

Тема АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПОЛИВНОЙ ВОДЫ

1. Агроэкологическая характеристика нетрадиционных источников орошения.
2. Использование стоков животноводческих комплексов на мелиоративных системах
3. Влияние агромелиоративных мероприятий на свойства почвы при орошении

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.

На современном этапе развития науки можно выделить следующие основные методы очистки сточных вод.

Во-первых, это очистка сточных вод в искусственных условиях посредством специальных инженерных очистных сооружений.

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, так как 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.

Первостепенное значение в почвенно-биологической очистке сточных вод принадлежит почве. По определению В. В. Докучаева, почва есть самостоятельное естественно-историческое тело, представляющее собой наружные горизонты горных пород, естественно измененные совместным влиянием воды, воздуха и различного рода живых и мертвых организмов.

Почва представляет собой полидисперсную систему. Она 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 под-

вергаются 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.

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

В табл. 9.1 приведен химический состав некоторых категорий сточных вод перерабатывающих предприятий агропромышленного комплекса и стоков свиноводческого комплекса на различной стадии подготовки к утилизации. Из приведенных данных видно, 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.

Таблица 1– Ориентировочный состав сточных вод некоторых предприятий агропромышленного комплекса

Вид сточных вод	БПК ₅	Взвешенные вещества	Сухой остаток	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг}
	мг O ₂ /л	мг/л												
∞ 1. Стоки свинокомплекса:														
а) поступающие в РОС	470	360	1510	7,65	264	76	146,3	60,8	841	10,9	163	46,8	416	2538
б) на орошение	320	210	500	7,82	224	57,8	102,2	28	710	7	132,8	45,3	327	716
в) ливневой канализации	32	180	2235	7,7	54	32	71	16	123	2,5	40	14	32	244
г) хозяйственно-бытовые	60	201		7,6	9,8	85,3	41,7	8,3	3,9	70	533	15,2	16,6	–
2. Стоки маслозаводов	–	294		6,9	85	175	288	84	49	57	190	170	30	–
3. Стоки сахарных заводов	–	1215	1610	7	75	240	195	65	16	34	180	141	2,5	–
4. Стоки 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	0,39–2,00	40–45	300–350	100–500	3,5	–

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

$$M_c = \frac{C_c M_3}{C_3}, \quad (1)$$

где M_c, M_3 – количество удобрительных элементов соответственно в стоках и экскрементах, % общего объема стоков;

C_c, C_3 – 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, $\text{кг}/\text{м}^3$;

K_1 – концентрация элемента в смеси экскрементов, $\text{кг}/\text{м}^3$;

K_2 – концентрация в воде, используемой для смыва и разбавления, $\text{кг}/\text{м}^3$;

W_1 – объем смеси экскрементов, м^3 ;

W_2 – объем воды, используемой для смыва или разбавления, м^3 .

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

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

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

где $K_{y.p}$ – коэффициент удобрительного потенциала, %;

$\sum B_i$ – суммарная концентрация основных биогенных элементов (N, P, K), содержащихся в сточных водах, $\text{мг}/\text{л}$;

$\sum C_i$ – суммарная концентрация всех биогенных элементов и солей, содержащихся в сточных водах, $\text{мг}/\text{л}$.

По удобрительному потенциалу сточные воды подразделяются на следующие группы:

– первая группа (высокая удобрительная ценность):

$$K_{y.p} > 20 \%;$$

– вторая группа (средняя удобрительная ценность):

$$K_{y.p} = 10-20 \%;$$

– третья группа (низкая удобрительная ценность):

$$K_{y.p} < 10 \%.$$

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

– натриевую – по соотношению

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

– магниевую – по соотношению

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

– карбонатно-натриевую – по соотношению

$$CO_3^{2-} + HCO_3^- (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \leq 2,5 \text{ мг-экв/л}; \quad (6)$$

– ощелачивания – по соотношению

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

– водородного числа – $pH > 8,5$.

Ориентировочные значения качественных показателей некоторых видов сточных вод, полученные с использованием зависимостей (3)–(7), приведены в табл. 2.

При определении пригодности сточных вод для орошения 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.

