено на следующем рисунке.

Продолжительность солнечного света также естественным образом влияет на биологические процессы в воде. С другой стороны, в высоких широтах длительность излучения больше. С высотой Солнца над горизонтом изменяется, кроме того, спектральное распределение

Заканчивающее свой путь излучение от Солнца



Свет

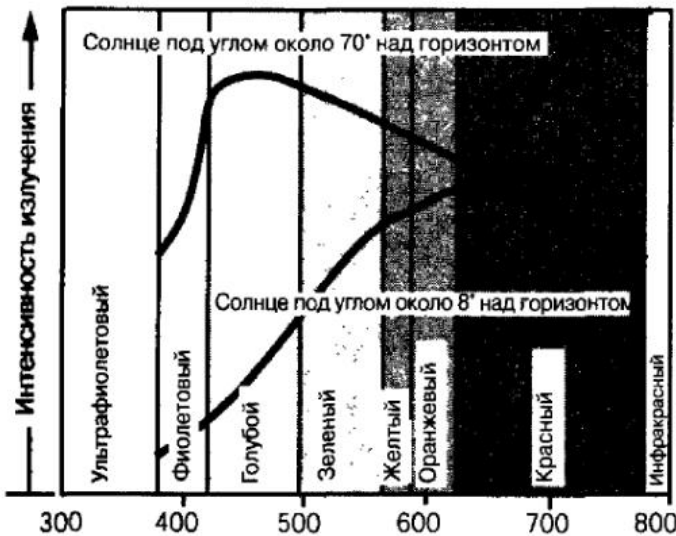


Длина дня в зависимости от широты и времени года

света, который падает на землю или на водную поверхность.

Мы все наблюдаем кроваво-красное солнце на утреннем и вечернем небе. Это свидетельствует о том, что при низком положении солнца спектр сдвигается

в длинноволновую область. Это значит, что меньше синего и к тому же больше красного света встречается с водной поверхностью. Как мы убедимся далее, это имеет значительное влияние на действие света на глубине.



С длиной дня меняется и спектральное распределение света

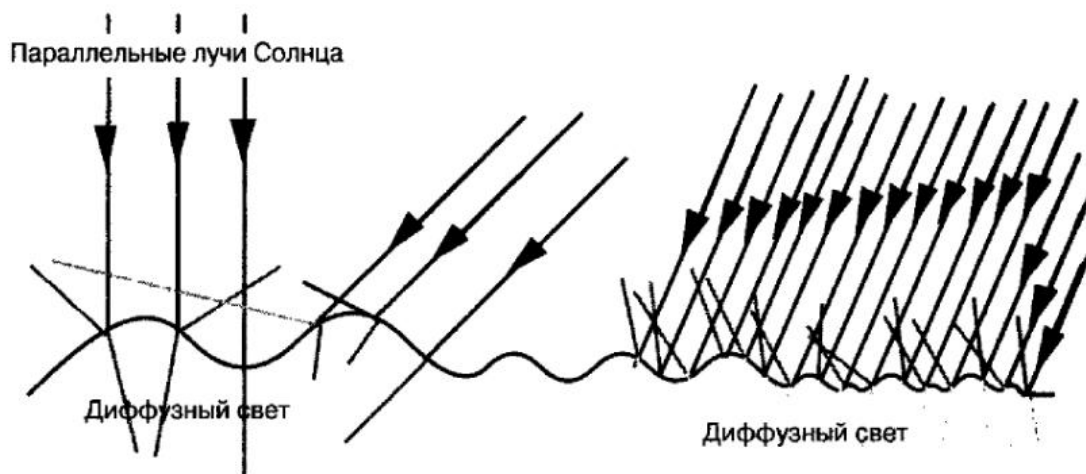
Переход света из атмосферы в воду

Если свет из атмосферы проникает в воду, то происходит фазовый переход. При этом он подвергается влиянию различных факторов.

Отражение: часть солнечного света отражается просто от водной поверхности; он не попадает к живым существам, находящимся под ней. Отражательная способность зависит от угла падения света, от показателя преломления воды и от состояния поверхности.

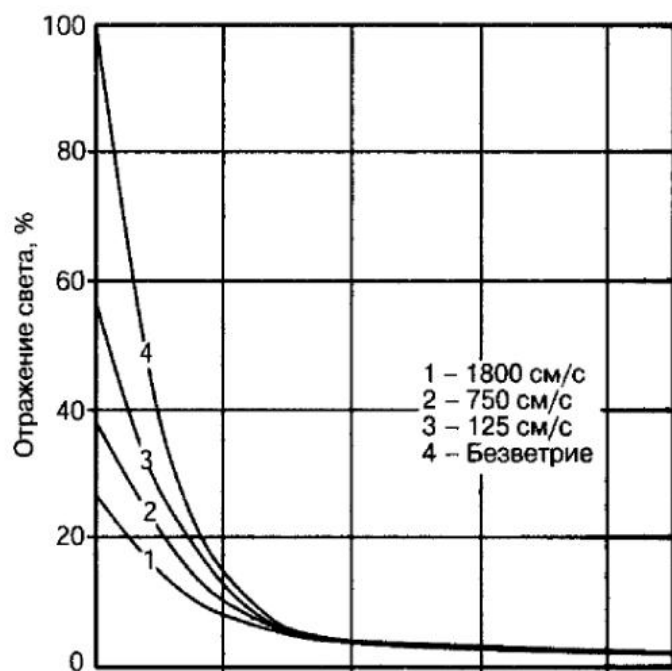
На угол падения влияет положение солнца и, следовательно, географические координаты, то есть угол зависит от

Переход света в воду в зависимости от угла падения



широты и времени. Эти два фактора являются константами, на которые живое существо может надежно рассчитывать. Таким образом, на экваторе при почти вертикальном освещении к полудню наблюдается незначительное отражение. В то время как к вечеру солнце низко расположено над водой, и очень большая часть света отражается от поверхности воды обратно в атмосферу. Очень важным является отражение света в широтах, которые расположены по обе стороны от экватора. Здесь, даже к полудню, Солнце излучает под углом к поверхности воды, так что уже при оптимальных условиях значительно меньше света может проникнуть в воду. Угол падения, который зависит от положения Солнца, подвержен также значительному влиянию волнения поверхности воды, причем это происходит не только при больших волнах, но также и при меньших, что не позволяет рассматривать море как доску. В зависимости от угла падения свет отражается сильнее или глубже проникает в воду. Так как угол падения для разных лучей различается как в воде, так и над водой, возникает рассеянный свет. Движение волн в первую очередь определяется ветром, поэтому отражательную способность поверхности воды измеряют в зависимости от высоты Солнца и скорости

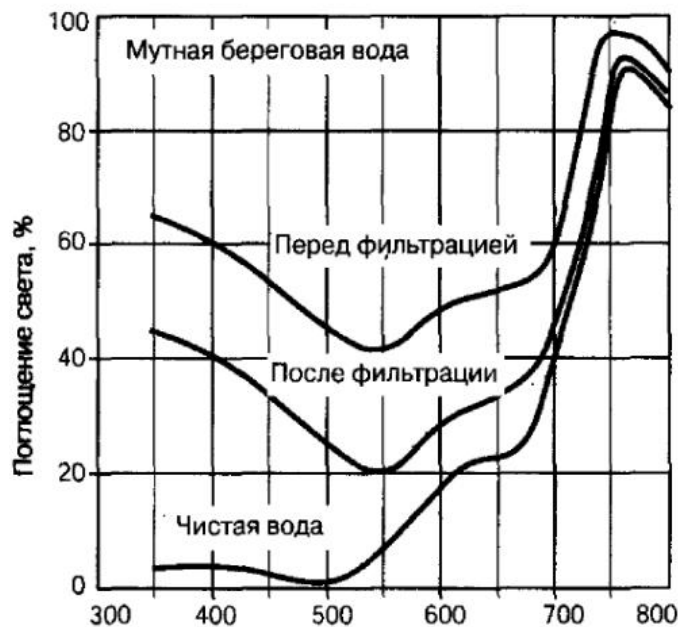
ветра. Это представлено в нижнем рисунке. При положении Солнца под углом менее 30° отражение находится в пределах 5%, и незначительно зависит от скорости ветра. При 15° оно возрастает, и также отчетливо возрастает влияние скорости ветра.



Отражательная способность водной поверхности зависит не только от положения Солнца, но и от силы ветра

Свет в воде

Если свет проник в воду, то его путь не останется неизменным. Прежде всего, содержащиеся в воде материалы оказывают на свет влияние. Если свет встретит в воде свободную частицу, то он может ею либо поглотиться, либо отразиться от нее. На практике наблюдаются, пожалуй, оба процесса одновременно. Часть света из-за рассеяния отклоняется от своего направления, в то время как другая часть поглощается частицами, переходя в тепловую энергию. Отражение и поглощение — это потери, которые обозначаются вместе как световое ослабление (также экстинкция). Если обозначить коэффициент поглощения через «а», а коэффициент отражения через «в», их сумму, коэффициент ослабления, обозначить через «с», то получится уравнение: $c = a + v$. Коэффициент ослабления света в воде значительно изменяется с изменением длины волны света.



Мутная береговая вода до и после фильтрации сильнее ослабляет свет, прежде всего в сине-зеленой области по сравнению с чистой водой

Приблизительно можно сказать, что свет может проникнуть тем глубже в воду, чем короче длина волны. Естественно, что кроме длины волны света значительную роль играют также другие факторы. Зависимость проникшей части света от длины волны показывает при оптимальных условиях нижняя кривая. Фактические соотношения в природе и, естественно, в аквариуме всегда хуже.

Рисунок рядом показывает сильное влияние частиц суспензии в воде на проникновение света. В то время как мутная вода ослабляет свет с длиной волны 400 нм примерно на 60%, в фильтрованной воде голубая область ослабляется только на 40%. При отсутствии суспензии ослабление света еще гораздо больше, чем в чистой воде, где оно составляет примерно 5%. Причина состоит в том, что свет поглощается не только частицами, но и растворенными веществами, которые не фильтруются. Это прежде всего гуминовые вещества, часто также желтые вещества, долговечные, трудно биологически разложимые продукты обмена веществ. О них говорится как о желтых веществах, так как они отражают желтый свет, в то время как длинноволновое излучение сильно поглощают. Из-за отраженного света вода приобретает слегка желтую окраску, которая, как было упомянуто, типична для прибрежной зоны морей и гуминовых зон рек. На приподнятых и шельфовых областях цвет заменяется на зеленый, затем на голубой тропических и субтропических морей.

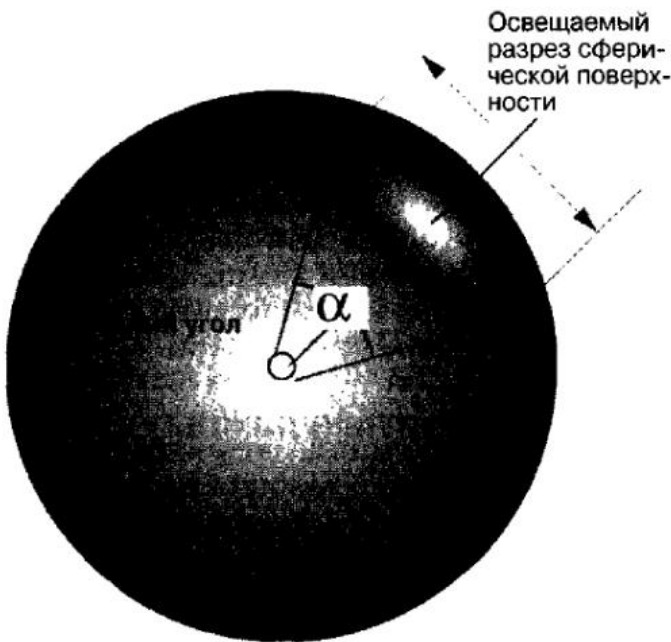
Кроме суспензий на поглощение света значительно влияет поверхность воды. В пресной воде водная поверхность является пространством для жизни. Это касается в основном плавающих и покрывающих растений, которые располагают свои листья по большой поверхности против солнца и таким образом большую часть водной поверхности затемняют. Но и в морской воде в приповерхностном слое находятся водоросли,

которые поглощают много световой энергии.

Распределение света зависит также от различных местных условий. Часто упоминаемый «голубой океан» типичен только для зоны очень чистых экологических ниш, в которых не происходит практически никакого обмена веществ. Они также присущи пустыням или ледниковым регионам гор. Поэтому темно-голубой цвет моря отмечают также как цвет чистой воды.

Единицы измерения света

Для обсуждения оптимального освещения важно понимание различных измеряемых величин. Яркость света измеряется в свечах (кд). Свеча определяется как сила света, создаваемая источником, работающим на длине волны 555 нм, посылающим свет в одном определенном направлении, сила излучения в котором составляет 1/683 Вт на телесный угол. Свет с длиной волны 555 нм наиболее чувствителен для глаза.



Представление телесного угла

Телесный угол в 1° , называемый также стерadian, соответствует телесному углу, который, как прямой конус с центром в середине сферы радиуса 1 м, вырезает из поверхности сферы площадь 1 м^2 .

Световой поток измеряется в люменах (лм). Один люмен равен световому потоку, который точечный источник света с силой света 1 свеча равномерно по всем направлениям излучает в телесный угол 1 стерadian.

Световой поток в люменах вычисляют умножением силы света, выраженной в свечах, на телесный угол, выраженный в стерadianах: $lm = cd \times sr$.

Яркость — характеристика, равная отношению силы света в определенном направлении к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную этому направлению, и измеряется в канделах на квадратный сантиметр: $кд/см^2$.

Освещенность измеряется в люксах. Один люкс (лк) соответствует освещенности 1 м^2 поверхности, на которой равномерно распределен световой поток в 1 люмен. $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм}/\text{м}^2$.

Мощность измеряется в ваттах, и до сегодняшнего дня является единственным критерием, определяющим силу лампы. При этом мощность, естественно, указывает только значение энергии, потребляемой лампой из электрической сети. Очень большая часть мощности затрачивается на тепловые потери. Последствия этого состоят в том, что тепловая часть энергии не переходит в свет и что мы в какой-то степени привносим теплоту в воду, где она нам часто не нужна.

Из вышенаписанного становится ясно, что очень важно обратить внимание на соотношение между световым потоком и потребляемой из сети мощностью. Это соотношение называется светопередачей. Чем выше при одинаковой потребляемой мощности световой поток, тем выше светопередача и тем ниже высвобожденное количество теплоты. Све-

Характеристики ламп фирмы «Osram»

	Мощность Вт	Световой поток лм	Светопередача лм/Вт
Стандартная лампа	40	430	10,75
Стандартная лампа	100	1380	13,80
люминесцентные, L 18/11 Дневного света L 18/11	18	1300	72,22
Дневного света ярко-белая L 36/21 ярко-белая	18	1450	80,56
L 58/21 ярко-белая	36	3450	95,83
HQL 50 Super de Luxe	58	5400	93,10
HQL 80 Super de Luxe	50	1600	32,00
HQL 125 Super de Luxe	80	3400	42,50
HQL 50 de Luxe	125	5700	45,60
HQL 125 de Luxe	50	2000	40,00
HQL 400 de Luxe	125	6500	52,00
HQL TS 70 WDL	400	24 000	60,00
HQL TS 150 WDL	75	5200	69,33
	150	12 000	80,00

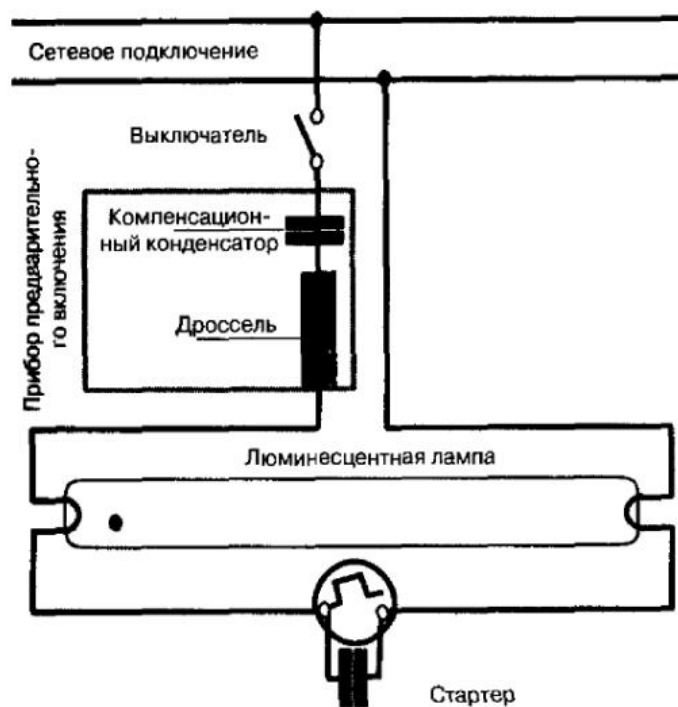


Схема включения люминесцентной лампы с прибором предварительного включения и стартером

топередача выражается в люменах на ватт. Таблица вверху показывает в связи с этим несколько примеров.

Типы ламп

Самые важные лампы в аквариумной технике — это люминесцентные, ртутные (HQL) и газоразрядные (HQI) лампы. Другие часто применяемые в осветительной технике лампы, такие как лампы накаливания и лампы смешанного света, находят в аквариумной технике только небольшое применение.

Люминесцентные лампы

Люминесцентные лампы наполнены смесью паров ртути и благородного газа под высоким давлением. Принцип их действия основан на том, что электрически возбуждаются атомы, находящиеся в газовом пространстве. Для работы лампы необходимы как пусковое устрой-

во, так и прибор предварительного включения. Стартер создает напряжение на электродах для включения лампы. Вскоре после разряда через лампу потечет очень большой ток, который может ее очень быстро разрушить.

Для ограничения этого тока необходим прибор предварительного включения. Прибор предварительного включения сам потребляет мощность, которая составляет обычно примерно 20% от мощности лампы. Для электронного прибора предварительного включения эта мощность составляет вообще 10%, т. е. совсем небольшую величину.

Возбужденные атомы газа излучают свет, в основном в ультрафиолетовой области. Только 2% выпадает на видимый свет. Примерно 60% идет в энергию излучения в ультрафиолетовой области. Остаток преобразуется в теплоту. Естественно, что лампа, которая светит только в ультрафиолете, для осветительных целей не пригодна. Поэтому внутренняя стенка осветительной трубки покрывается специальным составом, который через флюоресценцию превращает ультрафиолетовый свет в видимый свет без значительных потерь мощности. Нанесенный на внутреннюю стенку материал определяет в значительной степени цвет света лампы. Таким образом, можно создавать как теплый белый свет, соответствующий вечернему природному свету, так и бело-голубой свет, который соответствует дневному свету. В то время как внутри осветительной трубки находится ультрафиолетовый свет, во внешней ее области образуется желаемый свет.

Экономичность. Люминесцентные лампы в осветительной технике занимают ключевое место. Они вырабатывают примерно 70% света в Германии. Для этого требуется только 50% энергии, необходимой для освещения. Таким образом, они являются очень экономичной альтернативой обычным лампам накали-

вания. В то время как для светового потока 1300 лм необходима лампа накаливания с потребляемой мощностью 100 Вт, люминесцентная лампа может генерировать такой же поток при мощности 18 Вт. Она дает света в 5 раз больше! Это очень важно для любых областей применения и, естественно, для аквариума, так как при равных световых потоках требуются значительно меньшие расходы. Еще одно преимущество: меньшей потребляемой мощности соответствуют очень небольшие тепловые потери. Образование тепла от других ламп может, особенно в летние месяцы, привести к перегреву воды в аквариуме.

Имеются люминесцентные лампы различной длины; в основном 590, 1200, 1500 мм. В то время как старые лампы выпускались с диаметром 38 мм, сегодня на рынке можно найти лампы с диаметром от 26 мм. Они отличаются высококачественным люминофором, максимумы излучения расположены в красной, голубой и зеленой областях. Эти трубки создают световой поток примерно в 1,4 раза больший, чем старые 31-миллиметровые.

Крепление. Исходя из конструкции и незначительной яркости, которая должна быть между 0,5 и 1 свечой на см², люминесцентные лампы должны устанавливаться, как правило, близко к поверхности воды. Известны конструкции ламп, при которых люминофорная трубка монтируется в крышку аквариума. В связи с этим лампы очень часто попадают в область движущейся поверхности воды. Необходимо защитить лампу от контакта с водой, так как может возникнуть короткое замыкание или, в лучшем случае, лампа просто сломается из-за коррозии. Критическая ситуация особенно вероятна в морской воде. Кроме того, желательно, особенно для больших установок и больших аквариумов, оставить поверхность свободной для возможных работ.

Регуляция освещенности. В то время как простые лампы накаливания могут регулироваться так называемым диммером, такой способ регулировки не годится для люминесцентных ламп, так как им необходимо постоянное напряжение. Люминесцентные лампы регулируются посредством фазового регулятора. При этом речь идет о безубыточном управлении мощностью, устройством, которое можно купить в торговой сети.

Выбор цвета освещения. Цвет освещения принадлежит, вероятно, к любимым темам аквариумистов.

Для того чтобы получить информацию о популярности более чем ста аквариумных ламп, изготовителями и спецторговцами был проведен тест на цвет освещения, который привел к поразительным результатам. Были испытаны люминесцентные лампы со следующими цветами освещения: дневной белый свет, нейтральный белый и теплый белый. При этом выяснилось, что, как в области пресной воды, так и в области морской воды 43–48% аквариумистов предпочи-

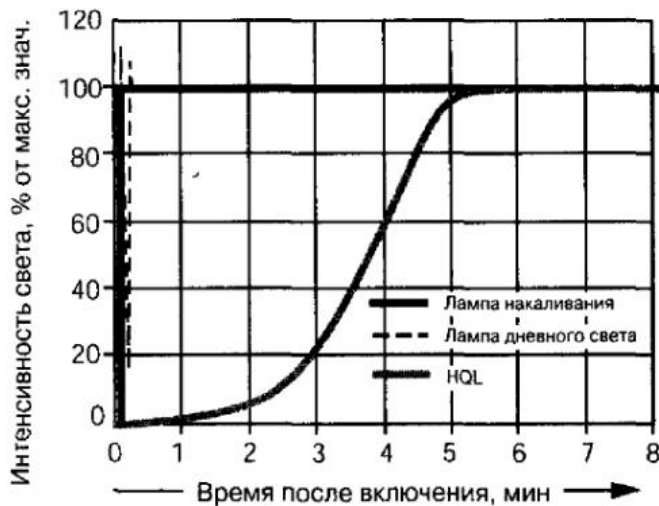
тают нейтральный белый, 35–37% — дневной белый цвет. У торговцев это соотношение выглядит немного иначе. Нейтральный белый в пресной воде предпочитают 42%. Напротив, 44% торговцев предпочитают дневной белый цвет в морской воде. Теплый белый цвет у люминесцентных ламп выбирается менее охотно. Вне этой конкуренции можно рассматривать цвет Fluora, который особенно применим для роста растений, так как распределение спектра света этой лампы оптимально настроено на спектр абсорбции фотосинтеза. Итак, цвет, прежде всего, интересен для аквариумов с растениями. Этим объясняется то, что по применению эта лампа стоит между третьим и четвертым местом в пресных водах.

Лампа высокого давления с парами ртути (HQL)

В то время как лампы дневного света заполнены разреженным газом, в HQL-лампах давление близко к атмосферному. Колба лампы заполнена инертным газом

Субъективное восприятие различных окрасок цвета люминесцентных ламп

среди аквариумистов				среди спецторговцев			
Морская вода				Пресная вода			
N п/п	Окраска	хорошо	хуже	N п/п	Окраска	хорошо	хуже
1	нейтр белый (21)	48	15	1	нейтр белый (21)	43	19
2	дневн белый (11)	37	26	2	дневн. белый (11)	35	26
3	тепл белый (41)	29	32	3	дневной	34	27
				4	тепл. белый (41)	27	34
Морская вода				Пресная вода			
N п/п	Окраска	хорошо	хуже	N п/п	Окраска	хорошо	хуже
1	дневн белый (11)	44	9	1	нейтр. белый (21)	42	11
2	нейтр белый (21)	35	18	2	тепл белый (41)	34	19
3	тепл белый (41)	29	24	3	дневн белый (11)	31	22
				4	дневной	30	23

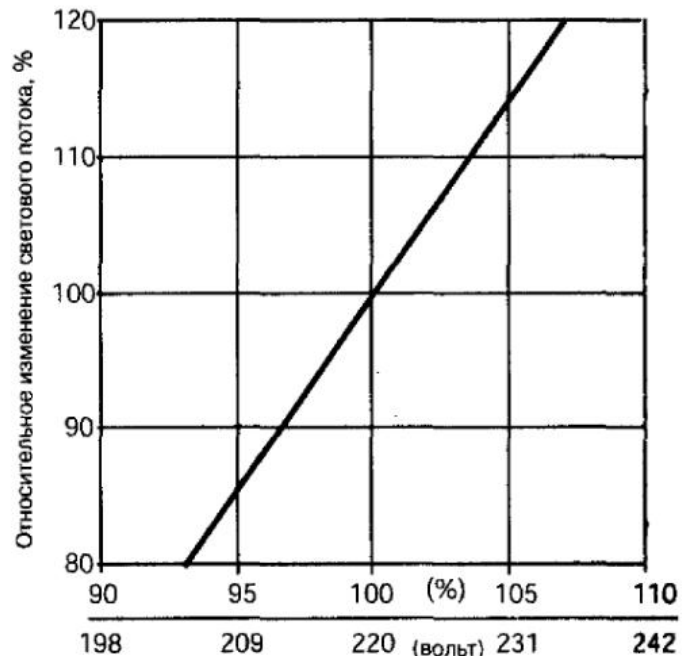


Только спустя несколько минут после включения достигает HQL-лампа своей полной световой интенсивности

и, кроме того, содержит каплю ртути. После включения лампы сначала происходит разряд через инертный газ. Это зажигание поддерживается встроенными вспомогательными электродами. В этой конструкции не используется стартер.

Начальный разряд нагревает все внутреннее пространство колбы, что приводит к тому, что со временем испаряется все больше ртути и растет газовый разряд. Испарившаяся ртуть так поднимает электрический ток, что может быть вскоре разрушена. Поэтому для таких ламп необходим пусковой механизм, который по очереди работает с лампой. Если HQL-лампа включается, то она показывает совсем другой характер начального рабочего режима, чем лампа накаливания или лампа дневного света. В то время как лампа накаливания дает полную мощность света сразу после включения, люминесцентная лампа — после короткого мерцания, то HQL-лампам необходимо от трех до пяти минут, чтобы они достигли полной мощности. Если HQL-лампу отключили, даже на короткое время, она не может быть включена сразу же. Из-за высокой температуры

после включения держится относительно высокое давление, которое уменьшается по мере охлаждения. Только когда через 5—10 минут давление и температура достигнут нормальных величин, лампа может опять включиться. Так как HQL-лампы работают в основном в ультрафиолетовой области, здесь также необходимо внутреннее покрытие колбы. Без него излучатели создают бело-голубой свет, который не подходит для аквариума. Нанесение покрытия (ванадат натрия) дополняет световой спектр преимущественно в красной области. Световой спектр HQL-ламп отличается тем не менее тем, что дает высокие пиковые значения в определенных спектральных областях, в то время как другие спектральные области почти совершенно выпадают. При 400, 600, и 700 нм излучается особенно много света, в то время как между 450 и 550, а также между 650 и 700 — совсем немного. На этом основании можно констатировать, что эти лампы не дают оптимального света для аквариума.



HQL-лампа очень зависима от сетевого напряжения

Свет



HQI-лампа включается гораздо быстрее, чем HQL-лампа

Галогенная лампа с парами металла (HQI) — газоразрядная

Как уже описано выше, HQL-лампа несмотря на свои хорошие технические свойства, имеет большой недостаток для аквариумистики, заключающийся в том, что она не дает широкого распределением спектра.

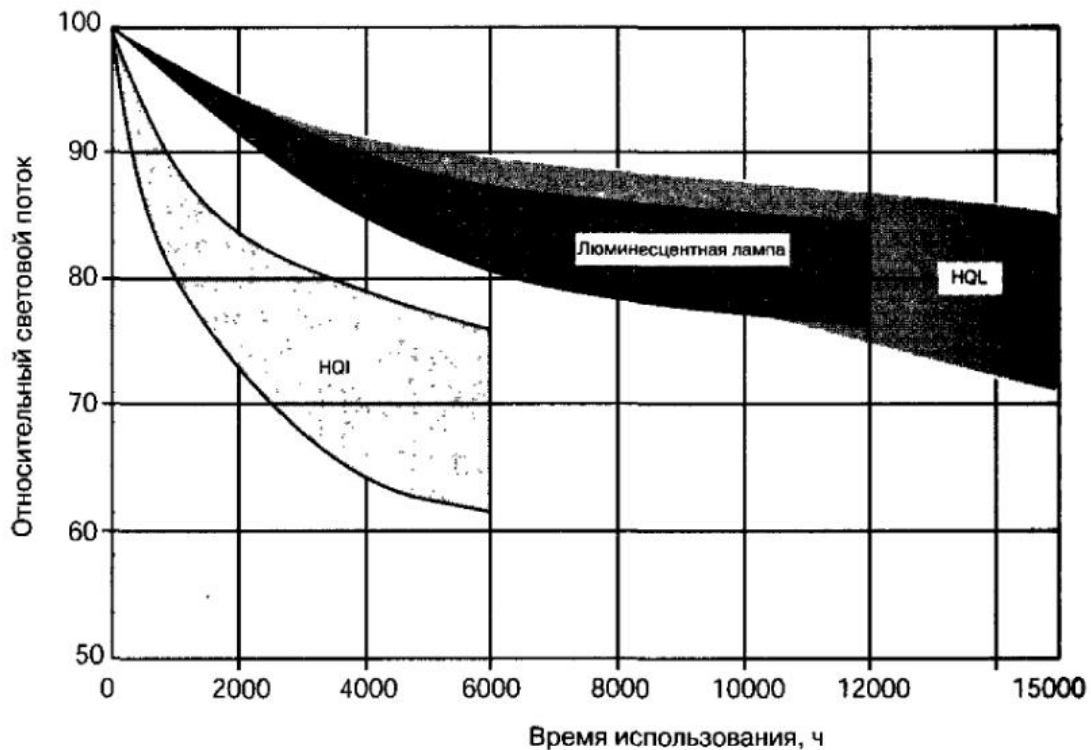
Это было одной из существенных причин дальнейшего усовершенствования лампы. Развитие привело наконец к HQI-лампе. Как говорит название, галогенированные соединения металлов различных видов характеризуются лучшим распределением спектра. Так, таллий дает улучшенное излучение в зеленой области, натрий — в желтой, литий — в красной, индий — в синей области. Далее следуют диспрозий, тулий, гольмий, которые дают излучение в различных спектрах. В то время как HQL-лампа имеет встроенный управляющий электрод, HQI-лампа используется с отдельным зажигающим устройством. Как показывает расположенный выше рисунок, HQI-лампы запускаются значительно быстрее, чем HQL-лампы. Они достигают светового максимума уже через три минуты, в то время как HQL-лампам

требуется 5 минут. Если HQI-лампы выключаются, они должны сначала охладиться, прежде чем их опять можно включать. К тому же для этого им необходимо до 20 минут. Это имеет значение даже в том случае, если электроснабжение было нарушено на доли секунды. HQI-лампы очень зависимы от напряжения в сети: колебания напряжения не должны превышать $\pm 5\%$. Как показывает рисунок на стр. 165, изменения световых потоков значительны. Если сетевое напряжение поднимается на 5%, то световые потоки поднимаются уже на 15% и наоборот, световой поток уменьшается на 15%, при падении напряжения в сети на 5%. Колебания в сети могут сильно отличаться по регионам, и об этом нужно договариваться с электриками. Если колебания напряжения составляют более чем $\pm 5\%$, то получаются самые разные отклонения в цвете, и это, конечно, может повлиять на длительность жизни животных. Кроме колебания напряжения в электросети, колебания в цвете могут быть вызваны старением лампы. При сравнении различных ламп колебания цвета возможны из-за различия световой и электрической мощности, различных производителей, других конструкций и из-за различных разрядных устройств. Только при равном напряжении лампы могут давать равную мощность. Даже в одном месте разница в сетевом напряжении может быть значительна.

Время активного горения

Часы	Час/день	Дни	Годы
8000	2	4000	10,96
8000	4	2000	5,48
8000	6	1333	3,65
8000	8	1000	2,74
8000	12	667	1,83
8000	24	333	0,91

Со временем уменьшается мощность ламп различного типа

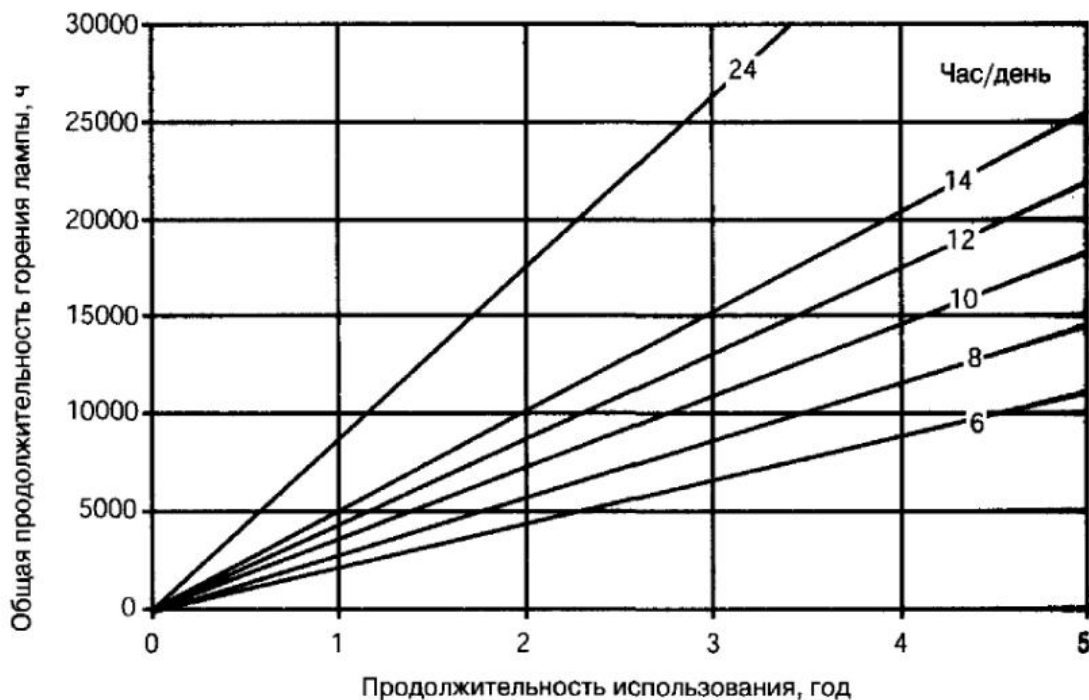


Срок службы различных ламп

Срок службы ламп является важной характеристикой. У различных видов ламп имеются совершенно разные сроки службы.

Срок службы люминесцентной лампы составляет около 7500 часов, за это время она, (рисунок на стр. 167) потеряет примерно 20% светового потока.

Срок службы зависит от частоты использования



Похожим образом ведет себя HQI-лампа. Ее время службы исчисляется 9000 часами, т.е. ненамного длиннее. За это время ее световой поток падает на 20%. Совсем другая картина у HQI-излучателей. Их срок службы составляет примерно 6000 часов. За это время их световой поток падает на 30%. Это означает, что аквариумист при очевидном преимуществе HQI-ламп в распределении света должен достаточно часто их менять. Этот недостаток можно устранить тем, что вначале излучатель подвешивают достаточно высоко, а позднее ближе к уровню воды. Для этого можно также общую интенсивность света распределить на различные типы ламп.

Таким образом, при освещении можно пользоваться люминесцентными лампами и дополнительно подключить HQI-излучатель. Целесообразно также утром и в сумерки включать люминесцентные лампы, а днем — HQI-излучатели. Таким образом можно избежать воздействия внезапного изменения интенсивности света на животных. Итак, HQI-излучатели, которые светят только 10 часов и имеют срок службы 6000 часов, прослужат полтора года, как люминесцентная лампа, которая ежедневно горит 12 часов, а ее срок свечения 7500 часов (см. диаграмму на стр. 167). Если лампы, все равно какого типа достигли срока службы, их следует заменить, т.к. может значительно измениться распределение света, которое человеческий глаз не замечает.

Ультрафиолетовый свет

Ультрафиолетовое излучение (УФ) является частью области света, которая находится ниже границы видимости. Между 100 и 300 нм лежат три области:

УФ-А, УФ-В, УФ-С.

Ультрафиолетовый свет является особенно коротковолновым излучением. Эти короткие волны соответствуют области, в которой они на основе своей вол-

новой структуры могут оказывать влияние на длинные молекулярные цепи. Белковые молекулы особенно чувствительны по отношению к УФ-лучам. Это стало известно людям, с тех пор как установили взаимосвязь между УФ-излучением (озоновые дыры) и раком кожи. Вред, наносимый нашей коже, сравним с ущербом клеточной мембране от бактерий и вирусов. УФ-лучи являются следовательно средством для обеззараживания. Расположенный ниже рисунок показывает типичный УФ-излучатель. Он состоит из обычной люминесцентной лампы, у которой для получения визуального света на внутренней поверхности нанесен необходимый слой люминофора.

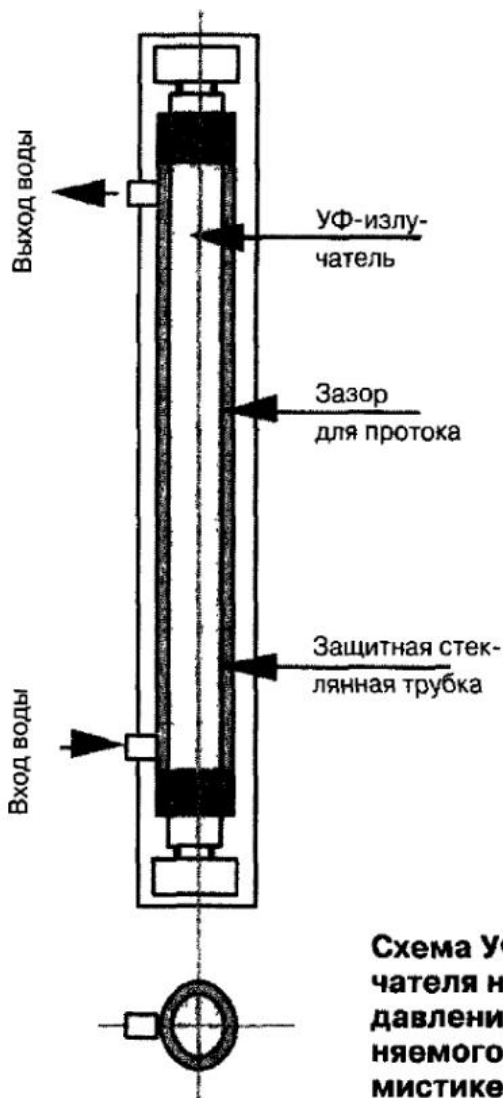


Схема УФ-излучателя низкого давления, применяемого в аквариумистике

КПД УФ-ламп низкого давления

Потребляемая мощность Вт	УФ-мощность Вт	КПД %	Длительность свечения ч	Количество воды при 90% стерилизации л/ч
8	1,4	17,5	3000	
10	1,9	19,0	8000	300
15	3,6	24,0	8000	450
30	9,0	30,0	8000	950
36	14,0	38,9	8000	2000

Вследствие этого первоначально полученный УФ-свет проникает наружу. Сами излучатели закрыты защитной трубкой, которая выполняет две функции:

1. На выходе излучатель загерметизирован по отношению к защитной трубе соответствующим герметиком (например, силиконовым каучуком). Вследствие этого между излучателем и защитной трубкой образуется зазор, через который проводится обрабатываемая вода.
2. Защитная труба выбрана из материала, который не позволяет УФ-свету проникнуть наружу. Это особенно важно в целях безопасности для человека.

Принцип действия УФ-света

Как уже упоминалось выше, УФ-свет обладает обеззараживающим эффектом. Это относится и к воде, которая находится в кольцевом зазоре. Эффект этот не

оказывает никакого влияния на остальной цикл воды, следовательно, возбудители болезни, находящиеся в аквариуме, не будут убиты. Однако, если содержимое аквариума неоднократно проводить через ультрафиолетовую лампу, то большой процент возбудителей болезни будет убит. Конечно, в аквариуме остаются скопления бактерий, которых это не касается. Для оптимального КПД ультрафиолетовой лампы важно, чтобы кольцевой зазор был по возможности небольшим. Ультрафиолетовый слой поглощается водой, но, прежде всего, абсорбируется веществами находящимися в воде. Наиболее интенсивно всего ультрафиолетовый свет поглощается мутной водой. Если обрабатывается слегка желтая вода, то большая часть ультрафиолетовых лучей не способна к обеззараживающему действию. Необходимо также следить за тем, чтобы поверхность ультрафиолетовых излучателей со стороны воды оставалась чистой.

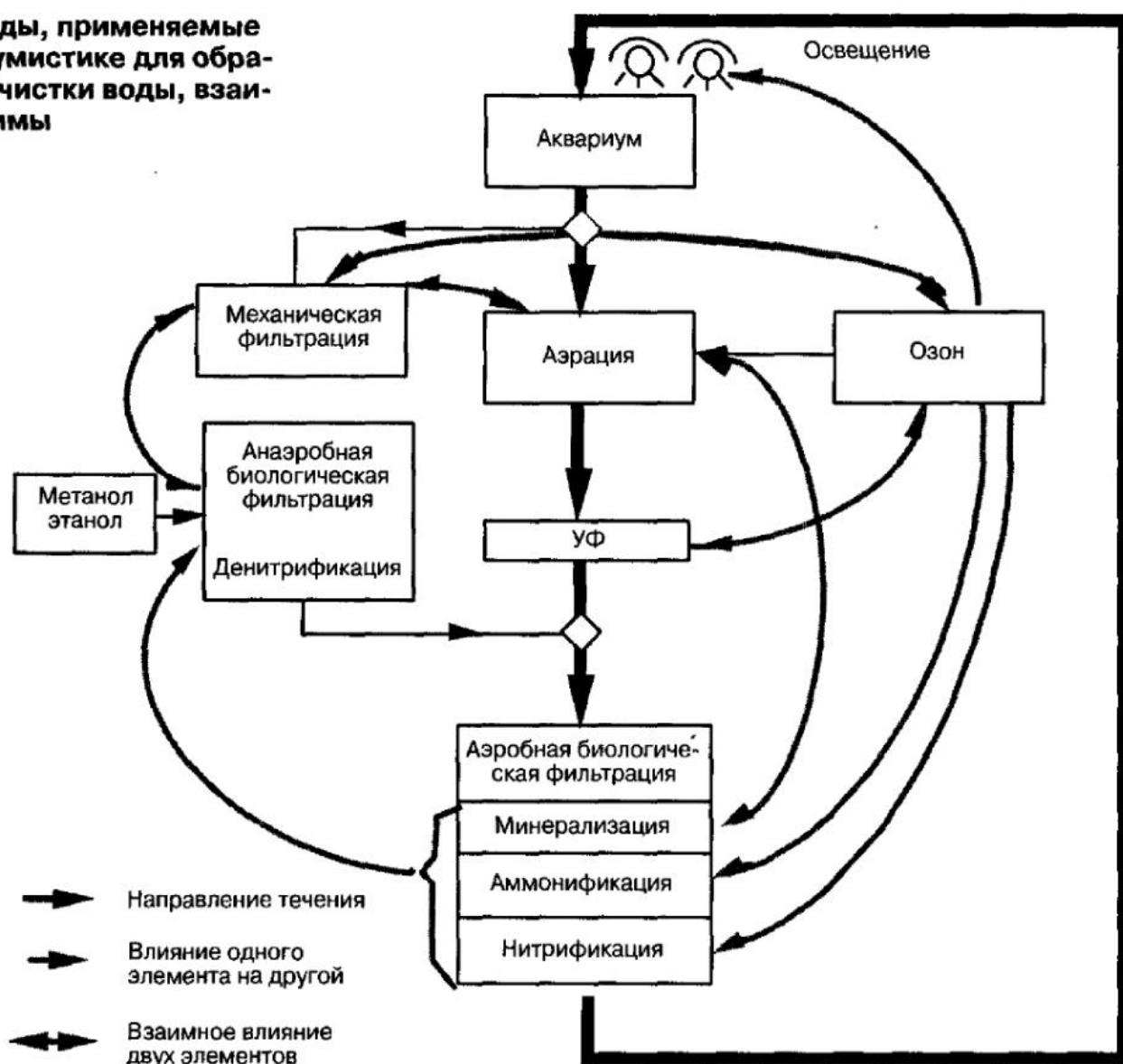
Взаимодействие различных фильтровальных систем

Важнейшими элементами водоподготовки в аквариумной технике для морской воды является вспенивание, биологическое фильтрование (нитрификация и денитрификация), механическое фильтрование, обработка озоном и ультрафиолетом. Мы познакомились с раз-

личными фильтровальными системами и их принципами действия, но что произойдет, если скомбинировать различные методы?

