

УДК 338.436.33:631.67.034

О ПРИГОДНОСТИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УДОБРИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

В. И. ЖЕЛЯЗКО

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 19.01.2018)

В статье излагается методика определения пригодности сточных вод предприятий агропромышленного комплекса для удобрительного орошения на специализированных мелиоративных системах. Такие системы работают по водооборотному принципу, что позволяет в значительной степени ограничить сброс загрязняющих веществ в водоприемники. Наиболее пригодными для орошения по удобрительному потенциалу являются стоки, которые образуются на крупных свиноводческих комплексах.

В результате хозяйственной деятельности на предприятиях агропромышленного комплекса Республики Беларусь образуются различные категории сточных вод. По происхождению они могут быть хозяйственно-бытовыми, производственными и животноводческими. В результате внедрения современных технологий состав сточных вод значительно изменился. Они стали содержать много токсичных веществ, синтетических моющих средств, болезнетворных микроорганизмов.

Не требует особых доказательств тот факт, что сброс неочищенных сточных вод в компоненты природной среды приводит к негативным последствиям, а в некоторых случаях и к необратимым нарушениям экологической обстановки на агроландшафтах. Вместе с тем природные комплексы и входящая в их состав гидрографическая сеть способны к самоочистке от различных загрязнителей. Поэтому эту способность природных комплексов к самоочищению можно использовать, включая некоторые из них в систему очистки сточных вод.

Ключевые слова: *сточные воды, удобрительное орошение, мелиоративные системы.*

The article describes the procedure for determining the suitability of agro-industrial complex enterprises sewage for fertilizing irrigation on specialized meliorative systems. Such systems operate on the water rotation principle, which allows us to substantially limit the discharge of pollutants into water receivers. The most suitable for irrigation according to the fertilizer potential are the drains, which are formed on large pig-breeding complexes.

As a result of economic activities at the enterprises of agro-industrial complex of the Republic of Belarus, various categories of sewage are formed. By origin, they can be household, production and livestock sewage. As a result of introduction of modern technologies, the composition of sewage has changed significantly. Sewage began to contain many toxic substances, synthetic detergents, pathogenic microorganisms.

No special proof is required for the fact that discharge of untreated wastewater into the natural environment components leads to negative consequences, and in some cases also to irreversible disturbances of ecological situation in agricultural landscapes. At the same time, natural complexes and hydrographic network that forms part of them are capable of self-cleaning from various pollutants. Therefore, this ability of natural complexes to self-purification can be used. Some of them can be included in a wastewater treatment system.

Key words: *sewage, fertilizer irrigation, meliorative systems.*

Введение

В настоящее время химический состав сточных вод достаточно изучен, о чем свидетельствуют многочисленные сведения из литературных источников [1].

На современном этапе развития науки можно выделить следующие основные методы очистки сточных вод [2]. Во-первых, это очистка сточных вод в искусственных условиях на специальных инженерных очистных сооружениях. Во-вторых, очистка сточных вод в естественных условиях.

В-третьих – комбинированная очистка, объединяющая искусственные очистные сооружения и технологии, основанные на способности природных комплексов к самоочищению.

Эта классификация в определенной степени условна, т. к. используемые компоненты природной среды обычно дополняются специальными сооружениями или моделируются искусственно.

В системе мер по защите водных ресурсов от загрязнения особое место занимают технологии утилизации сточных вод после их очистки. Одной из таких технологий является использование

сточных вод для орошения сельскохозяйственных культур и древесно-кустарниковых насаждений. При этом орошаемые угодья являются завершающим этапом естественной почвенно-биологической очистки и обеззараживания сточных вод [37].

Первостепенное значение в почвенно-биологической очистке сточных вод принадлежит почве. Она представляет собой полидисперсную систему и содержит как минеральные, так и органические вещества. В результате физических и химических процессов выветривания твердых пород образуются минеральные частицы различной величины, которые разрыхляются водой, льдом, ветром и участвуют в формировании почвы. Органическая часть почвы состоит из остатков растений, животных и микроорганизмов, которые подвергаются микробиологическим процессам. Из переработанных таким образом органических материалов создается гумус. Как неорганические, так и органические материалы образуют частицы различной величины, между которыми имеются пустоты, обеспечивающие почве пористость. Поры заполняются воздухом, а частично водой.