Т а б л и ц а 2– Качественные показатели отдельных категорий сточных вод

Вид сточных вод	Коэффициент удобрительного потенциала $K_{y.п.}$, %	Опасность		
		водородного числа pH	натриевая, %	магниевая, %
1. Стоки свинокмплекса:				
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)	7,7	2,7	18,4
г) хозяйственно-бытовые	19,9 (средний)	7,6	0,6	16,6
2. Стоки маслосырзаводов	12,2 (средний)	6,9	2,1	22,5
3. Стоки сахарных заводов	10,3 (средний)	7,0	1,1	25,0
4. Стоки плодоовощных консервных предприятий	5,9 (низкий)	7,3	0,8	47,0

Предельные значения	–	8,5	60	50
---------------------	---	-----	----	----

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

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

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

Т а б л и ц а 3– Содержание тяжелых металлов в стоках свиноводческого комплекса (РСУП СГЦ «Заднепровский», Витебская область)

Наименование проб	Cu	Zn	Pb	Cd
Цех разделения на фракции				
Твердая фракция, мг/кг в с. в.:				
валовые формы	39,8	327,8	5,0	0,26
подвижные формы	31,6	295,0	2,4	0,22
Жидкая фракция, мг/л:				
фильтрат	0,0505	0,1607	0,0077	0,0030
осадок	0,1002	0,4044	0,0044	0,0004
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

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

$$C_i - \text{ПДК}_i, \quad (8)$$

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 $V_{\text{пр}}$, необходимое для разбавления i -го расчетного загрязнителя до величины ПДК, составит

$$V_{\text{пр}} = \frac{C_i - \text{ПДК}_i}{\text{ПДК}_i}. \quad (9)$$

Однако гидрохимический режим водоприемников формируется как в ходе естественно-исторических процессов, так и в результате антропогенной деятельности. Это обуславливает наличие в них некоторой фоновой концентрации загрязняющих веществ. Поэтому выражение (1.9) можно представить в виде

$$V_{pi} = \frac{C_i - ПДК_i}{ПДК_i - C_{п.в}}, \quad (10)$$

где V_{pi} – 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;

$C_{п.в}$ – 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 $C_{п.в} \geq ПДК_i$ выражение (10) дает неопределенность, смысл которой заключается в том, что водоприемник загрязнен расчетным i -м 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 $C_i < C_{п.в}$ 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) можно записать в следующем виде:

$$V_{pi} = K_i \frac{C_i - ПДК_i}{ПДК_i - C_{п.в}}, \quad (11)$$

где K_i – коэффициент, характеризующий способность водоприемника к самоочищению.

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

Ориентировочная потенциальная загрязняющая способность некоторых видов сточных вод, установленная по вышеприведенной методике, отражена в табл. 4.

Т а б л и ц а 4– Коэффициенты потенциальной загрязняющей способности V_{ni} для различных категорий сточных вод

Вид сточных вод	БПК ₅	Сухой остаток	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	V_{ni}^{\max}
1. Стоки свиного комплекса:											
а) поступающие в РОС	273,8	0,71	5,63	–	–	1,30	511,6	–	–	158,6	511,6
б) на орошение	185,6	0,07	4,57	–	–	–	431,7	–	–	124,4	431,7
в) ливневой канализации	16,2	–	0,11	–	–	–	73,8	–	–	11,0	73,8
г) хозяйственно-бытовые	322,6	–	–	–	–	–	1,2	0,60	–	5,0	32,6
2. Стоки маслозаводов	–	1,72	0,92	0,61	0,67	2,75	28,6	0,29	0,83	10,2	28,6
3. Стоки сахарных заводов	–	0,85	0,66	1,33	0,09	1,56	8,5	–	0,49	–	8,5
4. Стоки плодоовощных консервных предприятий	46,5	–	–	–	–	–	3,7	–	0,14	–	46,5
ПДК	4,5	1000	50	120	180	40	2	44,3	100	3,5	

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 окончательных расчетах принимается наибольшая величина потенциальной загрязняющей способности.

Применение гидравлических систем навозоудаления приводит к образованию бесподстилочного навоза, который подразделяют на полужидкий с содержанием сухого вещества более 8 %, жидкий – 3–8 % и животноводческие стоки – менее 3 %. В зависимости от разбавления водой, что зависит от принятой технологии навозоудаления, изменяется и удобрительная ценность бесподстилочного навоза.