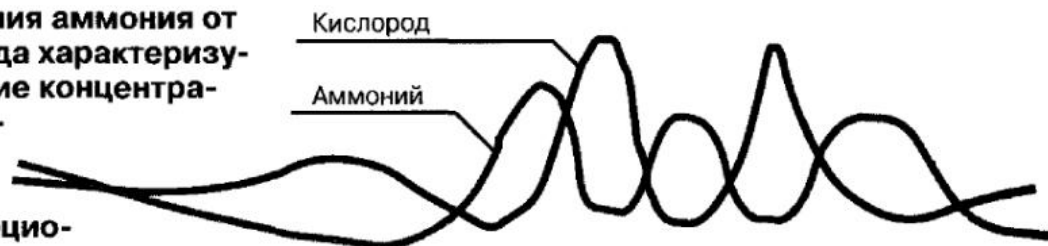
Находящийся внизу рисунок показывает основные взаимодействия между различными фильтровальными элемен-

Все методы, применяемые в аквариумистике для обработки и очистки воды, взаимозависимы



Взаимодействие между флотатором и биологическим фильтром

Зависимость окисления аммония от содержания кислорода характеризуется тем, что снижение концентрации кислорода связано с увеличением концентрации аммония в обратно пропорциональной зависимости



тами. Все факторы в аквариуме оказывают влияние друг на друга, и для нас принципиально важно понимать эти отношения, т.к. мы только лишь тогда сможем использовать аквариум как систему; с другой стороны мы никогда полностью не осмыслим эти взаимодействия

Если изготовитель соли пропустил важный микроэлемент, то его отсутствие может оказывать отрицательное влияние на беспозвоночных и на бактерий в фильтре. Если дом отапливается с помощью теплого пола, а не с помощью нагревательного элемента, то температурный профиль в аквариуме может меняться. Сильное задымление от камина, сигареты, сигары и курения трубки может внести в воду диоксин или никотин и оказать отрицательное влияние на биосистему. Многие обстоятельства зависят от самых незначительных воздействий, о которых мы едва догадываемся. Поэтому в современной фильтровальной технике эти часто противоположные влияния и зависимости так долго не рассматривались. Однако, для планирования аквариума, а также для целенаправленного вмешательства в неудовлетворительно работающую систему нужно понимать суть основных взаимодействий.

Взаимодействие между флотатором и биологическим фильтром

Вспениватель (аэратор) удаляет не только загрязнения и ядовитые вещества, а насыщает воду кислородом, который

жизненно необходим как для водных обитателей, так и для полезных культур бактерий. Важнейшая бактериальная фаза для наших аквариумов — аэробная, при этом речь идет о нитрифицирующих бактериях, которые в воде, обогащенной кислородом, окисляют аммоний и нитриты до относительно безопасных нитратов. Вспениватель (аэратор) с помощью равномерной подачи кислорода гарантирует важнейшую основу жизни. На верхней диаграмме представлена зависимость окисления аммония от содержания кислорода. Низкая концентрация кислорода всегда связана с медленным разложением аммония. В связи с этим возникает пиковая концентрация аммония. Если подача кислорода интенсифицируется и вследствие этого повышается содержание растворимого кислорода, то увеличивается активность аммонийокисляющих бактерий и высокие концентрации аммония относительно быстро снижаются. Потребность в кислороде для оптимальной нитрификации составляет 3 мг/литр. Это представляется достаточно низким уровнем, т.к. в аэрируемой аквариумной воде значение чаще всего находится вблизи границы насыщения, но следует отметить, что в области фильтра содержание кислорода в направлении потока снижается, т.к. бактерии непрерывно его поглощают. Речь идет о погруженном или так называемом мокром биофильтре: окислительно-восстановительный потенциал на входе в фильтр еще достаточно высок, но затем непрерывно снижается. Т.к. бактерии в погруженном биофильтре могут

Взаимодействие различных фильтровальных систем

пользоваться только растворенным кислородом, то в морской воде по возможности должен использоваться пенообразователь, а в пресной воде — кислородный реактор.

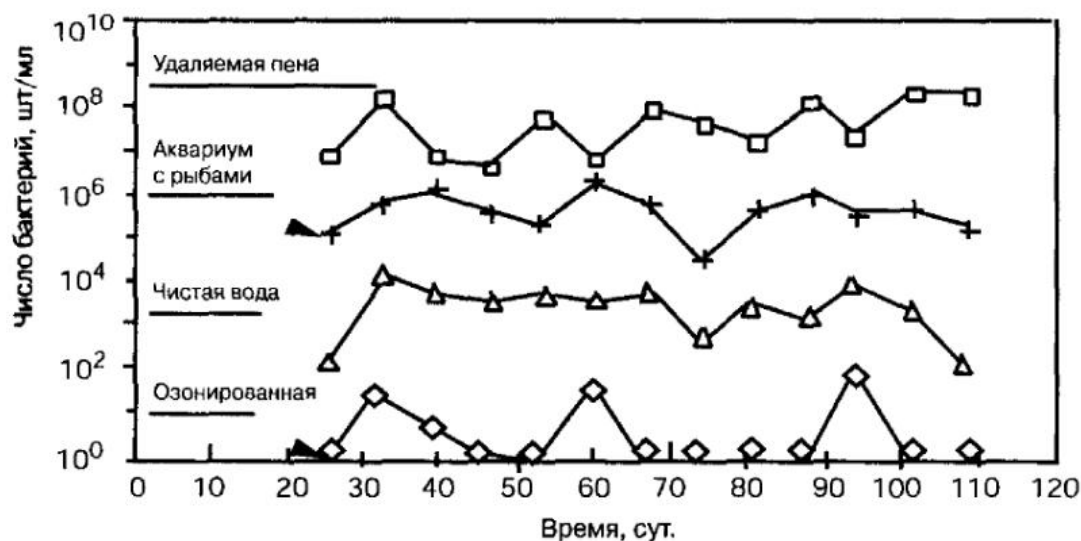
Бактерии со своей стороны образуют продукты обмена веществ, которые поступают в воду. Это прежде всего — промежуточные ступени минерализации, т.е. биологическое разложение органической субстанции на конечные минеральные продукты, такие как фосфат, CO_2 и соединения азота. Пенообразователь (азратор) поглощает эти продукты обмена веществ и выводит их из цикла. Взаимная функциональная поддержка очевидна, если вспениватель подсоединяют к неживой воде или для сравнения подсоединяют к воде с вредными бактериями. Вспениватель на биологически отфильтрованной воде работает существенно интенсивнее. На этой основе можно объяснить эффект того, что в комбинированной системе, состоящей из ступени аэробного разложения и вспенивания, значение концентрации нитратов медленно, но постоянно снижается. Конечно, аэробные бактерии не могут разлагать нитраты. Аэробные бактерии и вспенивание могут взаимодействовать так, что большая часть органической

субстанции удаляется из цикла до стадии нитрификации и, конечно, до образования нитратов.

Влияние флотации на содержание микроорганизмов

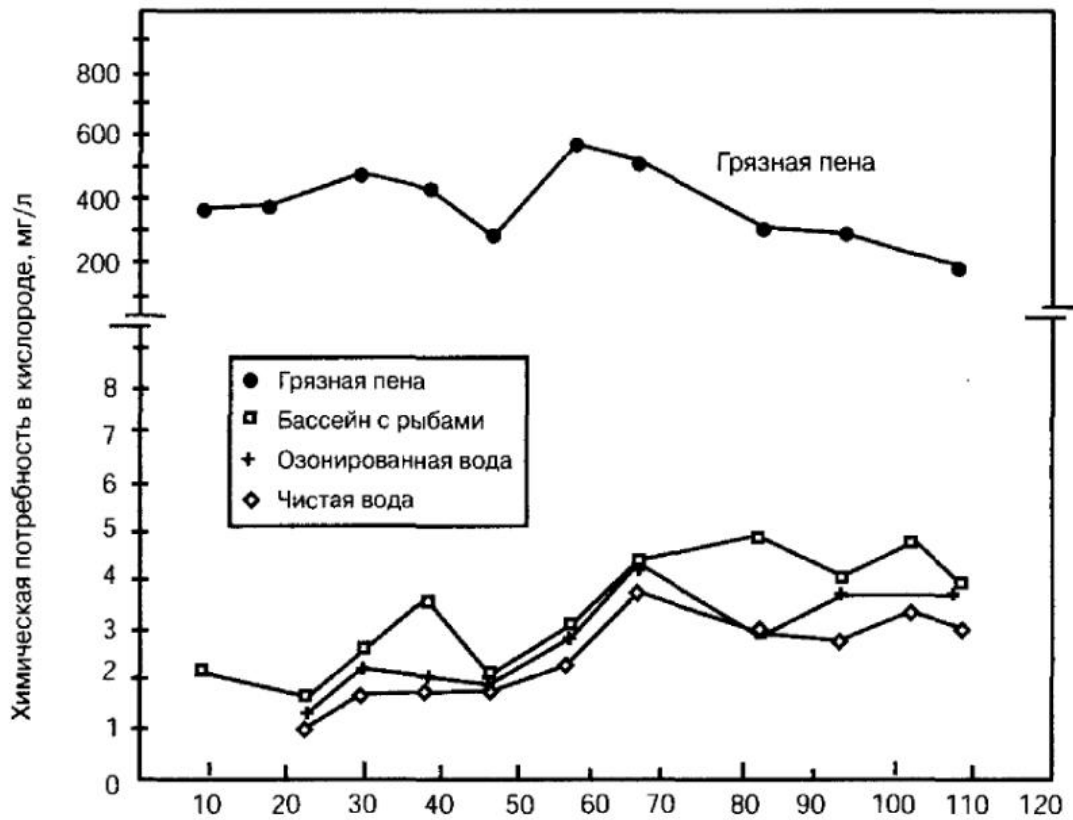
Диаграмма (стр. 172) показывает число микроорганизмов в различных точках системы водоподготовки, которая состоит из озонатора, механического фильтра и пенообразователя.

Интересно, что в пене обнаруживается самое высокое количество микробов, что доказывает удивительный факт, что вспениватель удаляет микробы. Действие это может объясняться тем, что микробы растут на мелких частицах, распределенных в воде. Если последние удаляются затем вспенивателем, то одновременно из воды выносятся и болезнетворные микробы. Вместе с тем, конечно, нельзя рассматривать вспениватель (азратор) как активный, убивающий микробов элемент, напротив, становится понятным, что после стадии озонирования количество микробов восстанавливается. В этом при-



Число бактерий в разных точках установки, состоящей из механического фильтра, озонатора и азратора в сравнении с бассейном с рыбками. Высокое содержание бактерий в пене подчеркивает действие, направленное на снижение бактерий у азратора

Взаимное влияние озона и света



Значение химической потребности в кислороде в аэраторе в сто раз выше, чем в других частях установки. Можно догадываться о том, какое количество органических веществ удаляется аэратором

мере озонирование и вспенивание расположены как отдельные элементы системы.

Влияния флотации на значение ХПК

Разложение ХПК в фильтровальном элементе трудно контролировать, т. к. все фильтрованные элементы находятся в цикле и установлены так, что разложение происходит непрерывно и не в одном потоке. Отделенная от флотатора пена с загрязнениями собирается за определенное время в резервуаре.

В то время как значения химической потребности в кислороде в аквариуме после озонирования и на выходе фильтровальной установки отличаются незначительно, значение этого показателя

в пене фактически в сто раз выше. Это показывает какое участие принимает вспениватель (флотатор) при разложении прежде всего органической субстанции. Некоторые измерения значений в пене показали даже значения между 2000 и 4000.

Взаимное влияние озона и света

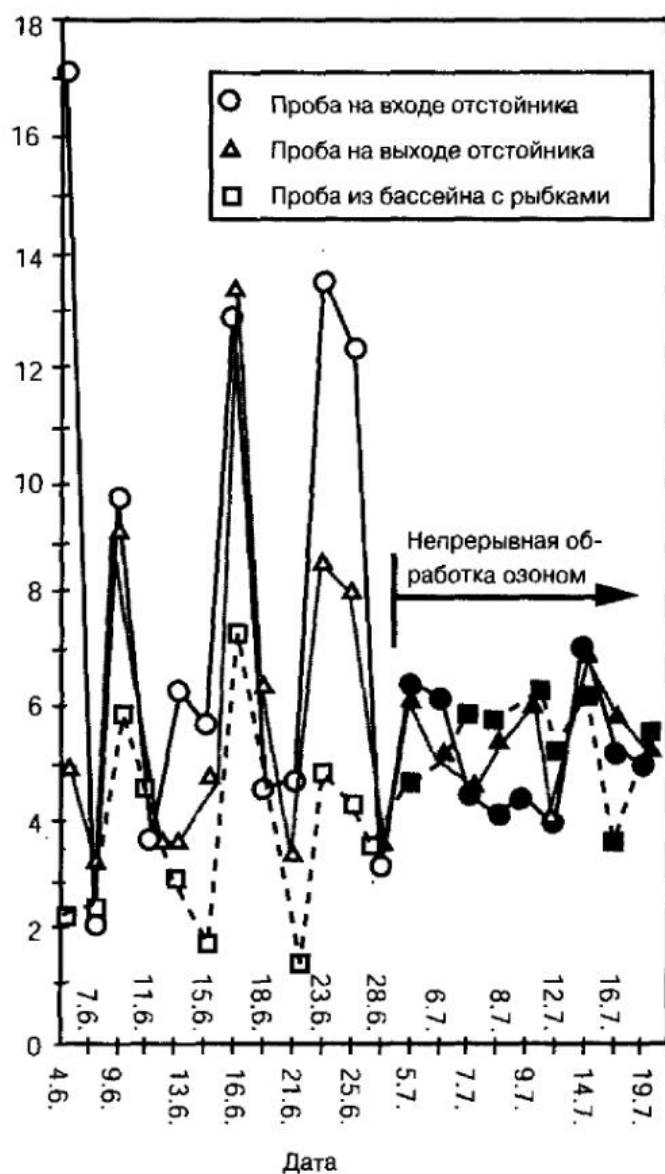
В главе об озоне уже уделялось внимание окислению желтых веществ посредством озона. Желтые вещества получили свое название из-за того, что они придают воде желтые оттенки. Удаление желтых веществ озоном наряду с разложением органических веществ имеет также эстетический эффект. Чистая вода придает жизни в воде совсем другую значимость.

Кроме того, желтые вещества могут действовать на рыбу как стрессовый фактор. Особенно это касается обитателей тропического моря, которые в природе живут в оптически чистой воде. Беспозвоночные, водоросли, водные растения в большой мере зависят от того, насколько хорошо они снабжены светом.

С помощью озона можно получить кристально-чистую воду, и поэтому свет, направленный от лампы на водную поверхность в этом случае, может проникнуть в глубокие слои аквариума. После обработки озоном значительно снижается экстинция, а это означает, что меньше задерживается света и соответственно больше его поступает в распоряжение обитателей воды.

Озон и биологическая фильтрация

Как указывалось в главе об озоне, определенные органические соединения, которые вначале не разлагаются биологическим путем, после окисления озоном могут разлагаться в подключенном биофильтре. Положительное влияние озона на биологическую фильтрацию становится понятным из расположенной рядом диаграммы. В трех различных точках системы измерены значения БПК, а именно перед снятием фильтра, после снятия фильтра и в рыбном аквариуме. Перед обработкой озоном установилась очень большая разница между отдельными точками. Далее создавали экстремальные отклонения. Внезапные напряжения, действующие отрицательно на рыбную экосистему, признак того, что система не находится в равновесии. При включении обработки озоном пиковые значения тотчас смягчались. Органические нагрузки с одной стороны посредством озона, с другой стороны посредством бактериального разложения протекали успешнее. Вода возвращается при этом к необходимому качеству, и животные не



Биологическая насыщенность кислородом в системе с биологическим фильтром показывает положительное влияние озонирования

подвергаются внезапным колебаниям условий среды. Это очень важно, так как животные не могут реагировать на внезапные колебания медленным выравниванием обмена веществ. Часто аквариумисты опасаются, что биологическая фильтрация с добавлением озонирования могла бы убивать нитрифицирующих бактерий на фильтровальном материале. Опыт показывает противоположное.

Хюкштедт в 1960 г. написал: «Нужно было бы еще обсудить, в какой мере озонирование и биологическая деятельность бактерий могут существовать вместе. Опасение того, что озон может убивать не только вредные, но и необходимые бактерии (например, нитрифицирующие) совсем не очевидно. Они совершенно необоснованны. Если бактерии не свободны в воде, а держатся по большей части на дне грунта или на водорослях, они растут быстрее, чем умирают».

Очень вероятны оба случая. В действительности нитрифицирующие бактерии, если они будут иметься, без озона могут умирать легче, чем с озоном. Нет опасности, что озоном мы можем истребить бактерии на фильтре. Для этого важны два обстоятельства. Первое — то, что в аквариумной технике работают только с небольшими количествами озона. Второе — нитрифицирующие бактерии защищаются также тем, что они живут глубоко в питательном субстрате и окружены оболочкой из органических веществ. Если же озон достигает бактерий, то они медленно поглощают озон! Кроме того, совершенно ясно, что озон создает аэробные условия в воде, так что возможные, имевшиеся перед этим анаэробные зоны благодаря повышению с помощью озона окислительно-восстановительного потенциала опять медленно превращаются в аэробные зоны.

Ультрафиолетовый свет и озон

Следует прежде всего понимать, что достаточно применять или озон, или УФ-свет. Фактически оба метода обработки совсем по-разному действуют на воду, как это показано в вышерасположенной таблице. В то время как применение УФ ограничивается в основном удалением микробов в потоке установки, озон имеет очень широкий спектр действия. Однако нельзя сказать, что озон смог бы полностью за-

Сравнение эффектов озона и УФ

Эффект	УФ	озон:
Дезинфекция в реакционном сосуде	+	+
Дезинфекция в аквариумной воде	-	+
Разложение органических веществ	-	+
Разложение нитритов	-	+
Разложение аммония/аммиака	-	+
Благоприятное влияние на бактерий на фильтре	-	+
Специальные продукты, такие как органические кислоты или органические пероксиды	-	+

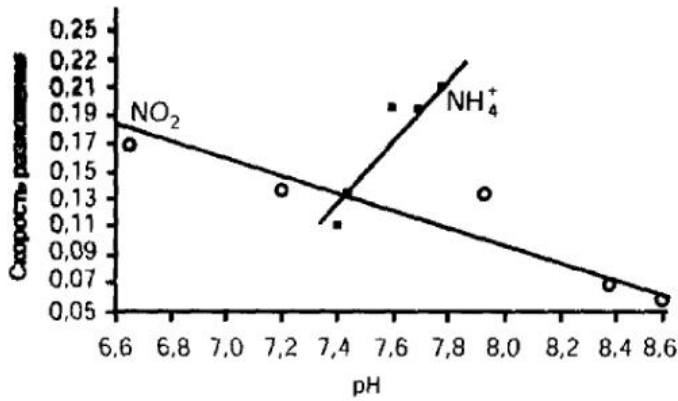
менить УФ-обработку. Как показывают последние исследования, существуют особые соединения, которые могут полностью разлагаться только совместным воздействием озона и фотохимической обработки. Следует упомянуть еще один аспект. Ультрафиолетовое облучение действует непосредственно на молекулу озона. Положение третьего атома кислорода в молекулярной группе очень нестабильно. Если молекула озона облучается УФ-светом, она очень быстро распадается, причем образуется атомарный кислород.

Но последний не может долго существовать один, и тотчас вступает в реакции, большей частью с органическими веществами, окисляя их. Если облучение ультрафиолетом подключают после озонирования, то происходит очень интенсивная реакция; озон разлагается одновременно с УФ-облучением.

Влияние озона на механическую фильтрацию

На определенные вещества озон оказывает хлопьеосаждающее действие, так что вещества, которые не были отфильтрованы и после озонирования могут задерживаться на механическом фильтре.

Взаимодействие различных фильтровальных систем



Окисление аммония и нитритов при различных значениях pH

Взаимодействие между аммонификацией и нитрификацией

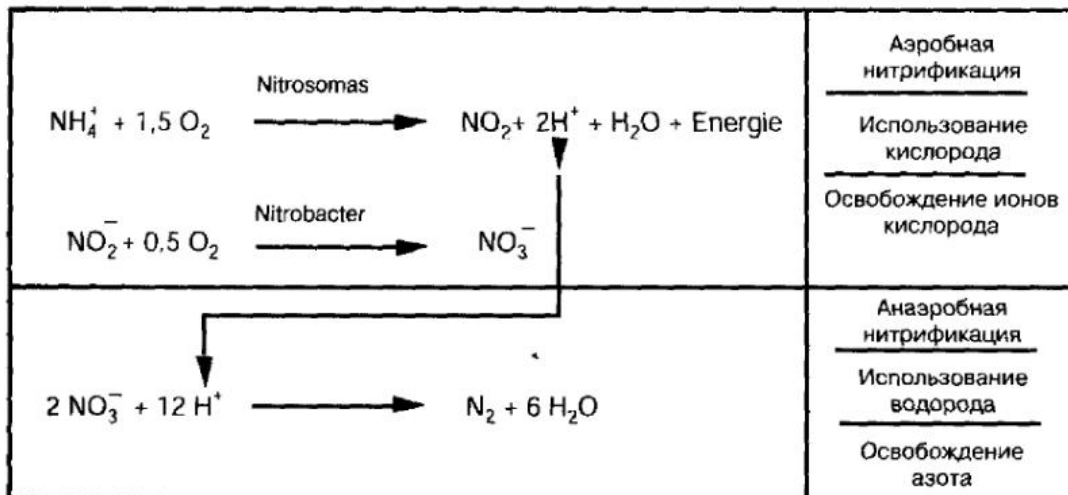
Окисление аммония до нитритов с помощью *Nitrosomonas* гораздо сильнее подвержено влиянию pH, чем окисление нитритов до нитратов с помощью *Nitrobacter*. Установлено, что *Nitrobacter* лучше развиваются при низких pH, в то время как *Nitrosomonas* предпочитают более высокие.

Это особенно интересно в связи с рассмотрением уравнений нитрификации, описанных в «Основах». Там указывается, что *Nitrosomonas* посредством окисления аммония снижают значения pH.

В связи с этим было бы интересно разделить биофильтр на две колонки. В первой колонке поселялись бы преимущественно *Nitrosomonas* и через окисление снижали pH. Это создавало бы оптимальные условия для *Nitrobacter*, которые во второй половине занимались бы окислением нитритов. Опыты смогли подтвердить эту теорию на практике. С другой стороны, благодаря этим исследованиям становится очень понятно, почему в некоторых аквариумах есть трудности с падением pH. Они появляются благодаря разложению бактерий! 7,4 мг CaCO₃ растворяется с помощью одного миллиграмма окисленного аммиака! В этой связи становится понятным хорошая работа биофильтров, в которых в морской воде используются известняк или обломки кораллов. Они одновременно служат как источники карбоната и действуют в качестве буфера для получения кислой среды для *Nitrosomonas*.

Взаимодействие между анаэробными и аэробными бактериями

Взаимодействие между аэробными и анаэробными бактериями изучено пока недостаточно. Аэробная нитрификация превращает аммоний/аммиак и нитриты,



Аэробные бактерии (вверху) производят водород, который в принципе мог бы использоваться анаэробными бактериями (внизу). К сожалению, этот процесс в аквариумистике не очень хорошо отрегулирован



которые являются токсичными уже в незначительных концентрациях, в относительно безопасные нитраты. Конечно, прежде всего беспозвоночные достаточно чувствительно реагируют также и на нитрат, так что здесь также желательны низкие концентрации. Со своей стороны нитраты являются источником кислорода для анаэробных бактерий. В то время как содержание кислорода в последующем биологическом процессе истощается, азот в оптимальном случае должен в виде маленьких пузырьков подниматься и вместе с водой покидать цикл азота.

Анаэробные бактерии поглощают кислород и не используют азот, так как он им не нужен. Но может происходить так, что нитратный азот не покидает систему в виде пузырьков газа, а опять преобразуется в нитрит или даже в аммоний. Если наступает такая ситуация, то нитрификация и денитрификация играют друг с другом так сказать в пинг-понг. Они занимают в основном сами с собой без того, чтобы осуществлять разложение вредных веществ. Условия, при которых это происходит в аквариуме или при которых это исключено, до настоящего времени еще не изучены. Отсюда — затруднения в использовании анаэробного фильтра. Тем не менее описываются аквариумные системы с весьма низкими значениями концентраций нитрата, не использующие денитрифицирующих бактерий. При описании наполнителя в главе «Фильтровальная техника» уже упоминалось, что, возможно, в некоторых структурах фильтра содержание кислорода и окислительно-восстановительный потенциал так низки, что там могут существовать анаэробные бактерии. Вместе с тем еще не ясно, как эти анаэробные бактерии питаются. Речь идет,

как большей частью это принято в аквариумной технике, о гетеротрофных бактериях, которые должны использовать в глубине наполнителя фильтра такие вещества, как метанол, этанол и другие. Но возможно, что внутри наполнителя фильтра на котором снаружи поселяются аэробные бактерии существуют анаэробные бактерии, которые питаются автотрофно. Они были вынуждены обходиться не метанолом, а использовать водород. Здесь мы можем привести еще раз уравнения из «Биологических основ».

Работа аэробных бактерий, которые преобразуют аммоний до нитрита, происходит по следующему уравнению. Это уравнение показывает, что бактерии *Nitrosomonas* используют кислород и поэтому снижают окислительно-восстановительный потенциал, так что есть важнейшие предпосылки существования анаэробных бактерий. С другой стороны, из уравнения следует, что образуется водород, в котором нуждаются автотрофные бактерии. Итак, можно было бы представить, что внутри наполнителя фильтра автотрофные аэробные бактерии, которые окисляют аммоний до нитрата сосуществуют с автотрофными анаэробными бактериями, которые при недостатке кислорода и благодаря производству водорода аэробными бактериями превращают нитратный азот в газообразный.

К сожалению, автотрофная денитрификация, которая в водоподготовке является основой техники, в аквариумистике еще недостаточно исследована. Следует также сказать о том, что описанная здесь кооперация между аэробными и анаэробными бактериями плохо управляется, поэтому осознанное вмешательство избегается аквариумистами.

Поддержание температуры в аквариуме

Температура является одним из важнейших факторов окружающей среды для живых существ. Уже при выборе животных для нашего аквариума мы должны подумать о том, могут ли они существовать в той области температур, которую мы можем поддерживать. В аквариумах с теплой водой температура варьирует между 22 и 25 °С, а в типичных аквариумах с холодной водой — от 12 до 15 °С. Если есть данные по температуре, становится понятной техническая постановка задачи. При средней температуре помещения 19 °С, для аквариума с теплой водой необходима меньшая температура. В этом случае возникает постоянный тепловой поток от аквариума в помещение. Другими словами, вода в аквариуме охлаждается. В аквариуме с холодной водой, температура воды ниже температуры в помещении, и в результате постоянного оттока тепла из помещения, аквариум с водой, будет нагреваться. В обоих случаях необходим прибор для стабилизации темпе-

ратуры, в первом случае — нагревательный, во втором случае — прибор для охлаждения.

Нагрев

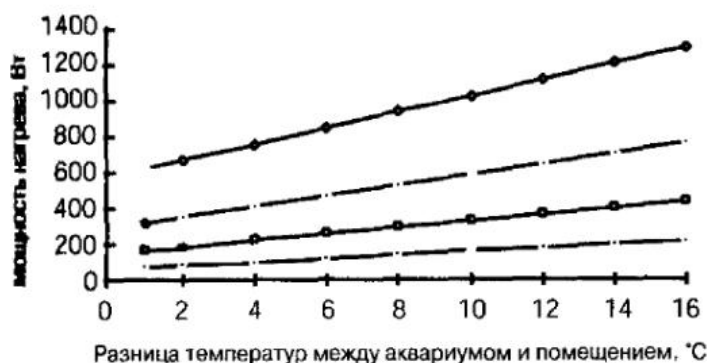
Стандартная ситуация для большей части аквариумов такова: в аквариумах с теплой водой при помощи нагревателя поддерживается постоянная температура, которая выше температуры в помещении. Расположенная ниже диаграмма показывает потребность в мощности нагрева аквариума при различных смещениях температуры по отношению к окружающей среде. При этом, прежде всего нужно обращать внимание на два различных условия.

1. Равновесие между получаемым и отдаваемым теплом

Нагреватель должен получить то количество тепла, которое вода отдала в пространство в форме теплового излучения. Отклонение температуры воды от заданной температуры проверяется термостатом. Термостат автоматически включает нагреватель, если достигнута нижняя температурная граница. Большая часть термостатов имеет разницу для выключения ± 1 °С. Это означает, что нагреватель от нижней точки включения до верхней точки выключения должен нагревать воду на 20 °С. Из этого рассчитывается равновесное количество тепла.

2. Нагрев воды до верхней точки включения равняется энергии, необходимой для повышения температуры до заданного значения.

Это можно сравнить с энергией, которая необходима, для того чтобы автомобиль,



Необходимая мощность нагревателя в зависимости от размеров аквариума и оптимальная разница температур между аквариумом и помещением

Общая энергия = переданная энергия + нагрев

двигающийся с постоянной скоростью и энергией, внезапно ускорить.

Эти взаимодействия (связи) можно обобщить следующим образом. Прежде всего, становится ясно, что тепловое излучение или потеря тепла длится долго, следовательно, и время, в течение которого работает нагреватель, длительно. Потери полученной энергии зависят, прежде всего, от теплоизоляционной способности стола и аквариума. Размер этих потерь свидетельствует о переходе тепла через стекло в окружающее пространство. Чем лучше изолирован аквариум, тем меньше излучается тепла. Однако, если все стороны аквариума открыты для обозрения, то есть неизолированы, то аквариум отдает много тепла. Теплопроводность материала определяется величиной «лямбда», которая измеряется как $W/m \times K$. При этом «m» означает толщину стенки, то есть толщину стекла в метрах ($12 \text{ мм} = 0,012 \text{ м}$), а K означает разницу температур между водой и окружающим воздухом. Типичные значения для «лямбда» приводятся в расположенной ниже таблице. Наряду с теплопроводностью материала важным критерием является переход тепла от внешней стен-

ки стекла в окружающую среду. Это характеризуется коэффициентом теплопередачи «альфа», который составляет примерно $7 \text{ ккал/м}^2 \text{ час К}$ или $8,12 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ (калория не является единицей измерения в системе «СИ»).

Из значения «лямбда» и «альфа» рассчитывается значение $K \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$. Итак, значение K для стекла толщиной 12 мм равно $7,25 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$. Если, например, столитровый аквариум с размером $0,63 \text{ м} \times 0,4 \text{ м}$ с поверхностью $1,32 \text{ м}^2$ имеет разницу температур 1°C , то потеря тепла в аквариуме вычисляется по формуле

$$Q = 7,25 \text{ Вт/м}^2 \times 1,32 \text{ м}^2 \times 1 \text{ К} = 9,57 \text{ Вт}$$

или при разнице температур 5°C

$$Q = 7,25 \text{ Вт/м}^2 \times 1,32 \text{ м}^2 \times 5 \text{ К} = 47,82 \text{ Вт}$$

Теперь представим себе, что нижняя точка включения регулятора была достигнута, и нагреватель опять включается. Если мы включаем нагреватель с мощностью 50 Вт при температуре окружающего пространства на 5°C ниже, чем вода в аквариуме, то мы всего лишь исключили бы дальнейшее снижение температуры воды. При такой мощности нагрева мы не могли бы даже подогреть воду. Какая мощность нагрева нужна нам, для того чтобы температура достигла верхней точки? Количество тепла, равное 1 ккал, необходимо, чтобы один литр воды в течение часа нагрелся на 1°C . В нашем расчетном примере мы хотели 100 литров нагреть на 2°C , так как точка выключения регулятора лежит на 2°C выше, чем точка включения. Наша расчетная задача означает, что

$$Q = m \times \Delta T \times c \\ = 100 \text{ кг} \times 2 \text{ К} \times 1,163 \text{ Вт/кг К} = 233 \text{ Вт/ч}$$

Так как мы увеличиваем нагрев в течение некоторого времени, чтобы не подвергать

Теплопроводность различных материалов

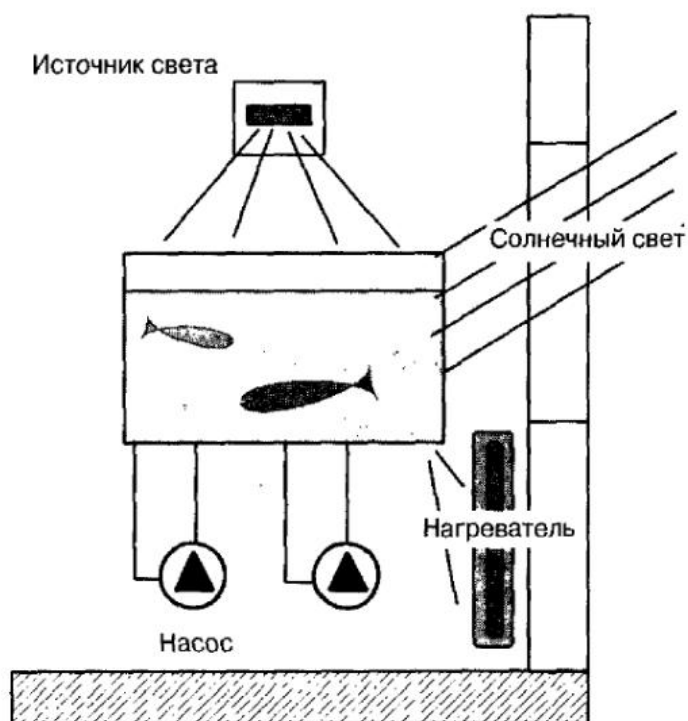
материал	теплопроводность	
	ккал/чмК	Вт/к м
Пластинка из пробки	0,035	0,041
Вспененная пластмасса	0,035	0,041
Пластинка из древесного волокна	0,050	0,058
Древесина	0,150	0,174
Стекло	0,700	0,814
Бетон	1,750	2,035
Высококачественная сталь	13—25	15—29

животных внезапно изменению температуры, то верхняя точка выключения регулятора должна достигаться только спустя 2 часа. Поэтому нам необходима мощность нагрева 116,5 Вт для повышения температуры в течение 2 часов.

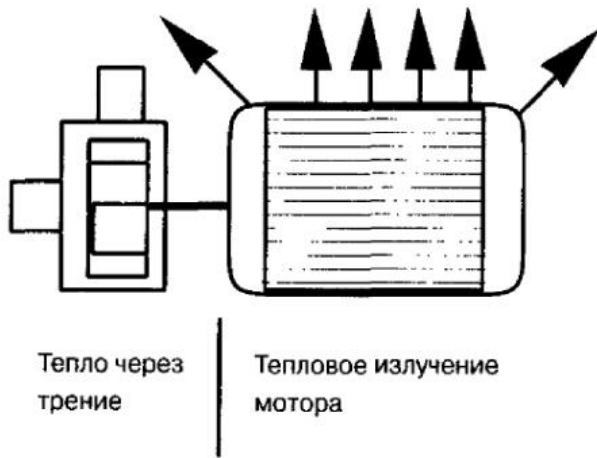
Чтобы фактически рассчитать используемую мощность нагрева, мы должны энергию потерь тепла (50 Вт) и энергию необходимую для повышения температуры просуммировать и получить общую мощность 166,5 Вт. Если будем проводить нагрев в течение 3 часов, то необходимая мощность нагрева уменьшится 50 Вт + 233/3 Вт = 128 Вт. (Для напоминания: эта величина основывается на разнице температур между водой и воздухом 5 °С). Слишком быстрый рост температуры, как уже упоминалось нежелателен. Но нужно выбирать не слишком длительное время, так как есть опасения, что принятые в рамках величины изменяются. Что, например, произойдет, если в зимний отпуск из-за экономии энергии нагрев помещения опустится на 10 °С? Разница между температурой воды и помещения составит 15 °С, так что тепловое излучение аквариума экстремально изменится. При мощности нагрева, которую мы в последнем примере рассчитали на основании разницы температур воды 5 °С, температура воды стала бы равной 15 °С, что, конечно, слишком мало. Если мы сделаем расчеты по первому уравнению при разнице температур в 15 °С, то мы установим, что нуждаемся в 150 Вт только для того, чтобы держать температуру воды. Необходимая мощность нагрева за 3 часа составила бы 150 Вт + 233/3 Вт = 228 Вт, то есть на 100 Вт больше чем в последнем расчетном примере. Для такого времени нужно было бы вводить дополнительно второй нагреватель. Излучение тепла аквариумом определяется, конечно, видом аквариумных стенок. Тепловое излучение может уменьшиться, если неиспользуемые смотровые стекла хорошо изолировать.

Внешние источники тепла

Освещение. Следует в каждом случае принимать во внимание, что не только нагреватели могут использоваться в наших аквариумных системах. Имеется целый ряд других источников тепла, которые также явно влияют на температуру воды. В отношении аквариума прежде всего следует обратить внимание на освещение и водяные насосы. Многие лампы производят свет как побочный продукт, а в первую очередь они являются источниками тепла. Это тепло через водную поверхность непосредственно поступает в воду. К сожалению, до настоящего времени не изучено влияние аквариумных ламп на температуру воды. Общие соображения в этом случае не совсем подходят, так как вклад тепла от лампы очень зависит от места установки. Чем ближе лампа к водной поверхности, тем больше в аквариум поступает тепла. Прежде всего, это зависит от того, встро-



Внешние источники тепла оказывают влияние на температуру воды в аквариуме



Водные насосы отдают тепло за счет трения и излучения

ена ли лампа в крышку с изоляцией, или она в первую очередь отдает тепло в окружающее пространство.

Обычные осветительные лампы дают незначительное излучение тепла, в то время как HQL- и HQI-источники света — гораздо больше. Конструкторские решения некоторых ламп отводят тепловое излучение назад, от водной поверхности. При выборе ламп перед покупкой лучше всего получить сведения об эксплуатации (см. «Освещение»). В редких случаях бокс с лампой необходимо снабдить принудительной вентиляцией, для того чтобы отвести тепло.

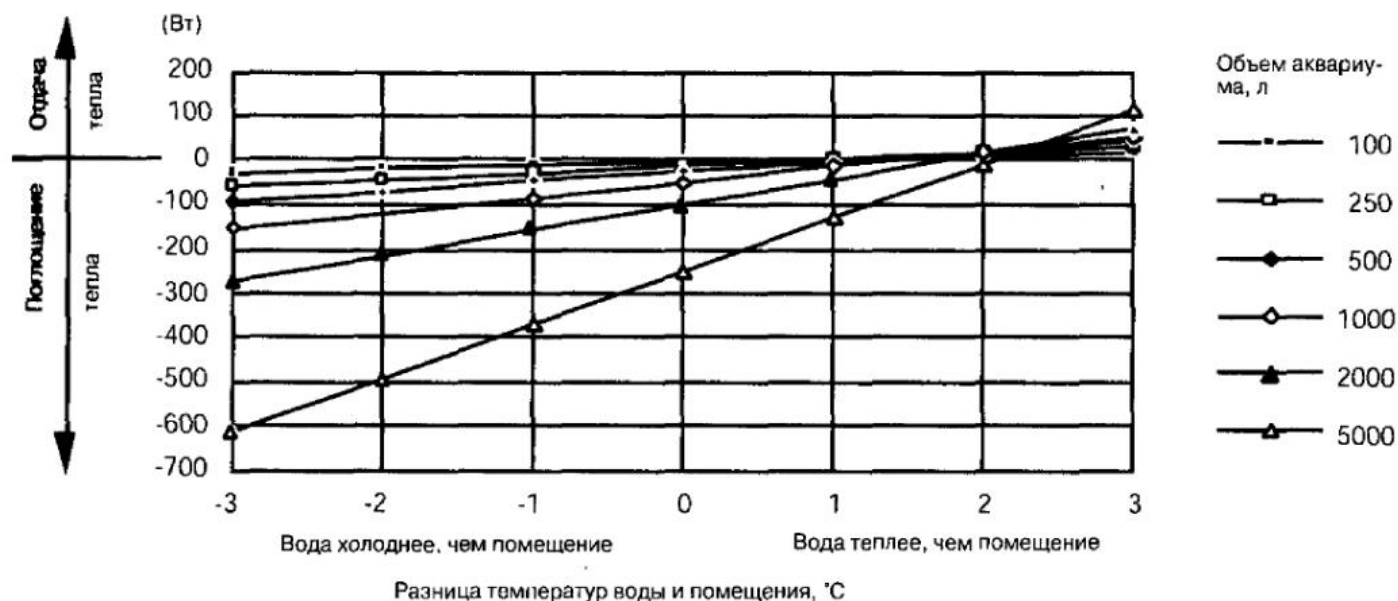
Водяные насосы. Вкладом тепла от водяных насосов очень часто пренебрегают. Использование водяных насосов — это масштабная проблема, так как рыбы и беспозвоночные коралловых рифов очень положительно реагируют на интенсивное движение воды и лучше размножаются. Следовательно, применяются насосы с большой мощностью. Конечно, насосы имеют свой коэффициент полезного действия. Электромотор превращает электрическую энергию в механическую (вращательное движение). При этом возникают потери большей частью через нагрев мотора. Если мотор установлен рядом с аквариумом

или корпусом фильтра, то вода нагревается благодаря теплу, излучаемому мотором. Мотор, охлаждаемый водой, оказывает прямое влияние на аквариумную воду. Механическое вращение приводит в действие роторное колесо, которое механическую работу превращает в работу по транспортировке. При этом возникают потери мощности, которые непосредственно переходят в нагрев воды. Для аквариумных насосов КПД равен примерно от 20 до 25 % от потребляемой электрической энергии, так что примерно три четверти энергии обращается в тепло! В таких случаях от 50 до 90 % от этого расходуется на нагрев воды.

Нагревательный элемент. Когда речь идет о внешних источниках тепла следует посмотреть, что расположено рядом с аквариумом. Многие современные нагревательные системы являются низкотемпературными, например нагревательные элементы в полу, которые равномерно нагревают помещение до небольших температур. В сравнении с последним специализированный нагревательный элемент представляет собой точечный источник тепла. Если аквариум стоит рядом с таким прибором, температура может повыситься до 50 °C и вследствие этого общий тепловой баланс выйдет из равновесия. Подобные источники тепла особенно опасны, так как они работают и после того как поработали системы необходимые для аквариума. Следовательно, не следует устанавливать аквариум рядом с постоянным источником тепла, таким как батарея или печь. Иначе едва ли можно поддерживать постоянную температуру воды.

Солнечные лучи. И этот бесплатный источник энергии по настоящему опасен для каждого аквариума, так как мы, к сожалению, не можем положиться на него. Обычно солнце незначительно нагревает воду. Летом, однако, при определенных условиях облучения, оно может привести

Поддержание температуры в аквариуме



Поглощение и отдача тепла в аквариуме в зависимости от его размеров и от разницы температур и окружающей среды

к ощутимому повышению температуры, следствием которого может быть кратковременный нагрев воды.