Сущность почвенной очистки сточных вод заключается в использовании поглотительной способности почвы – механической, физической, физико-химической, химической и биологической.

На рис.1 представлены результаты обобщения литературных данных, свидетельствующие об эффективности различных способов очистки сточных вод по взвешенным веществам (а) и количеству колоний бактерий (б).

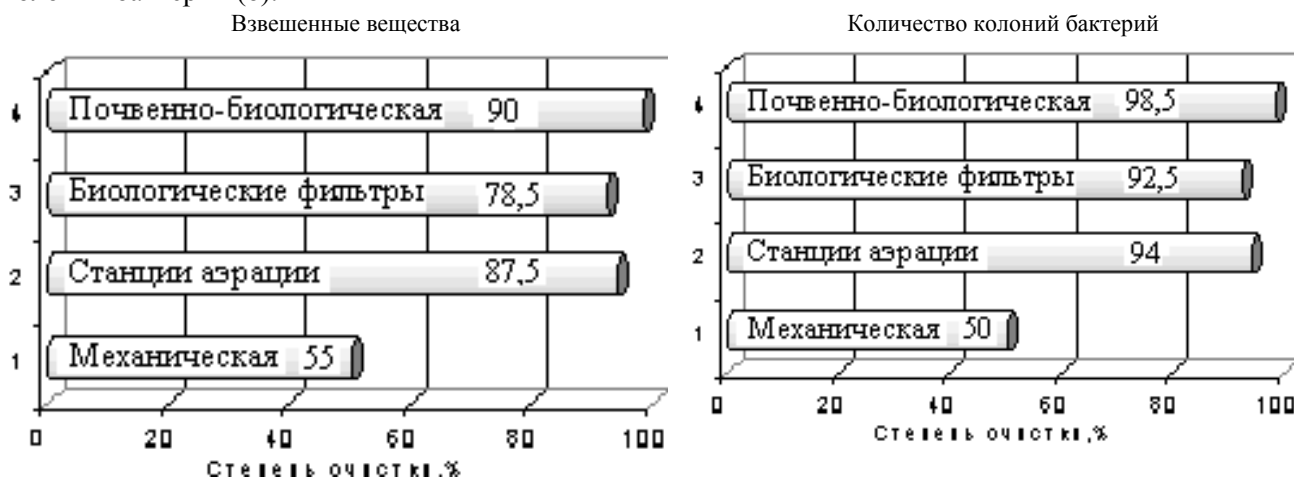


Рис. 1. Сравнительная эффективность способов очистки сточных вод

Наибольшее значение имеет поглощение, вызываемое действием поверхностных сил молекулярного и ионно-электростатического происхождения (физическое, физико-химическое и химическое), а также биологическое. Причем биологическое поглощение характеризуется способностью поглощать питательные вещества микроорганизмами и корневой системой растений.

Очищенные (или подготовленные к сельскохозяйственной утилизации) сточные воды могут использоваться как для увлажнительных, так и удобрительно-увлажнительных поливов сельскохозяйственных культур [8].

Основная часть

Методологической основой проведения исследований и последующего анализа результатов явилось рассмотрение процессов, происходящих в результате антропогенной деятельности в системе «почва–вода–растения». Отбор образцов и аналитические исследования их выполнены по стандартным методикам. Обработка результатов проведена методами математической статистики. Экспериментальная проверка проведена на оросительной системе РУП «СГЦ Заднепровский» Оршанского района.

Результаты химического состава некоторых категорий сточных вод перерабатывающих предприятий агропромышленного комплекса и стоков свиноводческого комплекса на различной стадии подготовки к утилизации приведены в табл. 1. Анализ состава показал, что высокой удобрительной ценностью обладают стоки свиноводческих комплексов. Они более технологичны при

подготовке к поливу и представляют собой смесь экскрементов животных, остатков корма с питьевой и технологической водой, песком, землей и другими посторонними включениями.

