
УДК 621.31:631.6

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

С.М. Крутько, младший научный сотрудник
(Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси)

На имеющихся в настоящее время в республике 212 комплексах по выращиванию и откорму крупного рогатого скота и свиней ежегодно накапливается 14-15 млн. м³ стоков. Орошение животноводческими стоками в условиях расчлененного рельефа местности нередко обуславливает поверхностный сток и загрязнение биогенными элементами водотоков. Это нашло подтверждение в наших исследованиях на территории КУСХП "Северный" Городокского района, где навозные стоки свиного комплекса на 54 тыс. голов утилизируются на сельскохозяйственных полях орошения (ЗПО)[1].

Поверхностный и дренажный сток ЗПО собирается в пруду-накопителе, который должен выполнять роль гидрохимического барьера. Он предназначен для предотвращения загрязнения водоприемников (в нашем случае река Кабищанка). Однако, как показали наблюдения, пруд-накопитель не обеспечивает требуемой степени очистки вод.

Загрязненные воды прежде всего скапливаются в придонных слоях пруда-накопителя (максимальная его глубина 11 м), при этом прослеживается тенденция увеличения во времени содержания биогенных элементов (прежде всего аммонийного азота и фосфора) в этих слоях. В поверхностных слоях вода несколько чище, хотя и в них содержание азота многократно превышает предельно допустимую концентрацию.

Для решения проблемы в 1995 г. на свином комплексе "Северный" были построены биоинженерные сооружения (БИС), объединяющие основные элементы почвенной очистки (методом фильтрации) и поглощения биогенных элементов высшей водной растительностью (ВВР).

Они представляют собой каскад сооружений, состоящих из отстойника, пруда первой ступени очистки, прудов второй ступени очистки и биоканала. Работают сооружения в самотечном режиме. Продолжительность работы в теплый период года - 5-6 месяцев.

Процесс доочистки в БИС осуществляется следующим образом: сточные воды по подземному трубопроводу поступают в отстойник, затем в пруд I ступени очистки, где проходят через заросли макрофитов (рогоз широколистный - *Typha latifolia*, тростник обыкновенный - *Phragmites communis*). В процессе развития они извлекают из воды и

грунтов не только биогенные элементы (N, P, K), но и другие макро- и микроэлементы, а также балластные и токсичные вещества, в том числе соли тяжелых металлов. При прохождении воды через густые заросли макрофитов происходит процесс фитофильтрации. Побеги и корни водных растений, механически задерживая минеральные и органические взвеси, увеличивают прозрачность воды. В процессе метаболизма и выделения во внешнюю среду физиологически активных веществ типа фитонцидов и антибиотиков в зарослях ВВР наблюдается снижение численности условно патогенных бактерий [2].

В пруде I ступени устроен систематический пластмассовый дренаж с расстояниями между дренами 2 м, глубиной 0,4, 0,6 и 0,8 м. Дренажные воды поступают в пруды II-I и II-II (вторая ступень очистки). Вода, прошедшая пруды II-I и II-II направляется в биоканал длиной 300 м, который замыкает систему очистки. После него воды сбрасываются в водоприемник (р. Кабищанка).

Согласно проекту, химический состав очищаемых вод должен содержать не более: натрий (Na^+) - 24 мг/л, кальций (Ca^{2+}) - 65, магний (Mg^{2+}) - 18, аммонийный азот (NH_4^+) - 21, сульфаты (SO_4^{2-}) - 15, фосфаты (PO_4^{3-}) - 14 мг/л. При этом эффективность очистки (снижение концентрации) составляет: натрий (Na^+) - 48,2 %, магний (Mg^{2+}) - 39,2, аммонийный азот (NH_4^+) - 98,0, фосфаты (PO_4^{3-}) - 96,8 %. Однако в процессе эксплуатации выявлено некоторое несоответствие проектным значениям.

