

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА САМООЧИЩЕНИЯ ВОДЫ – БИОЭСТИМАЦИИ

© 2012 г. О. Г. Никитина, В. Н. Максимов, Н. Е. Никитин

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

*119991 Москва ГСП-1, Ленинские горы*

*E-mail: z1110166@mail.ru*

Поступила в редакцию 02.07.2010 г.

Приведены примеры использования принципиально нового гидробиологического метода контроля процесса формирования качества воды – биоэстимации. Данная статья – продолжение статьи “Биоэстимация – новый метод контроля процесса очищения воды и его сравнение с биоиндикацией”. Опыт использования биоэстимации в водных объектах, различающихся по назначению, величине, солености, проточности и географическому положению, подтвердил его универсальность, информативность, оперативность и возможность ограничить объем пересылаемой пробы до 10–20 см<sup>3</sup>, что облегчает работы в полевых условиях. Каждый из наиболее значимых факторов воздействия на процесс самоочищения воды выявляется независимо от других, так как отображающие их биоэстиматоры биотически независимы; их численность изменяется в ответ на изменения только внешних по отношению к сообществу факторов среды. Биоэстимация обладает прогностическими свойствами, так как позволяет предотвращать снижение качества воды, дает возможность восстановления нормального хода самоочищения воды на стадии формирования ее качества. Использование биоэстимации – залог расширения положительного антропогенного воздействия на водные объекты.

*Ключевые слова:* гидробиология, биоэстимация, самоочищение.

Одна из причин того, что охрана вод не дает нужного результата, – недостаточная разработка ее теоретических и методических основ. Если качество вод контролируется достаточно хорошо, то процесс, в результате которого формируется это качество, долгое время остается в тени. Как заражение не сразу сказывается на качестве здоровья человека, так и нарушающее воздействие на водную экосистему не сразу сказывается на качестве воды. Необходима диагностика на стадии формирования качества, чтобы своевременно вмешаться в патологический процесс, не допустить снижения качественных показателей, оптимизировать восстановительные мероприятия, что и решается с помощью биоэстимации. Обобщенная характеристика нового метода контроля процесса очищения воды – биоэстимации, а также его сравнение с известным методом контроля качества воды – биоиндикацией представлены в [5].

При биотическом самоочищении воды в любом природном объекте, как и при биологической очистке сточных вод, процесс обусловлен многочисленными физическими, химическими или механическими факторами, но выполняется водной биотой, в первую очередь – органотрофными бактериями. По существу, этот процесс и есть жизнедеятельность органотрофных бакте-

рий, в той или иной степени зависящая от выявленных авторами статьи наиболее значимых факторов, воздействующих на процесс биотического очищения воды. Эти факторы объединены в группы: подвижность водной среды (динамичность), типичная трофическая нагрузка и специфическая трофическая нагрузка (промсток) (рис. 1). Подробно эти факторы описаны в [5].

Сущность биоэстимации заключается в следующем: каждому фактору подобрана соответствующая группа показательных микроорганизмов – биоэстиматоров, являющихся обычными обитателями водной среды, изменением своей численности сигнализирующих об изменении воздействий соответствующих факторов. Этих факторов девять: проточность, макротурбулентность, микротурбулентность, воздействие избытка легко окисляемых веществ, трудно окисляемых веществ, воздействие сахаров, токсикантов, спиртов, жироподобных веществ. Термин “нагрузка на деструкторов”, а точнее “нагрузка на активный ил”, широко используется как научно-технический термин в литературе, касающейся биологической очистки сточных вод [9]. Этот фактор может быть нарушающим, если органическое вещество в избытке.