Количество удобрительных элементов, содержащихся в животноводческих стоках, изменяется прямо пропорционально количеству сухого вещества:

$$M_c = \frac{C_c \cdot M_s}{C_s}, \quad (1)$$

где M_c , M_s – количество удобрительных элементов соответственно в стоках и экскрементах, % общего объема стоков; C_c , C_s – содержание сухого вещества в стоках и экскрементах, % объема.

При разбавлении смеси экскрементов водой содержание элементов уменьшается согласно зависимости:

$$K = \frac{K_1 W_1 + K_2 W_2}{W_1 + W_2}, \quad (2)$$

где K – концентрация расчетного элемента, кг/м³; K_1 – концентрация элемента в смеси экскрементов, кг/м³; K_2 – концентрация в воде, используемой для смыва и разбавления, кг/м³; W_1 – объем смеси экскрементов, м³; W_2 – объем воды, используемой для смыва или разбавления, м³.

Химический состав стоков свиноводческих комплексов определяет как их удобрительную ценность, так и характеризует последних как потенциальных загрязнителей окружающей среды.

Качественный состав стоков свиноводческих комплексов с точки зрения удобрительной их ценности можно охарактеризовать коэффициентом удобрительного потенциала:

$$K_{yn} = 100 \frac{\sum B_i}{\sum C_i}, \quad (3)$$

где K_{yn} – коэффициент удобрительного потенциала, %; $\sum B_i$ – суммарная концентрация основных биогенных элементов (N, P, K), содержащихся в сточных водах, мг/л; $\sum C_i$ – суммарная концентрация всех биогенных элементов и солей, содержащихся в сточных водах, мг/л.

По удобрительному потенциалу сточные воды подразделяются на следующие группы:

– первая группа (высокая удобрительная ценность):

$$K_{yn} > 20 \% ;$$

– вторая группа (средняя удобрительная ценность):

$$K_{yn} = 10-20 \% ;$$

– третья группа (низкая удобрительная ценность):

$$K_{yn} < 10 \% .$$

Наряду с характеристикой удобрительного потенциала при оценке качества сточных вод для полива необходимо учитывать также и целый ряд опасностей:

– натриевую по соотношению:

$$(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / \text{Na}^+ \leq 60 \% ; \quad (4)$$

– магниевую по соотношению:

$$100 \text{Mg}^{2+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \leq 50 \% ; \quad (5)$$

– карбонатно-натриевую по соотношению:

$$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \leq 2,5 \text{ мг·экв/л}; \quad (6)$$

– ощелачивания по соотношению:

$$\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \leq 0,7 \text{ мг·экв/л и } \text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+} \leq 1 \text{ мг·экв/л;} \quad (7)$$

– водородного числа – $\text{pH} > 8,5$.

Ориентировочные значения качественных показателей некоторых видов сточных вод, полученные с использованием зависимостей 3, 4, 5, 6, и 7, приведены в табл. 2. При определении пригодности сточных вод для орошения, по мнению авторов работ [3, 4, 6], необходимо учитывать почвенные условия. Например, полив стоками с высоким содержанием взвешенного осадка в виде мелкодисперсного вещества тяжелых и бесструктурных почв может нарушить в увлажняемом почвенном профиле оптимальное соотношение между водой и воздухом, что повлечет за собой развитие нежелательных анаэробных процессов и резко ухудшит санитарно-гигиеническую обстановку орошаемых полей. Полив же такими водами легких песчаных почв будет способствовать уменьшению их водопроницаемости, оструктуриванию, повышению их влагоемкости. При орошении сельскохозяйственных культур хлоридно-натриевыми водами на карбонатных почвах с содержанием гипса менее 0,7 г/л будут интенсивно протекать процессы осолонцевания [1].

Важное экологическое значение при разработке технологии утилизации имеет микроэлементный состав сточных вод. Для сточных вод свиноводческих комплексов содержание соединений тяжелых металлов на различных этапах предварительной подготовки представлено в табл.3.

Из анализа табл. 3 видно, что наибольшее количество соединений тяжелых металлов содержится в твердой фракции стоков. В жидкой фракции – соответственно меньше и не превышает предельно допустимых концентраций, установленных для сточных вод, рекомендуемых для полива сельскохозяйственных культур.