Это должно, безусловно, исключаться! В общем, очень важно беспокоиться о вторичных источниках тепла, иначе поддержание постоянной температуры едва ли возможно. При неблагоприятных условиях вода может поступательно нагреваться, хотя первичные источники тепла уже давно выключены. В этом случае можно потерять рыб и беспозвоночных. Возможен и такой случай, когда запланированный нагрев аквариума не нужен, так как вторичные источники тепла так нагрели воду, что необходимо ее охлаждение с помощью соответствующего прибора. Самыми неблагоприятными являются случаи, когда необходимо и нагревание, и охлаждение воды. Тогда охлаждение и нагревание используют совместно с независимым регулированием. В этих случаях следует по возможности исключить вторичное воздействие, с тем чтобы можно было отказаться или от нагрева, или от охлаждения. Такие взаимодействия представлены на верхней диаграмме.

То, что вода в аквариуме перегревается летом до температуры от 20 до 30 °C, знает каждый. Но диаграмма поясняет опасность, которая часто недооценивается, так как не рассматривается влияние вторичных источников тепла, таких как лампы и насосы. На горизонтальной оси нанесена разница температур воды в аквариуме и окружающем воздухе, на вертикальной оси поступление тепла и отдача его в окружающую среду. Мы узнаем поразительный факт, что поглощение тепла происходит не только тогда, когда окружающий воздух теплее, чем вода в аквариуме, а тогда, когда окружающий воздух холоднее на 0,5–2 °C. На практике это означает, что из-за вторичных источников тепла следует по возможности охлаждать воду, в то время как окружающий воздух холоднее чем вода, и имеется опасность перегрева воды. Диаграмма показывает, что опасности перегрева подвергаются не все аквариумы в равной степени.

Динозавры стали такими большими из-за того, что большие животные теряют меньше тепла, чем маленькие, так как их поверхность в сравнении с весом

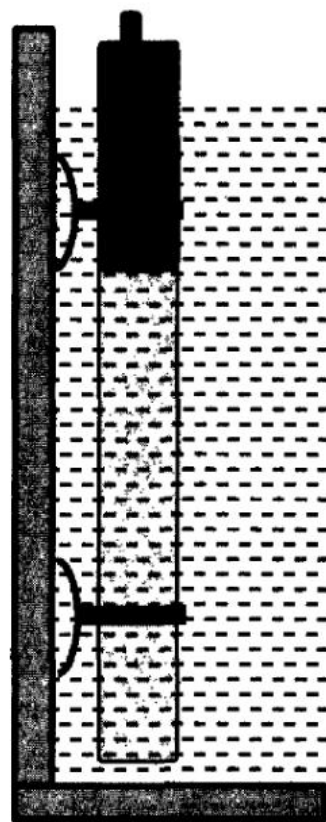
тела существенно меньше. Подобный эффект встречается также в аквариуме «динозавр» с объемом 5000 литров, который имеет по отношению к количеству воды гораздо меньшую площадь излучения, чем 100-литровый аквариум. Результатом является то, что относительно большие аквариумы перегреваются гораздо быстрее, чем маленькие. Это может означать то, что большой аквариум, который оборудован сильной подсветкой и многими насосами нуждается как в подаче тепла в зимние месяцы, так и в охлаждении в теплое время года.

Подогрев аквариума

Обычный подогрев в аквариуме осуществляется нагревательным стержнем, состоящим из стеклянного корпуса, в который вставлена спираль сопротивления. большей частью эти нагреватели устанавливаются вместе с термостатом. Очень часто этот нагреватель помещается непосредственно в аквариум, но он может также находиться в фильтровальной камере. Кроме того, имеются конструкции, в которых нагреватель находится в трубке специальной конструкции, через которую проходит вода. Поэтому прибор не опускается в аквариум.

В качестве технической альтернативы предлагаются спиральный нагреватель с сопротивлением, которое работает при существенно более низкой температуре, вследствие этого нагревательная спираль должна быть длиннее, чем у стеклянного стержня. Это хорошая конструкция, т.к. спираль может вставляться в грунт. Вследствие этого в аквариуме возникает оптимальный тепловой профиль, т.к. источник тепла лежит на грунте и тепло через всю воду поднимается вверх, что очень важно для аквариумных растений.

Большой частью этот вид нагревателей работает с трансформатором, понижающим напряжение, что очень важно для безопасности людей. Нагреватель этого



Типичный нагрев аквариума осуществляется нагревательным элементом

вида не всегда оборудован термостатом, который по желанию подключается отдельно.

Охлаждение

Охлаждающие установки используются не только для аквариумов с холодной водой, которые стоят в теплой окружающей среде, а также для аквариумов с теплой водой при определенных условиях или в определенное время года. Но к сожалению, охлаждение воды не так просто осуществить, как нагревание.

Теоретически можно электрическую энергию с помощью специальных приспособлений — элементов (Peltier) превратить непосредственно в холод. Но эти элементы слишком маломощны для того, чтобы могли применяться в решении наших проблем. Фактически необходим ох-

Поддержание температуры в аквариуме

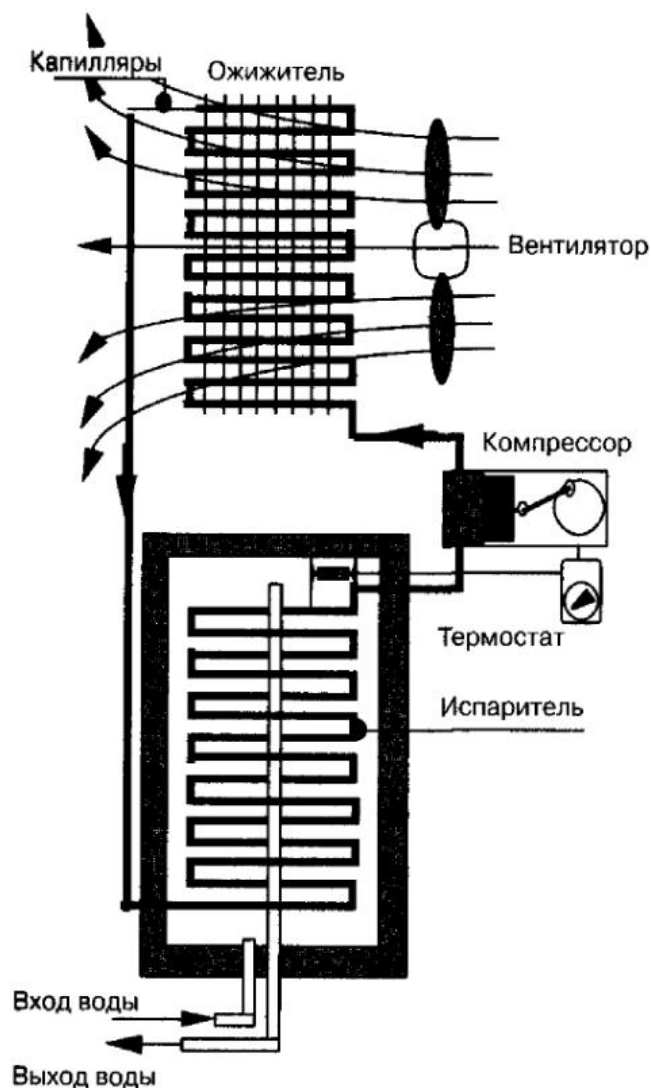


Схема охлаждающего агрегата

охлаждающий прибор, который по своим функциям похож на бытовой холодильник. Здесь происходят следующие процессы. Жидкость испаряется в системе труб испарителя. Для этого нужна энергия, которую приносит вода, протекающая вокруг испарителя. В результате снижается температура воды. Компрессор с помощью высокого давления отводит охлаждающее средство из испарителя в конденсатор (ожижитель). Охлаждающее средство нагревается таким же образом, как воздух в велосипедном насосе. Температура в конденсаторе выше температуры окружающей среды, так что он

тепловую энергию может передавать окружающей среде. В конце конденсатора находится капиллярная трубка, которая необходима, чтобы поддерживать давление в трубе. Если жидкое охлаждающее средство проникает в капиллярную трубку, то оно опять расширяется и испаряется, так что при следующем протоке через испаритель снова забирается тепло из воды, и вода снова может охлаждаться. Этот принцип охлаждающего устройства надежно работает в домашних холодильниках, и нет необходимости изобретать его заново для аквариумной техники. Несмотря на это, имеются и особые проблемы, которые в основном имеют отношение к испарителю. В нормальном холодильнике испаритель работает так же, как устройство для получения обычного сжиженного воздуха. В наших аквариумных системах он должен находиться, конечно, в воде, и в этом существенная разница. Большей частью испаритель изготавливается из меди из-за ее очень хорошей теплопроводности. Медь, хотя в принципе водоустойчива, постоянно, особенно в мягкой воде обогащает воду катионами меди. Со временем происходит разрушение медного трубопровода, что очень неблагоприятно, так как охлаждающее средство (на сегодня это фреоны) попадают в аквариум. Перед этим уже отмечалось, что животные в присутствии чужеродных веществ приостанавливают жизненную активность или вовсе умирают. Так ионы меди для водных обитателей могут быть очень токсичны. Что в пресной воде будет опасно, то в морской воде из-за высокой коррозионной активности совсем невозможно. Нельзя допускать медь к контакту с водой. Эту проблему можно решить различными способами, например, подбирать теплообменник из материала устойчивого к морской воде. Но это также не совсем просто.

Теплообменник из меди с поверхностным слоем из полимеров дает относительно хорошую теплопередачу, которая благо-

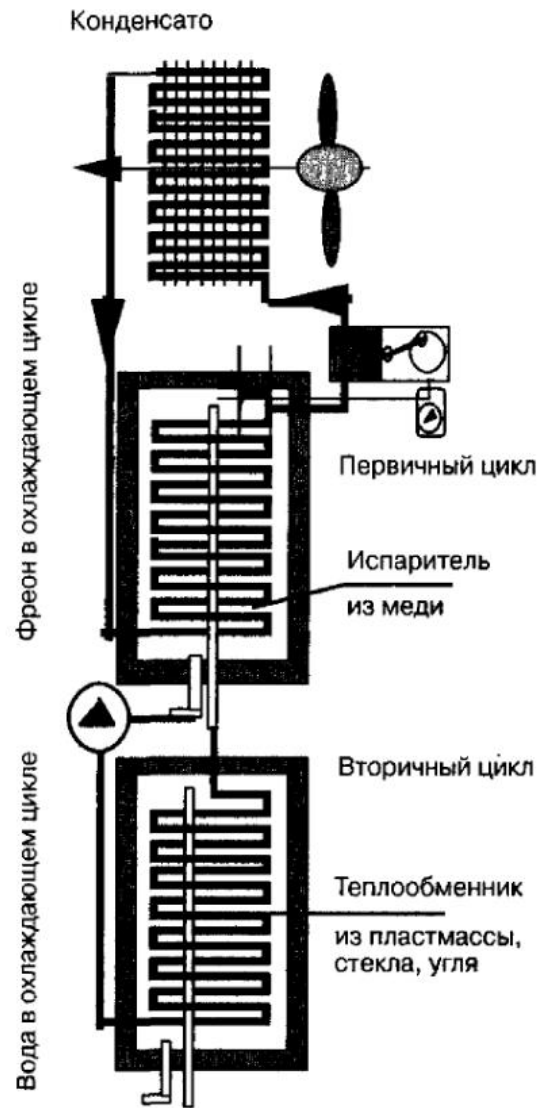
даря поверхностному слою уменьшается минимально. Полимерный поверхностный слой, однако, всегда опасен тем, что может переходить в воду.

Теплообменник из меди с полимерными гофрированными шлангами благодаря поверхностному слою из полимеров характеризуется минимальными потерями энергии. В этой конструкции при изготовлении необходимо обращать особое внимание на то, чтобы чувствительные полимерные шланги были сделаны гомогенно и не содержали никаких пор.

Теплообменник из титана с прямым контактом со средой принципиально подходит, т. к. титан известен своей устойчивостью к морской воде. Однако не совсем ясно, не поставляет ли он в воду ионы металла. Титан очень дорог и плохо обрабатывается.

Охлаждающие системы с первичным и вторичным циклом начинают испытываться в системах с морской водой в случаях, если не желательно использование ионообменников, и металлов, устойчивых к морской воде. В этом случае должны выбираться материалы устойчивые к морской воде, такие как стекло, уголь и пластмасса. Эти три материала «чистейшие», хотя они не подходят для такого охлаждающего средства как фреон, но с другой стороны резистентны к агрессивной морской воде. Охлаждающие системы, в которых применяются эти материалы для морской воды, используют первичные и вторичные циклы. Первичная система сконструирована также как и вышеописанные основные системы. В качестве охлаждающего средства через медный трубопровод в виде спирали протекает обычный фреон.

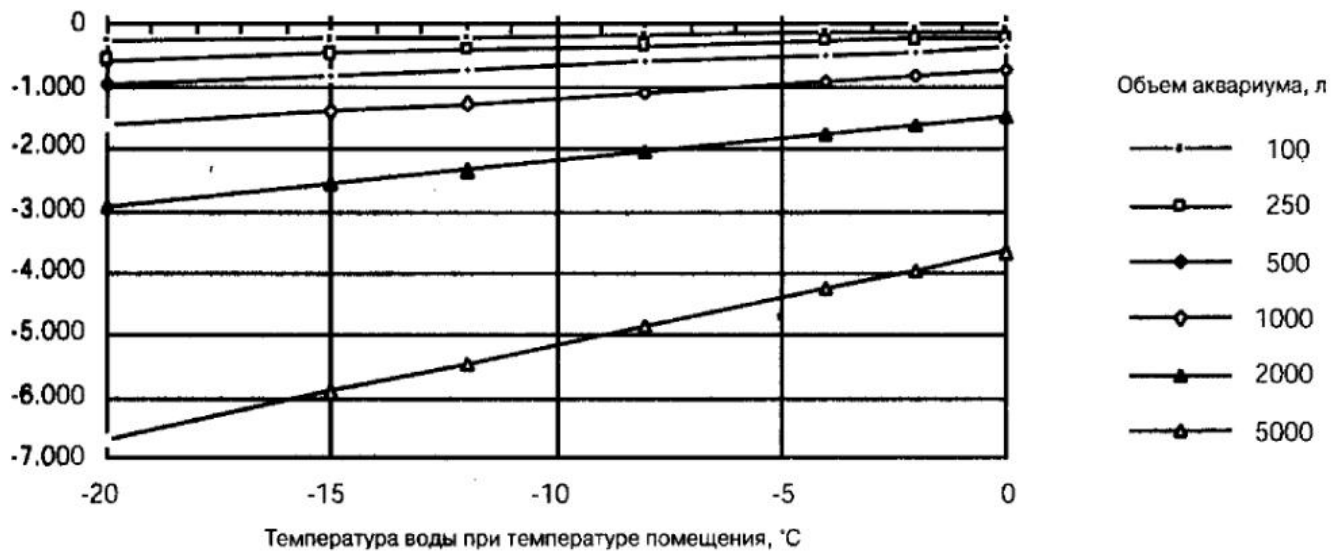
В качестве рабочей жидкости первичная система использует не привычную воду, а, например, определенные охлаждающие масла или также обычную водопроводную воду, которая мало вредит



Охлаждающий агрегат со вторичным циклом. Контакт первичного цикла с охлаждающей водой исключается

медным трубам. Эта вода служит в качестве охлаждающего средства для вторичного цикла. Она транспортируется с помощью соответствующего насоса через теплообменник из вышеупомянутых материалов. Если в первичной системе образовалась течь, то, охлаждающее средство хотя и поступает во вторичный цикл, никогда не проникнет в аквариум. Подобные охлаждающие системы имеют большие возможности.

Можно себе представить, что цена за их разработку и использование во много



пределение мощности охлаждения в зависимости от размеров аквариума и желаемой разницы температур воды с окружающей средой

аз выше, чем у простых систем. Однако для содержания ценных животных и для исследований их применение обосновано.

Измерение мощности охлаждения проводится в основном аналогично измерению теплопроводности, причем, применяются одинаковые критерии, конечно в обратном направлении. Вторичные источники энергии, которые в аквариуме с теплой водой уменьшают необходимую мощность нагрева, повышают потребность в охлаждении. Следовательно, они увеличивают затраты на создание и эксплуатацию охлаждающей установки. В аквариумах с холодной водой основная забота состоит в том, чтобы исключить источники вто-

ричного тепла. Сведения о затратах энергии мы должны почерпнуть из физики. В то время как нагреватели с мощностью 500 Вт используются при необходимой мощности нагрева 500 Вт, охлаждающий прибор работает, в основном, экономичней. Охлаждающие приборы потребляют примерно треть мощности от своей охлаждающей мощности, так что холодильный агрегат с мощностью охлаждения 1000 Вт, потребляет от 300 до 400 Вт. Конечно, должны приниматься во внимание и виды теплообменников, которые в соответствии с конструкцией могут характеризоваться низкими КПД. К сожалению, следует исходить из того, что улучшенная защита от коррозии приводит к низкому теплотехническому КПД.

Измерение параметров воды

Измерение значений рН

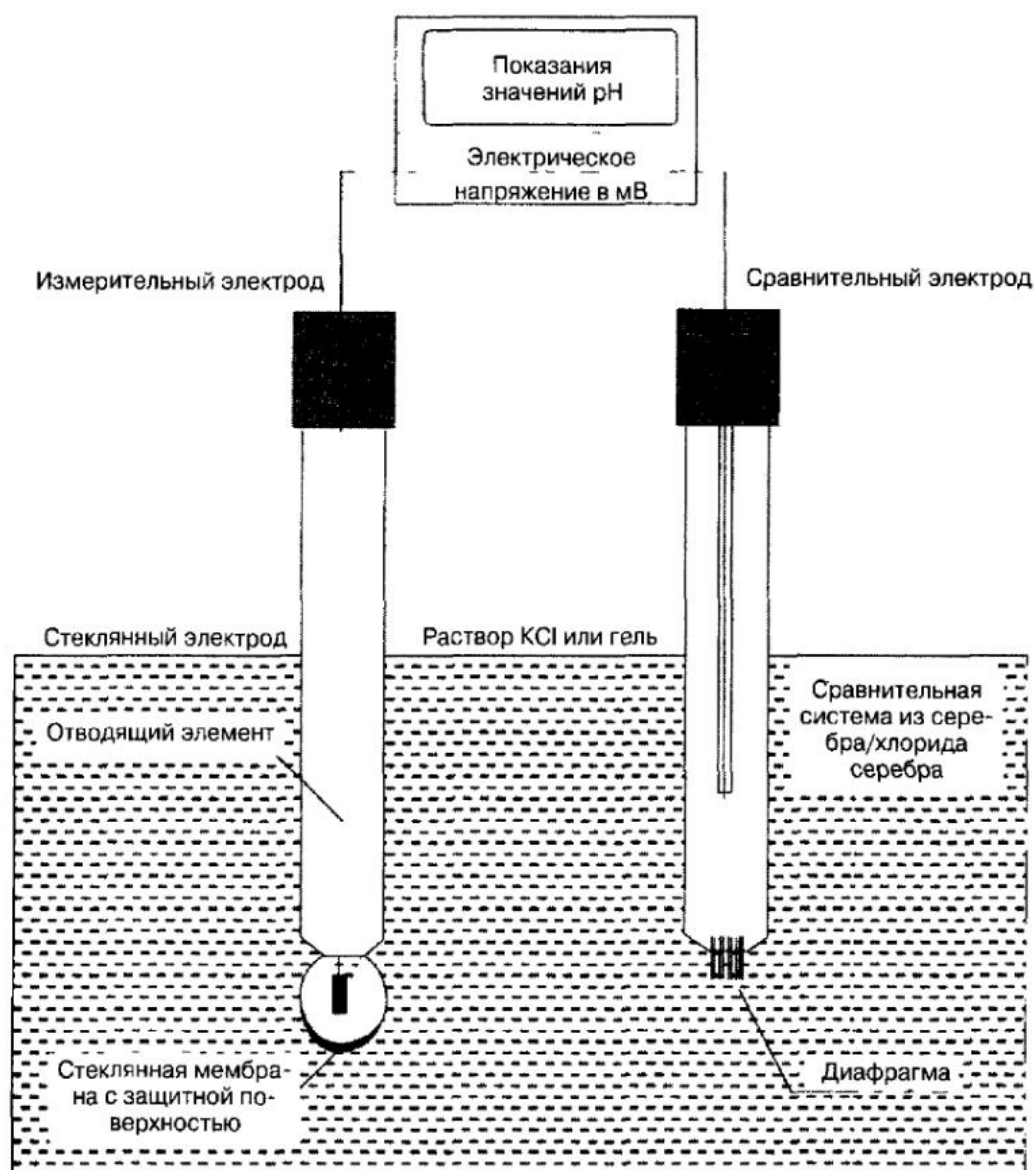
Со значениями рН мы сталкивались в различных частях этой книги. Измерительная техника, которая в химической технике была обычной, сравнительно быстро находила применение в аквариумистике. Известны различные методы. Определение можно производить более или менее точно посредством лакмусовой бумаги, раствором метилоранжа, полосками специально обработанной бумаги или химическими реагентами. Эти измерения достаточно точны и еще сегодня ими пользуются, но все они имеют один недостаток: под значением рН понимается измеренная на данный момент величина. А, как мы уже видели, значение рН — очень динамичный показатель, который может подвергаться различным воздействиям. Из-за жизненной активности обитателей в аквариуме создаются внутренние условия влияющие на значение рН, такие как: фильтровальная техника, аэрация, удобрения для растений, а так же кормление. Другие факторы — внешние. Они вызываются заполняемой водой. Все эти величины, если рассматривать их отдельно, очень трудно постоянно контролировать, поэтому необходимо по возможности чаще измерять значения температуры и рН. Тот, кто должен в большем количестве проводить точечные измерения, вскоре заметит, что с одной стороны, это весьма утомительное занятие, с другой — точные данные не всегда можно получить. Поэтому желательно значение рН измерять непрерывно. Из аналогичной потребности в химической измерительной технике возникла технология непрерывного измерения рН посредством

рН-электрода и измерительного прибора. Задача рН-электрода состоит в том, чтобы улавливать изменения рН в воде, превращать их в электрический сигнал, подаваемый в измерительный прибор. Электронные рН-методы получают сигнал электрода, усиливают и оценивают его. В конце концов получают значения, которые измерительный прибор через аналоговое или цифровое устройство представляет пользователю.

Конструкция рН-электродов

рН-измерительная система состоит из ряда различных элементов, которые включены друг за другом. Поэтому рН-электроды называются также измерительными цепями. Фактически рН измерительная система состоит из измерительного электрода и электрода сравнения. Между электродами возникает электрическое напряжение, которое оценивается измерительным прибором. Измерительный электрод наполнен буферным раствором. Окончание электрода выполнено в форме шара, нижняя часть которого изготовлена из специального стекла, обладающего свойствами мембраны. Если это мембранное стекло погружается в воду, то как на внешней, так и на внутренней стороне образуется слой из ионов водорода, которые могут диффундировать как внутрь, так и наружу. Если значение рН измеряется в морской воде, которая представляет собой слабощелочной раствор, ионы водорода диффундируют из мембраны в раствор. Так как ионы водорода являются носителями положительного заряда, то они со своими положительными зарядами перемещаются от стеклянной мембраны.

Измерение параметров воды



Конструкция системы для измерения pH, состоящая из измерительного и сравнительного электродов

Поэтому на поверхности мембраны образуется избыток отрицательных зарядов. Так как буферный раствор, содержащийся в электроде имеет постоянное значение pH между наружной и внутренней оболочкой мембраны возникает разность потенциалов, которая может также, как электрическое напряжение измеряться в милливольтгах. Появляющееся на внутренней оболочке стеклянной мембраны напряжение передается на электронно-измерительный прибор и оценивается. Это измеряемая величина, однако, еще не является значением pH. Она измеряется относительно вели-

чины потенциала, которую представляет электрод сравнения. В этом электроде сравнения находится система серебро — хлорид серебра — элемент, который погружен в насыщенный раствор хлорида калия. Раствор хлорида калия связан через диафрагму с водой, pH которой нужно измерять; таким образом замыкается электрическая цепь. Говорить о токе будет явным преувеличением, так как прибор очень высокоточный, следовательно, имеет очень высокое внутреннее сопротивление. Практически протекающий ток равен нулю. В электродах, применяемых в технике, измерительный



Конструкция комбинированного рН-электрода

и сравнительный электроды соединены в одной конструкции в виде одного комбинированного электрода.

Функции остаются, конечно, такими же. С помощью специальных формул, которые здесь не приводятся, можно обнаружить, что разность потенциалов увеличится на 58,16 милливольт, если концентрация ионов водорода или, соответственно ионов гидроксония (H_3O^+) поднимется в 10 раз. Как мы уже читали в «основах» о величине рН, это приводит к смещению рН. По этой причине изменения в значениях рН можно очень точно оценить с помощью электроники. Электрод подает на измерительный прибор измеряемые сигналы в милливольтгах, т. е. электрическое напряжение (измеряемая величина) соответствующим измерительным прибором эти сигналы пересчитываются в значения рН и выводятся на табло для пользователя.

Калибровка и контроль

Прежде чем электроды будут применяться первый раз, они должны быть откалиброваны. Для этого имеются специальные калибровочные растворы, которые буферизированы на определенные значения рН. Буферизация действует таким образом, что попадание незначительного количества воды при погружении электрода не мешает калибровке. Смысл калибров-

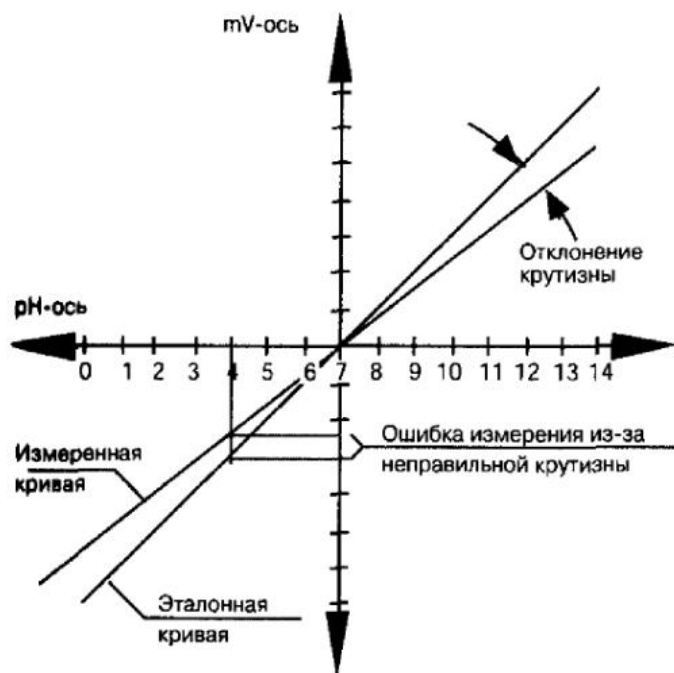


Для калибровки рН-электродов сначала необходима установка нулевой точки

ки состоит в том, чтобы погрешность электрода, связанную с изготовлением и использованием отъюстировать на определенные значения. При этом следует рассмотреть две ошибки: отклонение нулевой точки и «крутизна» погрешности.

Обе погрешности приводят к **общей** измерительной ошибке. Следовательно, должна проводиться калибровка двух точек с тем, чтобы обе ошибки измерения могли быть исправлены.

Погрешность нулевой точки. Расположенный сверху рисунок показывает кривую измерения и эталонную кривую. В этом примере кривая измерения очевидно отклоняется от эталонной кривой при рН 7, т. е. в нейтральной точке мы фиксируем очевидную погрешность нулевой точки, которая должна устраняться. Электроды сначала вводятся в калибровочный раствор с рН 7. При этом важно, чтобы, как минимум, были погружены в раствор стеклянная мембрана и диафрагма. В нашем примере измеряемая величина лежит выше необходимой, следовательно, от-



Если выставлена нулевая точка, должна быть выставлена вторая относительная величина — крутизна

клоняется от номинальной. На потенциометре с меняющимся сопротивлением измеряемая величина юстируется на правильное значение. При этом вся кривая измерений параллельно смещается на погрешность нулевой точки так, чтобы она точно проходила через нейтральную точку. Таким образом, измерительный прибор выставляется на нулевую точку и готов к применению.

Погрешность крутизны. После калибровки нулевой точки мы получаем ситуацию, изображенную на рядом расположенном рисунке. Ноль определяется точно, но измеряемая величина все еще имеет значительную ошибку, так как еще не определена точка крутизны. Теперь выбирается калибровочный раствор, значение рН которого отличается от 7. Большей частью используются буферные растворы в области рН от 4 до 9. Электрод погружается во второй буферный раствор и с использованием потенциометра находится отклонение крутизны

от номинального (стандартного) значения. И лишь теперь кривая измерений совпадает с необходимой кривой; прибор откалиброван.

Влияние температуры. На изменения значений рН оказывает влияние температура воды. При этом не ясно, необходима ли компенсация температуры в наших измерительных приборах. Расположенная рядом таблица показывает зависимость значений рН от температуры, причем прибор откалиброван при температуре 20 °С. Следует отметить, что для интересующих нас температур и значений рН ошибка измерений из-за отклонений в температуре ограничена вторым знаком после запятой. Поэтому такая ошибка измерений для аквариумистов не имеет практического значения и температурная компенсация не требуется. Наряду с отклонениями чисто измерительного характера на основе различного напряжения на электродах, следует иметь в виду температурные отклонения калиброванных растворов, которые приводятся в расположенной рядом таблице.

Мы видим здесь, что эти отклонения относительно малы и составляют не более чем $\pm 2\%$.

Контроль. Для контроля рекомендуется еще раз погрузить электроды в буферный раствор при рН 7 и проконтролировать,

Отклонение измеренных значений рН в зависимости от температуры

	рН					
	4	5	6	7	8	9
0	3,78	4,85	5,93	7,00	8,07	9,15
5	3,84	4,89	5,95	7,00	8,05	9,11
10	3,89	4,93	5,96	7,00	8,04	9,07
15	3,95	4,97	5,98	7,00	8,02	9,03
20	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00
25	4,05	5,03	6,02	7,00	7,98	8,97
30	4,10	5,07	6,03	7,00	7,97	8,93
35	4,15	5,10	6,05	7,00	7,95	8,90

Зависимость температуры от буферных растворов

Температура °С	Значение рН	Отклонение %	Значение рН	Отклонение %	Значение рН	Отклонение %
5	4,01	0,25	7,07	1,00	9,39	1,84
10	4,00	0,00	7,05	0,71	9,33	1,19
15	4,00	0,00	7,03	0,43	9,27	0,54
20	4,00	0,00	7,00	0,00	9,22	0,00
25	4,01	0,25	7,00	0,00	9,18	-0,43
30	4,01	0,25	6,97	-0,43	9,14	-0,87
35	4,02	0,50	6,96	-0,57	9,10	-1,30

сходятся ли значения. Если значение рН электрода согласуется с измерительным прибором, он может применяться для измерений проб воды. Если есть персональные претензии к точности, калибровка должна повторяться в установленные сроки. В качестве рекомендации можно предложить от одной до двух недель. При калибровке рН электродов должно также обращать внимание на то, насколько быстро значение рН на приборе приближается к значению рН в буферном растворе.

Если это время больше, чем две минуты, электроды следует очистить, а затем снова калибровать. Если сравнение измеряемой системы с истинным значением (рН 7 или рН 4) длится больше, чем три минуты, нужно подумать, устраивает ли вас это время или электроды следует заменить.

Измерение рН на практике

Измерения значений рН с помощью электродов и измерительного прибора могут проводиться непрерывно или периодически.

Для периодического измерения проба помещается в стакан Бехера (в лаборатории по возможности его ставят на магнитную мешалку). Этот способ рекомендуется, если различные воды должны измеряться прибором, работающим от сети.

Измерительные приборы, использующие батарейки, дают возможность перемещаться с измерительной системой от аквариума к аквариуму, измерять различные воды. При этом особенно важно учитывать, что электроды требуют некоторого времени, чтобы настроить их на новые водные условия. Ни в коем случае не следует бегать поспешно от аквариума к аквариуму и в быстром темпе записывать измерительные величины. При из-



Карманный рН-метр на батарейках

мерении рН электроды должны находиться в измеряемой воде примерно 15 минут. При этом, прежде всего следует обратить внимание на интенсивное и беспузырьковое перемешивание воды. Самые лучшие результаты получаются, когда значение рН получают измерительным прибором, включаемым в сеть, при его непрерывной эксплуатации. Этот способ работы имеет большие преимущества. Сначала получают данные изменений значений рН в течение дня. С закатом солнца или при включении света начинается ассимиляция. Растения поглощают углекислый газ, так что значения рН могут слегка подниматься. С другой стороны, также повышается активность рыб и частота их дыхания.

С каждым вдохом не только поглощается кислород, но и выделяется двуокись углерода, так что значение рН может опять падать. Следовательно, значение рН очень тесно связано с жизнью животных и ростом растений в аквариуме. Поэтому интересно узнать появляющиеся изменения рН воды в 24-часовом цикле.

Длительность эксплуатации электрода

Самая чувствительная часть электрода — диафрагма, которая состоит из пористой керамики или стекловаты. Подобная пористая среда является очень хорошей основой для роста водорослей и бактерий. Но если диафрагма заросла, это мешает ионному обмену. Измерения замедляются или даже совсем прекращаются. Чтобы очистить диафрагму от непрерывных загрязнений, имеются специальные очищающие растворы, в которые на определенное время погружаются электроды. Эти растворы очень агрессивны и очищают поры. Из-за их едкости с ними следует работать очень осторожно. Так как в аквариуме наблюдается постоянный рост бактерий и водорослей, зарастание диафрагмы —

также процесс постоянный. Продолжительность эксплуатации электрода поэтому ограничена. Долго ли продержится электрод — неизвестно, так как даже при осторожной обработке он становится дефектным. Опыт, однако, показывает, что при регулярной очистке пропускная способность диафрагмы падает, и электрод теряет чувствительность, становится инертным. А когда электроды должны быть заменены, это вопрос персональных требований к точности и также, к сожалению, неодинаковых возможностей. Так как измерительные электроды сложны в изготовлении и содержат благородные металлы, они достаточно дороги. Ориентировочно можно применить следующее правило частоты смены рН-электродов:

— чистый любительский аквариум с не очень чувствительными обитателями — 2–3 года;

— любительский аквариум с очень чувствительными обитателями (дискусы, беспозвоночные) — 1,5–2 года;

— установки для торговли с высокой плотностью обитателей и очень чувствительными животными — 0,5–1,5 года;

— постоянно работающие электроды — 0,5–1 год.

Прибор с выходом на принтер

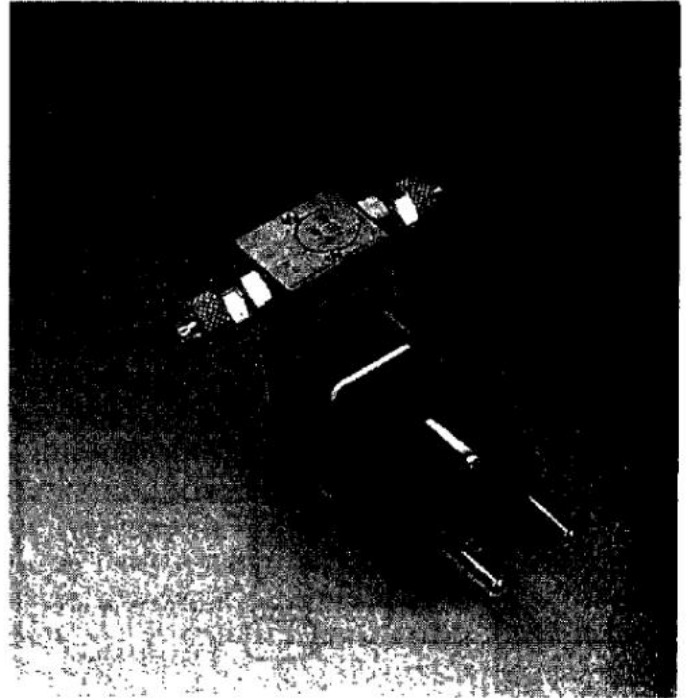
Сетевые измерительные приборы часто выпускаются с записывающим устройством. Если для домашнего аквариума это не обязательно, то для открытого аквариума — важно для оптимального ухода или научных наблюдений (появляется возможность получить текущее значение рН в большом временном интервале). Такие устройства целесообразны в том случае, если нужно зафиксировать отклонения документально. Наблюдения за большой промежуток времени, устанавливаются, например, является ли внезапно появляющаяся проблемная величина случайной или это происходит из-за некорректной эксплуатации.



Прибор измеряет значение pH и регулирует включенный магнитный вентиль через штепсельную розетку

Измерительный прибор с функцией регулирования

Измерять pH в течение дня можно также с помощью прибора с функцией регулирования. Многие современные аквариумисты были недовольны только фиксирующей функцией измерения. Они хотели бы автоматически регулировать значение pH в определенных границах, т. к. большинству животных в аквариумах вредны сильные колебания pH. Измерительные и регулирующие приборы, применяемые в торговле, — исключительно сетевые, рассчитанные на длительный срок эксплуатации. Также предлагаются измерительные и управляющие системы в комплекте, которые могут устанавливаться без проблем аквариумистами-любителями. На расположенном выше рисунке показан прибор для измерения и регулирования pH в исполнении штепсель-розетка. С помощью такого прибора можно снабдить ак-



Штекерный магнитный вентиль с подсоединениями для шланга высокого давления

вариум с пресной водой и большим количеством растений автоматическим регулированием дозирования угольной кислоты. Например, вода в аквариуме должна соответствовать pH 6,5. Это значение выставляется на потенциометре как необходимое значение.

Часто это значение для контроля указывается на цифровом табло. После выставления необходимой величины измерительный прибор включается в измерительный модуль. Если измеренная на данный момент величина составляет, например, pH 7, устанавливается контакт. Последний открывает магнитный вентиль, дозирует угольную кислоту в воду и таким образом снижает pH. Если измеряемая величина достигает установленного значения, то это регистрируется измерительным прибором, магнитный вентиль закрывается и прекращается дозирование угольной кислоты. Благодаря ассимиляции растений, а также аэрации угольная кислота в аквариуме использу-

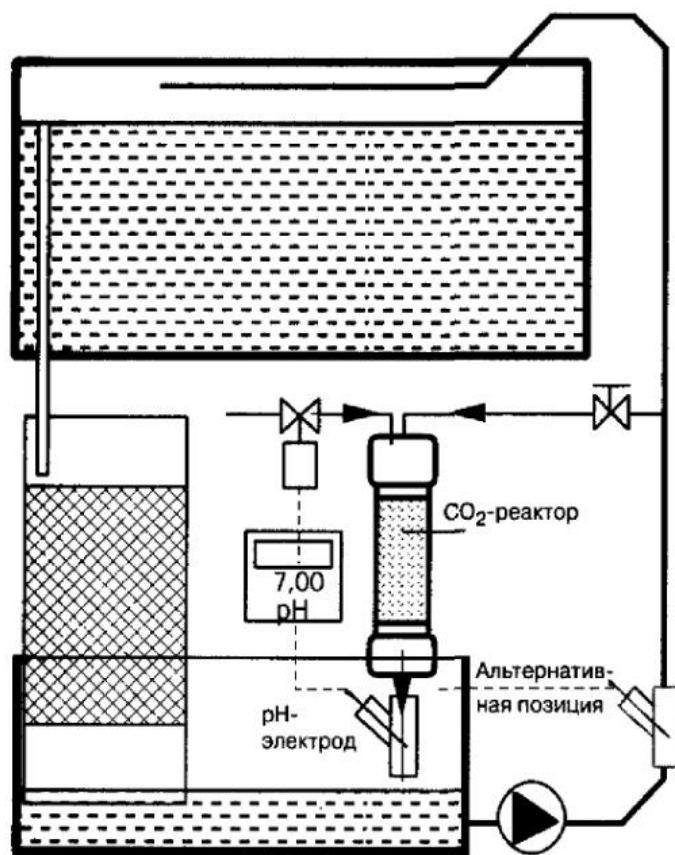
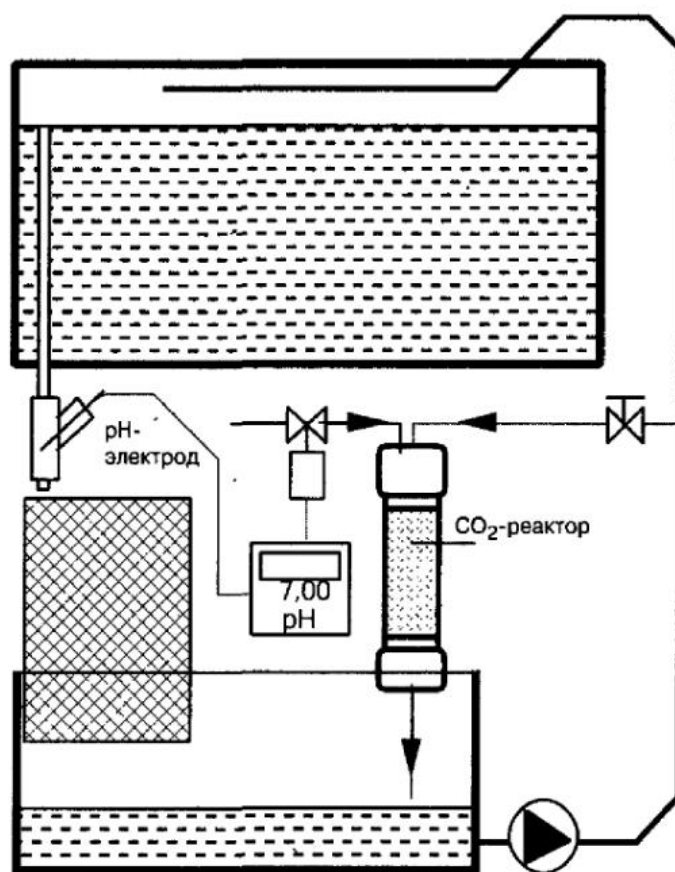


Схема включения дозирования углекислоты, управляемого значением pH

ется и удаляется. Значение pH опять поднимается, измерительный прибор регистрирует, что измеряемая величина выше, чем необходимая и опять открывает магнитный вентиль. Таким образом значение pH поддерживается на желаемом уровне.

Процесс может также происходить со щелочными растворами и насосом дозирования. Подобное регулирование активно вмешивается в содержание веществ в аквариуме. Следует предварительно хорошо подумать, на какую заданную величину и где его установить. Если регулирующим прибором дозируют как кислые, так и основные растворы, то должна быть предусмотрена переключающая система. Если вводится углекислый газ, то, когда превышает определенное значение pH, включается прибор.



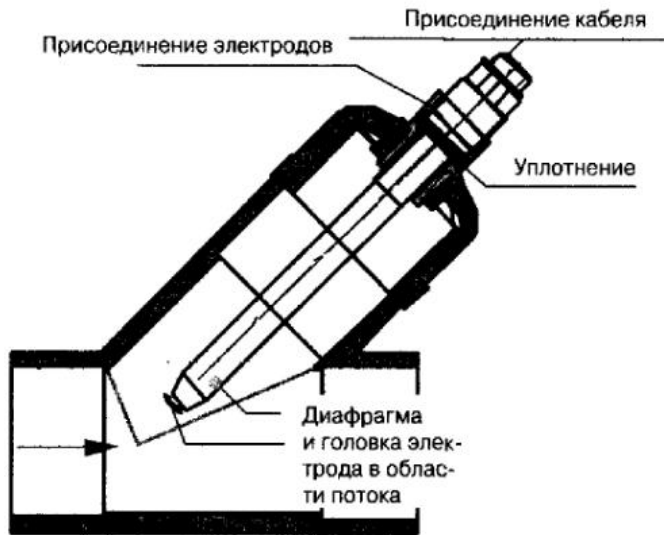
Выход из CO₂-реактора — очень удачное место расположения pH-электродов

Напротив, если дозируют основной раствор, переключающая система возвращается, так как реле должно включаться тогда, когда перекрывается заданная величина.