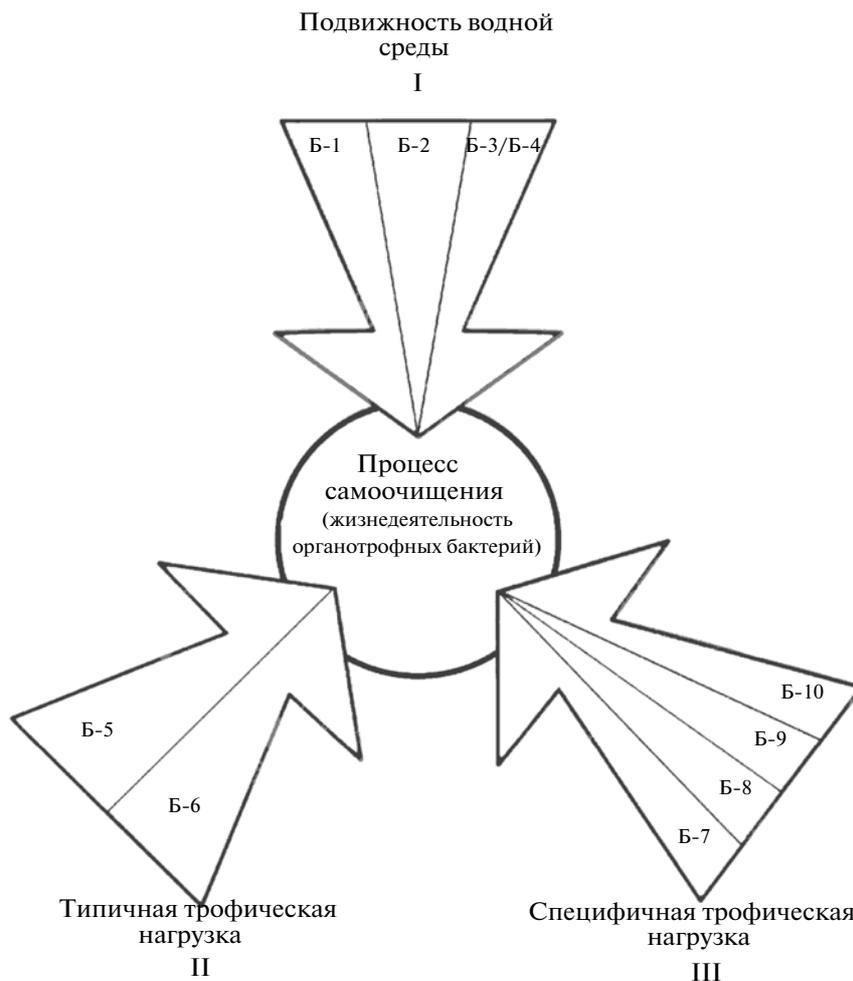


Рис. 1. Группы факторов, воздействующих на процесс биотического очищения воды.

Для показательных групп микроорганизмов (биоэстиматоров) установлены пороговые численности, превышение которых в конкретных пробах воды означает нарушение процесса ее очищения и служит сигналом для оперативного восстановительного вмешательства, т.е. оптимизации жизнеобеспечения основных редуцентов – органотрофных бактерий.

Биоэстиматоры – это группы “дополнительных” редуцентов, дающие всплески численности при неблагоприятных воздействиях на “основные” редуценты – органотрофные бактерии. Пониманию этого тезиса способствует установленная Д.Г. Звягинцевым закономерность, согласно которой редуценты подразделяются на два пула: основной, роль которого в трансформации ОВ очень велика, и дополнительный, роль которого мала, но способствует выживанию первого пула [3].

В разных водных объектах в состав биоэстиматоров могут входить различные виды, поэтому биоэстиматоры – не виды, а экологические груп-

пы микроорганизмов со сходной реакцией на изменения среды. Достаточно подсчитать десять биоэстиматоров и сравнить их конкретную численность с пороговой, чтобы получить ответы на следующие вопросы: нормально ли протекает процесс самоочищения воды в данном водном объекте или его участке; если он нарушен, то по какой причине; какие следует назначить восстановительные мероприятия? [4].

Биоэстимация – универсальный метод контроля, дополненный общими восстановительными рекомендациями, применяемыми после выявления соответствующих нарушений.

Ранее в [5] (табл. 1) представлена обобщенная характеристика биоэстимации. В ней приведены основные группы и отдельные факторы, влияющие на процесс очищения воды; перечислены биоэстиматоры – гидробиологические показатели, сигнализирующие изменением своей численности о воздействии соответствующего фактора; в последней графе приведены типовые восстано-

**Таблица 1.** Примеры конкретных мер, принимаемых с учетом восстановительных рекомендаций

Группы факторов воздействия	Превышение численности	Восстановительные рекомендации	Примеры конкретных восстановительных мероприятий
I – подвижность водной среды (динамическое обеспечение)	Б-1	Увеличение проточности воды, устранение илонакопления	Протягивание волокуши по дну вызывает всплывание почерневшего ила, газирование поверхности, появление гнилостного запаха, что укажет на места наиболее интенсивных залежей ила; подача в такие места насосами размывочной воды, обеспечение в них дополнительного притока воды
	Б-2	Увеличение волнообразного движения воды	Поиск и реализация подпитки притока воды с адекватным оттоком; прокладка дренажей под всеми дорогами и дорожками, окружающими водоем, для свободного движения воды; особенно важно дренирование бетонных берегов
	Б-3/Б-4	Увеличение промешивания движущегося потока	Увеличение шероховатости дна путем устройства порогов либо использование технических средств для аэрации воды; в зимнее время – лунки во льду, по возможности – с мешалкой в виде лодочного мотора; иногда в пруды устанавливают списанную турбину с электростанции
II – типичная трофическая нагрузка	Б-5	Уменьшение количества легко окисляемых загрязнений, увеличение количества деструкторов загрязнений	Минимизация фекальных и/или иных легко окисляемых загрязнений, восстановление меандрирования ранее спрямленных малых рек, посадка высшей водной растительности, например водного гиацинта, устройство для нее специальных садков на летний сезон (время самого интенсивного загрязнения)
	Б-6	Пресечение потоков гумусовых веществ	Рекультивация берегов таким образом, чтобы минимизировать размывание грунтов, например устройство густых зарослей из различных деревьев, кустов и трав до самого уреза воды для “перехвата” органических веществ, смываемых с берегов
III – промсток	Б-7 Б-8 Б-9 Б-10	Выявление и пресечение нарушающих сбросов промышленного происхождения	Обследование всех потенциальных предприятий-нарушителей по показаниям соответствующих биоэстиматоров промстоков, постановка таких нарушителей на учет и контроль; модернизация либо строительство при них новых локальных очистных сооружений

вительные рекомендации, на основании которых разрабатываются конкретные мероприятия в соответствии с выявленными нарушениями процесса.