Таблица. 1. Ориентировочный состав сточных вод некоторых предприятий АПК, мг/л

Вид сточных вод	БПК ₅	Взвешенные вещества	Сух. ост.	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг}
	мгО ₂ /л													
1. Стоки свиного комплекса:														
а) поступающие в РОС	470	360	1510	7,65	264	76,0	146,3	60,8	841	10,9	163,0	46,8	416	2538
б) на орошение	320	210	1050	7,82	224	57,8	102,2	28,0	710	7,0	132,8	45,3	327	716
в) ливневой канализации	32	180	450	7,70	54	32,0	71,0	16,0	123	2,5	40,0	14,0	32	244
г) хозяйственно-бытовые	60	201	500	7,60	9,8	85,3	41,7	8,3	3,9	70,0	533,0	15,2	16,6	–
2. Маслозаводов		294	2235	6,9	85	175	288	84	49	57	190	170	30	
3. Сахарных заводов		1215	1610	7,0	75	240	195	65	16	34	180	141	2,5	
4. Плодоовощных консервных предприятий	83,5	198	589	7,3	17	104	44	39	8	6	97	112	1,8	
5. Водные объекты	2,8	5,58	284	7,45	12	30	18	24	0,36	1,7	15,6	15,8	0,9	
ПДК для водных объектов	2,1-4,5	фон+0,75	1000	6,5–8,5	50	120	180	40	0,39–2	40–45	300–350	100–500	3,5	

Таблица 2. Качественные показатели отдельных категорий сточных вод

Вид сточных вод	Коэффициент удобрительного потенциала Куп, %	Опасности		
		водородного числа рН	натриевая, %	магниевая, %
1. Стоки свиного комплекса:				
а) поступающие в РОС	33,8 (высокий)	7,65	2,7	29,4
б) на орошение	32,2 (высокий)	7,82	2,2	21,5
в) ливневой канализации	19,8 (средний)	7,70	2,7	18,4
г) хозяйственно-бытовые	19,9 (средний)	7,60	0,6	16,6
2. Маслосырзаводов	12,2 (средний)	6,90	2,1	22,5
3. Сахарных заводов	10,3 (средний)	7,00	1,1	25,0
4. Плодоовощных консервных предприятий	5,9 (низкий)	7,30	0,8	47,0
Предельные значения	–	8,5	60	50

Таблица 3. Среднее содержание тяжелых металлов в стоках свиноводческого комплекса племсовхоза «Заднепровский»

Наименование проб	Cu	Zn	Pb	Cd
Резервуары осветленных стоков (РОСы)				
Секция № 1				
фильтрат, мг/л	0,0325	0,0723	0,0075	0,0024
осадок, мг/л	0,2475	0,7649	0,0067	0,0010
Секция № 2				
фильтрат, мг/л	0,0081	0,0557	0,012	0,0029
осадок, мг/л	0,2818	1,1102	0,0088	0,0012
Пруд условно чистой воды				
фильтрат, мг/л	0,0025	0,0055	0,0042	0,0007
осадок, мг/л	0,0007	0,0014	0,0009	0,00003

Для обоснования технологии утилизации сточных вод и оценки аварийных ситуаций, при которых загрязнения могут попадать в гидрографическую сеть, должна определяться их потенциальная загрязняющая способность.

Загрязняющие вещества представляет особую опасность, если их содержание превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК). Очевидно, что количественной характеристикой загрязнения может служить величина:

$$C_i - ПДК_i, \quad (8)$$

где C_i – концентрация i -го расчетного загрязнителя в сточной воде; $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация этого загрязнителя в природной воде.

Тогда количество природной воды V_{ni} , необходимое для разбавления i -го расчетного загрязнителя до величины ПДК, составит:

$$V_{ni} = \frac{C_i - ПДК_i}{ПДК_i}. \quad (9)$$

Однако гидрохимический режим водоприемников формируется как в ходе естественноисторических процессов, так и в результате антропогенной деятельности. Это обуславливает наличие в них некоторой фоновой концентрации загрязняющих веществ. Поэтому выражение (9) можно представить в виде:

$$V_{ni} = \frac{C_i - ПДК_i}{ПДК_i - C_{нев}}, \quad (10)$$

где V_{ni} – коэффициент потенциальной загрязняющей способности стоков, равный объему природной воды, загрязняемой сточными водами при их сбросе в природные воды, доли от объема сбрасываемых стоков; C_i – количество расчетного загрязнителя в сточных водах; $C_{нев}$ – количество

расчетного загрязнителя в природной воде (фон); $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация расчетного загрязнителя в природной воде.