Расположение электродов

Большое значение имеет позиция измеряющего электрода переключающего измерительного прибора. На рисунке слева pH-электроды применены непосредственно за CO₂-реактором, так что они тотчас после новой подачи углекислоты фиксируют значение pH и выводят на измерительный прибор.

На втором рисунке pH-электроды находятся в стоке аквариума. Такое положение опасно. Если в CO₂-реактор дозируется угольная кислота, то она вначале



Арматура потока — удачное место для установки pH-электрода

не регистрируется электродом. Зафиксированное значение pH может быть еще очень и очень высоким, хотя из реактора было использовано много CO_2 . Проходит значительное время, пока к электроду поступит вода, насыщенная угольной кислотой. Все это время двуокись углерода продолжает дозированно подаваться, пока электрод не покажет, что уже подано слишком много углекислого газа и pH ниже заданной величины. Поэтому очень важно измеряющие электроды помещать по возможности за местом дозирования.

Можно между электродом и местом дозирования расположить большую массу воды, даже сам аквариум, тогда регистрация произойдет с опозданием на час. В каждом случае важно, чтобы электроды не выставлялись в «мертвый» угол. Место установки электрода должно хорошо омываться для того, чтобы возможные изменения могли регистрироваться быстрее. Если речь идет о погруженном электроде с защищенным от воды подключением, то предлагается позиция вблизи входа воды в насос. Еще лучше — в проточной арматуре, в специальной поливинилхлоридной арматуре, которая встраи-

вается по возможности за насосом. Измерительные приборы с резьбой ввинчиваются в эту арматуру и работают всегда при определенных условиях потока. Конечно, нужно обратить внимание на то, что электроды в арматуре потока всегда направлены основанием электрода вниз. В противном случае может быть так, что воздушные пузырьки, находящиеся на электроде, поднимутся в изолированную зону, и из-за них ионный обмен будет затруднен. Если электроды расположены в спокойной зоне, на их поверхности образуется поверхностный слой, который не удаляется. Электроды измеряют теперь значения воды поверхностного слоя, которые, конечно, не имеют ничего общего с происходящим в аквариуме. Должно также исключаться попадание электродов в зону интенсивного облучения. Сам свет, конечно, не мешает электродам, но там, где есть световые лучи, хорошо растут водоросли. Разрастание водорослей опасней всего для диафрагмы. В глубинных структурах диафрагмы водоросли и микроорганизмы находят оптимальные условия для роста. Поэтому в аквариумистике следует обращать особое внимание на диафрагму и тщательно ее очищать. Электроды не должны попадать также в поток с воздушными пузырьками. Воздушные пузырьки могут приносить с собой слабые электростатические заряды, которые оказывают влияние на показания измеряемой величины. При определенных конструкциях электрода (особенно из пластмассы) воздушные пузырьки могут также собираться на диафрагме, и отделяться от воды, так что переход ионов становится невозможным.

Хранение pH-электродов

Если электрод вынимают из воды, то помещают в защитный чехол, используемый для хранения его в неблагоприятных условиях и исключающий подтекание. Лучше всего хранить электроды в растворе хлорида калия, в край-

Измерение параметров воды

нем случае, в дистиллированной воде. По закону диффузии электроды стремятся выравнять разницу осмотического давления на диафрагме. Следовательно, электродом поглощается вода и выделяется KCl , поэтому в ближайшее время его нельзя использовать.

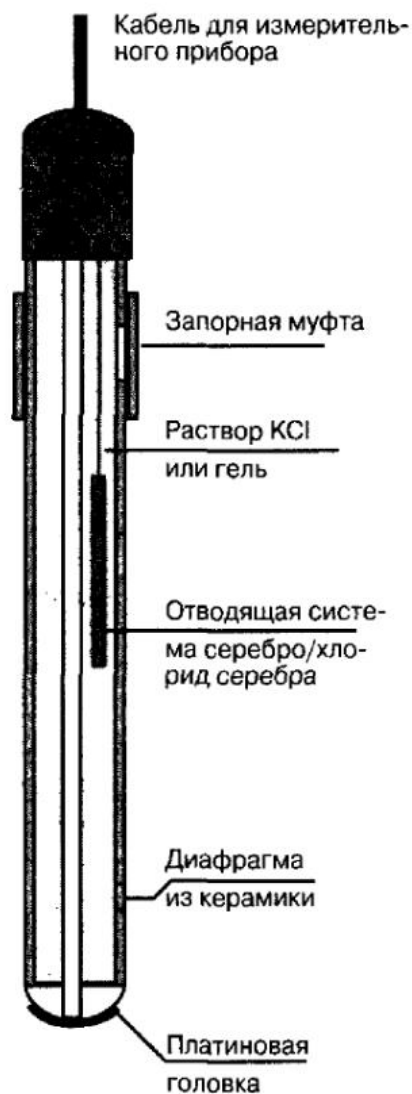
Измерение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП)

Измерение ОВП еще важнее, чем pH. Чистые природные воды содержат немного органического вещества и много растворенного кислорода. Чтобы следить за соотношением их, необходимо измерять ОВП. Рекомендуемое для аквариумов значение ОВП — 250–350 мВ, в области фильтра — значительно ниже, а в озонаторе незначительно выше.

Устройство электрода для измерения ОВП

ОВП измеряется так же, как pH — с помощью электрода. Окислительно-восстановительный электрод состоит из измерительной и сравнительной систем, которые соединены в так называемую измерительную цепь в одном стержне. Разница с измерением pH состоит в том, что при окислительно-восстановительных реакциях носителями заряда являются электроны. Они поглощаются лучше всего металлическим проводником.

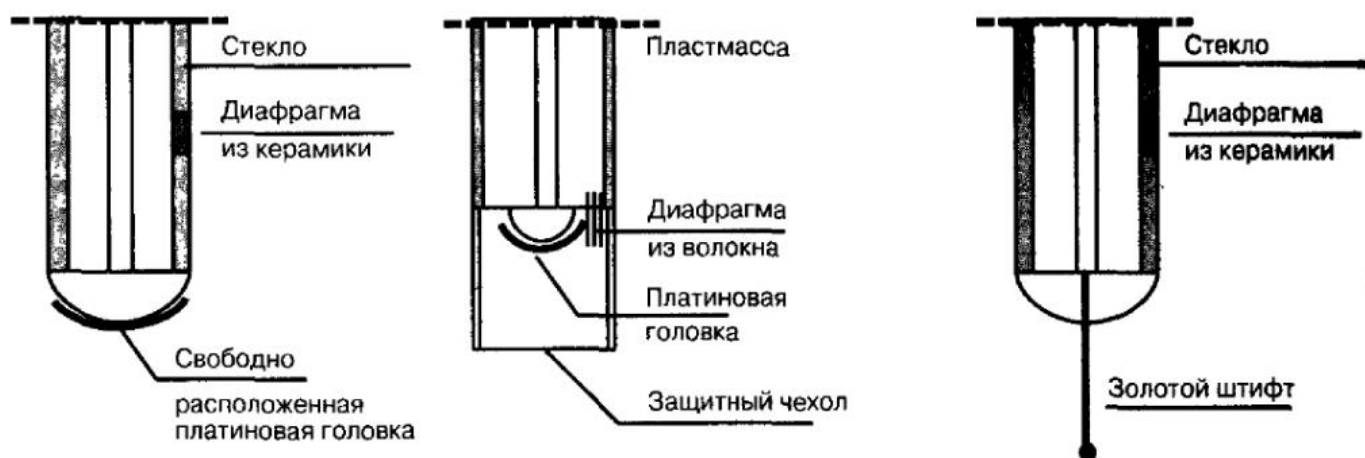
Измерительный сенсор. Измерительный электрод не может непосредственно вступать в реакцию, поэтому необходим измерительный сенсор. На практике в качестве сенсора применяют золото или серебро. Как и для pH-электродов, окислительно-восстановительные имеют проводящую систему, которая заполнена смесью серебро/хлорид серебра в растворе или геле хлорида калия. В то



Электрод для измерения ОВП

время как платина применяется в виде оболочки или плоской шайбы, золотой сенсор сделан в виде острого выступа. Оба сенсора одинаково хорошо используются в аквариумистике. Выступ из золота очень легко искривляется.

Пока искривлен один золотой штифт — проблем нет. Но электроды становятся непригодными, если из-за изменения формы золотого выступа образуются царапины на стеклянном корпусе. С платиновой оболочкой следует обращаться очень бережно и обрабатывать ее с крайней осторожностью. Царапины и канавки на оболочке могут привести к присое-



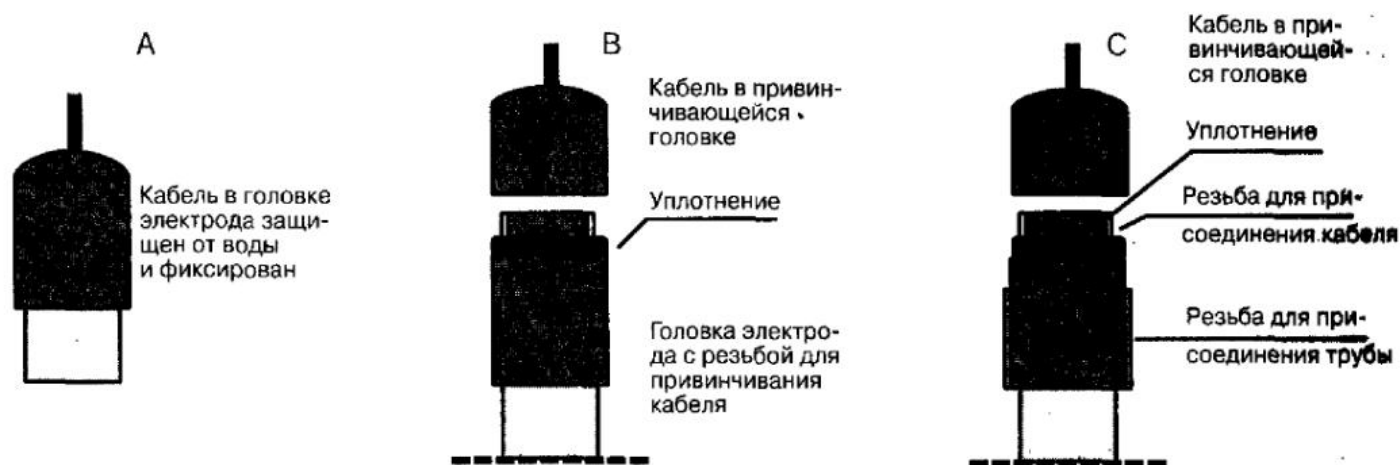
Различные конструкции окончания электродов с металлическими сенсорами

динению ионов, что повышает ошибку измерения. Очень жесткий коралловый песок может вызвать небольшие царапины на поверхности платины. Хотя металлический сенсор сам воспринимает сигнал, очень важно обеспечить полный контакт электрода со средой.

Диафрагма. Проводящая система не может находиться в прямом открытом контакте со средой, она выполнена в виде геля или раствора KCl. Посредством перехода ионов через диафрагму в измеряемую среду закрывается цикл потока, причем, проводящая система не находится в прямом контакте со средой, а также исключается выход раствора

KCl. Диафрагма состоит в основном из пористого керамического материала, который вмонтирован в стеклянную стенку. Если используются электроды с оболочкой из пластмассы, применяется диафрагма из стекловолокна, причем стекловолокном не улавливаются пузырьки воздуха, которые могли бы замедлить ионный обмен.

Корпус. Корпус электрода состоит из стекла или пластмассы. Если раньше применяли только стеклянный корпус, сегодня все чаще его изготавливают из пластмассы, особенно для массового применения с большим числом измеряемых точек.



Различные конструкции головки электрода

Измерение параметров воды

Верхняя часть головки электрода. Рисунок верхней части электрода очень схематичен. Однако перед покупкой измерительной системы следует поразмыслить о соответствующей форме верхней части головки электрода.

Конструкция «А» более всего подходит для электродов, которые должны вставляться в аквариум или в емкость для воды. Кабель в верхней части хорошо закрыт и водонепроницаем. Электроды без опасений можно полностью погружать в воду. Эта конструкция также выбирается, когда используется переносной прибор и планируется производить измерения в различных аквариумах или даже в различных водоемах. Конструкция «В» также как конструкция «А» пригодна для погруженных электродов. Кабель укреплен в верхней части так, что замена электрода возможна без замены кабеля. Эта конструкция выбирается, когда необходимо легко вставлять кабель в прибор, что, впрочем, происходит редко. Если электрод погружается полностью, имеется опасность, что через резьбу в него может протекать вода, что приведет к короткому замыканию в верхней части электрода. Конструкцию «С» всегда выбирают в том случае, если электроды используются в качестве погруженных, и прочно укрепляются в трубопроводе. Для этого в верхней части электрода имеется резьба. В этом случае также есть опасность короткого замыкания при проникновении воды. Если вода из системы удаляется, то электроды можно просушить, и в большинстве случаев использовать снова. При проникновении воды, особенно морской, в электрод, если это быстро не устранить, возможно разрушение электрода в результате коррозии.

Размещение ОВП-электродов в аквариуме

Здесь имеются аналогичные с рН-электродами варианты. В измерительных приборах с регулированием электроды долж-

ны, по возможности, находиться за местом дозирования. Если применяется прибор для озонирования, то электрод должен быть установлен на выходе озонного реактора или на выходе флотатора. Если расстояние между местом дозирования озона и местом крепления электрода слишком большое, то имеется опасность, что введется большое количество озона прежде, чем окислительно-восстановительный электрод сможет зафиксировать изменение измеряемой величины.

Плотность токообмена

Изменения плотности токообмена нужны очень редко при рассмотрении измерения окислительно-восстановительного потенциала, но эта величина важна, прежде всего, для понимания последующего описания калибровки ОВП-электрода. Окислительно-восстановительный потенциал измеряется как напряжение. Напряжение действует так, что между

Большая плотность токообмена	Малая плотность токообмена
Окислительно-восстановительный электрод	Окислительно-восстановительный электрод
Измеряемый раствор	Измеряемый раствор
Хорошая воспроизводимость, небольшое время определения	Плохая воспроизводимость, большое время определения

Большая плотность токообмена предпочтительна при измерении ОВП

электродом и измерительным раствором происходит токообмен. Ток проходит как из измерительного раствора в электрод, так и в обратном направлении. Величина тока определяется с одной стороны материалом электрода, с другой стороны видом раствора. Большая плотность токообмена приводит к достоверным измерениям, которые, кроме того, могут хорошо воспроизводиться. Далее, окислительно-восстановительные электроды в измеряемых растворах с высокой плотностью токообмена имеют относительно короткое время задержки.

В нормальных аквариумных системах можно говорить об окислительно-восстановительных реакциях, которые характеризуются очень незначительной плотностью обменного тока, так что электроды используются весьма длительно. Воспроизводимость измеряемых величин в этих случаях хуже по сравнению с измерением рН. При сравнении с другим электродом наблюдается незначительная разница в измерениях, от 20 до 60 мВ. Поэтому не следует данные окислительно-восстановительного процесса рассматривать как абсолютные. Важно то, что это дает нам возможность сделать выводы о повышении или падении ОВП. Кроме того, можно выяснить, какого порядка величины, но нет никакого смысла обращать внимание на абсолютные цифры.

Калибровка окислительно-восстановительного электрода

Калибровка окислительно-восстановительного электрода в отличие от рН-электрода является трудной задачей. Очень важно подготовить окислительно-восстановительные растворы так, чтобы они длительное время оставались стабильными и обладали воспроизводимостью. Вообще, можно порекомендовать растворы, которые имеют значения ОВП от 200 до 300 мВ. Для значений ОВП, типичных для аквариума, и для более низких значений растворы остаются стабильными

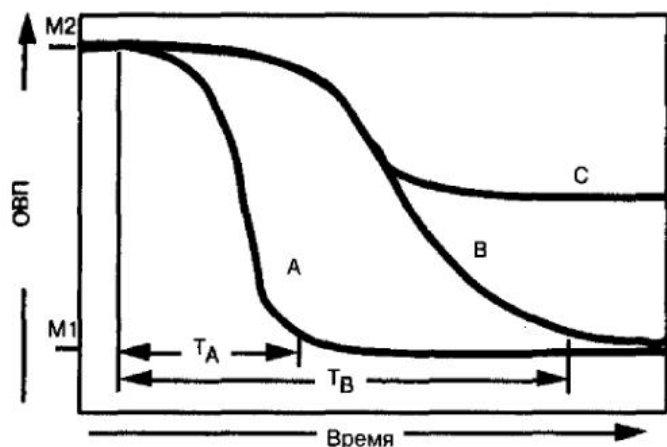


Измерительный и регулирующий прибор для ОВП с электродом и подключением к бытовой электросети

дольше, чем растворы с более высоким значением ОВП, которые разлагаются в течение от нескольких дней до недели. Растворы со значением от 200 до 300 мВ надежны только условно. Концентрации окислителей в воде аквариума всегда очень незначительны и не зависят от того, был ли достигнут ОВП 300 мВ в результате реакций с кислородом, озоном или перекисью водорода (H_2O_2). Как мы уже видели, ОВП измеряется как электрическое напряжение.

Токи при этом очень незначительны, и на основе окислительно-восстановительных реакций значения ОВП могут достигать в аквариумной воде примерно 300 мВ. Следовательно, электроды должны быть очень чувствительными. Окислительно-восстановительные растворы отличаются от воды в аквариуме температурой, что при равном ОВП выражается в гораздо более высокой плотности обмена тока. Поэтому электрод в растворах работает быстрее и точнее, чем в аквариуме. Если электрод вызывает сомнения, его проверяют по калибровочным

Измерение параметров воды



Поведение окислительно-восстановительного электрода при замене измеряемого раствора в зависимости от времени. Кривая А отражает работу нового электрода. Кривая С свидетельствует о том, что электрод не следует больше использовать

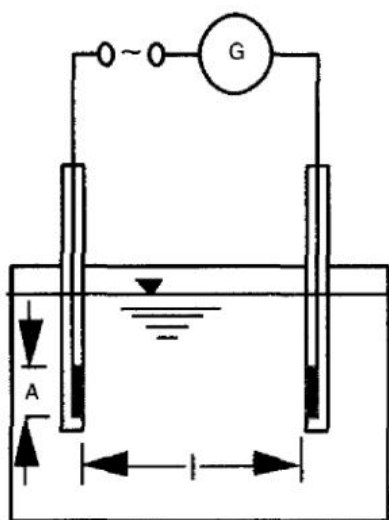
растворам. Окислительно-восстановительные растворы, следовательно, дают возможность отбирать плохие или медленно реагирующие электроды. По этой причине окислительно-восстановительные электроды следует менять чаще, чем рН-электроды.

Испытание

Вышеописанная проблема не дает гарантии не испортить электрод после испытаний на надежность. Поэтому целесообразно следующее предложение, следуя которому большая часть аквариумистов сможет работать с небольшим прибором для озонирования. Берут два наполненных водой стакана; в одном при полной мощности в течение 30 минут проводится озонирование. Это приводит к повышению ОВП примерно до 400 мВ. Абсолютные значения ОВП при этом измерении сначала не важны. Во второй стакан помещают воду с предположительно низким ОВП, то есть воду из аквариума или воду из-под крана, можно считать со значением 200 мВ. Можно также воду во втором стакане оставить стоять на 24 часа. После это-

го электроды погружаются сначала на 15 минут в стакан с высоким, а затем в стакан с низким значением ОВП и измеряется время, которое необходимо, чтобы электрод полностью вышел на новое значение. Спустя приблизительно 5 минут электрод должен достичь около 90 % конечной величины. Самым необычным преимуществом этого метода будет (если есть такая возможность) сравнение более старых электродов с более новыми. Тогда получают для каждого электрода временную характеристику и можно судить о годности старых электродов. На расположенном рядом рисунке кривая А показывает время работы нового электрода, который был перенесен из измерительного раствора с высоким значением ОВП в измерительный раствор с низким значением ОВП. Электрод, соответствующий кривой В, показывает временем T_B более длительное действие, и с ним по усмотрению владельца еще можно работать. Электрод, время срабатывания которого изображено на кривой С, отклоняется значительно и по времени срабатывания и по абсолютным значениям измеренных величин, т. о. очевидна необходимость его очистки, а в случае, если не будет улучшения — замены. Прибор для измерения ОВП очень напоминает прибор для измерения рН и только по измеряемым величинам можно сделать вывод о принадлежности электрода к измерению рН или к измерению ОВП. Это, конечно, очень интересно, а особенно для ручных приборов. Включенные приборы могут быть рассчитаны только на одну измеряемую величину. В то время как при измерении рН получают только положительные значения от 0 до 14, ОВП может достигать также отрицательных значений. Это случается прежде всего при денитрификации. Чтобы сделать возможным дозирование как окислительных средств, таких как озон, так и восстановительных средств, нужно использовать переключатель.

$$\text{Удельная проводимость } \chi \text{ [См/см]} = G[\text{См}] \times l[\text{см}] / A[\text{см}^2]$$



Ток между двумя электродами измеряют для определения электропроводности. Ее значение, кроме расстояния между электродами, зависит от площади электрода; зная эти величины, можно рассчитать удельную электропроводность

Измерение электропроводности

Как мы уже видели в «Основах», вследствие диссоциации солей в водном растворе возникают заряженные частицы (ионы), которые переходят в раствор. Чем больше солей диссоциировано, тем выше проводимость воды. Если два электрода поместить в стакан с водой и подвести напряжение, то потечет ток, который обратно пропорционален элек-

трическому сопротивлению R (измеренному в омах).

Электропроводность G определяется как обратное значение сопротивления и измеряется в сименсах (См). Следовательно имеетя:

$$\text{Электропроводность} = 1/\text{сопротивление} \\ G[\text{См}] = 1/R[\Omega]$$

Удельная электропроводность определенного вещества — это электрическая проводимость на сантиметр. Удельная электропроводность получается из электропроводности по вышестоящей формуле. При этом l/A называется начальной константой. Формула показывает, что значение электропроводности умножается на расстояние между электродами и делится на площадь электродов, чтобы таким образом получить удельную электропроводность. В аквариумной технике измеряемые величины так малы, что они выражаются в мкСм/см (1 мкСм = 1 микросименс) или (мкСм/см микросименс равен одной миллионной части сименса). Обычные области измерений приведены в находящейся ниже таблице. Для аквариумной техники из этого ряда интересны все значения за исключением чистой воды. Таким образом, при многократном использовании приборов обратного осмоса, их функции и регулировки целесообразно проверять с помощью хорошего прибора для измерения электропроводности. Такие приборы пригодны

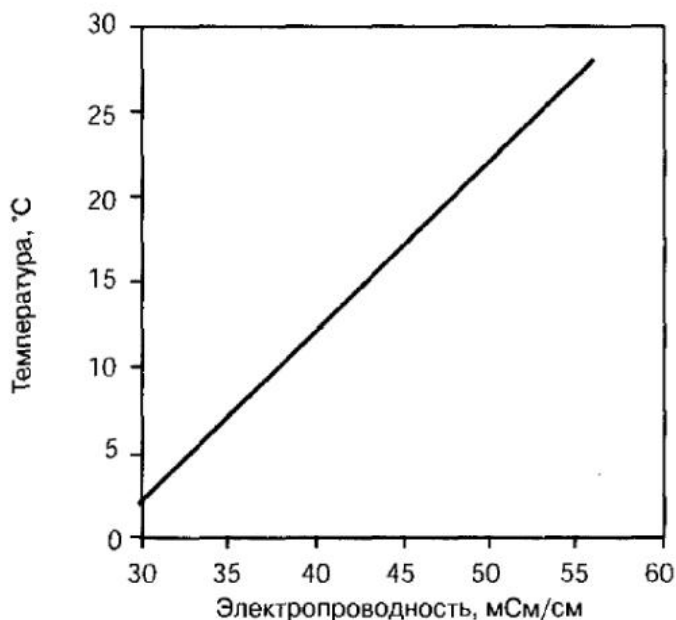
Чистейшая вода (бидистиллят)	0,03 – 0,1	См/см
Чистая вода (вода после обратного осмоса, дистиллят)	0,1 – 15	См/см
Мягкая и чиста вода, например, вода для дискусов	10 – 50	См/см
Нормальная пресная среднеевропейская вода, водопроводная вода	300 – 600	См/см
Вода Балтийского моря	10 – 25	См/см
Теплые моря, вода океанов	50 – 55	См/см
Красное море	свыше 60	См/см

Измерение параметров воды

для определения качества употребляемой водопроводной воды или измерения электропроводности морской воды для аквариума. Таким образом, имеются области измерений от 6 мкСм до 60 мкСм (=60000 мкСм). Эти области находятся в соотношении 1:10000, так что обычно это работа выполняется не одним прибором. Тем не менее существуют приборы, которые перекрывают весь диапазон измерений. Они снабжены переключателем области измерений, так что можно подбирать необходимый диапазон с очень высокой точностью. Измерение электропроводности зависит от многих факторов.

Концентрация ионов

В первую очередь электропроводность изменяется, конечно, с изменением концентрации содержащихся в воде ионов, которая в свою очередь зависит от содержания солей в воде. Содержание солей в морской воде по-настоящему интересная величина, о которой мы можем узнать посредством измерения электропроводности. В пресной воде это не имеет смысла. Тем не менее в этом случае проводимость дает нам ценное указание на общее содержание солей, так что мы можем выяснить соответствует ли проводимость воды данному виду рыб или лучше подключить прибор обратного осмоса. В пресной воде все соли оказывают влияние на проводимость, как, например, соль угольной кислоты гидрокарбонат кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Это соединение находится в воде в полностью диссоциированном виде, т. е. в форме катионов и анионов и является поэтому хорошим носителем зарядов. Нитрит-ион (NO_2^-) и нитрат-ион (NO_3^-) также вносят вклад в электропроводность. Таким образом, электрическая проводимость является типичным суммарным параметром. Мы не знаем, сколько и каких солей в виде ионов имеется в воде, но мы получаем очень хорошую сравни-



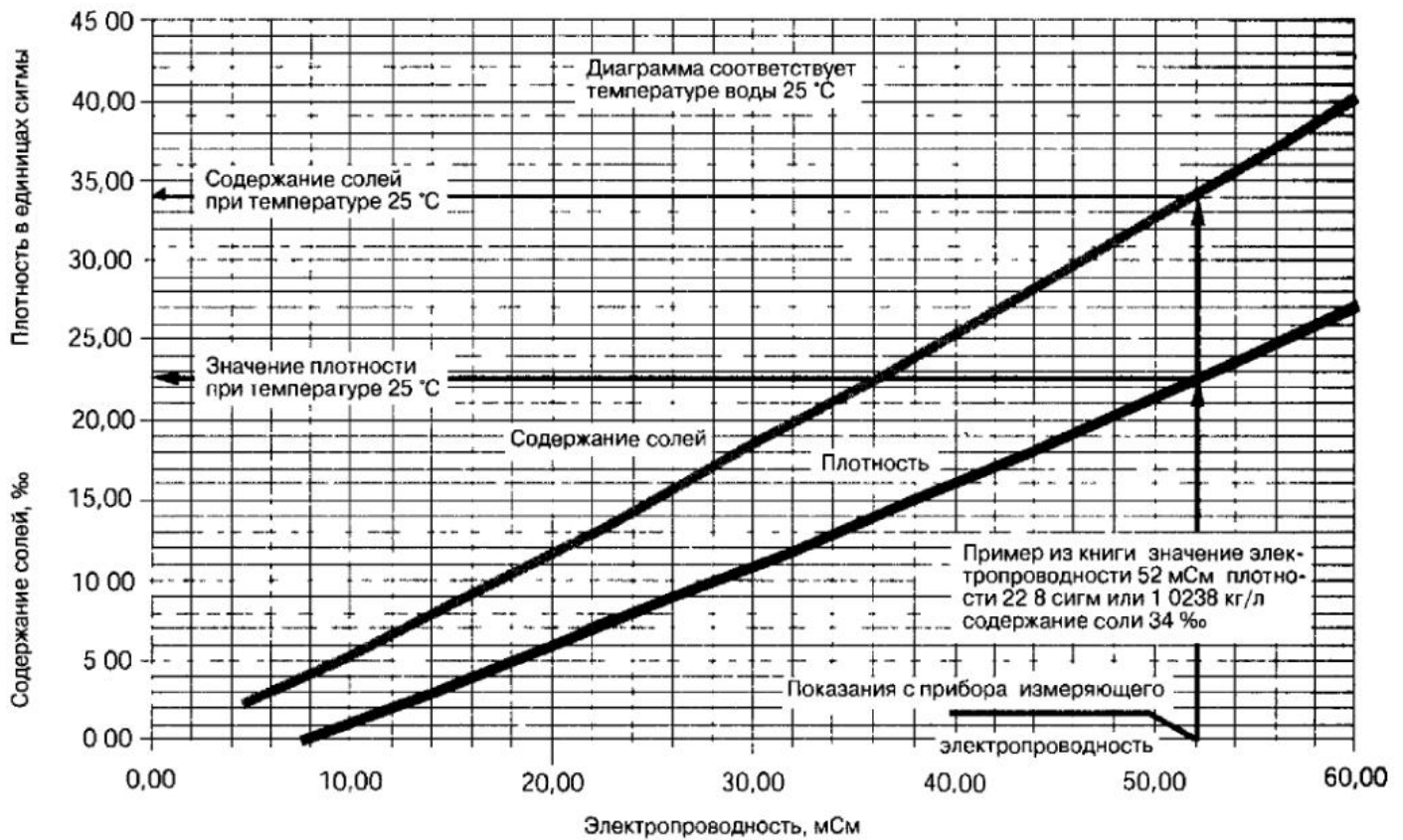
Электропроводность в зависимости от температуры

тельную величину, с помощью которой мы можем определить в пресной воде чистоту, а в морской воде непосредственно содержание солей.

Влияние температуры

Эффективная электропроводность водного раствора значительно зависит от температуры, поэтому при сравнении двух значений следует убедиться в том, что они зафиксированы при одинаковой температуре. Зависимость проводимости от температуры следует определенной закономерности, так что измеренные при разных температурах величины могут пересчитываться на установленную стандартную температуру 25 °C. Расположенная выше диаграмма показывает зависимость электропроводности от температуры в морской воде при концентрации 35‰.

При выборе прибора для измерения электропроводности следует обращать внимание на то, регулируется ли температура или прибор имеет автоматическое выравнивание температуры. Приборы с выравниванием температуры автома-



С помощью таблицы по значению электропроводности можно рассчитать плотность и содержание солей в морской воде

тически измеряют температуру, и, как правило, температурные зонды и электроды для электропроводности встроены в общий корпус.

Вид ионов

Различные соли диссоциируют по-разному и предоставляют поэтому разное количество зарядов. Как уже говорилось выше, по значению электропроводности невозможно выяснить, какие соли и в каком количестве находятся в аквариуме с морской водой.

Различные виды солей при одинаковой концентрации могут показывать различные отклонения в проводимости.

Загрязнения

Все, что важно для измерений параметров воды, влияет также и на показания электропроводности. Поверхность электродов должна быть чистой. Электроды, покрытые грязью, могут давать сильно завышенные или слишком низкие значения измеряемых величин. В некоторых измерительных приборах поверхности электродов находятся в узком зазоре или в измерительном канале. Если эти зазоры или каналы загрязнятся, то в них может замедлиться водный обмен, что приведет к ошибочным данным. Должно исключаться также попадание на рабочую поверхность электрода воздушных

$$S = 0,08996 + 28,29720 R_{15} + 12,80832 R_{15}^2 - 10,67869 R_{15}^3 + 5,98624 R_{15}^4 - 1,32311 R_{15}^5$$

Измерение параметров воды

пузырьков, при этом большие воздушные пузырьки меньше мешают измерению по сравнению с микропузырьками.

Связь электропроводности с другими величинами

Это прежде всего касается измерения электропроводности в морской воде, — используются такие величины, как содержание солей в промилле и плотность воды. Известно, что чем выше содержание солей в воде, тем больше число продиссоциировавших ионов находится в растворе и тем больше проводимость. Эта связь представляется формулой (стр. 203).

При этом R_{15} является электропроводностью воды при температуре $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для других температур содержание солей пересчитывают. Содержание солей связано с величиной плотности воды. Эти формулы, однако, очень сложны, и поэтому их не следует приводить. По измерению проводимости можно найти соответствующие значения плотности и содержания солей.

Определение плотности по значению электропроводности. Допустим, прибор показывает 52 мСм/см . Мы ищем эту величину на горизонтальной оси. От этой точки идем вверх до кривой плотности и отсюда горизонтально налево до вертикальной оси считываем значение плотности, которое составляет примерно $23,8$, что не соответствует точному значению, а представляет собой некоторую производную величину, которую называют величиной сигма. Действительную плотность получают по следующей формуле:

$$\text{Плотность } \rho = 1 + \sigma/1\ 000$$

Определение содержания солей по величине электропроводности. Сначала находим электропроводность на горизонтальной оси, затем — вертикально вверх до пересечения с кривой содержания солей. Содержание солей в нашем примере составляет 34‰ .

Измерение температуры

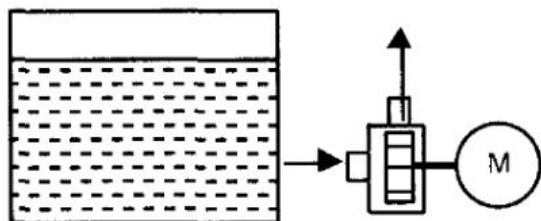
Спиртовые и ртутные термометры — приборы замечательной точности, которые широко используются в аквариуме. Но они имеют два недостатка. Прежде всего то, что показания термометра иногда очень трудно считывать, глаза нужно держать на равной со столбиком термометра высоте, чтобы гарантировать точное считывание. С появлением электронного нагрева термометр с переключателем стал наиболее популярным. По этой причине чуть раньше использовали биметаллические термометры, которые выполняли функцию терморегуляторов. Недостатком является то, что они не достигают точности обычных термометров. Рекомендуется комбинировать оба термометра. Обычный термометр используют для точного измерения температуры, а биметаллический — как переключающий элемент. Конечно, современная электроника предлагает очень хорошие приборы для измерения температуры, например «РТ 100», приборы, в которых электрическое сопротивление зависит от температуры. Его измерение записывают с помощью электроники, так что получают очень точные и хорошо считываемые данные по температуре. Фактически эти электронные приборы, измеряющие температуру, снабжены также функцией переключения и при точном измерении температуры они могут еще и регулировать ее.

Водяные насосы

Водяные насосы являются в прямом смысле сердцем аквариума. Они транспортируют обедненную кислородом воду в фильтровальную емкость, очищают, насыщают кислородом и перекачивают ее обратно, в то место где находятся рыбы и беспозвоночные. Без насоса мы были бы не в состоянии воспроизвести многообразие природы в нашем аквариуме. Современная техника представляет в наше распоряжение широкий ассортимент насосов. Прежде чем приобрести водяной насос следует выяснить для себя способ его применения, желаемую мощность и также материал. В аквариумной технике мы различаем в основном четыре вида насосов, различающихся по способу применения.

Нормально всасывающие насосы

Под нормально всасывающим способом использования понимается свободное поступление воды в насос, т.е. она не должна всасываться принудительно. Это



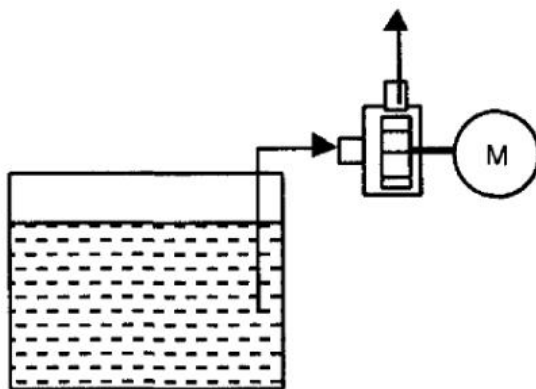
Нормально всасывающий аквариумный насос должен устанавливаться на высоте, равной половине высоты воды в аквариуме

условие очень часто недооценивается. Многие насосы работают в режиме дросселирования, для чего на входную сторону устанавливаются слишком длинные и слишком маленькие в диаметре трубы. Можно заметить, что все насосы работают как нагнетательные.

Поэтому не следует устанавливать вентиль или другое дросселирующее оборудование со стороны всасывания. Вентиль, который устанавливается на стороне всасывания, служит только для того, чтобы насосы легко можно было отключить от установки.

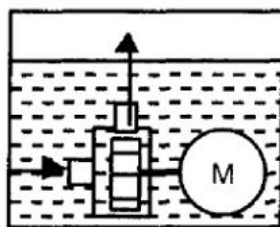
Самовсасывающие насосы

Самовсасывающие насосы могут легко всасывать воду из глубоко расположенного резервуара. Они оборудованы, как правило, предварительным резервуаром на всасывающей стороне или другим устройством, которое предотвращает работу насоса без воды, когда он отсасывает из трубопровода не воду, а воздух. Под рабо-



Самовсасывающие насосы можно устанавливать выше водной поверхности

Водяные насосы



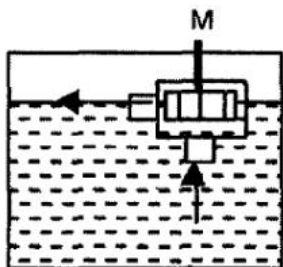
Насос для погружной установки

той насоса без воды понимают ситуацию, когда нет воды в корпусе ротора.

Такая ситуация опасна для каждого насоса, так как при этом могут повреждаться подшипники и уплотнения. При включении насос сразу должен заполняться водой для того, чтобы он вообще мог работать. Никакой насос не может поднять воду на высоту более 10 м. Эта разность высот соответствует атмосферному давлению. Для рациональной работы всасывающий насос должен работать до разницы высот около 2,5 м, в противном случае следует принимать другие технические решения. Для того, чтобы была возможность регулирования, самовсасывающие насосы должны иметь рабочее оборудование только на стороне нагнетания.

Погружные насосы

Аквариумисты охотно выбирают тип насоса, который можно размещать ниже уровня воды. Такая конструкция способствует компактному расположению в ак-



Погружной центробежный насос, несмотря на свое название, находится только наполовину под водой

вариуме или в фильтровальном отсеке. Само собой разумеется, двигатели этих насосов водонепроницаемы, способ защиты IP 67. Кроме того, моторы в этом случае обязательно должны быть заземлены.

Некоторые погружные насосы могут использоваться также вне воды, но, тем не менее, это ненормально.

Погружной центробежный насос

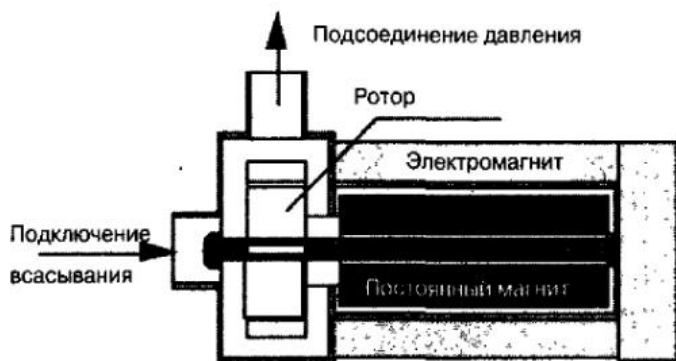
Название этого насоса вводит в заблуждение, так как он не может полностью погружаться, только собственно заборная часть его находится наполовину под водой, в то время как мотор расположен под краем аквариума. Такие насосы особенно хорошо подходят для того, чтобы создавать в аквариуме течения. Конструкцию мотора определяет также способ соединения мотора с насосом. Наиболее подходящим для аквариума является мотор с магнитным центробежным насосом.

Электромагнитные центробежные насосы

Магнитный центробежный насос характеризуется тем, что не имеет никакого механического соединения между водной частью и электромотором. Сцепление их осуществляется исключительно силой магнита. При этом применяется две различных системы.

Электромагнитный приводной механизм

Эта конструкция представляет собой аквариумный насос с производительностью до 200 литров в час. Насос имеет отдельный двигатель с вращающимися частями. В нем создается электромагнитное вращающееся поле, которое действует на постоянные магниты в области насоса и вращает их. (Эта связь иллюст-



Сечение центробежного насоса с электромагнитным приводом

рируется на рисунке стр. 207 вверху.) Катушка, расположенная вокруг железного сердечника, возбуждает в нем электромагнитное поле. Очередность катушек и железных сердечников выбирается таким образом, чтобы электромагнитное поле вращалось.

Железные сердечники расположены преимущественно таким образом, что они включают в себя постоянные магниты. Вследствие этого достигается хорошая мощность. Вращающееся электромагнитное поле влияет на постоянный магнит, который устремляется за полем. Таким способом здесь достигается чисто магнитное соединение. Поэтому есть возможность отказаться от дорогостоящих уплотнений между водой и двигателем. В простых типах конструкций встречаются проблемы, а именно: в момент разгона нельзя точно установить направление вращения, то есть ротор может вращаться как налево, так и направо. Поэтому перегородки ротора в насосе изготавливаются не в форме спирали (как это у большинства насосов), а прямыми, что вызывает незначительное падение производительности. При разгоне направление вращения может меняться даже многократно в течение короткого времени. Вследствие этого ротор подвергается чрезмерным перегрузкам, что в дальнейшем может привести к быстрому износу. Не направленный разгон является также причиной того, что многие из центро-

бежных насосов с магнитным соединением после включения в воде сильно шумят. Из всего приведенного здесь ясно, что особенно важна тщательная установка насоса, при которой не повреждаются керамические валы. Чтобы устранить колебания, прежде всего при разгоне, керамические валы устанавливают в гибких креплениях из пластмассы, которые, с одной стороны, позволяют некоторое движение, с другой стороны, должны быть закреплены твердо. Отчасти именно поэтому конструкции подшипников для маленьких аквариумных насосов очень дорогие. Рабочее напряжение для большей части аквариумов 230 В. Тем не менее многие насосы, например, такие как погружные, применяются только тогда, когда они надежно изолированы и заземлены. Принципиально важно перед покупкой насоса ясно представлять, какой насос вы хотели бы использовать, так как не каждый насос может использоваться под водой. Некоторые насосы можно использовать как в погружном, так и в надводном режимах. В этом случае насос должен иметь прочные трубы или шланговые соединения. Если насос использу-

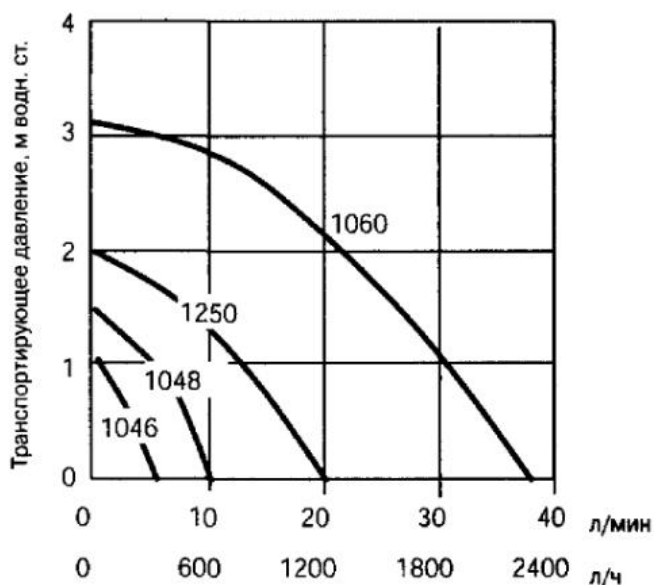


Диаграмма производительности насосов с электромагнитным подсоединением

ется как погружной, следует, по меньшей мере, предусмотреть фильтр грубой очистки, который предотвращает засасывание животных или грубых частиц. Грубые частицы могут повреждать насос. Песок также не должен засасываться, так как он из-за своей твердости со временем разрушает корпус насоса.