В табл. 1 приведены примеры восстановительных мероприятий, которые разрабатываются на основе типовых рекомендаций. Конкретизация мероприятий проводится на месте и может существенно различаться в зависимости от имеющихся возможностей, оставаясь в рамках соответствующих рекомендаций. В табл. 2 приведены приме-

ры биоэстимации процесса самоочищения воды в природных и искусственных водных объектах; в графе 1 – номера примеров для удобства цитирования; содержание граф 6–14 требует пояснения. Выше номеров этих граф приведены пороговые численности биоэстиматоров, выраженные в тыс/мг, а ниже – конкретные численности, полученные при подсчете соответствующих биоэстиматоров в пробах, отобранных в исследуемых водных объектах. Эти конкретные численности всех обнаруженных биоэстиматоров сравнивают-

**Таблица 2.** Примеры биоэстимации процесса биологического самоочищения воды в различных объектах (жирным шрифтом отмечены численности биоэстиматоров, превышающие пороговые значения, характеризующие соответствующие нарушения)

Пример	Дата	Место отбора проб воды	Прозрачность, см	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	Биоэстиматоры, тыс/мг										
					динамичность		нагрузка		промсток						
					3.5	2.9	1.0	15.0	4.7	2.9	2.9	1.5	4.7		
1	Лето 1990 г.	Черное море Анапа	15	17	1.1	1.2	2.1	29.8	3.8	0	0	0	0	0	1.8
2		пляж "отпнуровка"	7	8	620	32	28	12	6.2	0	0	0	0	0	0
3		грязеучебница	19	3	0	0	0.5	0	4.4	0	0	0	0	0	11.1
4	1991 г.	пляж	22	3	1.2	0	1.0	14.2	2.2	0	0	0	0	0	0
5	Февраль 2002 г.	р. Воронеж	25	1.5	50	0	10.0	0	33.3	0	7.4	0	0	0	0
6		р. Нева у Зимнего дворца	30	1.2	0	0	0	9.2	0	20.8	0	0	0	0	0
7	Апрель 2002 г.	р. Волга, Нижний Новгород	30	2.6	38.2	8.5	12	88.1	456	35.6	0	53.8	0	0	0
8		р. Москва, Рижский мост	8	30	15	0	0	0	0	1.3	0	0.4	0	0	0
9	10 апреля 2004 г.	Сточная вода из канализационной сети	3	120	41.6	8.3	0	120.8	66.7	0	0	0	0	0	5.6
10	25 августа 2004 г.	Шлюз на канале Москва-Волга	17	12	81.3	10.4	0	0	54.2	0	0	0	0	0	22.9
	Август 2004 г.	Черное море, Крым Николаевка,													
11		центр, городской пляж	25	3	0	0	0	63.3	101	0	0	0	0	0	0
12		пляж у пансионата спортсменов	30	2	0	0	0	15.0	25	0	0	0	0	0	0
13		Ливадия	30	2	0	0	0	5.0	0	0	0	0	0	0	0
	Август 2004 г.	Черное море, Крым													
14		бух. Двукорная	17	16	18.7	0	0	8.7	10.9	0	0	0	0	0	6.2
15		бух. Коктебельская	15	10	35	0	0	2	22.5	0	0	0	0	0	45
16		бух. Геленджикская	12	16	42	0	0	0	18.9	0	0	0	0	0	32
17		Купальня у скита св. Анастасии-Узоре-шительницы	11	18	4.2	0	0	23.3	20.8	0	0	0	0	0	0
18		р. Булганат, с. Кольчугино	20	3	8.8	0	8.8	1.5	5.9	0	0	0	0	0	0
	Октябрь 2004 г.	Красное море, Египет													
19		Шарм-Эль-Шейх	18	10	50.5	0	0	0.8	17.7	0	0	0	0	0	0
20		Хургада	29	2	3.0	0	0	0.1	4.1	0	0	0	0	0	0
21	28 апреля 2004 г.	Аквариум пресноводный	>30	1.3	0	0	0	44.4	3.3	0	0	0	0	0	0
22		Аквариум с крабом морской	>30	1.3	233	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23		Аквариум с керамзитовым фильтром	>30	2.8	976	15.5	0	13.8	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 2. Окончание