Вместе с тем следует отметить, что использование выражения (10) имеет свои особенности, которые заключаются в учете его граничных условий. При этом возможны следующие случаи.

1. При $C_{nvi} \geq ПДК_i$ выражение (10) дает неопределенность, смысл которой заключается в том, что водоприемник загрязнен расчетным i -ым загрязнителем выше ПДК и сброс сточных вод в него недопустим.

2. Если $C_i \leq ПДК_i$, то сброс сточной воды с малой концентрацией i -го загрязнителя не приводит к значительному ухудшению экологического состояния водоприемника.

3. При $C_i < C_{nvi}$ экологические условия водоприемника улучшаются.

Кроме вышесказанного, необходимо отметить также и то, что формула (10) дает возможность выполнить расчеты с некоторым экологическим запасом, поскольку не учитывает способности водоприемника к самоочищению в результате жизнедеятельности растений-макрофитов, водорослей, бактерий и т. д. Поэтому уравнение (10) правомочно записать в следующем виде:

$$V_{ni} = K_i \frac{C_i - ПДК_i}{ПДК_i - C_{nvi}}, \quad (11)$$

где K_i – коэффициент, характеризующий способность водоприемника к самоочищению.

Величина коэффициента $K_i < 1$ и зависит от наличия в водоприемнике макрофитов, водорослей, бактерий и т. д., которые участвуют в процессах естественно-биологической очистки.

Исследования, проведенные на специализированных оросительных системах, показывают, что в большинстве случаев почвенно-биологическая очистка загрязненных сточных вод недостаточна. Возвратный сток загрязняется, поэтому необходимо предусмотреть его доочистку, так как весь его объем повторно использовать на полив не всегда удается.

Большой водоохраный эффект дает применение на мелиоративных системах специальных отстойников, которые могут также выполнять функции прудов накопителей. Для улучшения условий очистки воды в таких отстойниках желательны культивировать высшую водную растительность (ВВР, макрофиты), обладающую высокой поглотительной способностью относительно биогенных элементов, соединений тяжелых металлов, ПАВ и других загрязнителей. В частности, в 1 кг воздушно-сухой массы тростника обыкновенного накапливается азота 2026 г, фосфора – 1020 г, калия – 1030 г. Учитывая то, что ВВР нормально развиваются при определенных (различных для каждого вида макрофитов) уровнях воды, их культивируют на специальных мелководных участках или бермах (рис. 2).

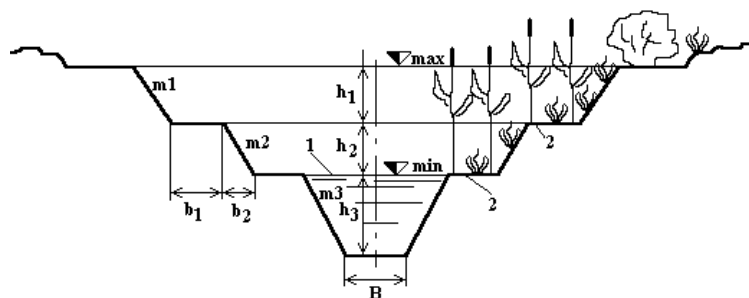


Рис. 2. Пруд-накопитель:

1 – минимальный уровень воды; 2 – площадки для высшей водной растительности

Доочистку возвратных вод можно выполнять и в процессе транспортировки их по проводящей сети. Для этой цели можно применять специальные биомелиоративные каналы. Конструкции этого типа совмещают функции водосбросной сети и очистных сооружений, что значительно упрощает процесс доочистки возвратных вод. Однако применение для этих целей каналов общепринятого поперечного сечения связано с определенными трудностями. Это вызвано тем, что водосбросные каналы обычно выполняют функции магистральных и нагорных, что обуславливает резкое изменение расхода, а следовательно, уровней и скоростей движения воды в них в различные сезоны года.