Многие изготовители аквариумной техники предлагают многофункциональные насосы. Они подходят в качестве погружных насосов, а также в качестве насосов, расположенных снаружи. Особенно выгодны в связи с этим резьбовые шланговые соединения, которые при внешней установке гарантируют надежное закрепление шланга. Также важно, чтобы насос отсоединялся относительно просто, для того, чтобы удалять загрязнения. Рабочий диапазон центробежных насосов с электромагнитным подсоединением ограничен. Возможное давление по большей части составляет 5 метров водного столба, в то время как количество воды для насосов большого размера едва превосходит безнапорный режим, 3–4 м³/час. Поэтому они могут использоваться в большинстве домашних аквариумов. На стр. 207 внизу представлены типичные кривые производительности для различных насосов с электромагнитным подсоединением.

Магнитные насосы с моторным приводом и соединением на постоянных магнитах

Магнитные насосы с большей производительностью устроены, как правило по другому принципу. Они используют обычный двигатель трехфазного тока, на валу которого укреплен вращающийся от него магнит. Этот приводной магнит может быть выполнен в виде шайбы, в виде трубки или в виде короба. Сам насос находится в герметичном закрытом кожухе и не состоит ни в каком механическом соединении. Следовательно, никаких уплотнений в моторной части нет,

и можно быть уверенным, что протечки исключены.

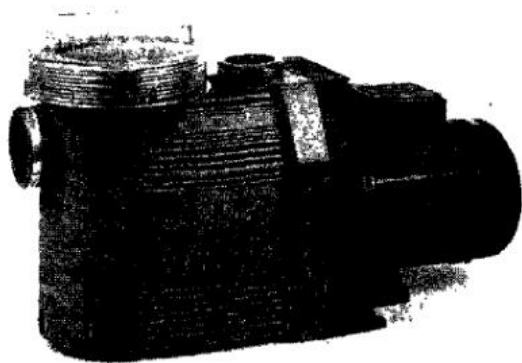
В центре насоса находится магнит, расположенный концентрически к приводному магниту. Магнит жестко связан с насосным валом. Мотор вращает магнит приводного устройства, насосный магнит следует за ним в том же направлении и вращается с той же частотой вращения. Проблемы разгона электромагнитного сцепления у этих насосов нет, но у них не очень высокий коэффициент полезного действия, так как присоединяется следующая передача. Эти насосы имеют большой размер и не используются, как правило, в качестве погружных насосов. Их целесообразно применять для больших количеств воды. К сожалению, они относительно дороги по сравнению с устройствами простого типа.

Внешне расположенные насосы с торцевым уплотнением

Магнитные лопастные насосы ограничены относительно небольшой производительностью. Аквариумисты, использующие центробежные насосы



Центробежный насос из пластмассы с кольцевым уплотнением



Центробежный самовсасывающий насос с корпусом из пластмассы

с переменными магнитными подсоединениями, выбирают большую производительность, хотя и затраты при этом также становятся значительными. В этом случае обычные насосы с техникой торцевого уплотнения представляют собой очень хорошую альтернативу. Для аквариума предлагаются различные конструкции, причем, прежде всего, оправдали себя насосы с конструкцией корпуса из пластмассы в виде улитки. Они подходят как для морской, так и для пресной воды.

На рисунке на стр. 208 внизу показаны подобные насосы. Корпус ротора из стекловолокнистого материала устойчив как в пресной, так и в морской воде, а также выдерживает давление до 2 бар. Самовсасывающее исполнение дополняется относительно большим всасывающим фильтром, который должен заполняться водой при приведении в действие (см. рисунок наверху).

Насос может тогда откачивать воду из заборных трубопроводов при разности высот до 2,4 метра водного столба. С повышением температуры уменьшается всасывание. У самовсасывающих насосов диаметр всасывающей трубы должен выбираться так, чтобы не возникали никакие дополнительные потери производительности. На трубопроводе должен устанавливаться обратный клапан, так

чтобы при каждом разгоне не засасывался новый воздух, так как это приводит к потере времени. Обратный клапан может устанавливаться в виде нижнего вентиля в начале трубопровода или бокового вентиля рядом с насосом. Важно, чтобы при расчете параметров учитывалась высота всасывания. Высота подъема является суммой высоты всасывания и напора! Насосы с меньшей производительностью поставляются с моторами переменного тока или в большинстве случаев — с моторами трехфазного тока. Двигатели переменного тока снабжены специальным переключателем, который защищает мотор от перегрузки. Двигатель в этом случае непосредственно соединен фланцами корпуса насоса, так что конструкция относительно компактна. Есть, конечно, возможность того, что при дефекте торцевого уплотнения вода может проникнуть непосредственно в двигатель и повредить его. Так называемые насосы с несущей опорой предотвращают эту опасность. Между головой мотора и головой такого насоса есть устройство, которое дает возможность протекающей воде выйти из насоса. Очевидно, эти насосы дороже и конструктивно больше, и в связи с этим они редко применяются в аквариуме. Они имеют, как правило, воздушное охлаждение, чтобы отводить тепло двигателя. В противном случае мотор может перегреться и сломаться или отключиться переключателем защиты мотора. Неприятным сопутствующим фактором является то, что все двигатели с лопастями сильно шумят создаваемыми потоками воздуха. Сильный шум всегда является проблемой, особенно если насосы установлены в жилой зоне. В этом случае либо должна предусматриваться звукоизоляция, либо насос помещают в нежилое помещение (подвал, склад). Если это невозможно, аквариумисты, которых раздражает шум, должны использовать другой тип насоса. Часто дилетант не имеет никакого представления о том, насколько сложна конструкция насоса.

Водяные насосы

Элементы конструкции насоса. Каждый элемент изготавливается из специального материала, который рассчитан на соответствующие нагрузки. С особенной тщательностью изготавливаются и используются торцевые уплотнения, которые выполнены из различных материалов. Принцип торцевого уплотнения состоит в том, что уплотнительная часть насажена на вал насоса, в то время как другая часть соединена с корпусом. Таким образом, имеются неподвижная и вращающаяся части.

Эти главные элементы управления состоят большей частью из графита или керамики, торцевые поверхности взаимозаменяются и работают одна за другой. Чтобы гарантировать в таких условиях абсолютное уплотнение, места уплотнения прижимаются пружиной. Можно легко себе представить, что уже незначительные неровности на поверхности разрушали бы уплотнения при длительном вращении. Поверхности уплотнения, следовательно, должны быть отшлифованы с большой точностью. Несмотря на это, торцевые уплотнения являются критическим узлом этих насосов. Прежде всего критерием является возможность их применения в морской воде. Если насос значительное время находится в бездействии, это может привести к образованию между уплотняющими поверхностями кристаллов соли, которые являются столь твердыми, что они, прежде всего при разгоне, царапают полированные поверхности и снижают уплотняющее действие. Таким образом, насосы с торцевым уплотнением используют в морской воде по возможности непрерывно. Большим преимуществом этой конструкции является то, что насосы весьма производительны. Можно достигать расходов воды от 6 до 80 м³ в час; при этом хорошо используются дорогостоящие трубопроводы со многими углами. Например, насосы хорошо подходят для подачи воды из подвала на первый или второй этаж. Наряду с описанными насосами имеется целый ряд

промышленных насосов, которые, прежде всего, применяются в больших аквариумных установках. В этом случае могут выполняться почти все специальные пожелания по способу соединения, производительности, выбору материала или по технике уплотнения. Расход воды от 200 м³ в час или напор до 50 м водного столба могут реализовываться центробежными насосами из пластмассы. Имеются в распоряжении также насосы из керамики. Чем больше насос, тем тщательнее должен планироваться его выбор.

Выбор насосов

Критерии выбора мощности насоса

Перед покупкой водяного насоса хорошо было бы обдумать, какая конструкция насоса необходима. При этом нужно

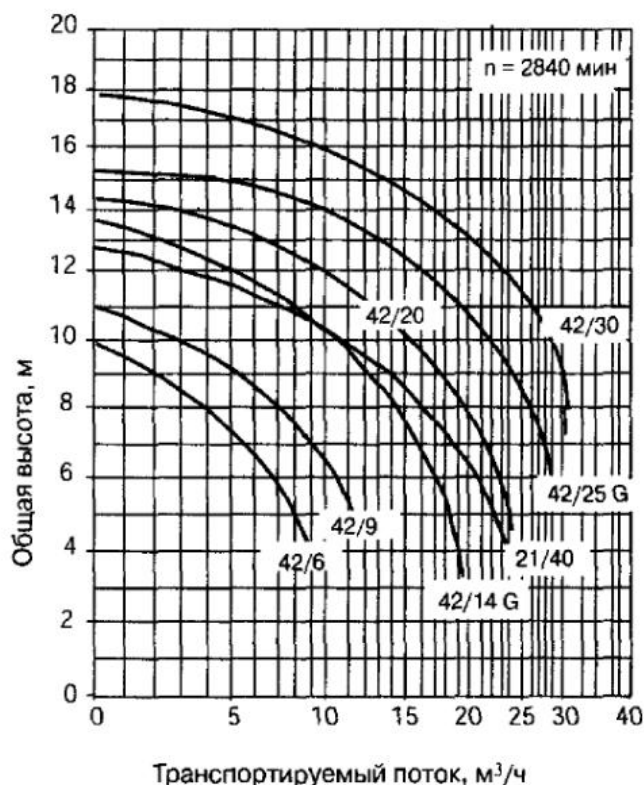
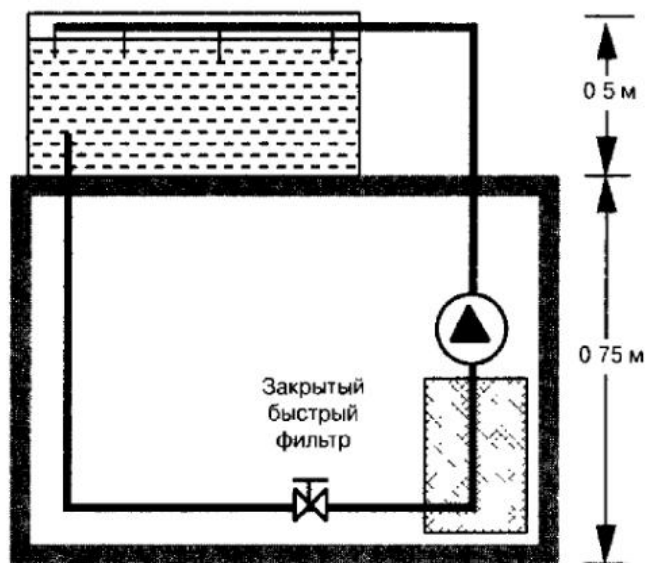
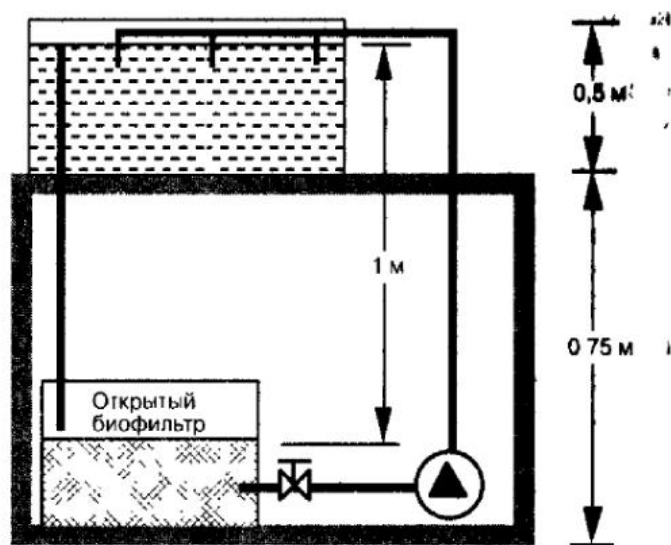


Диаграмма производительности различных центробежных насосов из пластмассы



Давление насоса = потери в трубопроводе
 $P \sim 0,3$ м водн. ст

В закрытом быстром фильтре необходимо учитывать потерю давления в трубопроводе из-за трения, которое создается водным столбом, равным в нашем примере 0,3 м



Давление насоса = потери в трубопроводе + водный столб
 $P \sim 0,3$ м + 1 м = 1,3 м водн. ст

В большом открытом фильтре дополнительно к потере давления в трубопроводе за счет водного столба 0,3 м прибавляется величина водного столба, равная 1 м, и в общей сложности — 1,3 м водного столба

решить, какое количество воды будет циркулировать. Если имеются в виду дорогостоящие установки, следует выполнить от руки эскиз, чтобы выяснить какой путь, должен преодолеть насос. С помощью таблицы в главе о трубопроводах можно установить потери в трубопроводе. При простом решении задачи содержимое аквариума следует прокачать через быстрый фильтр, который находится в аквариуме в качестве внутреннего фильтра. В качестве эмпирической формулы можно принять, что содержимое аквариума должно перекачиваться один раз в час. Производительность насоса должна составлять, по крайней мере, 150 литров в час.

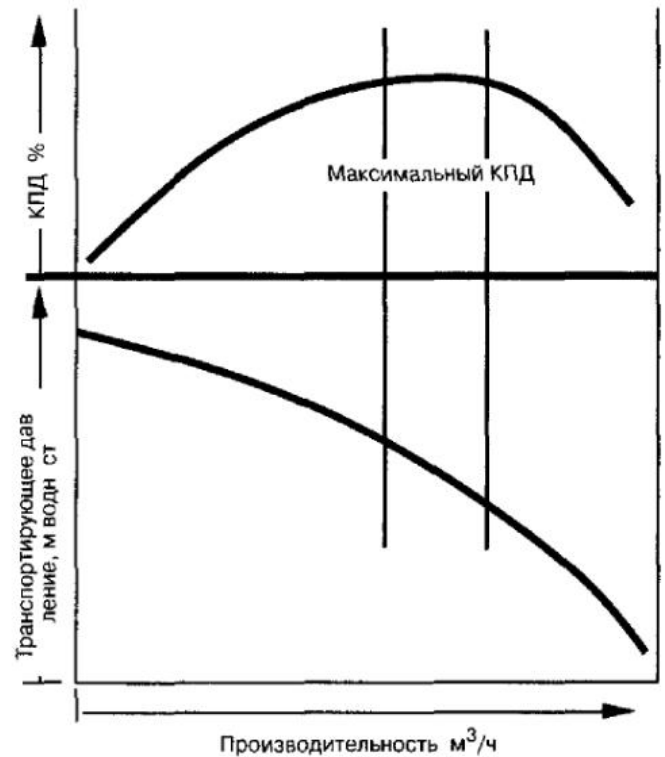
Так как внутренний фильтр имеет незначительное сопротивление и к нему не присоединены никакие трубопроводы, в нем происходит незначительная потеря давления, так что насос разветвляет почти полную производительность. В этом

случае с помощью рисунка на стр. 207 можно было бы выбрать фильтр типа 1040 и он был бы более чем достаточен. Для 500 литрового аквариума, нам был бы необходим насос, который без напора выдавал бы производительность 500 литров в час. В этом случае мы могли бы выбрать фильтр типа 1048. И, конечно, для 500-литрового аквариума не подходит установка с внутренним фильтром. Для аквариума такого размера фильтрующее устройство должно стоять под аквариумом или даже в подсобном помещении. Если есть закрытый быстрый фильтр, который подключен на стороне всасывания или напора, то из-за трения в шлангах, углах и вентилях потери напора составят около 0,3 метра водного столба. Это давление должно перекрываться насосом. Если теперь посмотреть на график производительности насоса 1048, очевидно, что при 0,3 метра водного столба он дает более низкую произ-

Водяные насосы

водительность подачи, которая, тем не менее достигает 500 литров в час, следовательно, насос можно оставить. Теперь мы знаем, что биологические фильтры дают определенные преимущества, и необходимо решить, заменять ли быстрый фильтр на биологический. Вода движется из аквариума в биофильтр свободно, но насос должен снова транспортировать воду в аквариум. В нашем случае мы с удивлением констатируем, что при применении насоса 1048 в аквариум вместо потока возвращается тонкая струйка. В чем дело? Мы же заменили только фильтр. С точки зрения гидравлики все очень просто. Быстрый фильтр является закрытым фильтром. Он создает напор воды, который вначале оказывает на него давление сверху, а в дальнейшем не влияет, так как он не связан с атмосферой

Насосу, следовательно, нужно, как и при использовании внутреннего фильтра, только преодолеть сопротивление трубопровода и потерю напора в фильтре. Биологический фильтр, однако, открыт. Он непосредственно связан с атмосферой, так что гидравлическая система разрывается. Транспортирующему насосу не помогает давление воды в аквариуме, так что общая энергия подачи должна обеспечиваться только насосом. Насос должен преодолевать поэтому наряду с сопротивлением трубопровода и потерей напора в фильтре еще различие между уровнями воды. Так как расчетный оборот составлял 500 литров в час, то необходим насос, который подает 500 литров в час при противодавлении 1,3 метра водного столба. По диаграмме производительности при этом значении насос 1048 не дает при этом давлении необходимой производительности. Следует выбрать более мощный насос. Диаграмма для насоса 1250 выглядит уже значительно лучше. Этот насос при противодавлении 1,3 метра водного столба дает требуемую производительность 500 литров в час. Этот пример по-



КПД центробежного насоса достигает максимума в интервале между половиной и двумя третями максимальной производительности

казывает, что выбор насоса тесно связан с выбором фильтровальной системы. Следовательно, два насоса с равной максимальной производительностью в области давления могут тем не менее сильно различаться в производительности. Поэтому при покупке насоса в каждом случае нужно осведомляться не о значении производительности, а спрашивать диаграмму производительности! В каждом случае для определения параметров насоса следует к значению только напора (высоты подъема) добавлять потери за счет трубопровода.

Критерии выбора коэффициента полезного действия

В аквариумных установках потребление энергии является важным фактором, так как каждый ватт мощности относится к эксплуатационным расходам. Поэтому

Используемая мощность для центробежного насоса тем выше, чем ниже преодолеваемое давление

Производительность, м ³ /ч	Давление водного столба, Вт/м	Потребляемая мощность, Вт/м
2,00	6,00	356,00
4,00	5,50	366,00
5,20	5,00	375,00
6,10	4,50	378,00
7,10	4,00	383,00
9,00	3,50	390,00
10,00	3,00	391,00
12,50	2,10	394,00

коэффициент полезного действия насосов является важным критерием в принятии оптимальных решений. Под коэффициентом полезного действия понимается отношение энергии, которая совершает полезную работу, к той, которая потребляется из сети.

При этом всегда важно указать, в каких точках или для каких конструктивных групп производятся эти измерения. Таким образом, можно рассматривать часть насоса, мотора или систему силового соединения в отдельности или ис-

следовать всю систему. Если находят общий коэффициент полезного действия насоса, то нужно перемножить их друг с другом. Если исходить из того, что три компонента: двигатель, сцепление и насосная часть работают с КПД примерно 60%, то суммарный коэффициент полезного действия получается около 20%

$$(60/100 \times 60/100 \times 60/100 = \\ = 216000/1000000 = 21,6/100)$$

Это пример типичного коэффициента полезного действия для аквариумного насоса. При этом можно исходить из того, что большие насосы имеют больший коэффициент полезного действия по сравнению с компактными. Это общая закономерность в технике: большие системы, рассматриваемые отдельно, более экономичны.

Поэтому коэффициент полезного действия у малых насосов с производительностью от 100 до 1000 литров в час составляет 15—18%, у насосов с производительностью от 1 до 15 м³ в час — 15—25%, и у больших промышленных насосов до 60%. Конечно, сами по себе эти показания мало что дают. Важно рассмотреть все параметры. Как показывает таблица слева, мощность, потребляемая насосом, не является постоянной во всей



Центробежный насос из пластмассы, используемый в промышленности

Водяные насосы

рабочей области. Важно знать, что абсолютная потребляемая мощность тем выше, чем ниже давление. Чем ниже напор, тем больше воды транспортируется и тем выше потребляемая мощность! И наоборот, потребляемая мощность при высоком давлении ниже. Эта закономерность часто меняется. На практике это означает: если насос дросселируется с помощью вентиля или шарового крана на стороне давления, то растет напор, падает количество транспортируемой воды, а следовательно, потребляемая мощность. Следующий пример позволит это понять лучше. Если имеются два насоса одинаковой конструкции, причем один должен транспортировать воду на высоту два метра, другой применяется только для циркуляции воды, то последний из них имеет большую потребляемую мощность.

Коэффициент полезного действия насоса также не постоянен: он изменяется в зависимости от режима. Соответственно, в конечных точках диаграммы производительности при максимальной подаче без противодействия и при максимальной высоте подъема без перемещения воды коэффициент полезного действия незначителен. В общем, можно констатировать, что коэффициент полезного действия достигает максимума между половиной и двумя третями максимальной производительности.

Критерий выбора по шумовым качествам

Здесь выбор особенно труден, так как громкость является очень субъективным критерием. Но можно отметить, что на-

сосы с ротором значительно более шумны, чем насосы без ротора. В частности поверхностные погружные насосы очень тихие, так как они не передают в воздух возможные колебания. Звук к тому же заглушается водой. Все насосы будут работать более шумно, если они засасывают пузырьки воздуха. Газовые пузырьки приводят внутренние подшипниковые конструкции к постоянным колебаниям, а механические колебания производят акустические, которые и создают шум. Тщательная установка позволяет избегать шума от подшипников, т. е. перед покупкой насоса следует также проверить качество подшипников. Совсем бесшумный насос получить нельзя, так как разгон воды в корпусе ротора всегда приводит к определенному шуму, который невозможно устранить.

Критерии выбора материалов

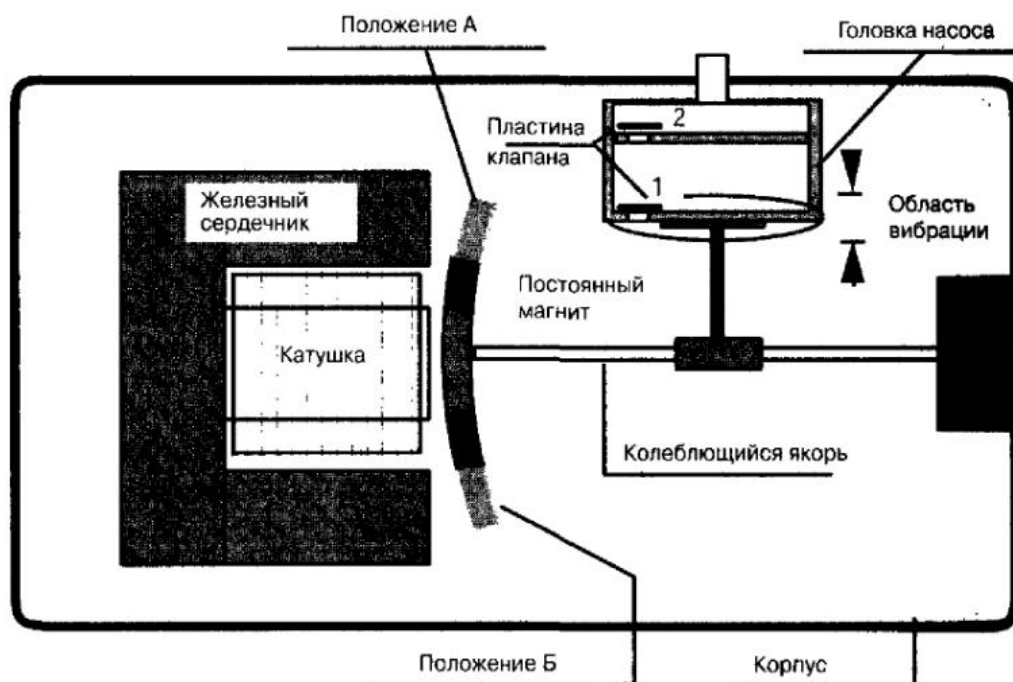
Большинство аквариумных насосов контактируют с водой пластмассовыми частями, так что они могут применяться как в морской, так и пресной воде. Например, если насос с металлическими частями можно использовать в пруду, то его ни в коем случае нельзя применять в соленой воде. В морской воде все металлы подвержены коррозии и очень быстро и выделяют в воду токсичные соединения металлов. В насосах из пластмассы иногда нельзя избежать крепежных металлических соединений в виде винтов в области ротора. В этом случае винты должны быть выполнены из легированной стали.

Воздушные насосы

Воздушные насосы можно назвать «легкими» аквариума. Если сегодня и есть системы, которые обходятся без воздушных насосов, то это аквариумы любителей. Воздух нужен, прежде всего, как источник кислорода. Воздух вводят в аквариум непосредственно через флотатор или с помощью внутреннего фильтра, причем, поднимающиеся пузырьки воздуха служат как для обогащения кислородом, так и для транспортирования воды через фильтр, причем используется так называемый принцип насоса «мамонт», который называется также воздухоподъемной системой. Большая часть насосов для аквариума работает по тому же принципу. Схематично работа насоса показана на рисунке на стр. 215. Катушка, намотанная на железный сердечник, создает переменное электромагнитное поле. Перед этой катушкой расположен

вращающийся якорь, который имеет в головке два постоянных магнита, на другом конце якорь прочно связан с корпусом. Если насос будет включен, то электромагнитное поле управляет постоянным магнитом. Так как устройство используется при переменном токе, то электромагнитное поле 50 раз в секунду изменяет полярность. Столь же часто постоянный магнит притягивается и отталкивается. Вследствие этого колеблется вращающийся якорь. В центре вращающегося якоря укреплен стержень, который действует на мембрану головки насоса. Если в движении вибрирует вращающийся якорь, то эксцентрично вибрирует мембрана. Если она направляется в положение «А», то в голове насоса будет уплотняться находящийся там воздух. Таким образом закрывается пластина клапана 1 и открывается пластина

Конструкция мембранного насоса для аквариума

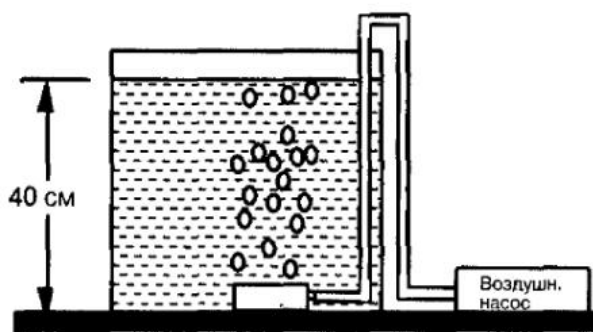


клапана 2. Воздух устремляется наружу. В следующем цикле якорь достигает позиции «Б», мембрана оттягивается наружу, так что в голове насоса возникает пониженное давление. Вследствие этого закрывается пластина клапана 2. Это очень важно, так как иначе воздух снова бы засасывался и не попадал в воду.

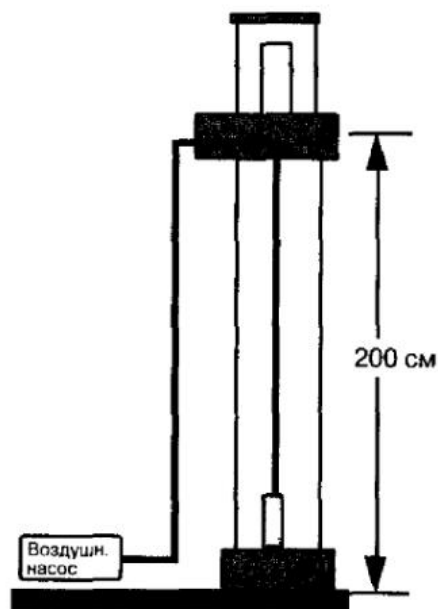
Пластина клапана 1 открывается вследствие пониженного давления, так что теперь воздух может всасываться в головку насоса вследствие пониженного давления. По этому принципу работают все известные воздушные аквариумные насосы. Есть различия в их производительности, от малопроизводительных — до 20 л/ч до более мощных с производительностью 1000 л/ч. Но есть граница производительности этого типа насосов. Существенная проблема состоит в том, что механические колебания якоря производят акустические колебания, следовательно, шумят. Изготовители пытаются уменьшить шум с помощью различных конструкций, прежде всего с помощью резиновых амортизаторов.

Критерии выбора воздушного насоса

Как и водяные насосы, воздушные насосы имеют диаграмму производительности, с помощью которой можно проверить, достигается ли желаемая цель. К сожалению использование диаграммы



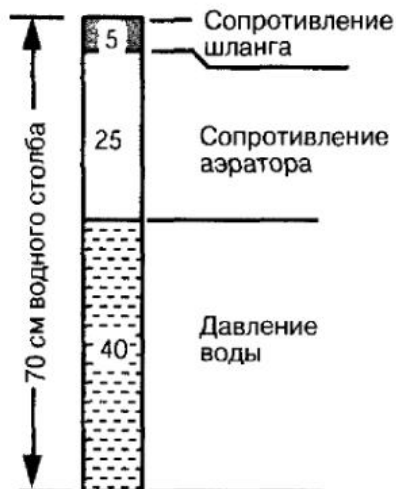
Общее давление



Общее давление

Следует учитывать не только давление водного столба (2 м) внешнего аэратора, но также сопротивление шланга, поэтому нужно запланировать давление насоса от 2,3 до 2,9 м водного столба

для воздушных насосов не так просто, как для водяных насосов. Часто называется только максимальная производительность. Два примера должны пояснить, какое должно быть давление. Расположенный ниже рисунок показывает наиболее простую установку. Аква-

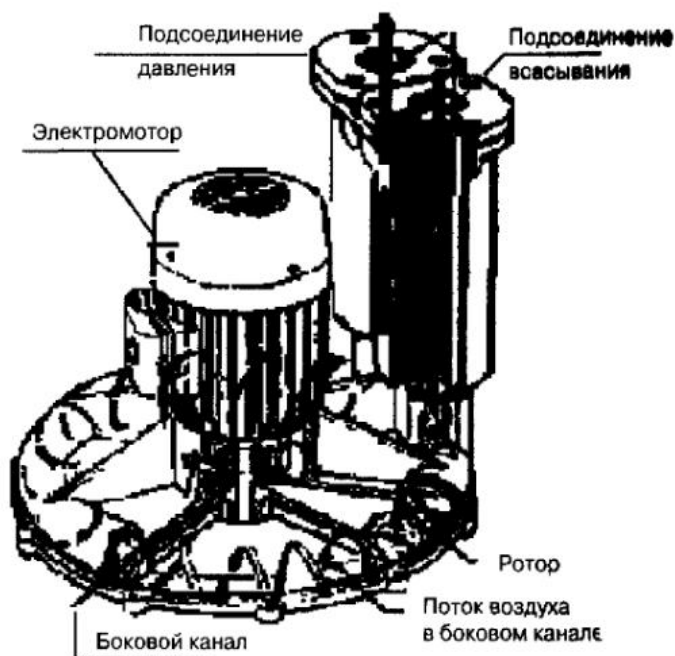


Воздушный насос должен перекрывать не только давление столба воды, но и сопротивление аэратора и шланга

риум аэрируется воздушным насосом с аэратором.

Если воздух выходит из насоса, он должен прежде всего преодолеть сопротивление в шланге, сопротивление мокрого аэратора и иметь еще достаточное давление для того, чтобы пузыри преодолели сопротивление воды. В нашем примере высота водного столба составляет 40 см. Как было показано в главе о получении пузырьков, сопротивление аэратора значительно.

В нашем примере оно принимается равным 25 мбар. Такое давление необходимо, чтобы преодолеть капиллярные силы в аэраторе и, наконец, система оказывает постоянное небольшое сопротивление: исходят из того, что теряют 5 см водного столба. При этом диаметр шланга принимается 4 мм, а длина шланга 2 м. Итак, мы видим, что ежедневное включение уже обеспечивает потерю давления равную 70 см водного столба. Воздушный насос должен преодолеть это давление, чтобы подвести эти пузырьки в воду. Возьмем другой пример: большой внешний флотатор используется с флотаторами внутри аквариума. Водяной столб составляет 200 см. Итак, в этом случае нам необходим напор насоса от 2,3 до 2,5 м водного столба, конечно, если мы также учтем сопротивление трубопровода и аэратора. Понятно, что для воздушных насосов также как и для водяных необходимо принимать во внимание диаграмму производительности. Для всех насосов с вращающимся якорем шум представляет собой большую проблему, так как все приборы в доме производят шумовой фон от приборов переменного тока. Конструктивно этого нельзя исключить полностью, так как механические колебания всегда превращаются в акустические. От умения конструктора зависит, как расположить резонансные точки материала, чтобы снизить уровень шума настолько, насколько это возможно. В частных случаях следует договариваться о специальном



Компрессор с боковым каналом в противоположность мембранному насосу применяется в больших установках

исполнении с дилером. Целесообразно также не размещать насос в помещении усиливающим шум. Следует выбирать для него тяжелые и прочные опоры.

Компрессор с боковым каналом

Используя на больших установках насосы с якорем нельзя достичь достаточной производительности. В этом случае используются компрессоры с боковым каналом. Верхнее изображение установки в разрезе наглядно показывает способ работы.

Рабочее пространство состоит из пустотелого кольца, которое образуют стенки бокового канала. Слева и справа от мест разрыва в боковом канале находятся отверстия для всасывания и давления. Если ротор вращается, воздух через образованные лопастями отверстия выходит наружу и устремляется в большой канал, где встречается с другой лопастью. Этот процесс повторяется много раз.

Воздушные насосы

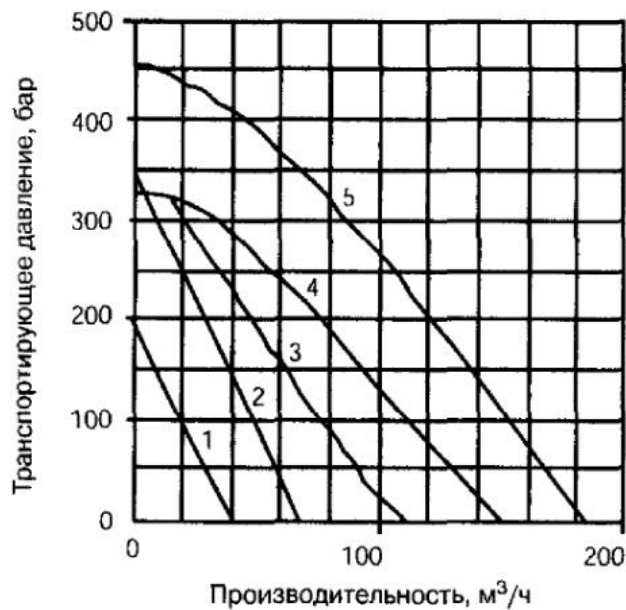


Диаграмма производительности различных компрессоров с боковым каналом

При движении по спирали через боковой канал и отсек лопастей воздух испытывает многоступенчатое сжатие. Компрессоры с обводными насосами подходят прежде всего для централизованного обеспечения больших устройств. Если принять во внимание, что система состоит из 250 аквариумов, которые должны снабжаться воздухом в количестве 200 л/ч (0,2 м³/ч) для каждого аквариума, необходимо количество воздуха будет равно $250 \times 0,2 \text{ м}^3/\text{ч} = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$. Если выбирать с помощью диаграммы на стр. 218 компрессор, то следует опять подумать о потере напора.

При 50 м³/ч компрессор создает напор 100 бар, что соответствует 1 м водного столба. Однако этого может быть мало

для некоторых целей. Следует запланировать небольшой резерв и применять компрессор с большим противодействием. При сомнениях уместно обсудить необходимую производительность имеющейся или запланированной установки с изготовителем или поставщиком. Всегда важно рассматривать всю потерю напора, т. е. сумму превосходящего напора воды, потерю в флотаторе, потерю в трубопроводе. Размеры трубопроводов получают, если скорость потока принимают 10 м/с. Тогда используют формулу $V=Q/A$ или $A=Q/V$, причем V — скорость потока в м/сек, A — поперечное сечение трубы в м², а Q — объем потока м³/с. В этом случае выбирается трубопровод с внешним диаметром от 50 мм, следовательно, с внутренним диаметром 40 мм. Приблизительный расчет дает для этого трубопровода в итоге потерю напора примерно 35 см водного столба при 10 поворотах в трубопроводе. Если компрессор 2 создает 1 м водного столба, то осталось бы 65 см напора, чтобы преодолеть давление аэратора и напор воды. Такой расчет очень приблизительный и может привести к заниженной производительности. Фактически следовало, как мы уже отмечали выше, выбирать компрессор по диаграмме 3. Другое решение — выбор большего диаметра трубопровода. Проверочный расчет дает: $D=63DN = 50 \text{ мм}$, потерю напора 15 см, 85 см для аэратора (флотатора) и напора воды. Теперь нужно решить, пригоден ли этот компрессор для данной установки или лучше выбрать более мощный.

РАСЧЕТНЫЙ ПРИМЕР

50 м³/ч соответствует объему потока $50/3600 = 0,014 \text{ м}^3/\text{с}$

$A = 0,014 \text{ м}^3/\text{с} / 10 \text{ м/с} = 0,0014 \text{ м}^2 = 1400 \text{ мм}^2 = d^2 \times \pi / 4$

Если решить последнее уравнение относительно d , то получается

$d = \sqrt{A \times 4/\pi} = \sqrt{1400 \times 4/\pi} = 42,2 \text{ мм}$

Трубопроводы

Фильтровальные сооружения часто не могут устанавливаться в непосредственной близости от аквариумов и аквариумных установок определенного размера. По большей части для всей фильтровальной техники отводится небольшое помещение на некотором удалении. Для этой цели пригодны подвалы. Даже из этого простого примера понятно, что для соединения аквариума и фильтровальной установки нужен трубопровод. В настоящее время имеются системы трубопроводов, которые при технически правильной укладке транспортируют воду годами. Если соединения очень короткие, в выборе трубопроводов нет проблем. При небольших количествах воды и при малом диаметре трубопровода хорошую работу системы можно обеспечить высокой производительностью насоса. Если же фильтрующее устройство расположено в стороне от аквариума, свойства трубопровода приобретают важное значение. К сожалению, это часто недооценивают, и появляются проблемы в выборе размера труб и в их укладке. Поэтому ниже приводится обзор важных критериев, необходимых при выборе и выполнении трубопроводов.

Материал и диаметр

В качестве популярного материала для прокладки трубопроводов хорошо зарекомендовал себя поливинилхлорид (ПВХ). ПВХ устойчив в пресной и морской воде. Из этого материала изготавливаются все необходимые принадлежности, такие как сгибы, колена, муфты на большое количество арматуры, венти-

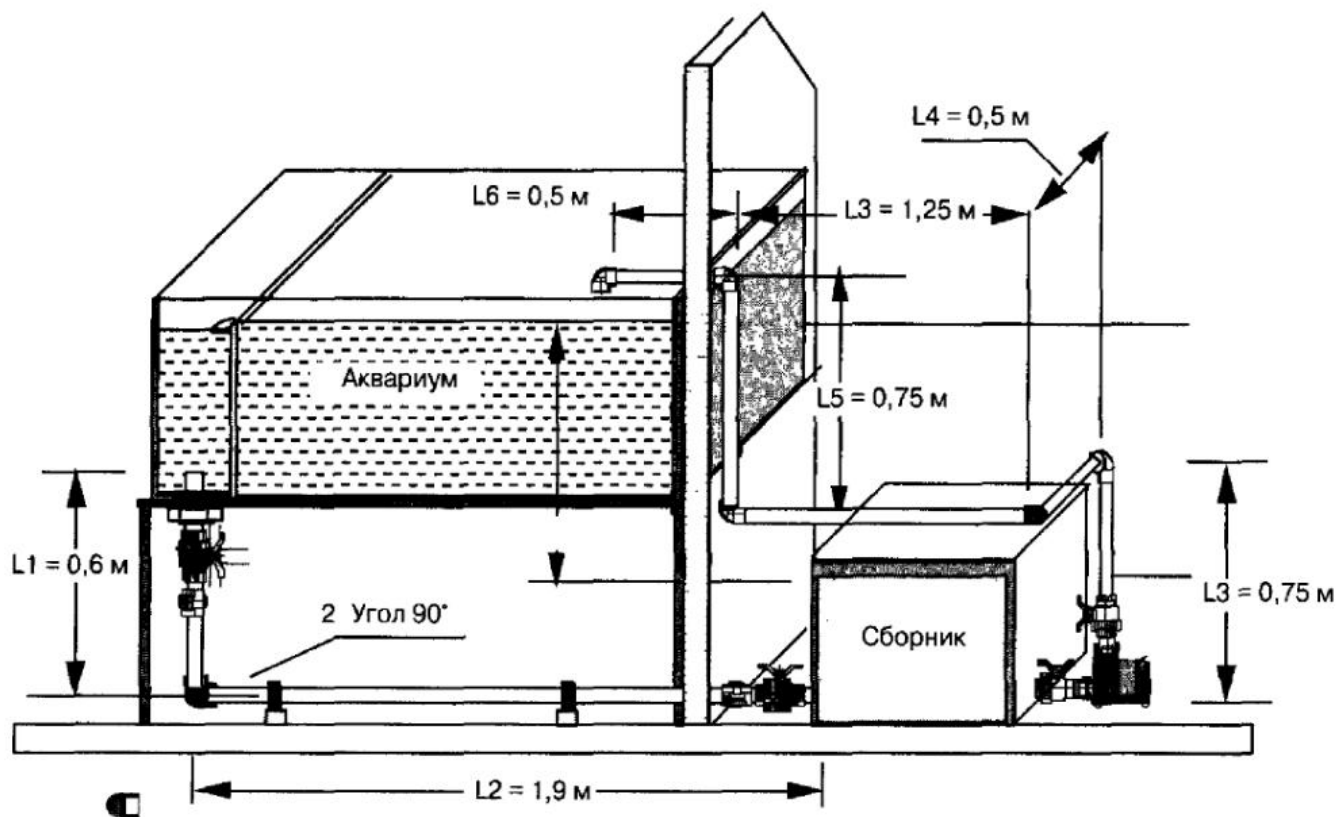
ли, шаровые краны, дроссельные заслонки и другое. Соединение с помощью клея осуществляется относительно просто, хотя должны соблюдаться определенные правила.

Диаметр трубопровода (пример 1). На рисунке стр. 220 в качестве простого примера рассчитывается диаметр. Вода течет из аквариума через водопровод в сборную емкость. Длина трубопровода должна составлять примерно 2,5 м (0,6 м вертикального и 1,9 м горизонтального трубопровода). В этом трубопроводе находится два сгиба по 90°. Разница высот между уровнем воды в аквариуме и уровнем воды в сборном резервуаре составляет 75 см, что соответствует напору воды 0,75 м водного столба. Мы можем использовать это давление, когда вода поступит в трубопровод. Аквариум содержит 750 л воды или 0,75 м³, содержимое аквариума должно оборачиваться за час. Теперь имеются все данные, чтобы определить диаметр трубопровода по таблице (см стр. 247).

Длина трубы	2,5 м
Количество углов	2
Разница в уровнях воды	0,75 м
Расход воды	0,75 м ³ /ч

В таблице прежде всего находим столбец расхода воды 0,75 м³/час и на левой стороне строку с диаметром трубы. В первой строке при диаметре трубы 12 находим число 1,81. Это число означает, что нам необходим напор воды 1,81 м водного столба. Чтобы при длине трубопровода 2,5 метра и двух углах пропускать через трубопровод 750 л воды.

Такого большого давления нам не создать. Тогда проверяем при следующем



Трубопроводы большого аквариума. Таблица для расчета необходимого диаметра трубы приведена в приложении

большем диаметре трубы (15 мм) соответствующее значение. Находим точку пересечения длины труб 2,5 м расхода 0,75 м³, это дает величину 0,5 м водного столба. Это меньше, чем значение, на которое мы можем рассчитывать. В таком варианте напор воды будет достаточным для того, чтобы добиться желаемого расхода воды через трубопровод, т.к. фактический напор 0,75 м водного столба находится выше табличных значений 0,52 м, и мы можем исходить из того, что через трубопровод потечет несколько большее количество воды. Итак, мы видим, что трубопровод с внутренним диаметром 16 мм будет достаточным для того, чтобы установить желаемый расход воды из аквариума в сборный резервуар. Практик всегда склоняется к тому, чтобы выбрать еще больший диаметр, в нашем случае это будет трубопровод с внутренним диаме-

тром 20 мм. В трубопроводах могут возникнуть отложения, которые уменьшают фактический диаметр. Приобретение трубопровода несколько большего диаметра не намного дороже. Это затруднит, однако, переброску воды из сборного резервуара опять в аквариум. При выходе из аквариума мы можем использовать естественное падение, чтобы преодолеть сопротивление трубопровода. Обратный ток должен осуществляться насосом такой производительности, чтобы преодолеть разницу высот и потерю в трубопроводе. Выбор насоса делают по таблице, как и в предыдущих примерах.