Пример	Дата	Место отбора проб воды	Прозрач-ность, см	Взвешен-ные веще-ства, мг/дм <sup>3</sup>	Биоэстиматоры, тыс/мг									
					динамичность		нагрузка		промсток					
					3.5	2.9	1.0	15.0	4.7	2.9	2.9	1.5	4.7	
24	22 сентября 2005 г.	Средиземное море, Алания, Канаклы	25	5	60	0	0	0	24	30	0	0	0	0
25	10 июня 2007 г.	р. Оскол, рыбхоз "Изрудное"	7.5	20	153	0	0	0	7.5	5.6	0	0	5.6	0
26	21 апреля 2005 г.	ниже г. Новый Оскол ниже рыбхоза	18	5.0	300	0	0	0	2.0	16.7	0	0	22.2	0
27	5 мая 2005 г.	р. Москва, створ сброса очищенных про-извод-ственных сточных вод водопровод-ной станции	4	30	44.4	0	0	0	11.1	7.4	10.2	222	3.7	0
28		Выше сброса Ниже сброса	4	30	5.5	0	0	0	5.5	3.7	16.8	178	0	0
29		р. Сетунь, створ сброса очищенных про-извод-ственных сточных вод водопрово-дой станции	8	17	28.1	31.3	5.2	8.5	5.2	127	0	0	0	0
30		выше сброса ниже сброса	7	18	19.4	22.7	5.0	8.8	5.0	52.8	0	9.2	0	0
31	25 июня 2006 г.	Колодезная вода с привкусом	30	2	2.3	0	0	0	0	110	0	0	0	0
32	Лето 2006 г.	Белое море, эстуарий р. Черной	10	14.5	24.0	11.1	19.0	18.5	0	0	0	0	0	3.7
33		Ст. 1 – кут эстуария, Туркин мыс (соле-ность 0.5‰)	15	9.5	2.6	0	7.9	2.6	42.1	0	0	0	0	0
34		Ст. 2 – середина залива (8.5‰)	15	9.5	84.2	2.6	13.2	7.0	57.9	0	0	0	0	5.3
35		Ст. 3 – Западная Перейма (9.5‰)	20	5.0	250	5.0	5.0	21.7	10.0	0	0	0	0	170
36		Ст. 5 – между Восточной Переймой и Косой (13.2‰) Ст. 6. – коса (14.3‰)	22	3	446	8.3	0	16.6	58.3	0	0	0	0	33.3

ся с пороговыми, при этом биоэстимационное значение выявляется только при условии превышения пороговых численностей. Простое обнаружение биоэстиматоров ничего не значит.

### НАЧАЛО ПРИМЕНЕНИЯ БИОЭСТИМАЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ САМООЧИЩЕНИЯ ВОДЫ

В июне 1990 г. сотрудники ВНИРО, обследовавшие Черное море в районе г. Анапы, старались выяснить причины массовой гибели крабов. Требовалось обследование местных очистных сооружений, сбрасывающих очищенные сточные воды в море, чтобы выяснить, не являются ли эти воды токсичными и как это положение исправить. Выяснилось, что качество очищенных сточных вод было высоким и болезнетворные агенты в ней никогда не обнаруживались, но сбрасываемые в водоем сточные воды все равно предписано хлорировать, вследствие чего очищенные сточные воды и стали токсичными.

Начало использования биоэстимации — анализа процесса самоочищения природной воды — относится к 1990 г., когда авторы статьи получили три пробы из Анапы, этикетированные только номерами 1, 2, 3. В табл. 2 они приведены под теми же номерами. Авторам еще не было известно, где именно отобраны эти пробы, и их проанализировали как пробы из аэротенков с крайне низкой дозой активного ила. В пробе 1 основные деструкторы испытывают значительную перегрузку по легко окисляемым веществам (превышение численности Б-5); нарушений по динамическому обеспечению и по воздействию промышленных стоков нет; рекомендации — увеличить концентрацию активного ила. По пробе 2 выявлено ярко выраженное нарушение по динамическому обеспечению (превышение численности Б-1, Б-2, Б-3/Б-4); воздействие остальных факторов — в норме; рекомендации — увеличить интенсивность рециркуляции и аэрации. В пробе 3 выявлено нарушающее воздействие нефтесодержащих промстоков (превышение численности Б-10); нарушений по динамическому обеспечению и по нагрузке нет; рекомендации — обследовать соответствующие промышленные предприятия, стоки которых попадают на биологическую очистку, и устранить их воздействие путем строительства или модернизации локальных очистных сооружений.

Оказалось, что доставленные пробы были отобраны не в аэротенках, а в прибойной зоне Черного моря. Выводы, сделанные сначала как для станций аэрации, затем легко экстраполированы на ситуации, сложившиеся в местах отбора этих проб.