Наиболее эффективно очистка и доочистка сточных вод с помощью ВВР происходит при минимальных скоростях их движения. С другой стороны, нормальное развитие ВВР обеспечивается при некоторых оптимальных (различных в зависимости от вида ВВР) глубинах воды. Хотя большинство видов ВВР выдерживают довольно длительное затопление даже в вегетационный период, оно действует на них угнетающе, а у некоторых видов – например, у рогоза узколистного отрицательно воздействует на созревание семян, что ухудшает процесс размножения этих растений.

Таким образом, мелиоративное сооружение для очистки (доочистки) сточных вод и возвратного стока должно удовлетворять следующим основным требованиям.

1. Скорости движения воды должны быть минимальными.
2. Уровни воды должны поддерживаться в оптимальных пределах, определяемых видом ВВР.
3. Не допускается полное затопление ВВР в период летнеосенних паводков (или регулируется длительность его – в зависимости от вида ВВР).
4. Не допускается полное пересыхание воды в сооружении, если по технологическим, гидрологическим и др. причинам отсутствует подача в него стоков, поверхностных и дренажных вод.

Учитывая то, что в мелиоративном канале практически невозможно поддерживать постоянный расход воды в связи с изменением в различные гидрологические периоды объема поверхностного и дренажного стока, разработана специальная его конструкция, обеспечивающая выполнение выше перечисленных требований. Этот канал предназначен для сбора с прилегающего водосбора загрязненного поверхностного и дренажного стока и транспортировки его (а при необходимости и стоков, дополнительно подаваемых в канал) в водоприемник с одновременной очисткой посредством ВВР.

Схематично конструкция канала приведена на рис. 3. Ее особенностями является то, что в канале трапециевидальной формы поперечного сечения выполняют две бермы – нижнюю на отметке горизонта воды в бытовой период и верхнюю – на отметке горизонта воды в период летнеосеннего дождевого паводка [9].

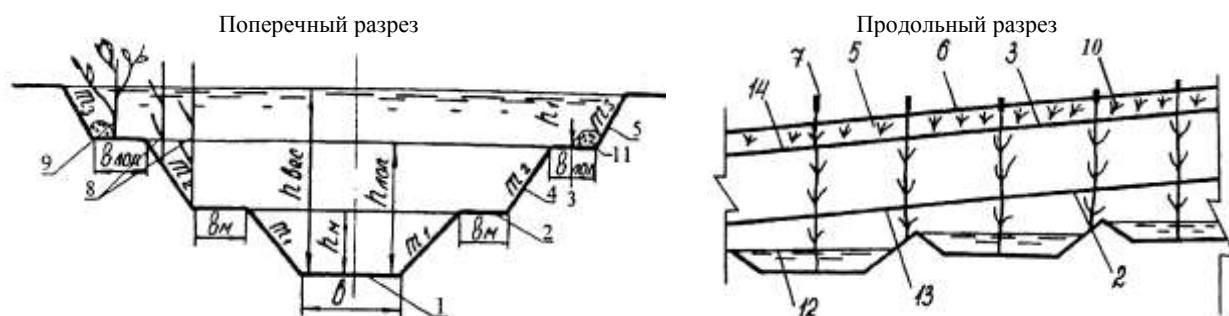


Рис. 3. Конструкция биоканала: 1 – дно; 2 – нижняя берма; 3 – верхняя берма; 4,5 – откосы; 6 – бровка; 7,8,9,10 – высшие водные растения; 11 – валик; 12 – уровень воды при пропуске $Q_{\text{быт}}$; 13 – уровень воды при пропуске $Q_{\text{л-ос,пав}}$;

14 – максимальный расчетный уровень воды; b – ширина биоканала по дну; b_m – ширина бермы при пропуске бытовых расходов ($Q_{\text{быт}}$); $b_{\text{лоп}}$ – ширина бермы при пропуске летнее–осенних дождевых паводков; h_m – уровень в бытовой период; $h_{\text{лоп}}$ – уровень воды при пропуске летне–осенних дождевых паводков; $h_{\text{вес}}$ – уровень воды при пропуске весеннего половодья; m_1, m_2, m_3 – коэффициенты заложения откосов