Теперь мы выбираем такие величины	
Длина трубопровода	3,75 м
Разница высот	0,75 м
Количество углов	5
Расход	0,75 м ³ /ч

Этот пример достаточно сложный. В первом примере было не более двух углов, а теперь имеем дело с 5 углами. Мы должны раскрыть таблицу с числом углов 5. Точное значение длины трубы 3,75 м в таблице не помещено, но это не должно нас смущать. На всякий случай выбираем длину трубы 5 м, теперь перемещаемся направо до столбца, в котором стоит величина 0,75 м³/час, это именно тот расход воды, который мы хотим, и находим число 3,7 при диаметре трубы 12. Это означает, что наши водяные насосы дополнительно к разнице высот 0,75 м водяного столба должны превзойти потерю в трубопроводе 3,7 м водного столба. Итак, нам необходим водяной насос, который создает напор 4.45 м водного столба (3,7 + 0,75). Это значение с полным основанием представляется слишком высоким. Переходим в следующую строку с длиной трубы 5 м при диаметре трубопровода 16 мм, находим число 1,6. Итак, насос должен иметь напор 1.81 метров водного столба (1,06 + 0,75). Так как мы хотели бы экономить энергию, мы идем далее и смотрим, что нам принесет труба с диаметром 20 мм. В этом случае происходит потеря на трение в трубе 0,41 м. Следовательно, насос должен превысить напор 1,16 метров водного столба (0,75 + 0,41). Это разумная величина, следовательно, мы выбираем этот трубопровод или трубопровод большего размера. Для первого трубопровода мы выбрали внутренний диаметр 16 мм и теперь следует решить рационально ли увеличивать диаметр трубы на номер больше. Так как трубопровод достаточно короткий и применяется немного соединений, рекомендуется трубопровод с внутренним диаметром 20 мм, что соответствует наружному диаметру 25 мм.

Пример 2. Рассмотрим аквариумную установку, которая находится этажом ниже аквариума. Такое случается достаточно часто, если в жилом помещении из-за

отсутствия места нельзя установить никакого фильтровального устройства. Фильтровальную технику часто переносят также в подвал из-за шума.

В этом примере:
объем воды — 4000 л

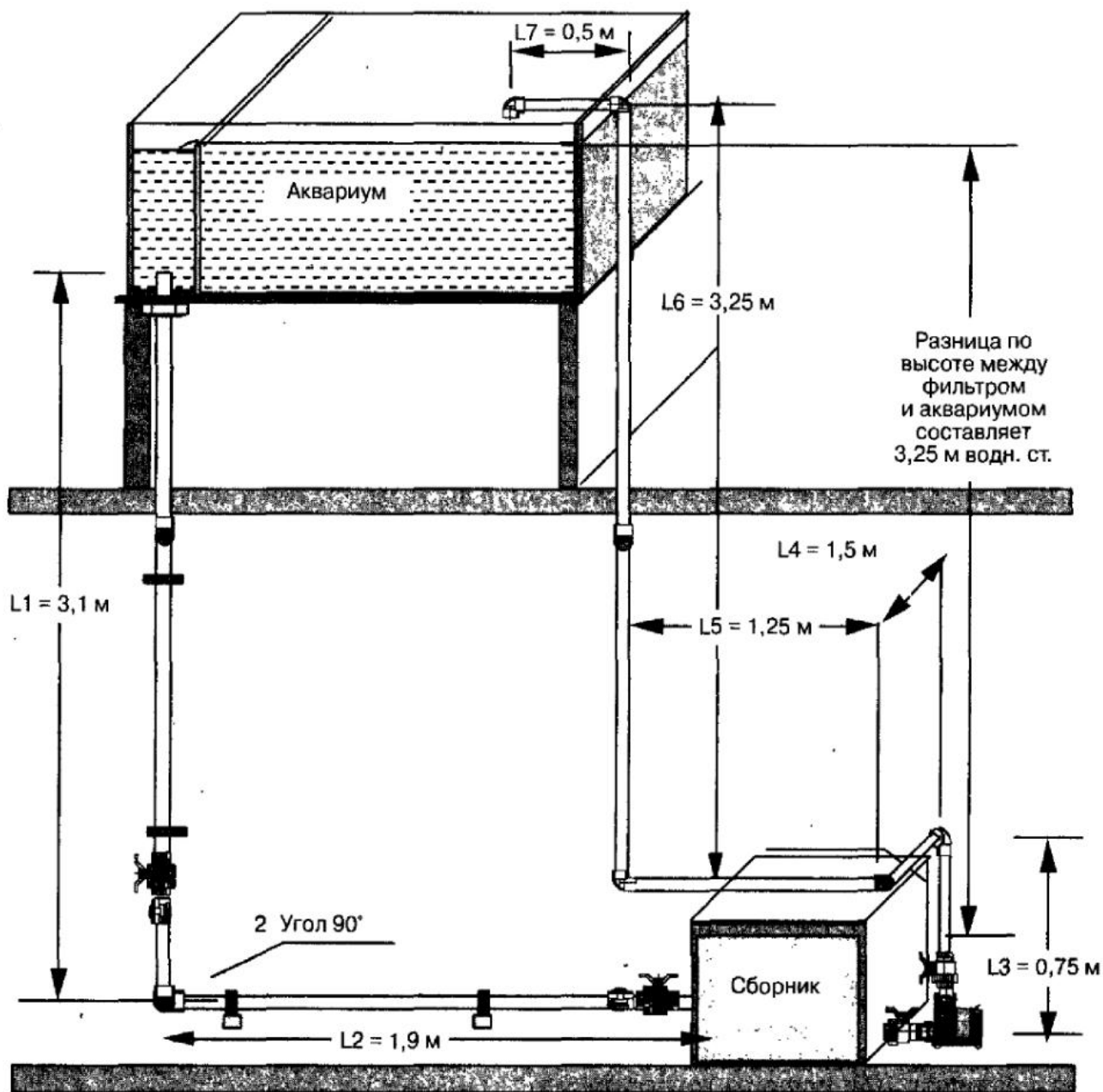
длина труб	5 м
количество углов	5
разница высот/падение	3,25 м
расход воды	5 м ³ /ч

С такими показателями снова возвращаемся к таблице. Количество углов (5) обуславливает значение 5 м³, затем вниз до тех пор, пока в строке с длиной труб 5 м не найдем значения меньше 3,25. При внутреннем диаметре трубопровода 25 мм мы имели бы потерю напора 5,52 м водного столба, поэтому имеющихся в распоряжении 3,25 м будет недостаточно. Следовательно, при внутреннем диаметре 32 мм имеем потерю напора 1,96 м водного столба при длине труб 5 м. Такой трубопровод подходит по размеру. При подъеме опять в аквариум производим действия как в первом примере. Прежде всего выясняем основные величины.

Длина труб	7,25 м
Количество углов	7
Разница высот	3,25 м
Расход воды	5 м ³ /ч

С помощью количества углов **вновь** находим нужную часть таблицы.

В таблице нет данных для 7 углов, так что целесообразно перейти к данным для 10 углов, конечно, этим мы заложили определенную погрешность. Насос, который должен транспортировать воду из подвала в аквариум, имеет производительность 5 м³/ч при высоте подъема 6 м водного столба. Напор 6 м водного столба должен быть достаточным, чтобы преодолеть статическое давление воды (3,25 м), включая сопротивление трубопровода. Следовательно, при соотноше-



Фильтровальная установка находится под аквариумом этажом ниже

нии размеров труб необходимо учесть, что сопротивление трубопровода не может быть больше 2,75 м. Опять возвращаемся в таблицу для 10 углов, находим столбец для желаемого расхода воды 5 м³/ч. Длина труб 7,25 м в таблице не приводится. По столбцу (5 м³/ч) продвигаемся ниже до длины труб 10 м. При внутреннем диаметре 32 мм — величина 3,69 м.

Эта потеря напора (давления) для нашего примера слишком высока. По технико-конструкторским причинам мы не можем усилить далее трубопровод, необходимо найти другую возможность уменьшить потери в трубопроводе. Выбор элементов соединения трубопровода также оказывает влияние на потерю напора (давления) (см. раздел «Элементы трубопровода»). Заменяем теперь угол

на колено: если теперь посмотрим в таблицу на 10 колен, найдем потерю напора (давления) 2,65 м водного столба при расходе воды 5 м³/ч и имеем примерно 0,1 м водного столба в качестве резерва для потери напора. Итак, мы будем использовать для подъема из подвала на 1 этаж поливинилхлоридный трубопровод с внутренним диаметром 32 мм (внешний диаметр 40 мм) и выбираем вместо углов колена. Из практических соображений можно посоветовать выбрать оба диаметра большего размера. С помощью приведенного примера можно выбирать трубопроводы для аквариумов самого разного размера. Фактически есть правило, что трубопровод нужно выбирать несколько большего диаметра, хотя это делает водопровод немного дороже. Дополнительная прокладка труб часто по техническим причинам невозможна или дорого обходится.

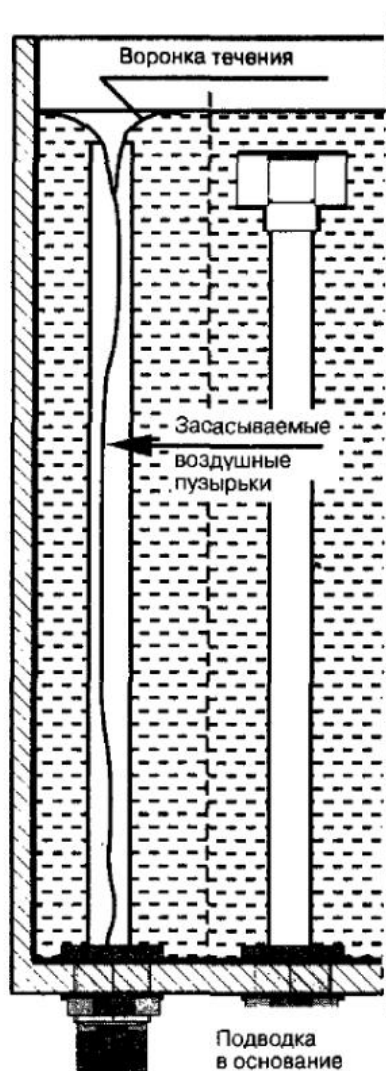
Элементы трубопровода

Водный сток

Во всех аквариумных установках с внешним фильтром установку труб начинают с отвода воды из аквариума; имеются самые различные способы. Для любого случая можно рекомендовать водяные колонны с отводящим трубопроводом, который проходит через стенки аквариума.

Стояк

Например, выбрали стояк, который прикрепляется к дну аквариума резьбовым соединением. Если стояк открыт сверху, то при истечении воды возникает воронка, которая может так быстро втекать в отводную трубу, что увлекает за собой пузырьки газа. Вследствие этого в трубопроводе возникает неприятный шум и бульканье. Образование воронки



Выход воды по стояку рядом с поверхностью образует воронки течения

можно предотвратить если стояк сделать немного короче.

Но это следует делать очень ограниченно, так как при выключении тока вытечет все до верха трубы. Поэтому должны учитываться возможности емкости или сборного резервуара. Небольшой пример расчета:

Поверхность аквариума: $50 \times 100 \text{ см} = 5 \times 10 \text{ дм} = 50 \text{ дм}^2$;

Уровень воды над стояком: $3 \text{ см} = 0,3 \text{ дм}$.

Объем воды, который вытекает из аквариума при выключении тока: $50 \text{ дм}^2 \times 0,3 \text{ дм} = 15 \text{ дм}^3 = 15 \text{ л}$. В этом слу-

Трубопроводы

чае резервуар фильтра или сборный резервуар должны быть такого размера, чтобы они имели 15 л резерва. Так как уровни воды могут колебаться, нельзя ограничивать объем в сборном резервуаре. Образование воронки потока можно подавить установкой на стояк Т-образного фрагмента или несколькими входными отверстиями на трубопроводе. Вследствие этого в каждом отдельном отверстии снижается скорость потока и, соответственно, уменьшается скорость образования воронки. Но в каждом случае нужно думать о ситуации во время остановки. При установленном Т-фрагменте вода вытекает до его нижнего края.

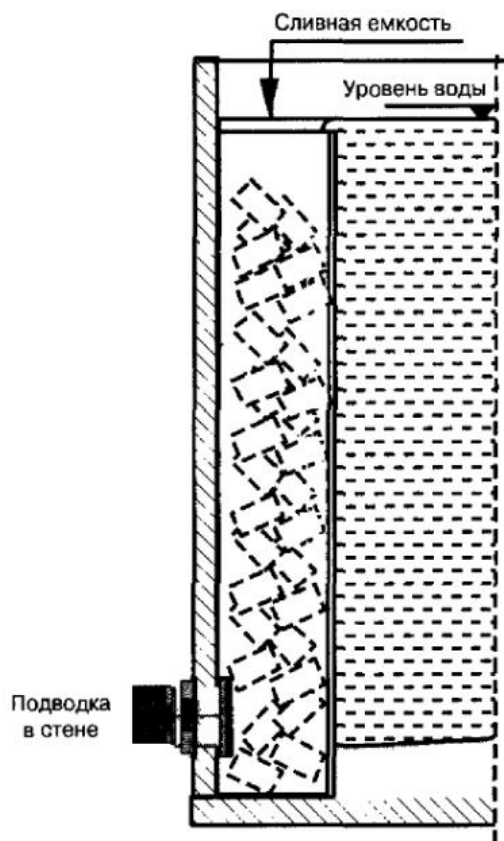
Сливная емкость

Хорошо продуманная сливная емкость поможет выходить из трудных ситуаций. Вследствие своей длины она имеет очень незначительный избыточный напор — всего несколько миллиметров. Ситуация, связанная с отключением бака, решается весьма благоприятно, так как вытечь может незначительное количество воды. Конечно, следует обращать внимание на то, что в сливной емкости присоединения должны быть расположены достаточно глубоко, иначе будут засасываться воздушные пузырьки. Если выбрать глубокую сливную емкость, можно установить присоединение внизу. В этом случае емкость может быть использована как предварительный фильтр.

Конечно, он должен очищаться чаще, чтобы исключить загрязнение. Для этого сливную емкость рекомендуется заполнять грубым материалом, например, биосферами или биокольцами.

Подводка в аквариум

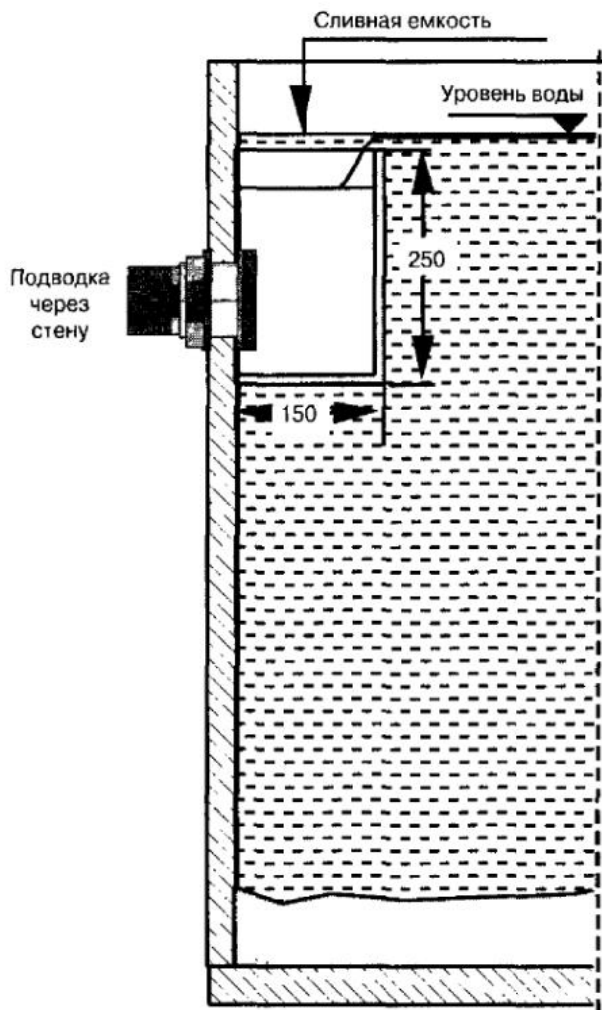
Подводка в аквариум очень часто недооценивается. Если, например, определили, что толщина трубопровода должна быть 25 мм, то очень часто приходят



Сливную емкость, заполненную грубым фильтровальным материалом, можно использовать в качестве предварительного фильтра

к заблуждению по поводу диаметра отверстия и для того, чтобы детали хорошо подходили, отверстие выбирают того же диаметра и ошибаются. Трубопровод, входящий в аквариум, должен очень хорошо уплотняться, но при этом так, чтобы его возможно было разъединить.

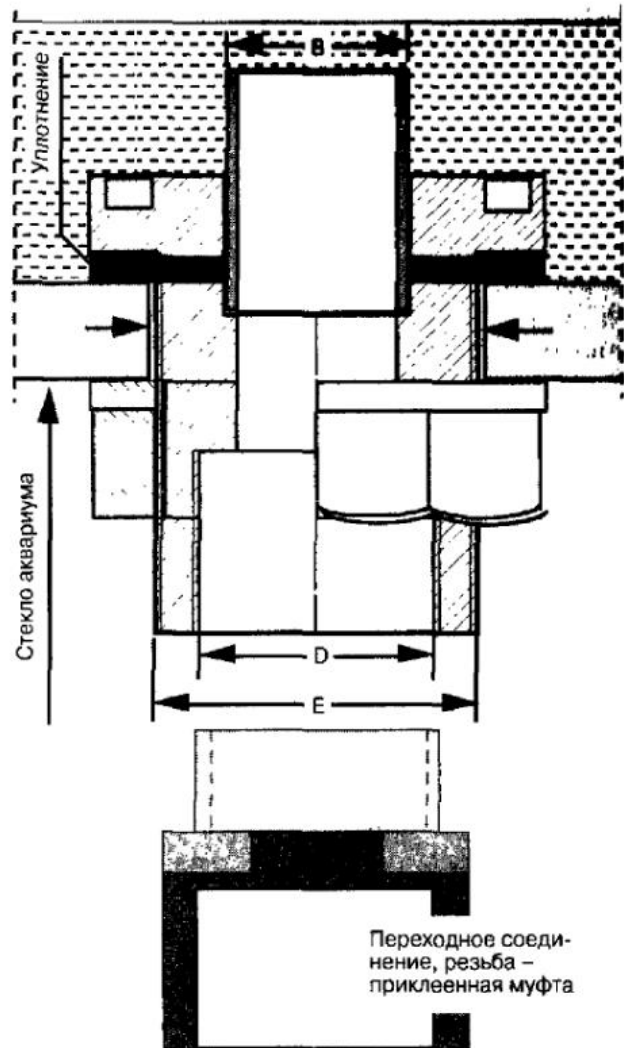
Для этого предлагаются трубопроводы, привинчивающиеся к аквариуму, как это показано на расположенном рядом рисунке. Уже на первый взгляд ясно, что такая привинчивающаяся часть будет больших размеров. Для трубы с внешним диаметром 25 мм нужна муфта с резьбой 1 и 1/4 дюйма. Это соответствует диаметру 40 мм. Отверстие с резьбой для привинчивания должно быть, конечно, больше. Итак, для того чтобы подсоединить трубу с диаметром 25 мм,



При верхней подводке через стенку из аквариума невозможно слить воду при непредвиденных обстоятельствах

необходимо отверстие с диаметром 42 мм. Безусловно, при изготовлении аквариума нужно договориться с производителем, и отверстие можно просверлить, но это связано с большим риском. На внешней стороне имеется уплотнительная втулка, присоединенная внутренней резьбой.

В этом случае должно применяться переходное соединение, которое с одной стороны имеет резьбу, а с другой стороны муфту на клею, которую можно вручную вклеивать опять в трубу. Приведенная вместе с рисунком таблица должна пояснить, какими должны быть по раз-



B	D	E	Ø
16 мм	R3/8	R3/4"	27 мм
20 мм	R 3/4"	R 1"	34 мм
25 мм	R1"	R 1 1/4"	42 мм
40 мм	R 1 1/2"	R 2"	60 мм
63 мм	R 2"	R 2 3/4"	82 мм

Крепление подводки трубопроводов в дне аквариума резьбовым соединением

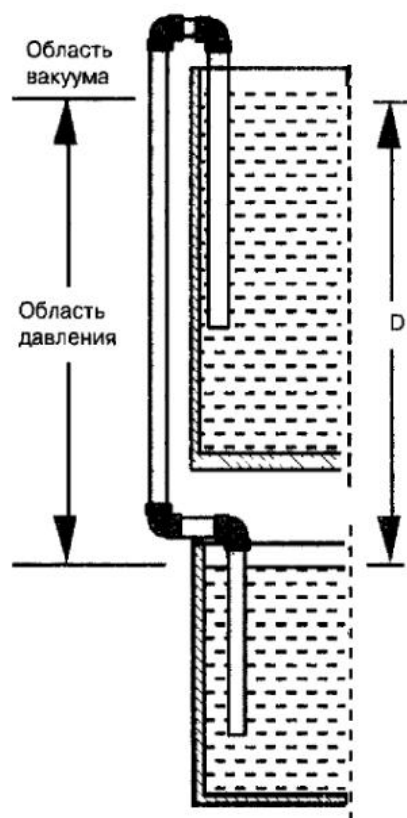
меру отверстия для уплотнительной втулки.

При имеющемся ассортименте деталей фактический диаметр подводки определяется в каждом отдельном случае. Слишком маленький диаметр может поставить под вопрос всю циркуляцию воды.

Сифон

Обсуждаемые ранее выходы из аквариума предполагают, что аквариум имеет достаточно большую длину трубопровода. Такое бывает не всегда, а в старом аквариуме сверлить отверстие весьма опасно. В этом случае пытаются организовать сток по-другому. Сифон предоставляет замечательную возможность для стока воды из аквариума. Каждый из нас хотя бы раз проводил «волшебный трюк»

Один конец шланга заполнен водой и опущен в воду, а другой снаружи опущен ниже. Вода в шланге протекает через кран аквариума вниз, в расположенный ниже сосуд. Трюк состоит в том, что разница высот между уровнями воды в аквариуме и ниже расположенного со-

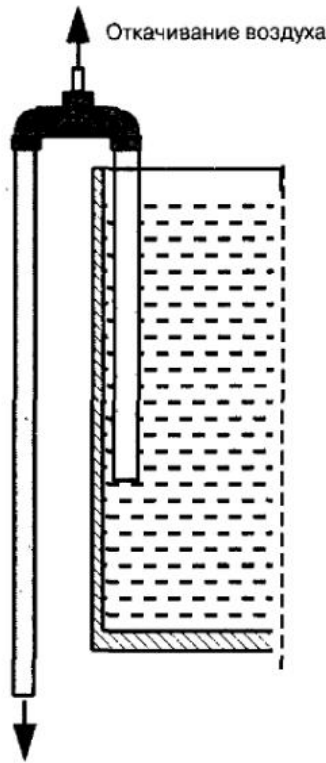


Сифон представляет собой классический метод, используемый для стока воды из аквариума

суда или концом шланга является основанием того, потечет или не потечет вода через шланг. Помехи между входным и выходным отверстиями не затрудняют протекания до тех пор, пока напор воды достаточен. Прежде всего забывается второе условие, так как оно очень простое. Весь шланг должен быть заполнен водой, иначе она не потечет. Такое условие делает сифон ненадежным инструментом. Его применение всегда проблематично, если в него попадают газовые пузырьки. Это особенно легко происходит в аквариуме с морской водой. Очень мелкие пузырьки держатся весьма долго в всяком положении и могут оставаться в сифоне даже в потоке воды. Скорость воздушных пузырьков составляет от 5 до 50 см/с. Но так быстро вода не течет через трубопровод. Это означает, что в самом высоком месте сифона со временем соберутся пузырьки. Если два пузырька собираются вместе, то возникает один большего размера, который поднимается с еще большей скоростью. Таким образом, медленно и незаметно накапливается все больше пузырьков до тех пор, пока не заполнится вся труба, и поток воды не перекроется. Если насос будет продолжать качать воду вверх, может наступить момент, когда аквариум начнет переливаться, что не обрадует его обитателей.

Можно было бы предположить, что каким-то образом можно исключить образование воздушных пузырьков в сифоне. Но основы физики противоречат этому. На самом высоком месте, в изломе сифона всегда имеется небольшой вакуум, который понижает давление воды. Граница насыщения кислородом меньше, чем меньше будет давление. Вода, насыщенная воздухом, проходит через область вакуума сифона и незаметно возникают так называемые пузырьки разряжения. Этих небольших пузырьков достаточно, чтобы постепенно перекрыть поток воды. Для устранения данной проблемы в качестве единственного

Шаровые краны



На самом высоком месте сифона возникает воздушный пузырь, который можно удалить только с помощью постоянного откачивания

решения предлагается на самой верхней части сифона установить инжектор или другое устройство для откачки воздуха. В заключение еще раз: «Остерегайтесь сифона!»

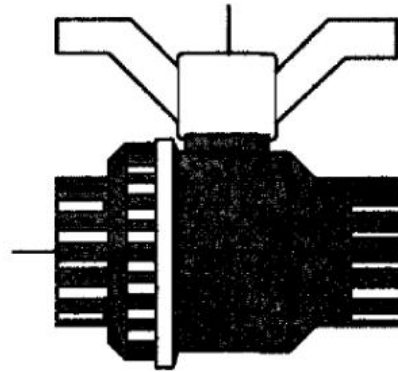
Шаровые краны

Теперь нам удалось вывести трубопровод из аквариума наружу. Что делать дальше? Надо выяснить стоимость всей установки и трубопроводов. Но следует отметить, что нельзя экономить на установке труб, так как эта экономия может оказаться очень дорогой.

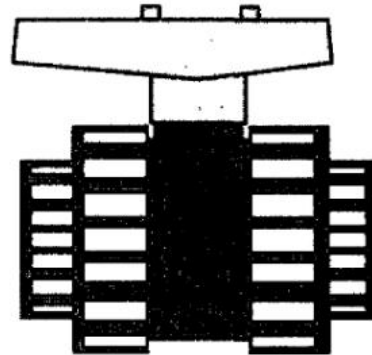
Если теперь подключить к вводу в аквариум последующую часть трубопровода, она будет жестко связана с аквариумом. Если позднее потребуются что-либо изменить в трубопроводе, сначала сле-

дует удалить воду из аквариума. Естественно, это приведет к прерыванию установившегося биологического цикла и, в отдельных случаях, к потере животных. Поэтому очень важно оборудовать как сам аквариум, так и насосы и сборные емкости вентилями или шаровыми кранами, которые дают возможность кратковременно остановить циркуляцию воды, не влияя долговременно на всю систему. Конечно, такую конструкцию используют как второстепенную. Очень важно, чтобы все элементы кон-

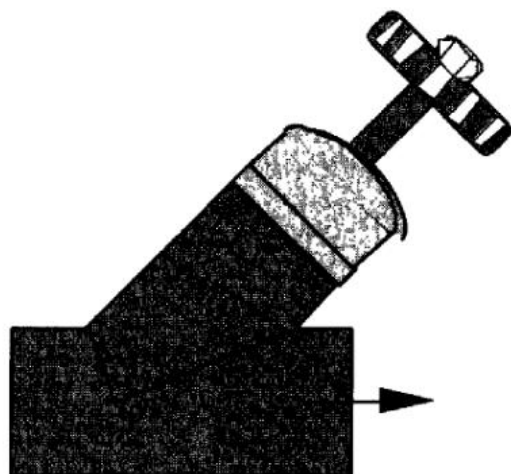
С односторонним
завинчиванием



С двусторонним
завинчиванием



Шаровые краны используются главным образом для того, чтобы перекрыть трубопровод



Косой вентиль позволяет точно регулировать водный поток

струкции в нерабочем состоянии были хорошо изолированы. Поэтому в большую часть шаровых кранов вставлены прокладки из фторопласта. Шаровые краны являются в первую очередь запорной арматурой, но они могут применяться также для регулировки подачи воды. Для тонкого регулирования гораздо больше подходят косые вентиля. В то время как шаровой кран четвертью оборота полностью перекрывается, косой вентиль с помощью ходового винта точно устанавливается на желаемый поток воды. К сожалению, косой вентиль дороже чем шаровой кран. Но косой вентиль также имеет технический недостаток. Если его установить за мощным насосом, то из-за вихрей в месте установки вентиля образуется вибрация, которая переносится на управление вентиля и может привести к вращению (повороту), т. е. вентиль во времени может работать нестабильно. Итак, следует хорошо подумать, устанавливать ли косой вентиль. Для трубопроводов меньшего размера имеются простые и хорошо пригодные вентиля, которые предназначены для установки в поливинилхлоридных трубопроводах.

Винтовая резьба (накидная гайка) для соединения трубопроводов

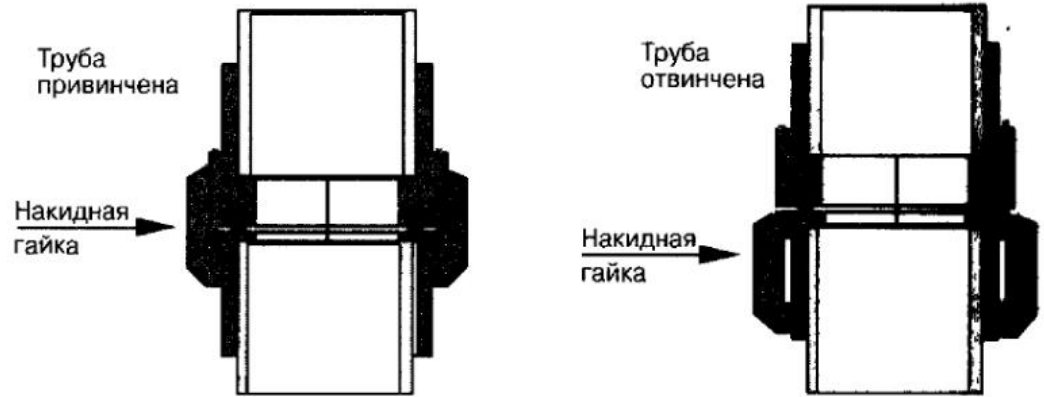
Приведенный выше шаровой кран снабжен двухсторонней или односторонней винтовой резьбой. Эта резьба служит для того, чтобы шар входил в стержень вентиля. Не всегда шар надежно перекрывает трубопровод. Может произойти так, что шарик выдавится из своего «места», и освободит движение воды. Хотя разработаны односторонне отвинчивающиеся вентиля, ни в коем случае нельзя полагаться на это. Тем не менее, для того чтобы можно было надежно перекрыть трубу, перед важными узлами вместо шарового крана следует устанавливать вентиль с винтовой резьбой. Вентиль состоит из двух резьбовых частей, которые с помощью накидной гайки связываются друг с другом. Между резьбовыми частями расположена прокладка, которая уплотняет обе части резьбы так, что во время использования не происходит разгерметизации. Рисунок на стр. 229 показывает типичный способ присоединения трубопровода к насосу.

На штуцерах как на стороне нагнетания, так и на стороне напора нарезана винтовая резьба, к которой присоединяется вентиль. Если насос необходимо демонтировать, закрывают шаровые краны и отвинчивают накидные гайки. Теперь насос можно отсоединять. Часть резьбы при этом остается на трубопроводе, другая на насосе. При монтаже и демонтаже важно обращать внимание на прокладку в кольцевом пазе уплотнения, которая легко может выпасть.

Присоединение труб

Для соединения или отсоединения шлангов у различных производителей (например Rheim) имеются в ассортименте запорные краны, быстро разделяющиеся соединения, двойные кресты с быстро

Присоединение трубопровода резьбовым креплением



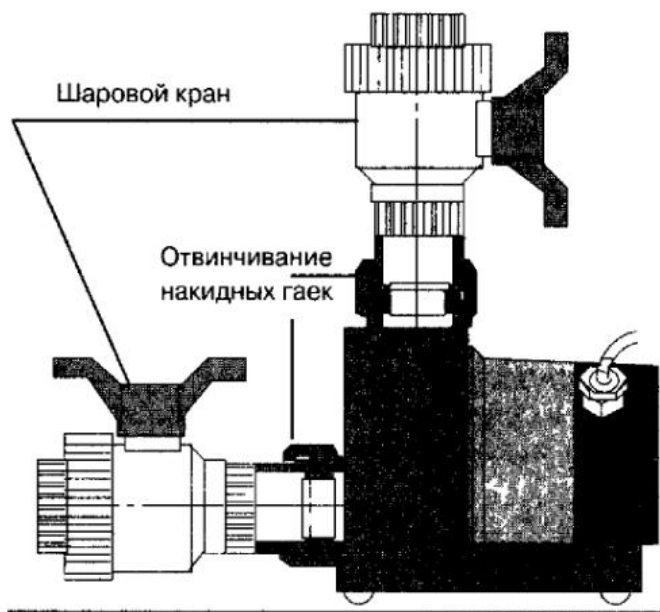
отделяющимися соединениями. С этой арматурой присоединение шлангов производится просто и надежно.

Колена или углы?

В одном из вышеописанных примеров указано на различие между углами и закруглениями. Обычно выбирают углы, так как их размеры меньше и они относительно не дороги. При установке трубопровода, когда мало места, а это быва-

ет часто, угол намного проще для укладки, чем колесо. Водопроводчики также предпочитают угол. Но необходимо помнить, что эксплуатация установки, укомплектованной только углами, может оказаться достаточно дорогой, т.к. напор воды теряется в углах в большей степени, чем в коленах.

Это происходит из-за поведения воды при прохождении через угол. Вода имеет определенную вязкость. Она возникает от трения частичек друг о друга. Трение становится особенно интенсивным, когда в угле образуются вихревые зоны. Часто эти зоны называются «мертвыми зонами», т.к. углы нарушают равномерное течение воды. Они действуют на текущую воду так же, как сужение трубы. Чем уже угол, тем больше появляется вихрей, тем сильнее сужается течение потока. Чем больше воды прокачивается через угол, тем больше образуется вихрей, тем сильнее сужается течение потока, тем большее давление должен создавать насос. В некоторых случаях может произойти так, что в систему необходимо устанавливать насос большего размера с большим потреблением тока. В этом случае дешевый угол на самом деле становится дорогим. Из приведенных таблиц можно определить разницу между углом и дугой. В качестве эмпирической зависимости можно считать следующее: чем выше скорость потока и меньше диаметр трубопровода, тем важнее применение дуг.

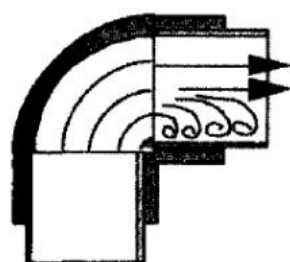


Если шаровые краны закрываются, можно без проблем отвинтить и отделить насос от системы с водой

Трубопроводы



Равномерное течение потока, в результате никаких потерь давления



Сильное завихрение при выходе из угла, в результате более высокая потеря давления

Значение сопротивления				
Внешнее	20	32	50	63
Колено	15	1	0,6	0,5
Угол	2	17	11	0,8

Хотя угол экономит место, колено дает гораздо меньшую потерю давления!

Автоматическая арматура

Вентиль, управляемый мотором

Есть определенные проблемы, при которых вентили регулярно к определенному сроку или в определенном ритме должны включаться. Типичный пример — устройство автоматического потока или автоматической волны, причем поток, вытекающий из левого угла аквариума движется, меняя направление таким образом, что обратно возвращается с правой стороны. Для этого, например, может использоваться трехходовой вен-

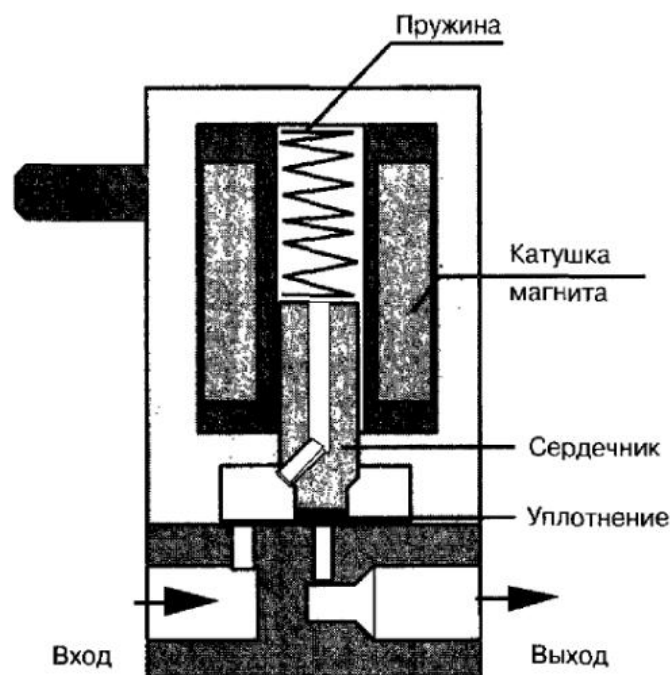
тиль, снабженный мотором. Двигатель управляется таймером, который задает интервалы, по истечении которых двигатель переключает трехходовой вентиль.

Вентиль с электромагнитным переключением

Вентили с электромагнитным переключением доступны в любых видах и с любыми размерами. Полное описание их заняло бы всю книгу. Имеются электромагнитные вентили для газов и для воды как из металла, так и из пластмассы. С помощью катушки производится электромагнитное поле, которое действует на сердечник, который в свою очередь оказывает давление на вентиль. Электромагнитный вентиль пригоден для открытия и закрытия трубопроводов с небольшим расходом воды.

Типичная область применения — дозирование двуокиси углерода для регулирования рН или дозирование водой при автоматическом пополнении потери воды при автоматическом водообмене. Удаление пены, образовавшейся в флотаторе большего размера, также можно осуществлять с помощью электромагнитного вентиля. Электромагнитный вентиль из легированной стали или тефлона применяют для озонирования. Электромагнитный вентиль большей частью снабжен пружиной, положение которой определяет способ действия. Если пружина (в состоянии без потока воды) надавливает на уплотнение в седле вентиля, то поток прекращается. Только при электрическом воздействии пружина не давит в седло вентиля, вентиль открывается и освобождает проход для газа или воды.

Способ действия должен соответствовать использованию. Здесь также важен выбор материала. Для газов, таких как воздух или двуокись углерода, могут применяться электромагнитные вентили из латуни или синтетического каучука. Если работают с озоном, следует

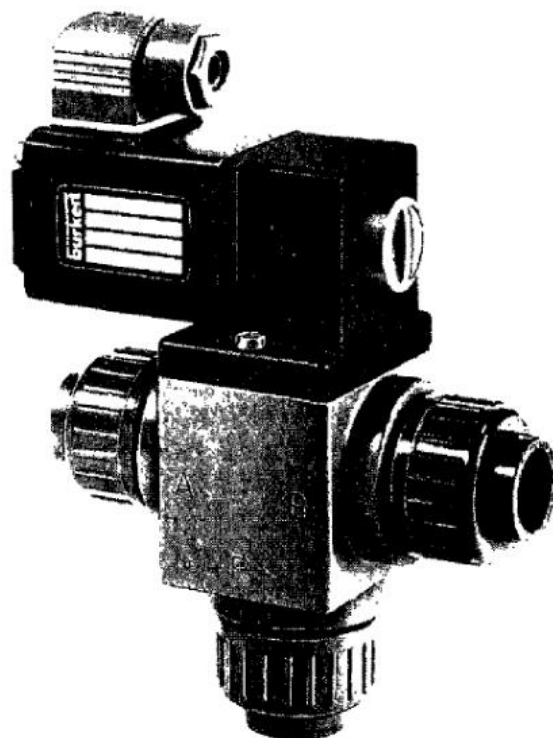


Если электрическое напряжение подается на магнитный вентиль этой конструкции, то сердечник магнита притягивается и освобождает поток

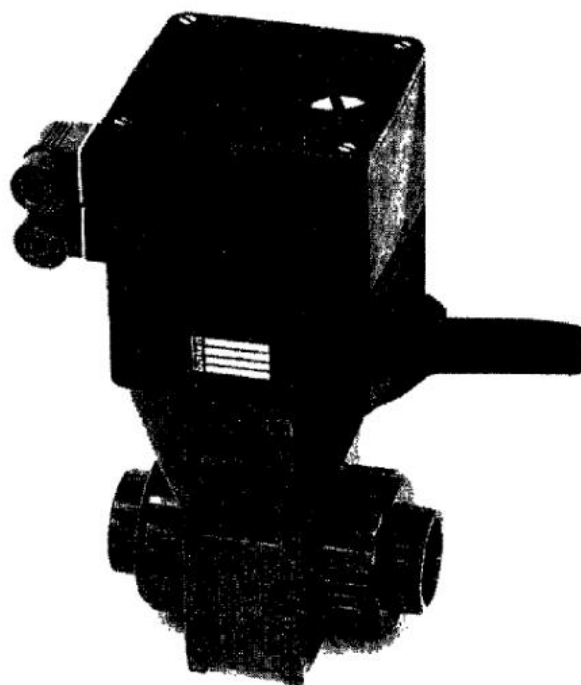
применять высококачественную сталь и синтетический каучук витон в качестве уплотнительного материала. Электромагнитные вентили для воды по возможности должны быть изготовлены из пластмассы, т.к. ионы металлов могут переходить в раствор, что должно быть исключено из-за опасности для водных животных.

Шаровые краны с электрическим приводом

Преимущество шарового электрического крана по сравнению с электромагнитным вентилем, заключающееся в том, что он медленно открывается и медленно закрывается. Поэтому импульсы давления в трубопроводах исключаются, т.к. при определенных обстоятельствах они могут привести к значительным повреждениям. Далее используемые шаровые краны могут быть снабжены концевым выключателем, так что они могут вклю-



Электрический магнитный вентиль



Шаровой кран с электрическим подключением может использоваться, например, для регулирования времени

Трубопроводы

чаться и включаться только при определенных условиях. Их можно оборудовать также потенциометрами для бесступенчатой регулировки. Эти типы конструкций предназначены для труб и трубопроводов диаметром до 63 мм, т.е. для относительно больших расходов воды.

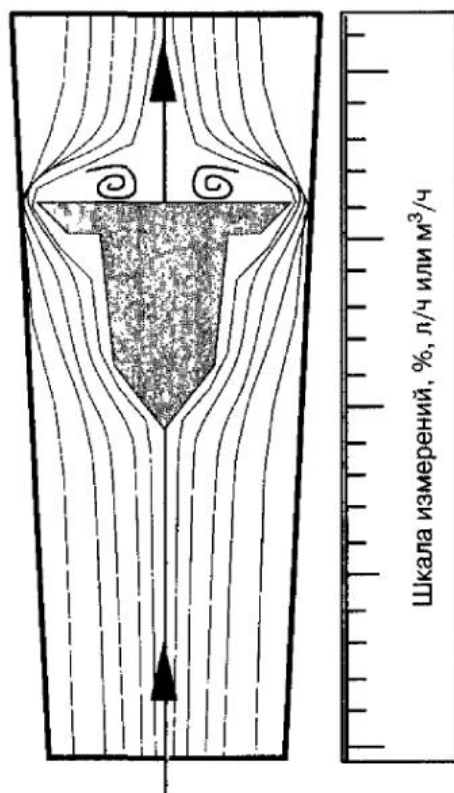
Расходомер с измеряющим конусом

Во многих частях установки важно знать расход воды, который поступает, например, во флотатор или в биофильтр. Для этой цели можно устанавливать измерительные приборы, которые показывают расход воды. Расходомеры состоят из конической трубки, в которую помещен конус. Трубка устанавливается строго вертикально. Если вода течет снизу вверх через расходомер, конус перемещается в область большего диаметра трубки для того, чтобы соответствующее количество воды могло протекать через зазор между конусом и стенками трубки.