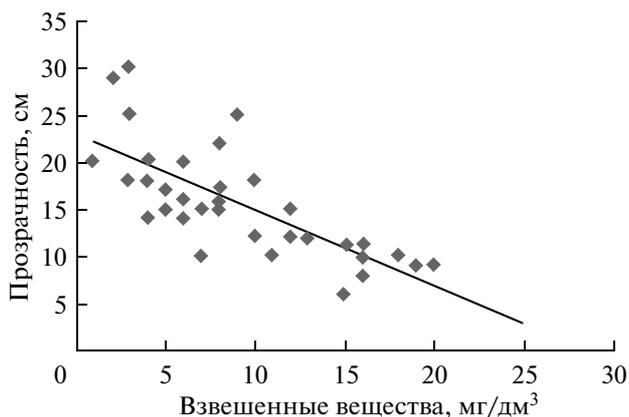
В пробе 1 отмеченная перегрузка деструкторов объяснялась тем, что вода была отобрана в море в

разгар курортного сезона у городского пляжа. Интенсивная антропогенная нагрузка не могла не привести к значительному загрязнению воды. Санитарные службы постоянно фиксировали превышение основных качественных показателей и требовали принятия каких-либо мер. В то же время песчаное дно и частые штормы не давали возможности закрепиться водорослям со всем комплексом сопутствующих микроорганизмов-деструкторов. Для того чтобы улучшить процесс самоочищения морской воды в районе пляжа, сотрудниками ВНИРО принято решение поместить в воду бетонные блоки различной величины, т.е. создать искусственные рифы [1]. На этих блоках вскоре начал развиваться полноценный комплекс из морских растений, животных и микроорганизмов, трансформирующих органические вещества, после чего вода в этом районе стала чище. Повторная биоэстимация, проведенная на следующий год (пример 4 в табл. 2), свидетельствовала о нормальном ходе самоочищения воды. Хотя качество воды еще оставалось недостаточно высоким, прогноз по качеству был благоприятным. В дальнейшем качество воды существенно улучшилось.

В пробе 2 выявленное нарушение по динамическому обеспечению процесса вызвано тем, что морская вода заброшена штормом через песчаную косу и потеряла связь с морем. Местом отбора пробы стало небольшое изолированное соленое озерко — «отшнуровка», где, что вполне естественно, динамическая обстановка была критической, на дне скопился гниющий ил. Численности биоэстиматоров динамического обеспечения значительно превышали пороговые.

В пробе 3 нарушающее воздействие нефтесодержащих стоков было вызвано тем, что в месте отбора пробы — районе санатория им. Эжени Коттон (в настоящее время — санаторий «Русь») находился глубинный выпуск в море стоков после лечебных нафталановых ванн. В этих стоках сохранилась примесь нефти, вызвавшая нарушение процесса самоочищения воды. Нафталановая нефть не содержит бензиновых и керосиновых фракций, но это — масла, т.е. биоэстиматор 10 в таких случаях дает всплески численности. Сброс неочищенных стоков здесь был прекращен, и Б-10 более не выявлялся.

Результаты работы с пробами морской воды убеждают в пригодности биоэстимации не только для контроля процесса биологической очистки сточных вод на станциях аэрации, где этот метод разработан, но и для контроля процесса биотического очищения воды в природных водных объектах. В примерах 32–36 указана различная соленость в промилле, замерявшаяся в эстуарии; проводилась биоэстимация и по пробам воды из



Ри. 2. Определение взвешенных веществ в природной воде по ее прозрачности.

морей с различной соленостью. Это подтверждает возможность использования биоэстимации без поправок на соленость.

Применение биоэстимации для обследования различных водных объектов позволяло установить причины неэффективного самоочищения и в тех случаях, когда традиционный контроль не давал тревожной информации. Так, в примере 21 – декоративном аквариуме, где, по мнению его хозяйина, вода была идеально чистой, – не обнаруживалось таких признаков деградации, как разрастание водорослей, пожелтение и перфорация листьев высших водных растений, подгнивание у них точек роста, гибель и болезни рыб и пр. Однако превышение численности Б-5 (перегрузка деструкторов по легко окисляемым ОВ) указывало на то, что прогноз по качеству – неблагоприятный. Для уменьшения нагрузки деструкторов по легко окисляемым веществам в данном случае авторы порекомендовали удалить часть рыб, и таким образом деградация аквариума была предотвращена. При регулярно проводимой биоэстимации деградацию можно не только выявлять, устранять, но и предотвращать, особенно, когда обслуживаются многочисленные аквариумы (приоритеты восстановительного вмешательства в экосистемы аквариумов целесообразнее осуществлять не по очереди, а по показаниям биоэстимации); то же – и по обработке садков для молоди рыб (в табл. 2 приведено 30 примеров).

Каждый из девяти наиболее значимых факторов воздействия на процесс самоочищения выявляется по численности соответствующего биоэстиматора, независимо от других факторов воздействия, так как биоэстиматоры биотически независимы, что было показано еще при разработке данного метода контроля [7]. Численность биоэстиматоров определяется только изменениями внешних по отношению к сообществу факто-

ров среды. Ранее считалось, что это – особенность только активного ила, но практика показала, что это – закономерность, наблюдаемая в любой водной среде, о чем говорят приведенные в табл. 2 примеры. Важно отметить, что пороговые численности биоэстиматоров, установленные ранее для очистки сточных вод с активным илом [8], вполне применимы для определения нарушений самоочищения воды и в других водных объектах, т.е. метод остается цифровым, без дополнительной доработки, а пороговые численности – теми же.