На дне канала, выполненного с чередованием участков с прямым, нулевым и обратным уклоном, но со средним уклоном в сторону водоприемника, осуществлена посадка ВВР типа рогоза узколистного. На нижней берме и откосах канала, расположенных между нижней и верхней бермой, осуществлена посадка осоковых, на верхней берме – посадка кустарниковой растительности. Она препятствует попаданию в канал во время снеготаяния и ливней пожнивных остатков и других крупных загрязнителей. Кроме этого, образующийся на них прикорневой валик у кустарника на берме не препятствует попаданию в канал поверхностного стока, а служит дополнительным фильтром. Работоспособность предлагаемой конструкции проверялась на полевых моделях. В качестве основного макрофита использовался рогоз узколистный (общая длина участков с этой ВВР 55 м).

Основная очистка в канале происходит в бытовой период, так как в паводковые периоды из-за разбавления чистой водой концентрация вредных веществ в стоке обычно значительно меньшая.

Поверхностный сток, поступающий в канал через его бровку, проходит многоступенчатую предварительную очистку (в основном, от взвешенных веществ) на откосах и бермах канала. Поэтому снижается вероятность заиления его русла на нулевых и отрицательных участках уклона. На этих участках создаются нормальные условия жизнедеятельности ВВР при отсутствии поступления стока в канал. При прохождении летнее–осеннего дождевого паводка затапливается нижняя берма, благодаря чему резко увеличивается площадь живого сечения потока без значительного увеличения его глубины и скорости движения, поэтому ВВР на дне канала полностью не затапливается и не повреждается.

Весенний паводок проходит во вневегетационный период, поэтому его уровень не лимитирован жизнедеятельностью ВВР. Во вневегетационный период (зимний) надземную и надводную массу ВВР сжигают или скашивают, чем предотвращается избыточное накопление на дне канала отмерших органических остатков (и заиление дна канала на участках с нулевым и обратным уклоном), а также вредных веществ, содержащихся в них.

Заключение

Потенциальная загрязняющая способность стоков должна определяться для всех основных загрязнителей: физических, химических и санитарно-гигиенических. При этом в качестве количественных показателей загрязнителей и их ПДК принимаются концентрации загрязняющих химических элементов, величины химической потребности в кислороде (ХПК), биологической потребности в кислороде (БПК) и т. д. При этом в окончательные расчеты принимается наибольшая величина потенциальной загрязняющей способности. Для повышения экологической безопасности удобрительного орошения необходимо на гидрографической сети устраивать специальные отстойники и биомелиоративные каналы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Желязко, В. И. Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов / В. И. Желязко. – Горки: БГСХА, 2003. – 168 с.
2. Безднина, С. Я. Качество воды для орошения: принципы и методы оценки / С. Я. Безднина. – М., 1997. – 185 с.
3. Овцов, Л. П. Экологическая оценка осадков сточных вод и навозных стоков в агроценозе / Л. П. Овцов. – М., МГУ: 2000. – 318 с.
4. Овцов, Л. П. Плодородие дерново-подзолистых почв при длительном орошении животноводческими стоками / Л. П. Овцов, В. А. Михеев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 5. – С. 16–18.
5. Утилизация сточных вод и животноводческих стоков / В. И. Желязко, О. А. Захарова, Л. В. Кирейчева [и др.]. – М.: Изд-во ООО «Эдель-М», 2001. – 183 с.
6. Тиво, П. Ф. Водоохранные биоинженерные сооружения / П. Ф. Тиво, В. С. Брезгунов, С. М. Кутько // Сельскохозяйственный вестник. – 2001. – №5. – С. 22–23.
7. Саскевич, Л. А. Эффективно использовать бесподстилочный навоз / Л. А. Саскевич, П. Ф. Тиво // Агропанорама. – 2000. – №5. – С. 27–30.
8. Тиво, П. Ф. Удобрение трав стоками / П. Ф. Тиво // Мелиорация и водное хозяйство. – 1997. – № 1. – С. 11–15.
9. Мажайский, Ю. А. Мелиоративный биоканал для очистки загрязненных поверхностных и дренажных вод // Ю. А. Мажайский / Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 5. – С. 41–42.