Если увеличивается поток воды, конус снова поднимается на необходимую высоту до стабилизации гидравлического сопротивления. Конус имеет визирную метку, с помощью которой можно считывать показания по расходу воды. Расходомеры с плавающим телом изготавливают из стекла или пластмассы, так что они могут применяться в установках с пресной и морской водой. Подобные конструкции имеются для воздуха и других газов. Для большого расхода воды применяется расходомер с магнитной или индуктивной регистрацией результатов измерения.

Укладка трубопровода

Прежде всего следует выяснить длину трубы, которая необходима между двумя соединениями. При этом следует обращать внимание на то, что концы труб



Благодаря положению конуса можно считывать расход воды

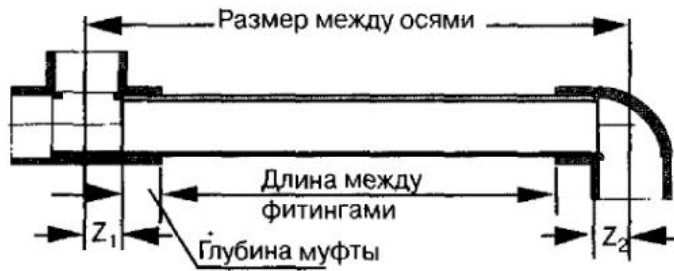
при склеивании вдвигаются в соединительное приспособление (фитинг).

Изготовители труб пользуются так называемыми Z-размерами, которые находят в таблицах. Если измерить отрезок между осями труб и с каждой стороны вычесть Z-размер, получается эффективная длина трубы. Практики, конечно, редко этим пользуются. Есть другая возможность: к длине трубы между фитингами дважды добавить глубину муфты, включающую трубу.

Подготовка труб к склеиванию. При обрезке труб следует обращать внимание на то, чтобы распил был строго перпендикулярным. С торца трубы должны быть тщательно удалены заусеницы. Для лучшего склеивания на конце трубы делают скос.

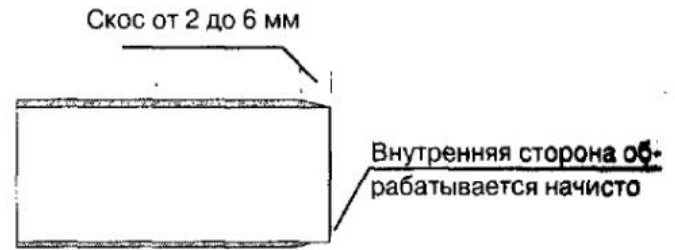
Склеивание. Конец трубы обрабатывают специальным очистителем от грязи

Укладка трубопровода



При прокладке трубопровода необходимо точно учесть длину труб

и жира. Также поступают с внутренней стороной соединительной муфты. Затем клей с помощью кисточки равномерно наносится на муфту и на концы труб. При этом движения кисточки должны быть направлены вдоль трубы (кисточку нельзя водить вокруг трубы). При температуре 25 °С время обработки клеем «тангит» составляет четыре минуты. За то же время клей наносится на склеиваемые поверхности трубы и фитинги соединяются. Соединение также происходит в продольном направлении, без вращения. Сразу после склеивания трубопровод нельзя нагружать полным давлением. В качестве рекомендации



Концы труб нужно обрабатывать для склеивания

можно принять: один час после склеивания на один бар используемого давления. Кисточка после использования должна быть очищена. Дозаторы клея или туба после завершения работ должны закрываться как можно быстрее. Более точные инструкции могут поставаться поставщиками фитингов или труб.

Фиксация труб. Длинные трубопроводы следует укреплять на равных расстояниях в стене. В зависимости от диаметра труб хомуты для крепления должны устанавливаться на расстоянии от 70 до 150 см.

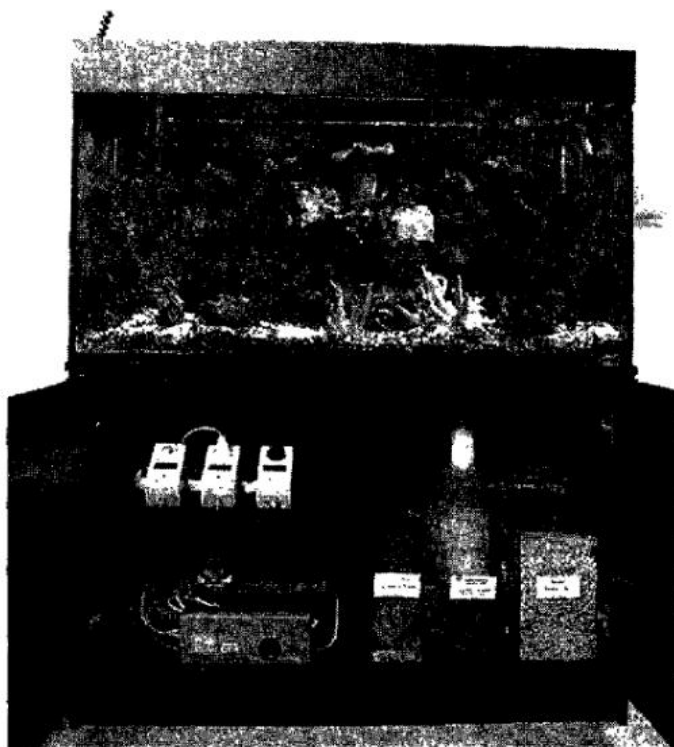
Примеры аквариумных установок

Э тот раздел касается краткого описания оптимальных аквариумных систем и трудностей при строительстве аквариумных установок. Каждый аквариум имеет свою специфику, которая часто формируется совсем чуждыми системе обстоятельствами. Так, например, каждый аквариум установлен на месте, которое обусловлено необходимостью или другими причинами и, конечно, имеет свои особенности устройства и эксплуатации, объемы капиталовложений в определенных границах и пр. Здесь требуется фантазия для того, чтобы создать с данными возможностями такую аквариумную систему, которая необходима. Так как каждый располагает своими возможностями, в том числе финансовыми, создание аквариума будет всегда индивидуальным делом.

Маленький аквариум

В приведенном примере, в частности, было показано, что размещение следует планировать так, чтобы аквариумная техника по возможности не была на виду. Вода течет на правой стороне аквариума через сливную трубу в расположенный под ней фильтр. Она протекает сначала через камеру предварительного фильтрования с тонким слоем ваты, который лежит на слое наполнителя (например, на керамических кольцах). Предварительное фильтрование должно улавливать только грубые загрязнения. Вату, однако, регулярно очищают. Из камеры предварительного фильтрования вода поступает в центральный сборник, куда стекает предварительно очищенная и чистая вода. Центробежный насос забирает воду из этой камеры. Транспортный по-

ток из этого насоса распределяется. Приблизительно половина объема воды течет через распределительный трубопровод в аквариум. А другая половина отводится во вспениватель при аквариуме с морской водой. После того как вода очищена и насыщена кислородом, она протекает во включенный биофильтр. В этой установке нельзя исключить того, что биофильтр работает частично как разбрызгивающее устройство, а частично как погруженный биофильтр. Для небольших объемов погруженного материала это приемлемо, так как вода уже во вспенивателе насытилась кислородом. Кроме того, в погруженной области достаточно кислорода. Очищенная вода



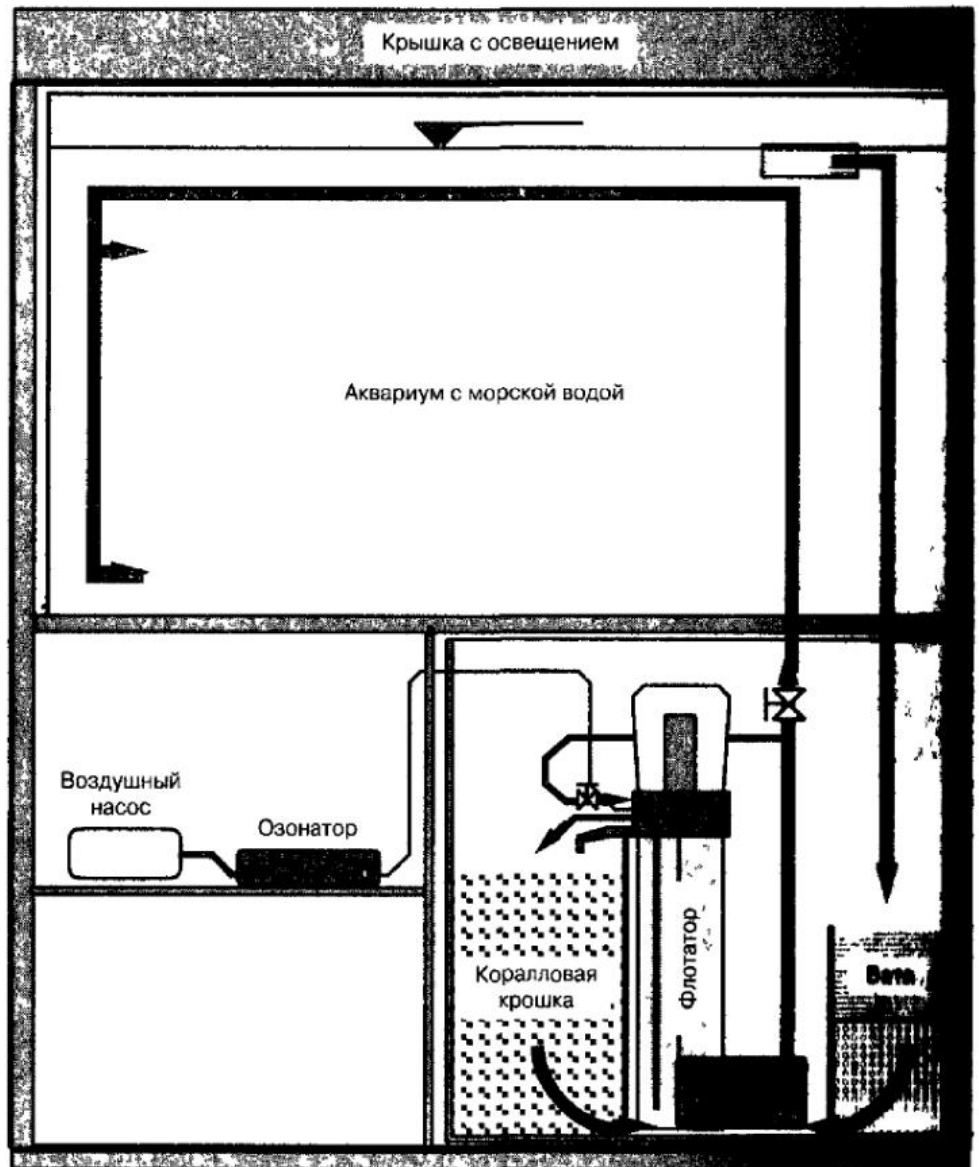
Технические приспособления в шкафу под аквариумом

опять попадает в сборник для смешанной воды, откуда она насосом подается в аквариум.

В качестве освещения можно использовать осветительную лампу в крышке, как это показано на эскизе, или навесную ламповую конструкцию, что желательнее для жилых помещений. В аквариуме с пресной водой вместо вспенивателя может быть установлено устройство кислородной колонной, особенно если речь идет о сильно заселенном рыбой пространстве. В аквариумах с растениями и с небольшим количеством рыбы от кислородной колонны лучше отказаться.

В этом случае следует обратить внимание на дозирование двуокси углерода для «подкормки растений». При отсутствии места в тумбочке можно реализовать другое решение — так называемую промежуточную конструкцию. Фильтровальная техника при этом не помещается под аквариум, а встраивается в часть шкафа рядом с аквариумом. Это решение весьма интересно, так как для колонки аэрации в этом случае создается большой запас высоты, как и в варианте с конструкцией под аквариумом. Конечно, такая промежуточная установка для пресной воды может оснащаться вспенивателем.

Схема 200-литрового аквариума с расположенным под ним фильтром



Аквариумная установка Корнфельда

Следующий рисунок показывает прекрасный аквариум, как по технической концепции, так и в эстетическом плане.

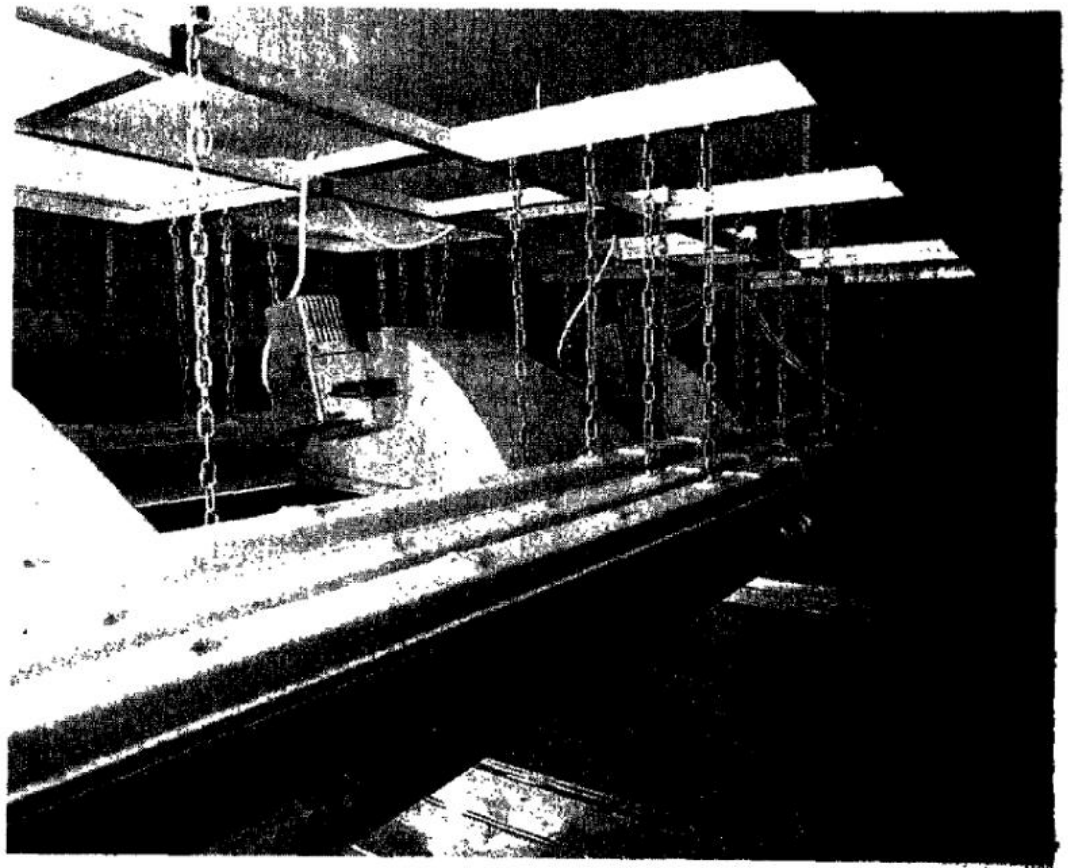
Несмотря на то что это аквариум любителя, налицо профессионализм и умелое исполнение. Аквариум длиной 3 метра занимает общую ширину объема бюро. Можно представить, как это величественно, которому идеально подходит название «коралловые рифы в жилой комнате» украшает квартиру, и как за

этим бюро хорошо работать, отдохнуть и забыть про трудности. Глубина аквариума составляет около 1,2 м, и, к сожалению, не все виды изяшных декораций так отчетливо видны, тем не менее аквариум оказывает удивительное воздействие. Общий объем воды в аквариуме составляет 2700 л. Освещение состоит из трех HQI-ламп мощностью примерно 1000 Вт, которые перекрывают дневной свет. В темное время суток 12 световых ламп включаются и выключаются с интервалом 15 минут. Вода заготавливается с помощью вспенивателя (аэратора) типа Helgoland 500 и биофильтра. Насос

Аквариум Корнфельда с морской водой имеет общую длину 3 метра

Аквариумная установка Корнфельда

Освещение состоит из трех HQI-ламп мощностью 1000 Вт и 12 люминесцентных ламп с голубым оттенком

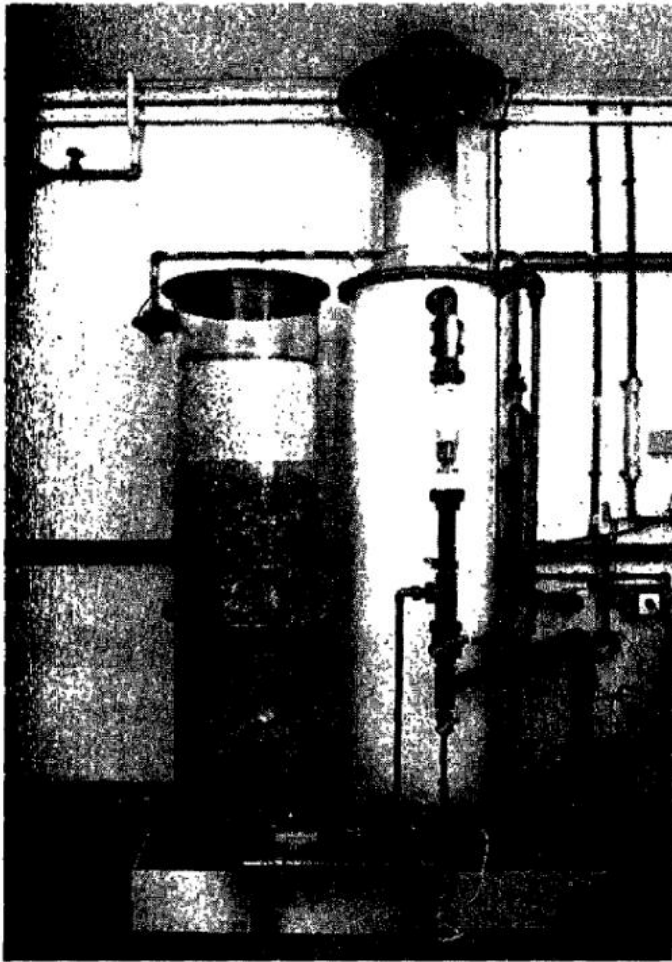


транспортирует воду из аквариума во вспениватель. Из вспенивателя при постоянном давлении она поступает во включенный биофильтр и далее опять в аквариум. Объем воды, который за час перетекает через фильтровальную установку, составляет 10 м³.

Дополнительную производительность за цикл создают 2 насоса, которые направляют поток 4 часа налево, 4 часа направо. Она составляет 15 м³ в час, так что в общей сложности вода в аквариуме проходит 8 циклов в час. Вспениватель Helgoland 500 с номинальной мощностью до 12 м³/ч великоват для аквариума. С другой стороны, аквариум с беспозвоночными, а также с рыбами сильно заселен, так что мощный вспениватель поддерживает в нем стабильную обстановку. Дополнительно к вспенивателю устанавливается измеритель потока, который также необходим для засасывания воздуха, так что производительность точно оценивается и также контролируется.

С подачей воздуха вспениватель (аэра-тор) обогащается также озоном. Очищенная и сильно обогащенная кислородом вода поступает из вспенивателя в погруженный биофильтр особой конструкции. В соответствующей главе обсуждалось, что эта конструкция может решить важные проблемы. Конечно, этот случай требует определенных затрат, и это действительно так, особенно в отношении большого предварительно включенного вспенивателя, а также биофильтра: с его помощью аэрируется приблизительно две трети общей высоты «живых камней». Это создает неоднозначную ситуацию: с одной стороны, активное размножение бактерий, с другой стороны, для «живых камней» поддерживается очень хороший гидравлический режим. Затопы и мертвые зоны течения, в которых органические вещества могли бы неконтролируемо накапливаться, не образуются. Так как «живые камни» по сравнению с обычными филь-

Примеры аквариумных установок



Аквариумная техника в этом случае достаточно больших размеров

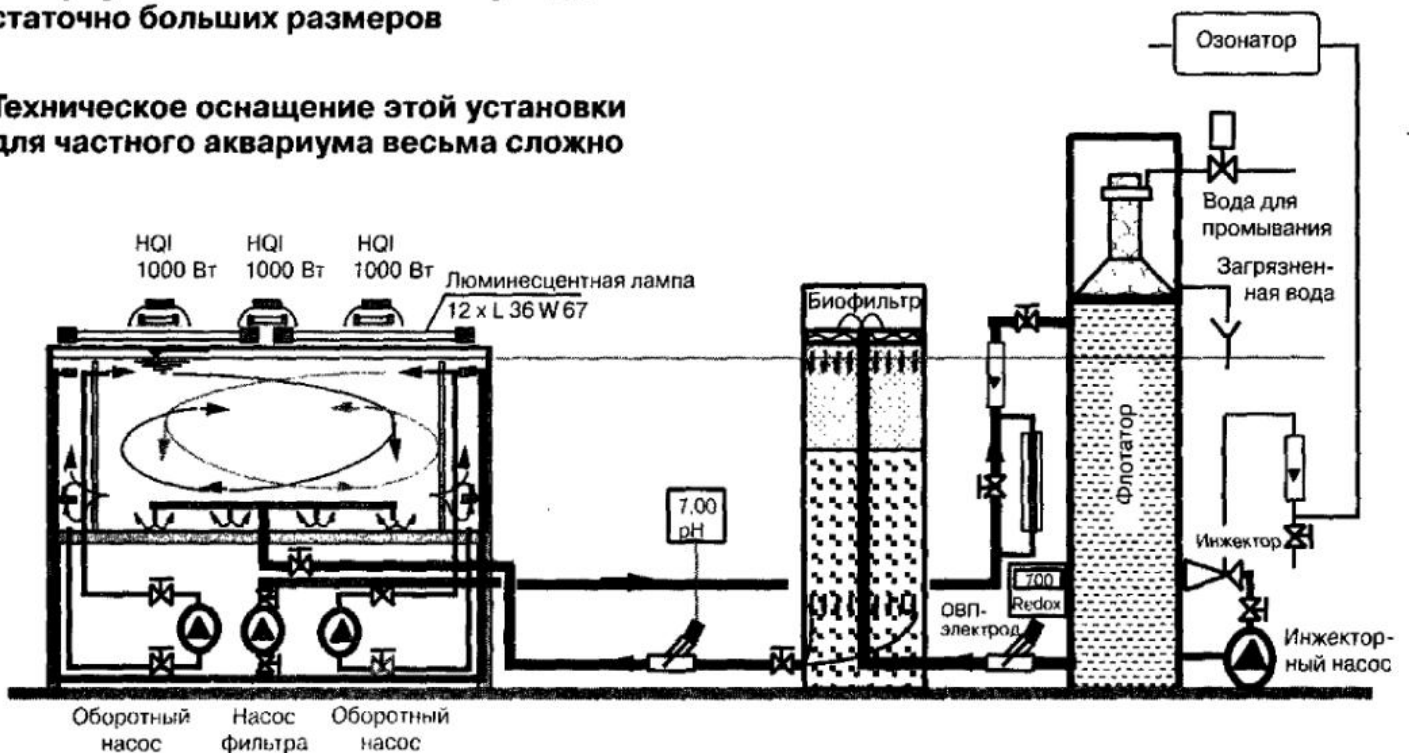
Техническое оснащение этой установки для частного аквариума весьма сложно

травальными материалами характеризуются небольшой удельной поверхностью в сравнении с общим объемом, можно предположить, что внутри этого весьма компактного материала протекают анаэробные процессы.

Это подтверждается тем, что вода содержит очень небольшое количество нитратов, которые могут разлагаться только анаэробно. При большом количестве беспозвоночных, которые поглощают из воды известь, значение pH постоянно снижается. Чтобы устранить эту тенденцию, в систему добавляется известковое молоко. В качестве микроэлемента в воду в небольших количествах добавляется стронций.

Аквариумная установка в зооторговле

Для примера рассмотрим образцовую установку фирмы «Kolle-Zoo» в Штутгарте с выражением глубокой благодарности госпоже Ландес и господину



Ландес за редкостную поддержку и предоставление информации. Зооторговля находится в настоящее время в центре дискуссии в связи с ограничением импорта и неудовлетворением спроса.

Для ухода за животными и содержания рыб необходимы специальные знания, которыми не всегда владеет персонал. С одной стороны, необходимо удовлетворить растущее количество покупателей, с другой стороны, объем воды в аквариуме оборачивается с ненормальной скоростью. Для продавцов не всегда легко постоянно повышать свою квалификацию. Многие покупатели концентрируют свое внимание на узко специальной области знаний, в которую они вкладывают часто всю свою энергию. К тому же необходимо решить массу второстепенных проблем, которые продавец даже не способен решать. Вообще, в области аквариумистики в Германии предпринимаются большие усилия, которые направлены на то, чтобы улучшить качество техники, здоровье животных. Сейчас зооторговля не только выставляет требования, но и сама пытается их решить, обеспечивая покупателя информацией в области техники или ухода и, таким образом, улучшить содержание аквариума. В то время как небольшие специальные компании часто специализируются на традиционном рыбозаведении, специальная торговля большего масштаба часто устраняет препятствия на пути к приобретению диковинных рыб. Общее количество воды часто необходимо перераспределять по различным циклам. Очевидно, что необходимы циклы пресной воды и циклы морской воды. Но внутри каждого цикла следует учитывать особенности. Так пресноводные рыбы, живущие в жесткой и мягкой воде, нуждаются в различной водоподготовке. В морской воде рыбы и беспозвоночные часто содержатся в отдельных установках. Наряду с этим можно рекомендовать карантинные бассейны, чтобы удалять

больных животных из общего пространства для того, чтобы их можно было бы особенно интенсивно обрабатывать, например, специальными медикаментами. В дальнейшем карантинные бассейны используются для проверки подозрительных животных на предмет ран, заболеваний, обострений из-за условий ловли и др.

Установка с морской водой

Следующий рисунок показывает установку с закрытым циклом. Она состоит из отдельного смотрового аквариума с объемом воды 2300 л, а также из установки с аквариумами меньшего размера для демонстрации и продажи рыб, находящимися на стеллаже, с общим объемом воды около 2600 л. Все аквариумы имеют отдельные камеры, из которых по открытому трубопроводу вода поступает в водосборник. Относительно длинная окантовка камеры, через которую течет вода, уменьшает турбулентность. При необходимости здесь можно использовать первую предфильтрацию через большие фильтровальные маты. При стоке получается так, что вода в сточной камере накапливается. Это исключает забор воздуха через отводную трубу. В сборную емкость поступает вода, как из смотрового аквариума, так и из установки для продажи рыбы. Она функционирует как в качестве сборника воды для транспортирующих насосов, так и в качестве резервуара для воды и выравнивающего аквариума. Для конструктивного исполнения подобных сборников важным является то, что они могут принимать еще некоторое количество воды, которое при поступлении из застойных зон аквариума попадает во вспениватель и биофильтр (см. «Водный сток» в главе «Трубопроводы» на стр. 223). В установке используется три транспортирующих насоса. Водный насос P1 транспортирует воду из сборника во вспениватель.

Примеры аквариумных установок

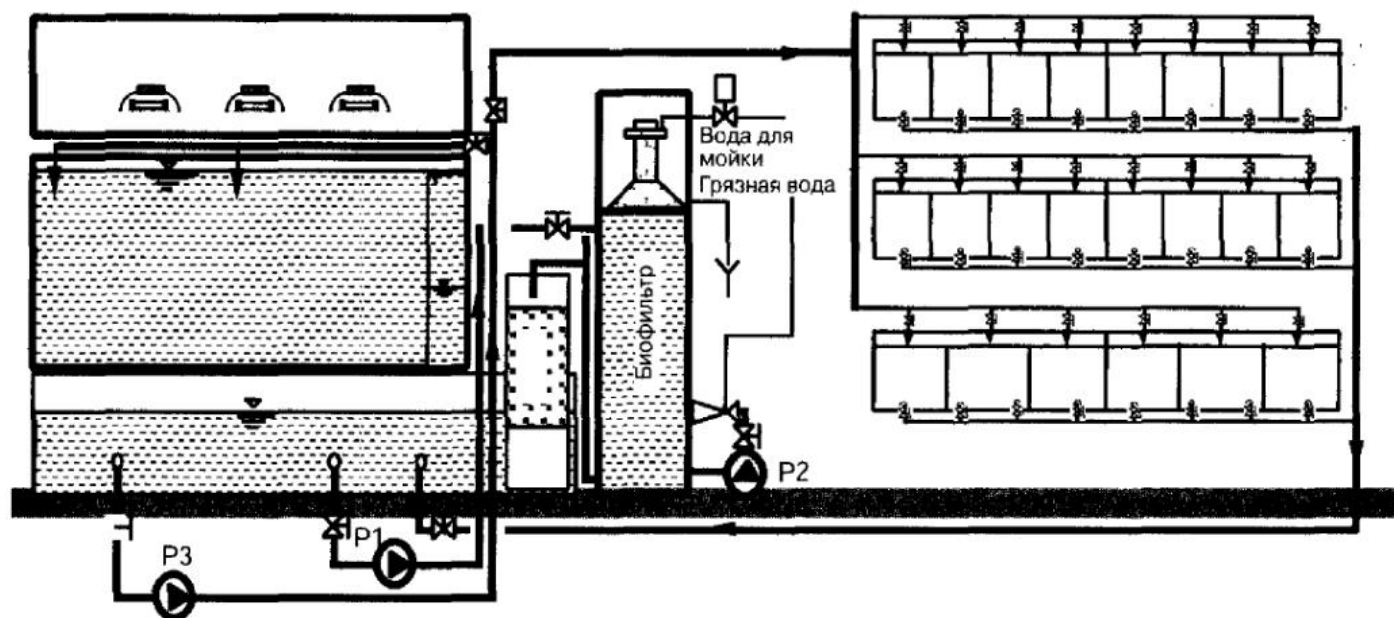


Схема комбинированной установки для просмотра и продажи

Он расположен таким образом, что общее содержимое аквариума, примерно 5 м³, один раз за час пропускается через вспениватель. Вспениватель, в этом случае, типа Helgoland 300 (Sander), развивает номинальную мощность на этом водном потоке от трех до шести метров кубических за час. Насос P2 выполняет функцию подъемного водного насоса для инжектора. Он засасывает воду из вспенивателя и транспортирует ее через инжектор, который всасывает соответствующее количество воздуха, смешивает с водой мелкие пузырьки, и поднимает эту водную смесь обратно во вспениватель. После вспенивателя вода поступает в биофильтр, который используется здесь как морозящий фильтр. Морозящий фильтр установлен непосредственно в сборнике, который снова принимает очищенную воду из фильтровальной установки. Насос P3 транспортирует эту воду через распределительный трубопровод в отдельный аквариум, этим заканчивается цикл воды. Каждая подача воды и ее сток снабжены отдельным вентиляем, так что отдельные водные потоки могут

регулироваться по необходимости. Кроме этого, имеется возможность полностью отделить бассейны от водного цикла, для того чтобы, например, провести медикаментозную обработку. Наряду с главными элементами фильтровальной установки к системе подключается озонатор с производительностью 500 мг/ч, которая соответствует нормативу 10 мг озона на 100 л воды. Озонатор регулируется автоматически через прибор, измеряющий окислительно-восстановительный потенциал. В дальнейшем соответствующими измерительными приборами контролируются значения pH и температуры. Таймер регулирует, кроме того, режим работы проточного насоса.

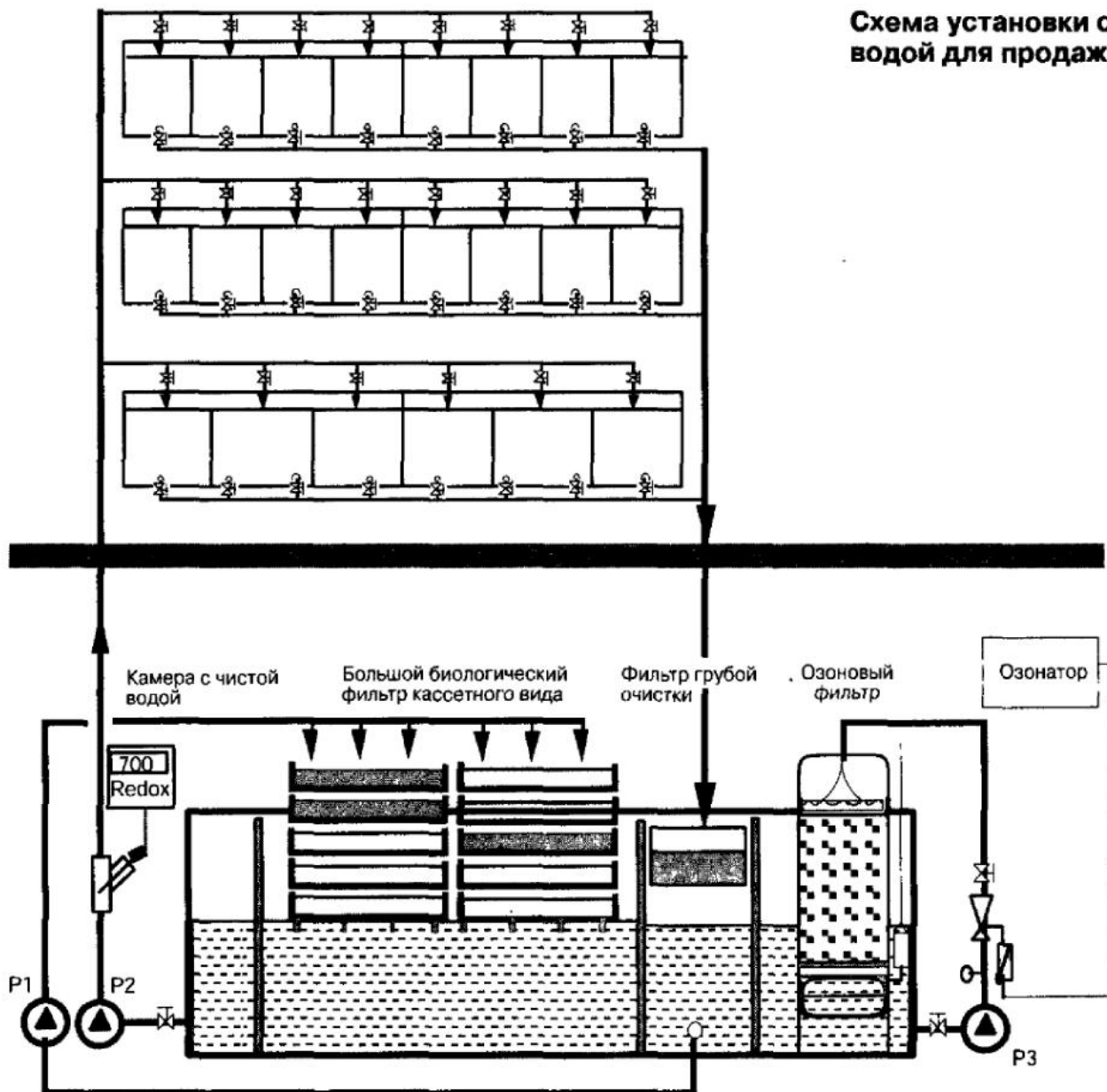
Установка с пресной водой

Наряду с вышеописанной установкой с морской водой, фирма «Kolle-Zoo» располагает, конечно, установкой с пресной водой для торговли рыбками. Установки с пресной водой имеют совсем другую техническую концепцию по сравнению с установкой с морской водой. Оборудо-

вание для очистки воды или водоподготовки расположено не на одном уровне с аквариумами, а перенесено в подвальное помещение. Вода поступает из аквариума сначала в сборный водопровод, который затем подает воду в фильтровальную установку, находящуюся в подвале. Здесь она сначала пропускается через предварительный фильтр, задача которого отделять крупные частицы загрязнений. Из фильтра грубой очистки вода поступает в сборный резервуар откуда насосом подачи P2 и перекачивается

в очень большой биологический фильтр, выполненный в виде кассетного фильтра. Преимущество этого типа конструкции состоит в том, что отдельные фильтрующие слои имеют незначительную высоту, и поэтому хорошо насыщаются кислородом. Кроме того, при такой конструкции можно вынимать отдельные сегменты фильтра. Когда вода проходит последнюю кассету (лоток), она оказывается опять в сборном резервуаре. Насос подачи P3 перекачивает частичный поток через инжектор, который смешивает

Схема установки с пресной водой для продажи рыбок





Аквариумные установки с пресной водой для продажи рыбок связаны друг с другом общим фильтром

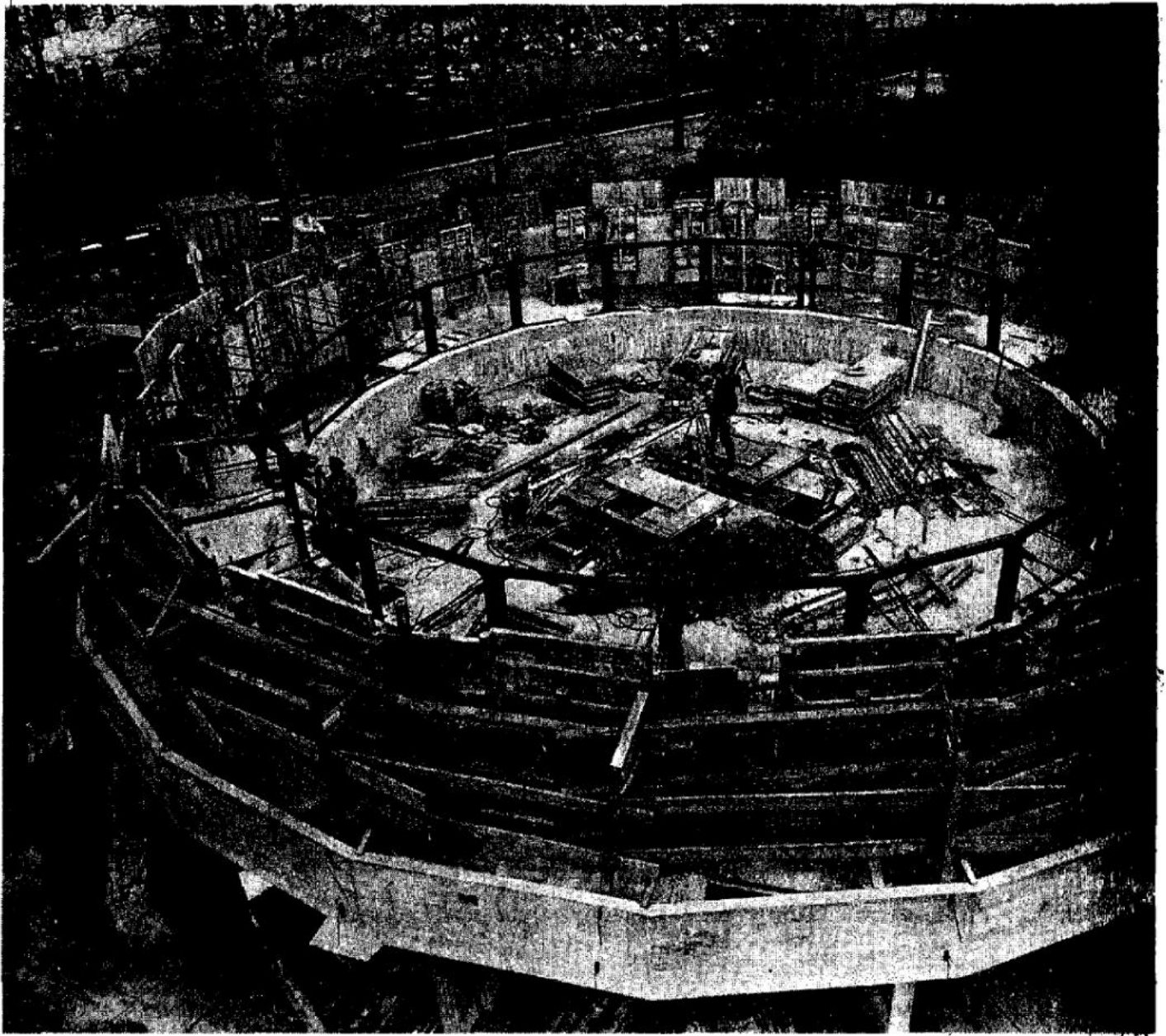
вает воду с озоном и воздухом. Смесь из воды, озона и воздуха поступает в озоновый фильтр. Через наполнитель этого фильтра распределяется вода. Так как резервуар закрыт, образуется содержащее озон воздушное пространство, которое орошается водой. Таким образом, возникает оптимальный контакт между водой и озоном. Избыточный воздух и избыточный озон отводятся с помощью специального вентиля. Обогащенная озоном вода опять попадает в сборный резервуар, который функционирует в качестве резервуара смешанной воды, куда стекаются вода после фильтра грубой очистки, вода, обработанная биологически и вода, обработанная озоном. Насос подачи P2 забирает воду из отделения

с чистой водой и передает ее в аквариумную установку.

На обратном пути воды находится прибор, измеряющий окислительно-восстановительный потенциал, который автоматически контролирует дозирование озона. Эти аквариумы подключены таким образом, что могут отсоединяться по отдельности или группами.

Аквариум Лейпцигского зоопарка

В качестве примера открытого аквариума рассмотрим аквариум города Лейпцига, где приняли очень рискованный проект создания большого аквариума



Аквариум Лейпцигского зоопарка в начале строения

в центре зоопарка. Его конструкция хорошо видна на рисунке на стр. 243. С 1989 г. аквариум в целом был готов. Таким образом, появилась необходимость оснастить громадное архитектурное сооружение современной техникой. Особенность аквариума заключалась в том, что помещение для зрителей аквариума оборудовали куполообразным сводом, в середине которого расположен планетарий. Таким образом, представляется

неповторимый случай рассматривать глубины космического пространства и глубины моря в одном месте. Неизгладимое впечатление! Дальнейшее описание предоставим господину Энгельманну, руководителю аквариума с благодарностью за конструктивную поддержку:

«Если посетители зоопарка заходят в наш аквариумный дом, то они имеют полное право на то, чтобы увидеть здесь



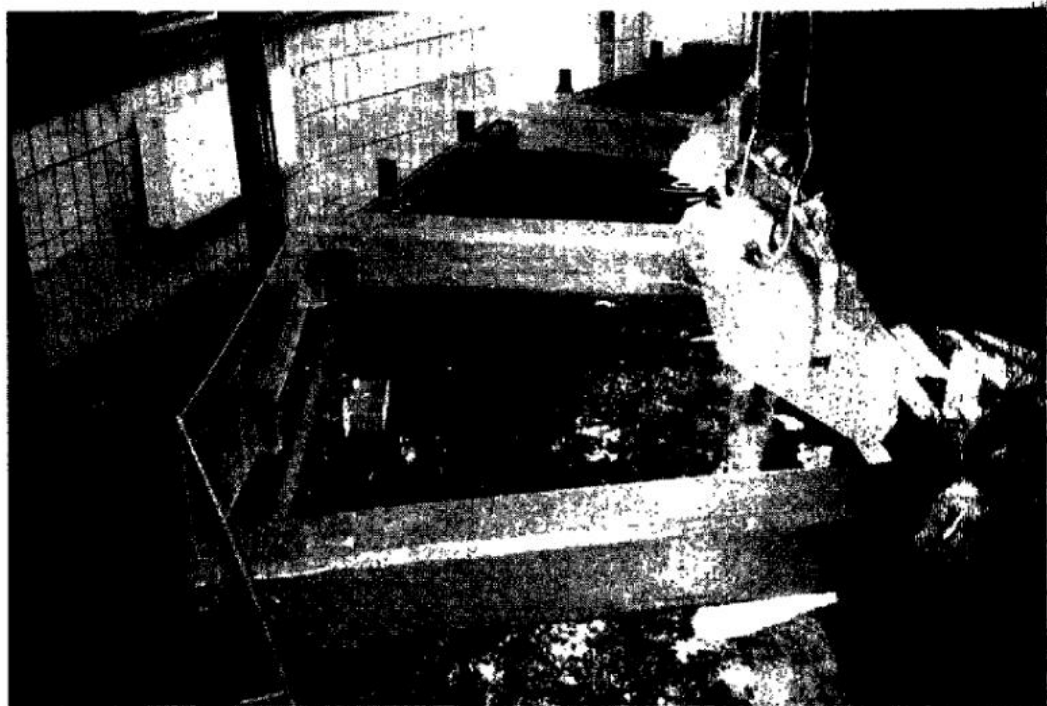
Посетители находятся в середине аквариума в форме кольца

чистые аквариумы, здоровых рыб и чистую воду». Для этого необходим не только интенсивный и постоянный уход, но также и обширная техника. Посетитель, как правило, едва ли имеет представление, как устанавливают специальное оборудование в помещении для техники. На примере большого аквариума для акул и летающих морских рыб можно было бы рассказать о дорогой фильтровальной технике. В центр нижнего этажа в круглое помещение для посетителей ведет винтовая лестница. Здесь найдется место для множества посетителей. Для посетителя на кресле-каталке предусмотрен выход с понижением, ко-

торый, конечно же, должен обслуживаться нашим компетентным персоналом.