Экстраполяция метода, разработанного для контроля процесса очистки сточных вод, на контроль самоочищения природной воды удивляет только на первый взгляд. На самом деле процесс биотического самоочищения воды в природе – это жизнедеятельность организмов-деструкторов, в той или иной степени лимитированная. А процесс биологической очистки сточных вод в аэротенках – это жизнедеятельность тех же организмов-деструкторов (активный ил отличается от редуцентов в природной воде только большей концентрацией) в условиях, когда действие лимитирующих факторов минимизировано за счет технических средств. Таким образом, процесс трансформации ОВ тождественен, в каком бы водном объекте он ни происходил, он осуществляется теми же органотрофными бактериями, используются те же биоэстиматоры, те же их пороговые численности.

В соответствии с приведенной методикой подсчитанные показательные микроорганизмы – биоэстиматоры следует соотносить с количеством взвешенных веществ в исследуемой воде. Большой точности в определении взвешенных веществ не требуется. Можно определять их по прозрачности воды, в частности по методу Снеллена [2]. На рис. 2 приведен график, полученный путем обработки массива показателей по взвеси и по прозрачности на р. Сходне за несколько лет. Практика показала, что этим графиком можно пользоваться при анализе любого водного объекта, некоторая погрешность не сказывается на биоэстимационных выводах. Имея данные о взвешенных веществах, полученные даже таким простым способом, пробу воды для отправки на биоэстимационный анализ можно ограничить до 10–20 см<sup>3</sup>. Проба остается представительной в течение длительного времени без фиксации – до нескольких месяцев, но под пробкой в емкости должен оставаться воздух.

## БИОЭСТИМАЦИЯ НАРУШАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ

**I группа факторов. Подвижность водной среды** — динамическое обеспечение процесса самоочищения воды — представляет собой своевременное подведение пищи микроорганизмам-деструкторам и отведение образующихся метаболитов. Для этого водная среда должна двигаться, т.е. необходима проточность, общее перемешивание (макروتурбулентность потока) и промешивание водной среды в микроразделах (микротурбулентность).

Нарушение проточности приводит к накоплению ила и его загниванию. При этом массовое развитие получают разнообразные жгутиковые, т.е. наблюдается превышение численности первого биоэстиматора, или Б-1. В табл. 2 таких примеров немало. Наиболее яркий пример застоя (23) — аквариум с керамзитовым фильтром, где численность Б-1 в 279 раз превосходит пороговую. Любые пористые наполнители, погруженные в воду, первое время способствуют повышению качества воды, но впоследствии вызывают застой и гниение, особенно керамзит (схожая картина наблюдается при размещении в аэротенках так называемой “загрузки”). В примере 36, где проба воды была отобрана с косы в западine эстуария р. Черной, впадающей в Белое море, численность Б-1 в 127 раз, а в примере 22 (аквариум с морским крабом) — в 67 раз превосходила пороговую численность. В этом аквариуме вода была на редкость чистой — взвешенных веществ в ней было 1.3 мг/дм<sup>3</sup>. Однако все молодые крабы сразу после вылупления из яйцекладок погибали. Только биоэстимация дала ответ, почему это происходит, а именно — из-за недостаточной “ротации” воды, которая была достаточна для взрослого краба, но молодь погибала, так как находилась в зоне гниения тончайшего, незаметного на глаз слоя ила. В толще воды все качественные показатели были в норме, но в отобранной со дна сифонной порции воды проба на аммиак была положительной, что подтвердило биоэстимационный вывод. На других примерах тоже видно превышение численности Б-1, но в меньшей степени. Интересно отметить, что пробы воды, отобранные в Красном море со стороны курорта Шарм-Эль-Шейх, указывают на застойные явления, а отобранные со стороны Хургады — нет (примеры 19 и 20). Косвенным подтверждением такого вывода является расположение этих курортов: Шарм-Эль-Шейх — в более закрытом месте, а Хургада — у открытого участка моря с лучшим динамическим обеспечением процесса самоочищения воды.

Под макротурбулентностью понимается грубое перемещение водной массы поперек основного потока, что, как правило, бывает обеспечено в любом водоеме за счет притоков, движения воз-

душных масс, рельефа, меандрирования, конвекции и др. Неудовлетворительная макротурбулентность определяется по превышению численности Б-2 (голые амебы). Этот параметр не обеспечен, прежде всего, в стоячих водоемах (пример 2), ограниченных бетонными берегами (пример 10 — шлюз на канале Москва—Волга), маловодных (примеры 29 и 30 — р. Сетунь) водных объектах. Здесь численность Б-2 в 8-11 раз превышает пороговую. Сетунь не зря считается одной из самых грязных рек в г. Москве.

Под микротурбулентностью понимается перемешивание воды в микроразделах, в которых, собственно, и происходит основная “работа” микроорганизмов по трансформации органических веществ. Неудовлетворительная микротурбулентность определяется по степени превышения отношения численностей свободно плавающих инфузорий к численности прикрепленных инфузорий (Б-3/Б-4). Многочисленные примеры, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о том, что во многих водных объектах микротурбулентность не обеспечена в надлежащей мере, даже в реках (примеры 5, 18, 25 и 26), а также в эстуарии р. Черной, впадающей в Белое море (32-35). Во всех обследованных участках морей, она, как правило, обеспечена, по-видимому, из-за периодических штормов. В реках этот параметр обеспечивается за счет шероховатости дна, причем иногда ее создают искусственно, в частности для обеспечения насыщения воды кислородом.