Определяющим показателем работы биоинженерных сооружений является объем очищаемой воды. Он зависит в первую очередь от дренажного стока из пруда I. Его определяют водопроницаемость слоя и напор. Если в 1996 г. на момент запуска БИС в эксплуатацию в слое 0-20 см коэффициент фильтрации (K_f) был 0,14-0,35 м/сут, то в настоящее время он снизился до 0,005 - 0,009 м/сут. Кроме того, в слое грунта 45-65 см коэффициент фильтрации имеет значения 0,00009-0,008 м/сут, что свидетельствует о кольматаже дренажной засыпки.

Вследствие этого максимальный объем воды, который может быть пропущен через ложе пруда I, составляет 550-600 м³ в сутки. Это и является максимальной суточной производительностью биоинженерных сооружений. Увеличить ее можно несколькими способами. Один из них заключается в замене дренажной засыпки ложа пруда, что связано со значительными финансовыми затратами. Можно использовать также аварийный водовыпуск пруда I, который позволяет сбрасывать воды минуя дренаж.

Эффективность очистки во многом обусловлена сформированным на БИС биоценозом высшей водной растительности и химическим составом вод, идущих на очистку. Биоценоз пруда I, в результате поддержания в нем уровня воды выше проектного, частично погиб и общая зарастаемость тут не превышает 10-15 %. В прудах II-I и II-II зарастаемость составляла 90 и 65 % соответственно. Для оценки роли растений в процессе очистки вод БИС был проанализирован их химический состав. Результаты анализа в среднем за 2 года (табл. 1) показали, что в корневищах рогоза (подземной части растений) содержание калия и азота ниже, чем в надземной массе, а фосфора, наоборот, в 1,2 раза выше. Тростник поглощает значительно меньше фосфора и калия, чем рогоз. Содержание азота было примерно одинаковым. Содержание NPK в растениях, убранных поздней осенью (ноябрь), значительно ниже, чем в скошенных в сентябре.

Таблица 1. Химический состав макрофитов

Вид	Содержание, % в сухой массе						
	N _{общ}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	клетчатка	зола
Рогоз широколистный, стебель	2,5	1,2	5,7	1,09	0,18	31,75	13,4
Тростник обыкновенный	1,6	0,42	1,1	0,79	0,04	41,9	5,2
Рогоз широколистный, корневище	1,7	1,3	1,5	1,34	0,25	Не опр.	30,4

Химический состав вод, идущих на очистку, неоднороден во времени (табл. 2). Наиболее загрязненными они бывают в августе-сентябре. Это обусловлено избыточной нагрузкой сточных вод на сельскохозяйственные поля орошения в поливной период.

Таблица 2. Химический состав вод БИС (1995-2003 гг.), мг/л

Место отбора	Na ⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Сорг	Σионов
Впуск в БИС	66,7	26,8	241,7	5,9	57,6	88,3	1945
	25,2-157	14-45	17,9-725	0,2-34,1	14,8-172	28,5-226	540-3592
Пруд I	31,1	17,6	33,8	3,4	15,7	44,3	621
	3-62,4	1,2-27,7	2,1-194	0,8-12,4	6,5-30,3	27,1-67,9	152-1294
Первая ступень очистки	42,3	22,8	73,7	2,0	20,3	36,6	1015
	10,2-67	12,3-37,4	0,6-254	0,7-9,2	0,66-39,3	9,8-76	594-1801
Вторая ступень очистки	28,0	18,3	18,8	1,9	11,5	27,9	611
	2,7-57,7	2,9-27,5	0,01-150	0,5-12,45	0,3-15,7	3,9-58,3	156-1382
Выпуск в р. Кабищанку	30,4	20,0	19,2	3,0	6,9	29,6	668
	15,4-50,1	6,2-27,7	2,2-87,2	0,9-16,8	0,18-19,1	5-42,2	445-1135

Примечание: в числителе - средние многолетние данные, в знаменателе - пределы колебаний.

Мелиорация переувлажненных земель 2004 №1(51)

Наблюдения показали, что эффективность очистки вод в БИС более высокая в весенне-летний период, так как в это время активнее протекают биохимические процессы.