Поднимающаяся вверх винтовая лестница приводит нас на верхний этаж. Большая часть посетителей, захваченная впечатлениями, стоит сначала посередине кольцевидного аквариума и приходит в восторг от плавающих акул. Прежде чем мы подойдем непосредственно к смотровому стеклу, позволим этой атмосфере повлиять и на нас. Пространство, освещенное только подсветкой аквариума, затемнено, и наше внимание привлекают плавающие рыбы: черные акулы, золотые рыбки, королевская макрель, украшенная узкими черными по-

Кольцевой аквариум с точки зрения человека, ухаживающего за животными



лосами. За стеклянным кольцом смотрового стекла длиной 40 м находится 120 м³ морской воды. Для рыб этот аквариум представляет практически неограниченное пространство для плавания, т.к. по двум направлениям они не сталкиваются со стеклами. Акулы, которые в природе постоянно плавают, чтобы пропускать воду через жабры; морские порхающие рыбы, которым также необходимо большое пространство для плавания, находят здесь идеальные условия. Несколько построек из ракушечника установлено для рыб, привязанных к месту обитания, таких как мурены, каменный окунь. Есть также лабиринты и пещеры, которые необходимы рыбам для благополучного существования. В общей фильтровальной системе, включая большую и кольцевидную камеру для осветленной воды, находится в обороте 100 м³ воды. Производительность насосов такова, что каждый час через фильтровальные установки проходит 80 м³ воды. Из трех мест смотрового аквариума вода свободным течением попадает сначала

в сборный резервуар, который находится в подвале.

От него вода подходит к двум большим флотаторам (аэраторам), которые имеют диаметр 100 см и высоту 3,1 м. Флотатор соединен с озонатором, так что при необходимости в аквариумную воду может подводиться озон. Озон повышает окислительно-восстановительный потенциал, который в этой системе постоянно контролируется с помощью электроники. Из сборного резервуара вода попадает в получашу 2,2 м длиной и 2 м шириной, в которой на оси вращаются поставленные в ряд пластины из пластмассы диаметром 2 м. На этих наполовину погруженных в воду пластинах поселяются бактерии, которые окисляют высокотоксичные аммиак и нитриты в относительно безвредные нитраты. Механическое фильтрование происходит при подсоединении к биологическому, мокрому фильтру объемом 10 м³, заполненному коралловым щебнем. Он состоит из двух параллельно расположенных отсеков, через которые проходит

Примеры аквариумных установок

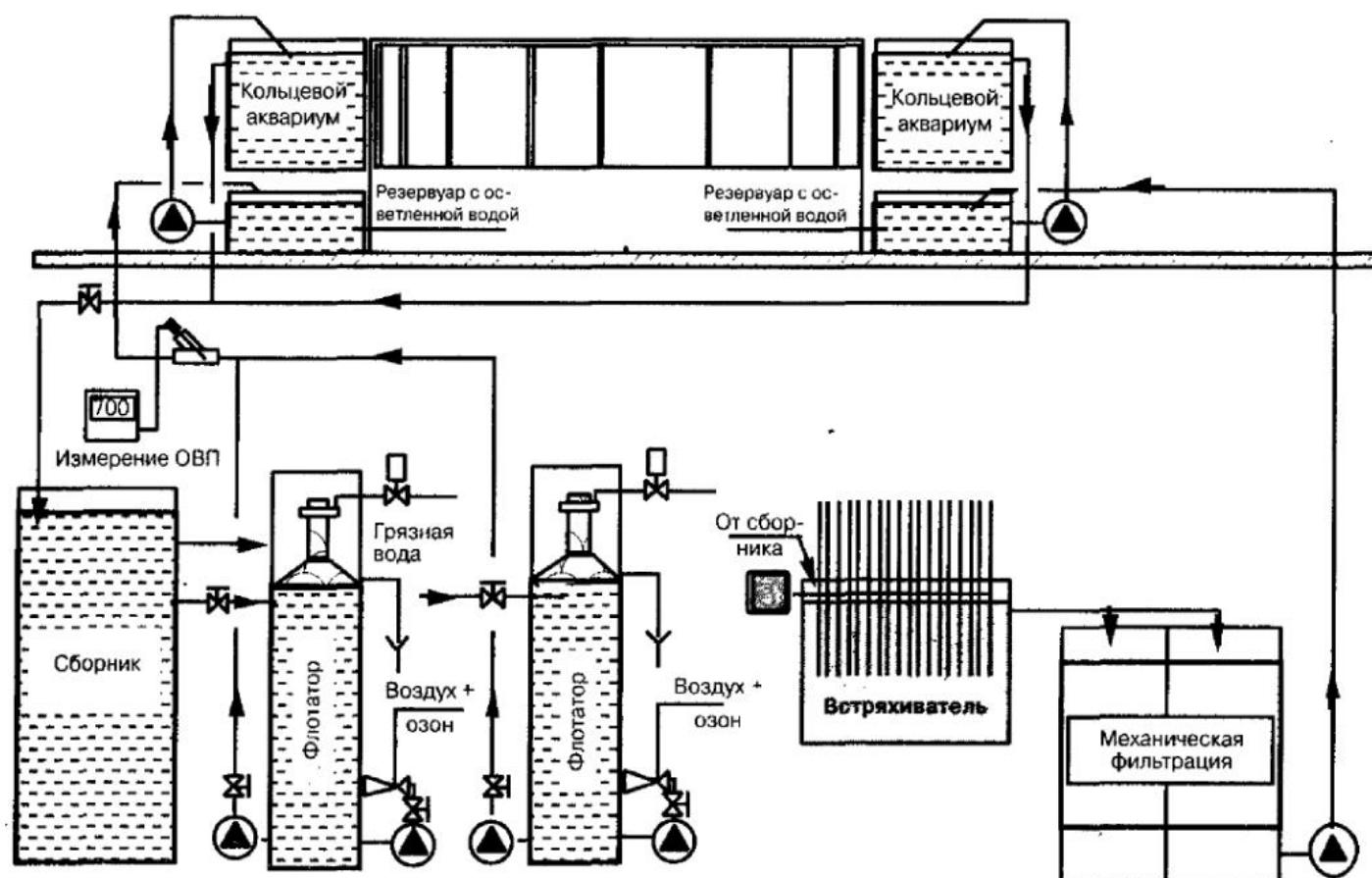


Схема большого круглого аквариума Лейпцигского зоопарка

половина объема воды. Таким образом, посредством изменения направления движения всего потока в одну камеру другую можно очищать в работающем режиме. При этом гравий можно очищать смесью воды и воздуха. Эту работу можно совмещать с частичной сменой воды, которая проводится, как правило, один раз в месяц. Два насоса с производительностью 60 м³/ч перекачивают очищенную воду в резервуар с осветленной водой, который находится непосредственно под аквариумом. Отсюда она с помощью двух следующих насосов опять транспортируется в кольцевидный аквариум. Все насосы управляются выключателем с поплавком, так что отказ насоса не приводит к авариям. Такой же фильтровальной техникой оснащен панорамный аквариум для коралловых рыб. Все другие аквариумы в зависимо-

сти от размеров и вида воды (морская или пресная) оборудованы собственными фильтровальными системами, причем, применяются как устройства, фильтрующие через песок под давлением, так и многокамерные гравийные фильтры с предварительным фильтрованием через фильтровальные маты. Наряду с фильтровальными системами к аквариумной технике относятся также освещение, аэрация, нагрев и охлаждение отдельных аквариумов, установки водоподготовки, дополнительные емкости, а также общие трубопроводы. Так, например, для включения воды и электричества во всех частях аквариума необходимо 10,5 км кабеля и 8 км трубопроводов. Большие, заросшие водорослями, аквариумы с пресной водой подсоединены к центральной установке для дозирования двуокиси углерода,

в качестве удобрения, в аквариумную воду.

Этим достигается лучший рост растений при одновременном подавлении нежелательных водорослей. Для развития растений, а также для благополучия водных существ большое значение имеет температура и освещение. Это касается не только интенсивности света, но и его ежедневной длительности. Поэтому длительность дневного освещения и его сила управляются приборами и таймерами. Для больших, представленных для просмотра, аквариумов важно иметь карантинные аквариумы. В Лейпцигском зоопарке установлено четыре таких аквариума. Один карантинный, другой — для разведения тропических морских животных и тропических пресноводных рыб, карантинный аквариум с холодной водой, а также карантинный

аквариум для разведения животных в рариумах. Они служат не только для раздельного размещения вновь прибывающих и отдельных заболевших животных, но и для временного показа животных, которые не могут показываться в демонстрационном помещении. В дальнейшем здесь происходит разведение молодняка и целенаправленное увеличение числа определенных видов. Вместе с тем мы имеем возможность участвовать в охране природы, в частности, через участие в международной программе получения различных видов. Похожие конструкции, которые используют аэрацию, биологическое фильтрование, озонирование, есть также в аквариуме Берлина, в парке животных в Бохуме, в Хаденбюске, в аквариуме университета города Киль и в других демонстрационных аквариумах внутри страны и за рубежом.

Таблица для расчета диаметра труб

Данные, необходимые для расчета нужного диаметра труб

Длина трубы		Колено	Внутр Ø	Количество воды (м ³ /ч)													
Угол 90°	90°			0,25	0,50	0,75	1,00	2,5	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	20,00	25,00	30,00	
м	шт	шт	мм	Потеря давления, м водн ст				Потеря давления м водн ст				Потеря давления, м водн ст					
1	2		12	0,15	0,59	1,28	2,24	13,32	51,70								
2,5	2		12	0,23	0,84	1,81	3,11	17,75									
5	2		12	0,36	1,27	2,68	4,55	25,13									
10	2		12	0,62	2,13	4,42	7,45	39,89									
25	2		12	1,39	4,70	9,66	16,14										
1	2		16	0,05	0,17	0,38	0,67	4,03	15,70	34,86							
2,5	2		16	0,07	0,24	0,52	0,89	5,14	19,55	42,87							
5	2		16	0,10	0,35	0,74	1,26	7,01	25,99	56,22							
10	2		16	0,16	0,57	1,18	2,00	10,74	38,85								
25	2		16	0,36	1,22	2,51	4,20	21,92									
1	2		20	0,02	0,07	0,15	0,27	1,60	6,26	13,92	24,57	38,19					
2,5	2		20	0,02	0,09	0,20	0,34	1,99	7,58	16,67	29,18	45,08					
5	2		20	0,04	0,13	0,27	0,47	2,63	9,79	21,24	36,85	56,57					
10	2		20	0,06	0,21	0,43	0,72	3,91	14,21	30,38	52,20						
25	2		20	0,13	0,43	0,89	1,49	7,76	27,47	57,81							
1	2		25	0,01	0,02	0,05	0,10	0,58	2,26	5,04	8,90	13,83	19,84	35,06			
2,5	2		25	0,01	0,03	0,07	0,12	0,71	2,72	5,98	10,47	16,19	23,12	40,57			
5	2		25	0,01	0,05	0,10	0,17	0,93	3,48	7,55	13,10	20,12	28,58	49,75			
10	2		25	0,02	0,07	0,15	0,25	1,37	5,00	10,68	18,36	27,98	39,51				
25	2		25	0,05	0,15	0,31	0,52	2,70	9,55	20,09	34,13	51,56					
1	2		32		0,01	0,02	0,03	0,21	0,82	1,84	3,24	5,05	7,24	12,81	19,95	28,64	
2,5	2		32		0,01	0,02	0,04	0,25	0,96	2,12	3,73	5,77	8,24	14,50	22,46	32,15	
5	2		32		0,02	0,03	0,06	0,32	1,20	2,60	4,53	6,97	9,91	17,30	26,66	37,99	
10	2		32	0,01	0,02	0,05	0,08	0,46	1,66	3,56	6,14	9,37	13,25	22,91	35,05	49,68	
25	2		32	0,01	0,05	0,10	0,17	0,86	3,06	6,45	10,96	16,58	23,26	39,74			
1	2		40			0,01	0,01	0,07	0,26	0,57	1,01	1,58	2,26	4,00	6,22	8,93	
2,5	2		40			0,01	0,01	0,08	0,31	0,67	1,18	1,82	2,61	4,58	7,09	10,13	
5	2		40			0,01	0,01	0,02	0,10	0,39	0,84	1,46	2,24	3,18	5,53	8,52	12,13
10	2		40			0,01	0,02	0,03	0,15	0,55	1,17	2,01	3,06	4,32	7,45	11,39	16,12
25	2		40	0,00	0,02	0,03	0,06	0,29	1,03	2,16	3,67	5,53	7,75	13,21	20,01	28,09	
1	2		50				0,00	0,03	0,10	0,23	0,41	0,64	0,91	1,61	2,51	3,61	
2,5	2		50				0,01	0,03	0,12	0,27	0,47	0,72	1,03	1,81	2,81	4,02	
5	2		50				0,00	0,01	0,04	0,15	0,32	0,56	0,86	1,22	2,14	3,30	4,70
10	2		50				0,01	0,01	0,06	0,20	0,44	0,75	1,14	1,62	2,80	4,28	6,07
25	2		50	0,00	0,01	0,01	0,02	0,10	0,37	0,78	1,32	1,99	2,79	4,77	7,23	10,16	
1	5		12	0,27	1,04	2,30	4,05	24,63									
2,5	5		12	0,35	1,30	2,82	4,92	29,06									
5	5		12	0,47	1,72	3,70	6,36	36,44									
10	5		12	0,73	2,58	5,44	9,26	51,20									
25	5		12	1,50	5,15	10,67	17,95										
1	5		16	0,08	0,32	0,71	1,24	7,60	30,01								
2,5	5		16	0,10	0,38	0,84	1,47	8,72	33,87								

Таблица для расчета диаметра труб

Данные, необходимые для расчета нужного диаметра труб

Длина трубы			Количество воды (м ³ /ч)													
Угол	90°	90°	∅	0,25	0,50	0,75	1,00	2,5	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	20,00	25,00	30,00
м	шт	шт	мм	Потеря давления, м водн. ст.				Потеря давления, м водн. ст.				Потеря давления, м водн. ст.				
5	5		16	0,13	0,49	1,06	1,83	10,59	40,30							
10	5		16	0,20	0,71	1,51	2,57	14,31	53,17							
25	5		16	0,40	1,37	2,84	4,78	25,50								
1	5		20	0,03	0,13	0,28	0,50	3,07	12,12	27,11	48,02					
2,5	5		20	0,04	0,15	0,33	0,58	3,45	13,45	29,86	52,63					
5	5		20	0,05	0,19	0,41	0,70	4,09	15,66	34,43						
10	5		20	0,07	0,26	0,56	0,96	5,38	20,08	43,57						
25	5		20	0,14	0,49	1,02	1,72	9,23	33,33							
1	5		25	0,01	0,05	0,10	0,18	1,09	4,31	9,63	17,06	26,59	38,21			
2,5	5		25	0,01	0,05	0,12	0,20	1,22	4,76	10,57	18,64	28,95	41,49			
5	5		25	0,02	0,07	0,14	0,25	1,44	5,52	12,14	21,27	32,88	46,96			
10	5		25	0,03	0,09	0,20	0,34	1,89	7,04	15,28	26,52	40,74				
25	5		25	0,05	0,17	0,36	0,60	3,21	11,59	24,68	42,29					
1	5		32		0,02	0,04	0,07	0,40	1,58	3,55	6,29	9,80	14,09	24,98	38,96	56,02
2,5	5		32		0,02	0,04	0,07	0,44	1,72	3,84	6,77	10,52	15,09	26,66	41,48	59,53
5	5		32	0,01	0,02	0,05	0,09	0,51	1,96	4,32	7,57	11,72	16,76	29,47	45,67	
10	5		32	0,01	0,03	0,07	0,11	0,65	2,42	5,28	9,18	14,12	20,09	35,08		
25	5		32	0,02	0,06	0,12	0,20	1,05	3,82	8,16	14,01	21,33	30,11	51,91		
1	5		40		0,01	0,02	0,46	1,03	1,82	2,84	4,08	7,22	11,26	16,19		
2,5	5		40		0,01	0,01	0,02	0,13	0,51	1,13	1,99	3,08	4,42	7,80	12,12	17,39
5	5		40		0,01	0,02	0,03	0,15	0,59	1,29	2,26	3,50	4,99	8,76	13,56	19,38
10	5		40		0,01	0,02	0,04	0,20	0,75	1,62	2,81	4,32	6,13	10,68	16,43	23,37
25	5		40	0,01	0,02	0,04	0,06	0,34	1,23	2,61	4,47	6,79	9,56	16,44	25,05	35,35
1	5		50			0,01	0,05	0,19	0,42	0,74	1,15	1,65	2,93	4,57	6,58	
2,5	5		50			0,01	0,05	0,20	0,45	0,80	1,24	1,77	3,13	4,87	6,99	
5	5		50			0,01	0,01	0,06	0,23	0,44	0,89	1,27	1,97	3,46	5,36	7,67
10	5		50			0,01	0,11	0,29	0,54	1,08	1,53	2,36	4,12	6,34	9,04	
25	5		50			0,02	0,18	0,45	0,85	1,65	2,32	3,54	6,09	9,29	13,14	
1	10		12	0,46	1,79	4,00	7,06	43,48								
2,5	10		12	0,53	2,065	4,52	7,93	47,91								
5	10		12	0,66	2,48	5,39	9,38	55,29								
10	10		12	0,92	3,33	7,14	12,28									
25	10		12	1,69	5,90	12,37	20,97									
1	10		16	0,14	0,56	1,24	2,20	13,57	53,87							
2,5	10		16	0,16	0,62	1,38	2,42	14,69								
5	10		16	0,19	0,73	1,60	2,79	23,63								
10	10		16	0,26	0,95	2,04	3,52	28,79								
25	10		16	0,46	1,61	3,37	5,73	44,27								
1	10		20	0,06	0,23	0,50	0,89	7,92	21,89	42,80						
2,5	10		20	0,06	0,25	0,55	0,97	8,45	23,22	45,22						
5	10		20	0,08	0,29	0,63	1,10	9,34	25,43	49,26						
10	10		20	0,10	0,36	0,78	1,35	11,11	29,85							

Таблица для расчета диаметра труб

Данные, необходимые для расчета нужного диаметра труб

Длина трубы	Колено	Внутр Ø	Количество воды (м ³ /ч)															
			0,25	0,50	0,75	1,00	2,5	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	20,00	25,00	30,00			
Угол 90°	90°	Ø	Потеря давления, м водн. ст.						Потеря давления, м водн. ст.			Потеря давления, м водн. ст.						
м	шт	шт	мм															
25	10	20	0,17	0,59	1,24	2,11	16,44	43,11										
1	10	25	0,02	0,08	0,18	0,31	2,79	7,71	15,07	30,67	44,11							
2,5	10	25	0,02	0,09	0,19	0,34	2,97	8,16	15,90	32,25	46,31							
5	10	25	0,03	0,10	0,22	0,38	3,28	8,92	17,28	34,88	49,96							
10	10	25	0,03	0,13	0,27	0,47	3,89	10,44	20,06	40,13	57,26							
25	10	25	0,06	0,21	0,43	0,74	5,72	14,99	28,37	55,90								
1	10	32	0,01	0,03	0,07	0,12	1,03	2,85	5,58	11,36	16,34	25,50	45,26					
2,5	10	32	0,01	0,03	0,07	0,12	1,09	2,99	5,83	11,84	17,01	25,50	46,94					
5	10	32	0,01	0,04	0,08	0,14	1,18	3,22	6,26	12,64	18,12	28,17	49,75					
10	10	32	0,01	0,04	0,10	0,17	1,37	3,69	7,11	14,25	20,35	31,50	55,36					
25	10	32	0,02	0,07	0,15	0,25	1,93	5,09	9,65	19,08	27,05	41,51						
1	10	40		0,01	0,02	0,03	0,29	0,80	1,55	3,16	4,55	7,10	12,60	19,66	28,28			
2,5	10	40		0,01	0,02	0,04	0,31	0,84	1,64	3,33	4,78	7,44	13,18	20,52	29,48			
5	10	40		0,01	0,02	0,04	0,34	0,92	1,79	3,61	5,16	8,01	14,13	21,96	31,48			
10	10	40		0,01	0,03	0,05	0,40	1,08	2,08	4,16	5,93	9,16	16,05	24,83	35,47			
25	10	40	0,01	0,02	0,05	0,08	0,60	1,57	2,96	5,82	8,22	12,59	21,81	33,45	47,44			
1	10	50			0,01	0,01	0,12	0,32	0,63	1,29	1,85	2,89	5,13	8,01	11,53			
2,5	10	50			0,01	0,01	0,12	0,34	0,66	1,35	1,93	3,01	5,33	8,31	11,94			
5	10	50			0,01	0,02	0,14	0,37	0,71	1,44	2,06	3,21	5,66	8,80	12,62			
10	10	50			0,01	0,01	0,02	0,16	0,42	0,81	1,63	2,33	3,60	6,32	9,78	13,99		
25	10	50			0,01	0,02	0,03	0,22	0,59	1,11	2,20	3,12	4,77	8,29	12,73	18,09		
1	2	12	0,12	0,44	0,94	1,63	9,55	36,62										
2,5	2	12	0,19	0,69	1,47	2,50	13,98	51,97										
5	2	12	0,32	1,12	2,34	3,95	21,36											
10	2	12	0,58	1,98	4,08	6,85	36,12											
25	2	12	1,35	4,55	9,32	15,54												
1	2	16	0,03	0,13	0,28	0,48	4,04	10,92	21,08	42,38								
2,5	2	16	0,05	0,19	0,41	0,70	5,59	14,78	28,16									
5	2	16	0,09	0,30	0,63	1,07	8,17	21,22	39,95									
10	2	16	0,15	0,52	1,08	1,81	13,33	34,08										
25	2	16	0,35	1,18	2,41	4,01	28,81											
1	2	20	0,01	0,05	0,11	0,19	1,59	4,30	8,32	16,75	23,97	37,17						
2,5	2	20	0,02	0,07	0,15	0,26	2,12	5,63	10,74	21,36	30,38	46,75						
5	2	20	0,03	0,11	0,23	0,39	3,01	7,84	14,78	29,03	41,05							
10	2	20	0,05	0,19	0,38	0,65	4,78	12,26	22,86	44,38								
25	2	20	0,12	0,41	0,85	1,41	10,11	25,52	47,10									
1	2	25	0,01	0,02	0,04	0,07	0,63	1,70	3,30	6,66	9,53	14,80	26,09	40,53				
2,5	2	25	0,01	0,03	0,06	0,10	0,81	2,16	4,13	8,23	11,72	18,07	31,60	48,80				
5	2	25	0,01	0,04	0,08	0,14	1,12	2,92	5,52	10,86	15,37	23,54	40,79					
10	2	25	0,02	0,07	0,14	0,23	1,73	4,44	8,29	16,12	22,68	34,47						
25	2	25	0,04	0,15	0,30	0,50	3,56	8,99	16,60	31,89	44,59							
1	2	32		0,01	0,02	0,03	0,23	0,62	1,19	2,41	3,45	5,36	9,47	14,73	21,13			

Таблица для расчета диаметра труб

Данные, необходимые для расчета нужного диаметра труб

Длина трубы			Количество воды (м ³ /ч)													
Угол	90°	90°	Ø	0,25	0,50	0,75	1,00	2,5	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	20,00	25,00	30,00
м	шт	шт	мм	Потеря давления, м водн. ст.				Потеря давления м водн. ст				Потеря давления, м водн. ст				
2,5	2	32		0,01	0,02	0,03	0,28	0,75	1,45	2,89	4,12	6,37	11,16	17,24	24,63	
5	2	32		0,01	0,03	0,05	0,38	0,99	1,87	3,70	5,24	8,03	13,96	21,44	30,48	
10	2	32	0,01	0,02	0,04	0,08	0,56	1,45	2,72	5,30	7,47	11,37	19,57	29,83	42,16	
25	2	32	0,01	0,05	0,09	0,16	1,13	2,85	5,27	10,13	14,17	21,38	36,40	55,01		
1	2	40				0,01	0,09	0,25	0,48	0,97	1,38	2,15	3,80	5,92	8,49	
2,5	2	40				0,01	0,11	0,29	0,56	1,13	1,61	2,50	4,38	6,78	9,69	
5	2	40				0,02	0,14	0,37	0,71	1,41	2,00	3,07	5,34	8,22	11,69	
10	2	40				0,03	0,21	0,53	1,00	1,96	2,76	4,21	7,26	11,09	15,68	
25	2	40				0,06	0,40	1,02	1,88	3,62	5,06	7,64	13,01	19,71	27,65	
1	2	50				0,00	0,04	0,10	0,19	0,39	0,56	0,87	1,53	2,39	3,43	
2,5	2	50				0,01	0,04	0,12	0,22	0,45	0,64	0,98	1,73	2,68	3,84	
5	2	50				0,01	0,05	0,14	0,27	0,54	0,77	1,18	2,06	3,17	4,52	
10	2	50				0,01	0,08	0,20	0,37	0,73	1,03	1,57	2,72	4,15	5,88	
25	2	50				0,02	0,14	0,36	0,67	1,30	1,82	2,75	4,69	7,10	9,98	
1	5	12	0,17	0,66	1,45	2,54	15,21	59,24								
2,5	5	12	0,25	0,92	1,97	3,41	19,63									
5	5	12	0,38	1,35	2,85	4,86	27,01									
10	5	12	0,64	2,20	4,59	7,75	41,77									
25	5	12	1,41	4,77	9,82	16,44										
1	5	16	0,05	0,20	0,44	0,77	6,62	18,08	35,11							
2,5	5	16	0,07	0,26	0,57	0,99	8,16	21,94	42,19							
5	5	16	0,10	0,37	0,79	1,36	10,74	28,37	53,98							
10	5	16	0,17	0,59	1,24	2,09	15,90	41,24								
25	5	16	0,37	1,25	2,57	4,30	31,39									
1	5	20	0,02	0,08	0,17	0,31	2,64	7,24	14,07	28,48	40,86					
2,5	5	20	0,03	0,10	0,22	0,38	3,017	8,56	16,49	33,08	47,26					
5	5	20	0,04	0,14	0,30	0,51	4,06	10,77	20,53	40,76	57,94					
10	5	20	0,06	0,22	0,45	0,76	5,84	15,19	28,61	56,11						
25	5	20	0,13	0,44	0,91	1,53	11,16	28,45	52,85							
1	5	25	0,01	0,03	0,07	0,12	1,06	2,91	5,65	11,46	16,45	25,60	45,30			
2,5	5	25	0,01	0,04	0,09	0,15	1,24	3,36	6,48	13,04	18,64	28,88	50,81			
5	5	25	0,01	0,05	0,11	0,19	1,55	4,12	7,87	15,66	22,29	34,35				
10	5	25	0,02	0,08	0,17	0,28	2,16	5,64	10,64	20,92	29,59	45,28				
25	5	25	0,05	0,16	0,33	0,54	3,99	10,19	18,95	36,69	51,50					
1	5	32		0,01	0,03	0,04	0,39	1,06	2,07	4,20	6,03	9,39	16,63	25,91	37,23	
2,5	5	32		0,01	0,03	0,05	0,44	1,20	2,32	4,68	6,70	10,39	18,31	28,43	40,74	
5	5	32		0,02	0,04	0,07	0,54	1,44	2,75	5,49	7,82	12,06	21,12	32,62	46,58	
10	5	32	0,01	0,03	0,05	0,09	0,73	1,90	3,60	7,09	10,05	15,40	26,73	41,02		
25	5	32	0,02	0,05	0,10	0,18	1,29	3,30	6,15	11,92	16,74	25,41	43,56			
1	5	40				0,02	0,16	0,43	0,84	1,70	2,44	3,80	6,74	0,50	15,09	
2,5	5	40				0,02	0,18	0,48	0,92	1,86	2,67	4,14	7,31	11,36	16,29	
5	5	40				0,03	0,21	0,56	1,07	2,14	3,05	4,72	8,27	12,80	18,28	

Таблица для расчета диаметра труб

Данные, необходимые для расчета нужного диаметра труб

Длина трубы			Количество воды, м ³ /ч												
Угол 90°	90°	∅	0,25	0,50	0,75	1,00	2,5	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	20,00	25,00	30,00
м	шт	шт: мм	Потеря давления, м водн. ст				Потеря давления, м водн. ст				Потеря давления, м водн. ст				
10	5	40				0,03	0,27	0,72	1,36	2,69	3,82	5,86	10,19	15,67	22,27
25	5	40	0,01	0,06	0,17	0,34	0,69	0,99	1,54	2,73	4,26	6,13			
1	5	50				0,01	0,06	0,17	0,34	0,69	0,99	1,54	2,73	4,26	6,13
2,5	5	50				0,01	0,07	0,19	0,37	0,75	1,07	1,66	2,93	4,56	6,54
5	5	50				0,01	0,08	0,22	0,42	0,84	1,20	1,86	3,26	5,05	7,22
10	5	50				0,01	0,10	0,27	0,52	1,03	1,46	2,25	3,92	6,03	8,59
25	5	50				0,02	0,17	0,44	0,82	1,60	2,25	3,42	5,89	8,98	12,69
1	10	12	0,27	1,04	2,30	4,05	24,63								
2,5	10	12	0,35	1,30	2,82	4,92	29,06								
5	10	12	0,47	1,72	3,70	6,36	36,44								
10	10	12	0,73	2,58	5,44	9,26	51,20								
25	10	12	1,50	5,15	10,67	17,95									
1	10	16	0,08	0,32	0,71	1,24	10,91	30,01							
2,5	10	16	0,10	0,38	0,84	1,47	12,46	33,87							
5	10	16	0,13	0,49	1,06	1,83	15,04	40,30							
10	10	16	0,20	0,71	1,51	2,57	20,20	53,17							
25	10	16	0,40	1,37	2,84	4,78	35,68								
1	10	20	0,03	0,13	0,28	0,50	4,40	12,12	23,64	48,02					
2,5	10	20	0,04	0,15	0,33	0,58	4,93	13,45	26,07	52,63					
5	10	20	0,05	0,19	0,41	0,70	5,82	15,66	30,11						
10	10	20	0,07	0,26	0,56	0,96	7,60	20,08	38,19						
25	10	20	0,14	0,49	1,02	1,72	12,92	33,33							
1	10	25	0,01	0,05	0,11	0,20	1,78	4,91	9,58	19,46	27,98	43,62			
2,5	10	25	0,02	0,06	0,13	0,23	1,96	5,36	10,41	21,04	30,17	46,89			
5	10	25	0,02	0,07	0,16	0,27	2,27	6,12	11,79	23,67	33,82	52,36			
10	10	25	0,03	0,10	0,21	0,36	2,88	7,64	14,56	28,93	41,12				
25	10	25	0,05	0,18	0,37	0,62	4,71	12,19	22,88	44,70					
1	10	32	0,00	0,02	0,04	0,07	0,65	1,81	3,53	7,18	10,32	16,10	28,56	44,55	
2,5	10	32	0,01	0,02	0,05	0,08	0,71	1,95	3,79	7,66	10,99	17,10	30,24	47,07	
5	10	32	0,01	0,03	0,06	0,10	0,81	2,18	4,21	8,47	12,11	18,77	33,05	51,26	
10	10	32	0,01	0,03	0,07	0,12	0,99	2,65	5,06	10,08	14,34	22,11	38,66		
25	10	32	0,02	0,06	0,12	0,21	1,56	4,04	7,61	14,90	21,04	32,12	55,49		
1	10	40		0,01	0,02	0,03	0,27	0,73	1,44	2,92	4,20	6,55	11,62	18,13	26,08
2,5	10	40		0,01	0,02	0,03	0,29	0,78	1,52	3,09	4,43	6,89	12,20	19,00	27,28
5	10	40		0,01	0,02	0,04	0,32	0,86	1,67	3,36	4,81	7,46	13,16	20,43	29,28
10	10	40		0,01	0,03	0,05	0,38	1,02	1,96	3,91	5,58	8,61	15,08	23,30	33,27
25	10	40	0,01	0,02	0,04	0,08	0,58	1,50	2,84	5,57	7,87	12,04	20,83	31,92	45,24
1	10	50				0,01	0,11	0,30	0,58	1,19	1,71	2,67	4,73	7,39	10,63
2,5	10	50				0,01	0,11	0,32	0,61	1,25	1,79	2,79	4,93	7,68	11,04
5	10	50				0,01	0,13	0,34	0,66	1,34	1,92	2,98	5,26	8,18	11,72
10	10	50				0,02	0,15	0,40	0,76	1,53	2,18	3,37	5,92	9,16	13,09
25	10	50	0,01	0,02	0,03	0,22	0,56	1,07	2,10	2,97	4,55	7,89	12,10	17,19	

- А**
 Абсорбция 160
 Автоматическое оборудование (арматура) 230
 Адсорбция 73
 Азот 24, 28, 44, 55, 58, 81, 87, 96, 112, 176, 177
 Аквариум с теплой водой 93, 178
 Аквариум с холодной водой 178, 93
 Аквариумные установки 234
 Активированный уголь 86, 72, 73
 Аминокислоты 55
 Аммиак 41, 44, 56, 80, 87, 88, 176
 Аммоний 56, 80, 88, 91, 171, 175, 176, 177
 Аммонификация 175
 Аммония концентрация 91
 Аммония максимум 89
 Аммония окисление 90, 93
 Анаэробное 47, 90, 95
 Анионообменник 65
 Анионы 29
 Арагонит 150, 151
 Аргон 24
 Ареометр 42
 Ассимиляция 53
 Атома, строение 16
 Аэрационная установка 101
- Б**
 Бактерии 52, 89, 91, 92, 171
 – аэробные 56, 176, 177
 – анаэробные 172, 176, 177
 – денитрифицирующие 177
 – нитрифицирующие 89, 147
 Баллон под давлением 115
 Белковое вспенивание 133
 Биологическая потребность в кислороде 47, 48
 Биологические основы 51
 Биофильтр 82, 85, 88, 93, 234
 Биофильтра объем 92, 93
 благородный газ 112
 Брожение 113
 Буферизация 34
 Буферное действие 38
- Буферный раствор 191
 Быстрый фильтр, закрытый 78, 211
- В**
 Вентили с электромагнитным переключением 230
 Венгиль, уменьшающий давление 116
 Вещества окисляющие 128
 – восстанавливающие 128
 Вещества, увеличивающие жесткость 64
 Вид ионов 202
 Внесение кислорода 86
 Внешний флотатор 143
 Внутренний фильтр, биологический 84
 – использующий воздух 77
 Вода 17, 24
 – самая высокая плотность 19
 – водоподготовка 133
 – сток
 – обработка 72
 – смягчение 61
 – подорев 178
 – прозрачность 173
 – качество 89
 – температура 109
 – циркуляция 108
 Водоемы, аэробные 46
 Водообмен 91
 Водяные насосы 77, 205
 Воздух 111
 Воздушный насос 215
 Воздушный состав 111
 Восстановление 44
 Вредные вещества 12
 Время выдержки 93, 98
 Вспененный материал 85
 Вспенивание (пенообразование) 133, 170, 172
 Вязкость 22, 29, 49
- Г**
 Газовая капсула под давлением 115
 Газовый баллон под давлением 117
 Газообмен 24, 28
 Газы в морской воде 29
 Газы, растворимые 24
- природные 101
 – технические 101
 Галогеновая лампа с парами металла (HQL) 165
 Гашение извести 152
 Гидратация 139
 Гидродинамические аспекты 136
 Гидрокарбонат 34, 39, 151
 Гидротехника 106
 Глоссарий
 Горизонтальный диспергатор 143
 Граница насыщения кислородом 89
 Громкость 214
 Гуминовые вещества 74, 126, 160
 Гуминовые кислоты 43, 48, 74
- Д**
 Давление 108
 Давление осмотическое 29, 67
 Двойной слой, электрический 139
 Двуокиси углерода атмосфера 113, 117
 Двуокиси углерода внесение 118
 Двуокиси углерода дозирование 113, 120
 Двуокиси углерода подача 120
 Двуокиси углерода реактор 115
 Двуокись углерода 36, 24, 26, 28, 34, 39, 54, 112, 152
 Действие глубины 158
 Действие озона 129
 Денитрификатор, гетеротрофный 97
 Денитрификационная ступень 97
 Денитрификационные бактерии 53, 95
 Денитрификация 58, 86, 97, 117
 Дзета-потенциал 139
 Диспергатор 107
 Диспергирование через древесину 101
 Диссоциация 31
 Диффузионный прибор 118
 Диффузия 39
 Длина дня 157
 Дождевая вода 22, 24

Алфавитный указатель

- Дозатор воздуха 105
Долгоживущие клетки 92
Домашний аквариум 86
Донор электронов 99
- Ж**
Желтые вещества 126
Жесткости воды 35, 61, 63
Жизненное природное пространство 11
- З**
Загрязнение 203
Защита животных 14
Зеленые водоросли 39
Значение рН 152, 32, 38, 56, 85, 93, 151, 155, 175, 176, 187, 188, 191
Зона обогащения 140
Зона пены 139
Зона транспорта 140
Зооксантеллы 148
Зооподготовка 60
- И**
Известковая вода 152
Известковое молоко 238
Известковый реактор 154
Излучение ультрафиолетовое 157
Измерение количества воздуха 101
Измерение потока расходомером 232
Измерительные приборы, работающие на батарейках 191
– сетевые 191
Измерительный сенсор 196
Инертный газ 112
Инжектор 105
Ионная связь 16
Ионообменник 62
Источники тепла
– внешнее освещение 180
– водяные насосы 180
– нагреватели 180
– солнечное излучение 180
- К**
Калибровка 199
Калий 94
Калия карбонат 35
Кальций 35, 64, 94, 150, 151, 152
Кальцит 150, 151
Кальция гидрокарбонат 36, 152, 154
Кальция гидроксид 151
Кальция оксид 152
Кальция сульфат 35
Кальция хлорид 15
Камера предварительного фильтрования 234
Капиллярная сила 20
Карбонатная жесткость 35
Карбонатная система 36, 38
Карбонатный цикл 36, 42
Катионообменник 63
Катионы 22, 29
Кислород 24, 26, 44, 54, 82
Кислород-двуокись углерода
– цикл 53
Кислородные реакторы 109
Кислородный обмен 86
Кислоты 34, 38
Кластер 19
Кобальт 94
Колена (дуги) 229
Кольцевое уплотнение 209, 210
Компрессор с боковым каналом 217
Конвекция, термическая 20
Концентрация ионов 202
Концентрация кислорода 111, 46
Концентрация субстрата 91
Коралловая крошка 85
Коралловый песок 155
Корма качество 12
Корма количество 12
Кормления 91
Коэффициент абсорбции 160
Коэффициент ослабления (света) 160, 253
Коэффициент полезного действия 212
Краевой угол 137
- Л**
Лавовые горные породы 85
Лейпцигский зоопарк, аквариум 243
Люкс 161
Люминесцентная лампа 162
– экономичность 163
– установка 163
– регулирование освещенности 163
– цвета света 164
- М**
Магний 35, 94, 150
Магнитные насосы 208
– центробежный насос 206
Магнитный вентиль 230, 231, 232
Магния карбонат 151
Максимальная рабочая концентрация 132
Маленький аквариум 234
Манометр 101
Манометр 71
Марганец 94
Материал 214
Материал из камня 85
Медикаменты 94, 95
Медь 94
Мембранный насос 215
Металлическая связь 17
Метанол 96, 97
Методы Хюкштейна 151
Микроорганизмы 52
Миксотрофия 53
Минерализация 53
Минеральное вещество 94
Молекулы воды 18, 23, 139
Молибден 94
Морская вода 28
Мощность 161
- Н**
Нагрев 178
Нагрев аквариума 183
Нагрева мощность 179, 180, 186
Нагреватель 178, 179, 186
Нагревательный элемент 183, 204
Нагрузка, органическая 125
Нагрузки величина 91
Наполнитель из пластмассы 85, 87
Насосы, выбор 210
– расположение снаружи 208
– производительность 210
– нормально всасывающие 205
– самовсасывающие 205
– погружные 206

Натрий 64
Натрия гидрокарбонат 64, 151
Натрия карбонат 35
Некарбонатная жесткость 35
Неньютоновская жидкость 107
Нитрата количество 87
Нитратный обмен 65
Нитратный фильтр 96
Нитратов разложение 58
Нитраты 57, 65, 80, 87, 88, 95, 171, 172, 175, 176, 177
Нитритов источник 96
Нитриты 56, 58, 80, 87, 88, 146, 171, 175, 176
– концентрация 125
– измерение 99, 125
Нитрификация 172, 57, 87, 89, 90, 93, 95, 171, 175, 176, 177
– аэробная 176
Нитрифицирующие бактерии 174
Нормальная пена 140

О
Область применения 10
Обмен веществ 49
Обмен веществ у кораллов 148
Обмена веществ активность 90
Обогащение кислородом 107, 108, 110
Образование извести 148
Образование известняка 151
Обратного осмоса установка 71
Обратный осмос 67
Общая жесткость 35
Озон 44, 48, 57, 121, 128, 146, 170, 175
– стерилизующее действие 127
– области применения 122
– влияние 132
Озонатор 122
Озоновые электроды 123
Озоновый слой 157
Окисление 44, 47
– бактериальное 48, 87
Окислитель 44
Окислительно-восстановительные реакции 45

Окислительно-восстановительные электроды, испытание 199
Окислительно-восстановительный потенциал 45, 47, 97, 99, 100, 127, 128, 129, 196, 200
Опреснение 66
Опреснения зоны 140
Опреснения методы 67
Оптимальная температуры 50
Организмы, автотрофные 52
– гетеротрофные 53
– литотрофные 53
Органические вещества 42
Осаждение извести 149
Осажденные вещества 43
Осветленная вода 74
Освещение 158
Освещенность 161
Осмоз 39, 40
Осмотическое давление 41
Основание 34, 38
Особый вид дыхания, при котором рыба захватывает воздух с поверхности воды 27
Отклонение крутизны 190
Отклонения от нуля 189
Охлаждающая система 185
Охлаждение 183
Охлаждение воды 184
Охлаждения мощность 186

П
Параметры воды 187
Парциальное давление 111
Парящее тело 43
Первичная продукция 52
Первичной продукции производитель 51
Передающие цепи 15
Перекись водорода 44
Питьевая вода 12
Планктон, морской 149
Пластмассовое тело 85
Пластмассовый еж 85
Плотности расчет 204
Плотность 18, 29
Плотность обмена потока 198
Поверхностное движение 110
Поверхностное натяжение 103

Поглощение тепла 182
Погружной центробежный насос 206
Подъемник 227, 226
Позиционирование электрода 194
Потери энергии на трение 106
Потребление кислорода 44, 47, 86, 107
Потребность в кислороде 50, 171
Предварительная фильтрация 71
Предписания по питьевой воде 61
Предфильтр на основе активированного угля 71
Прибор, измеряющий окислительно-восстановительный потенциал 98
Прививка 89
Привинчивание трубопроводов 229
Принцип насоса “мамонт”
Проводимость 31, 32, 34, 200
Проточный реактор 119
Процесс нитрификации 96
Пузырька величина 101, 103
Пузырьки 135, 139
Пузырьков диаметр 104
Пузырьков образование 133

Р
Равновесие известь – угольная кислота 37, 150
Растворимость, абсолютная 28
Регенерация ионообменника 65, 67
Регенерация нитратного обменника 66
Регулирование осмоса 41
Рефлексии коэффициент 160
Рефлексия 158, 160
Решетчатая трубка из пластмассы 85
Решетчатое кольцо 85
pH-зонды 187
pH-метр 187
pH-электрод 187, 189, 192
Ртутная лампа высокого давления 164