**II группа факторов. Типичная трофическая нагрузка** — воздействие органических веществ на конкретное количество деструкторов. Это воздействие будет нарушающим, если основные деструкторы оказываются перегруженными. Уровень нарушающего воздействия органических загрязнений на деструкторов определяется по всплескам численности биоэстиматоров нагрузки, при этом оценивается не количество органических загрязнений в воде, а возможность их успешной переработки.

Превышение численности Б-5 (хламидобактерии и актиномицеты) свидетельствует о перегрузке за счет легко окисляемых веществ. Такие нарушения выявляются прежде всего в зонах массового купания; примеры: 1 — Анапа, 11 и 12 — пос. Николаевка, 24 — Средиземное море (Алания, Канаклы); 17 — купальня у скита Анастасии-Узорешительницы в Крыму, 7 — Волга в центре г. Нижний Новгород (причем здесь процесс очистки воды не менее напряженный, чем в сточной жидкости, отобранной из канализационного колодца, — пример 9).

Превышение численности Б-6 (раковинные амебы и сидеротеки) — показатель перегрузки деструкторов трудно окисляемыми веществами. Ес-

ли “раковинные амебы” — понятие известное, то “сидеротеки” — новый термин, означающий железные микроколонии бактерий [6]. Табл. 2 показывает, что перегрузка трудно окисляемыми веществами обнаруживается почти во всех обследованных водных объектах, что связано с обилием водного гумуса в воде большинства регионов. Легче отметить те примеры, где этот фактор не нарушает процесс самоочищения воды: Черное море в районе Анапы (примеры 1–4), р. Воронеж (5), р. Нева у Зимнего дворца (6), р. Москва в районе Рижского моста (8), Черное море в районе Ливадии (13 — это, кстати, и пример абсолютно не нарушенного процесса самоочищения), аквариумы со специальной водоподготовкой (примеры 22 и 23). Когда ставится вопрос о выявлении причины привкуса в колодезной воде, то обычно обнаруживается превышение численности Б-6 (пример 31), и это служит сигналом для пресечения гумусового потока. В данном случае это означает, что необходимо обнажить кольца колодца на глубину 1.5 м, ликвидировать щели, сделать новый “замок” из глины, затем — обваловку землей и обкладку дерном.

**III группа факторов. Специфичная трофическая нагрузка (в основном — воздействие промстоков)** — это нарушение процесса самоочищения, вызванное неблагоприятным воздействием веществ, нехарактерных для водных объектов, принесенных стоками или смывами. Однако аналогичные вещества могут попасть в воду и в результате природных катаклизмов. Биоэстимация поможет выявить эти воздействия и даже частично классифицировать их, разделив на четыре группы, которыми в основном исчерпываются промстоки.

Превышение численности Б-7 (роговидные бактериальные флоккулы), свидетельствующее о нарушающем воздействии сахаров на процесс самоочищения воды, наблюдается редко, чаще всего — при очистке сточных вод. Но в р. Москве, в створе сброса очищенных сточных вод водопровода превышение численности Б-7 оказалось весьма значительным: в 77 и в 60 раз (примеры 27 и 28). Меньшие превышения (в 7–12 раз) отмечены в воде рек Нева и Волга (примеры 6 и 7).

Превышение численности Б-8 (гифомицеты), отображающее нарушающее воздействие токсиантов, отмечены в р. Воронеже в центре города (пример 5), в р. Булганат в г. Кольчугино (пример 18), на протяжении десятка километров вдоль р. Новый Оскол, в районе рыбхоза “Изрудное”, где наблюдается явное влияние рудных хвостохранилищ (примеры 25 и 26), в р. Сетуни ниже сброса стоков водопроводной станции, где, по гидрохимическим данным, позднее выявлено превышение ПДК по алюминию и активному хлору (пример 30).

Превышение численности Б-9 (цианобактерии), отображающее нарушающее воздействие спиртов на процесс самоочищения воды в природе, в отличие от нарушающего воздействия спиртов на очистку сточных вод в аэротенках, встречается крайне редко. Обнаружено значительное превышение пороговой численности (в 36 раз) лишь в р. Волге в центре г. Нижнего Новгорода (пример 7).