О степени доочистки сточных вод можно судить по данным табл. 3. Эффективность очистки вод от аммонийного азота составляет от 77,1 до 94,2 % и по фосфатам от 26,9 до 95,4 %.

Для оперативного контроля за качеством вод можно использовать показатели электропроводности и окислительно-восстановительный потенциал (ОВП).

Для оценки электропроводности использовались портативные приборы фирмы Nanna "HI 8733 portable multi-range conductivity/TDS meter" и "HI 8314 membrane pHmeter" [3].

Исследования показали, что, определяя электропроводность, можно контролировать эффективность очистки сточных вод в БИС. Редокс-потенциал дает представление о протекающих там биохимических процессах.

Таблица 3. Производительность и очищающая способность БИС

Показатели	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	
Объем поданных вод, тыс. м ³	96,9	126,3	65,04	115,0	
Объем сброшенных вод, тыс. м ³	92,4	115,3	61,9	100,0	
Подача загрязнителей в БИС, т	NH ₄ ⁺	17,71	11,1	4,5	6,9
	PO ₄ ³⁻	4,1	3,6	1,6	2,2
Сброс загрязнителей, т	NH ₄ ⁺	2,6	0,6	1,04	1,1
	PO ₄ ³⁻	1,5	0,16	0,544	1,6
Аккумулировано в БИС, т	NH ₄ ⁺	15,1	10,5	3,5	5,7
	PO ₄ ³⁻	2,6	3,5	1,1	0,6
Эффективность очистки в БИС, %	NH ₄ ⁺	85,3	94,2	77,1	83,7
	PO ₄ ³⁻	63,1	95,4	66,9	26,9

Стоимость биоинженерных сооружений составляет около 330 тыс. долл. США. В структуре затрат дренаж пруда составляет 13 %, посадка растительности – 4, земляные работы – 64, железобетонные конструкции – 19 %. Наибольшие издержки при строительстве приходятся на земляные работы и железобетонные конструкции. Установлено, что можно сократить затраты на возведение БИС за счет оптимизации затрат при их строительстве. Прежде всего это касается дренажной сети и посадки высшей водной растительности. Тем более что нами разработана более совершенная технология культивирования ВВР.

Оценку экономической эффективности работы биоинженерных сооружений можно дать в результате определения предотвращенного эколо-

гического ущерба от загрязнения вод [4]. Можно рассчитать и экологический налог, т.е. сумму денежных средств, которую необходимо заплатить организации за сброс недостаточно очищенных сточных вод [5].

По первой методике экономический эффект составил в 2000 г. - 16956, в 2001-2003 гг. соответственно 10937, 4436 и 5881 долл. США.

По расчету экологического налога он составил в 2000 г. - 81060, в 2001-2003 гг. 105654, 54408 и 96201 долл. США.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При проектировании и строительстве БИС необходимо по возможности больше использовать естественный рельеф (овраги, балки и др.), чтобы снизить объем земляных работ.

2. Оптимальные уровни воды в прудах составляют 0,5 - 0,6 м. При большей глубине происходит уменьшение продуктивности растений.

3. Наиболее активны биохимические процессы в первую половину вегетационного периода.

4. Эффективность очистки вод от аммонийного азота составляет от 77,1 до 94,2 % и фосфатов - от 26,9 до 95,4 %.

5. Для оперативного контроля за качеством воды можно использовать показатели электропроводности и окислительно-восстановительного потенциала.

Литература

1. Тиво П.Ф., Брезгунов В.С., Саскевич Л.А. и др. Состояние и концепция использования животноводческих стоков. // Мелиорация переувлажненных земель. Тр. БелНИИМиЛ. Т. XLVIII. - 2001. - С. 257-269.
2. Эйнон Л. О. Макрофиты в экологии водоема. - М., 1992. - 255 с.
3. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. - М., 1995. - 624 с.
4. Методика определения предотвращенного экологического ущерба. / Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. - М., 1999.
5. Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. - № 19.- 15.02.2002 г. - 86 с.