Превышение численности Б-10 (планктонные раковинные саркодовые), отображающее нарушающее воздействие нефтепродуктов или жиров, встречается в природной воде значительно чаще, чем воздействие спиртов. Самое большое превышение пороговой численности Б-10 было отмечено в неожиданном месте — в эстуарии р. Черной, впадающей в Белое море, — в 36 раз (пример 35). Когда авторы данной статьи сообщили об этом факте исследователям данного региона, те не поверили и сказали, что в глухой деревне, в которой с мостков была отобрана данная проба воды, невозможно влияние каких-либо промстоков, поскольку никакой промышленности там нет. Но потом вспомнили, что во время отлива вся зостера в этом месте блестит от нефтепродуктов, которыми загрязняют воду рыбаки на моторных лодках у этого причала. В других объектах влияние нефтепродуктов не так сильно выражено. Примеры 14–16 говорят о нарушающем воздействии нефтепродуктов в бухтах Двужкорной, Коктебельской, Геленджикской, что не удивительно, так как там расположены причалы. Превышение численности Б-10 в р. Новый Оскол ниже рыбхоза говорит о нарушающем воздействии, скорее всего, не нефтепродуктов, а рыбьего жира (пример 26).

На рис. 3 приведена фотография живописной Коктебельской бухты — полузамкнутого водоема с затрудненным водообменом. Судя по этой фотографии, на которой она больше похожа на озеро, чем на участок моря, трудно поверить в то, что биоэстимация процесса самоочищения воды в Коктебельской бухте свидетельствует о серьезных нарушениях по всем трем основным группам факторов воздействия (пример 15).

Традиционно под антропогенным воздействием понимается нарушение жизни водоема. Авторы различают негативное и позитивное антропогенное воздействие. Использование биоэстимации позволяет человеку оптимизировать вмешательство в жизнь водоема с целью восстановления нормального хода самоочищения и предотвращения снижения качества воды.



Рис. 3. Коктебельская бухта – полузамкнутый водоем.

### ВЫВОДЫ

Биоэстимация – принципиально новый метод, характеризующий процесс самоочищения воды, в то время как другие методы контроля характеризуют его результат – качество воды, что также очень важно. Но только всесторонний подход к изучению водного объекта позволит достичь максимально эффективных результатов природоохранно-восстановительной деятельности.

Биоэстимация – универсальный метод, так как может использоваться для контроля самоочищения воды в любых водных объектах, независимо от их назначения, величины, проточности, солености и географического положения.

Биоэстимация чрезвычайно информативна – она позволяет установить, нормально ли протекает процесс самоочищения воды в данном водном объекте или его участке; если процесс нарушен, то по какой причине; какие следует назначить конкретные восстановительные мероприятия.

Выявлены основные факторы, воздействующие на процесс самоочищения воды: проточность, макротурбулентность, микротурбулентность, нагрузка

деструкторов легко окисляемыми веществами, нагрузка трудно окисляемыми веществами, воздействие сахаров, токсикантов, спиртов, жироподобных веществ. Данные факторы объединены в три группы: подвижность водной среды (динамическое обеспечение), типичная трофическая нагрузка, специфическая трофическая нагрузка (промсток).

Каждый из девяти наиболее значимых факторов воздействия на процесс самоочищения может выявляться независимо от других, так как отображающие их биоэстиматоры биотически независимы; их численность определяется только изменениями внешних по отношению к сообществу факторов среды.

Биоэстимация дополнена типовыми восстановительными рекомендациями, на основе которых разрабатываются на месте конкретные мероприятия.

Появилась возможность восстановления нормального хода самоочищения на стадии формирования качества воды, в том числе и когда оно еще не снизилось; биоэстимация обладает про-

гностическими свойствами и позволяет предотвращать снижение качества воды.

Для биоэстимации можно ограничить объем пересылаемой пробы воды до 10–20 см<sup>3</sup>, что облегчает работы в полевых условиях, особенно при массовых обследованиях.

Дополнение существующего мониторинга биоэстимацией позволит расширить положительное антропогенное воздействие на водные объекты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинова Е.И., Пупышев В.А., Сабурин М.Ю., Тришина О.А. Фитобентос искусственных рифов прибрежных вод черноморского побережья Северного Кавказа // Сб. науч. тр. ВНИРО. 1990. С.127–141.
2. ГОСТ 3351-74. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности.
3. Звягинцев Д.Г. Строение и функционирование комплекса почвенных микроорганизмов // Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере. М.: Наука, 2003. С. 102–114.
4. Никитина О.Г., Догадаева О.С., Носов В.Н., Максимов В.Н. Способ контроля процесса очистки сточных вод с активным илом. АС № 1343746. 1987.
5. Никитина О.Г., Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Никитин Н.Е. Биоэстимация – новый метод контроля процесса очищения воды и его сравнение с биоиндикацией // Вод. ресурсы. 2009. Т. 36. № 4. С. 475–480.
6. Никитина О.Г., Семёнова Г.А., Максимов В.Н., Никитин Н.Е. Микроколонии бактерий в биоэстимации – биологической оценке процесса очистки воды // Вестн. МГУ. Сер.16, Биология. 2007. № 1. С. 39–43.
7. Носов В.Н., Никитина О.Г., Максимов В.Н. Некоторые особенности изменения биологической структуры активного ила // Биол. науки. 1981. № 6. С. 84–87.
8. Носов В.Н., Никитина О.Г., Максимов В.Н. Построение системы биоиндикации процесса очистки сточных вод // Вестн. МГУ. Сер. 16, Биология. 1983. № 4. С. 60–68.
9. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: АСВ, 2002. 704 с.