Химический состав животноводческих стоков специфичен. Большая часть общего азота представлена в них легкоусвояемой аммиачной формой. Этим, прежде всего и объясняется высокая эффективность жидких органических удобрений в год внесения. Последствие же их выражено слабее, чем обычного подстилочного навоза. Причем по мере повышения содержания сухого вещества в органических удобрениях снижается доля $N-NH_4$ в общем азоте.

Определено и соотношение между формами азота в различных органических удобрениях (табл. 9.5). Причем максимальной концентрацией N_m характеризуются жидкие отходы животных, по влиянию на урожай они приближаются к минеральным тукам.

Т а б л и ц а 9.5 – Содержание различных форм азота в органических удобрениях, %

Вид органики	N_m	N_e	N_c
Навоз КРС:			
твердый	10	46	44
полужидкий	50	25	25
Полужидкий навоз свиней	51	34	15
Полужидкий помет птицы	54	32	14
Полужидкий навоз телят	80	9	11
Жидкий навоз	94	3	3

При удобрительном орошении сельскохозяйственных культур и определении площади угодий важно знать распределение элементов по различным фракциям стоков. При естественном разделении в отстойниках и исходной влажности стоков 95 % (что соответствует разбавлению экскрементов вдвое) большая часть питательных веществ остается в осадке. Если же влажность стоков 98 %, то основная масса азота и калия попадает в жидкую фракцию. При механическом разделении в жидкую фракцию переходит 65–80 % питательных веществ, содержащихся в экскрементах животных. Остальное количество (особенно фосфор) попадает в твердую фракцию. Однако она обесценивается как источник азотного питания, так как имеет широкое отношение $C:N$ и $N_{\text{общ}}:NH_4$. Причем чем больше исходные стоки разбавлены водой, тем беднее получается твердая фракция. Поэтому в случае необходимости ее следует дополнять азотом, а иногда и калием минеральных удобрений.

Качество стоков зависит и от способа их обеззараживания. Биологическая искусственная очистка в аэротенках уменьшает содержание азота, фосфора и калия в жидкой фракции. Так, количество общего азота в стоках после одноступенчатой обработки, как правило, не превышает 120–150 мг/дм³, что обусловлено как его потерей, так и закреплением микрофлорой избыточного активного ила. Словом, происходит перераспределение элементов питания

между различными продуктами аэробной обработки жидкой фракции навоза. При этом убыль азота достигает 30 % и более от его исходного содержания.

По удобрительной ценности жидкий навоз занимает промежуточное положение между минеральными удобрениями и подстилочным навозом. Так, 50–70 т навоза обогащает почву 150–200 кг азота, 75–100 кг фосфора, 180–240 кг калия, что эквивалентно 1,0–1,3 т минеральных удобрений. Наряду с макроэлементами он содержит и микроэлементы.

Для бесподстилочного навоза характерно наличие большого количества различного рода химических и бактериальных загрязнений, представляющих опасность для окружающей среды и являющихся потенциальным источником многих заболеваний.

Исследованиями установлено, что свежие стоки свиноферм могут содержать в 1 г 10^8 аэробных бактерий и 10^7 анаэробных, из которых 6×10^5 относятся к энтеробактериям. Так, по данным Молдавского НИИ гигиены и эпидемиологии, стоки свиноводческих комплексов в выраженной степени обсеменены санитарно-показательными микроорганизмами – фекальной кишечной палочкой (*ARG*) и *Cl. perfringens*. Титры их колеблются от 0,1 до 0,000001 и ниже. Кроме того, в стоках содержится сравнительно высокое количество нитрифицирующих бактерий и целлюлозных микроорганизмов (титры от 0,1 до 0,0001), что свидетельствует о начале распада и минерализации органических соединений. В 10–35 % исследованных проб стоков выявлены возбудители столбняка.

Почвы, на которых проводится удобрительное орошение, являются благоприятной средой для сохранения жизнедеятельности патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов, источником загрязнения поверхностных и грунтовых вод биогенными веществами, представляющими опасность для окружающей природной среды.

Второй вопрос

Термин «специализированные мелиоративные системы» возник в связи с тем, что при крупных животноводческих комплексах создавались оросительные системы, на которых с помощью специальных устройств и различных агромелиоративных приемов подготовки почвы осуществлялось распределение животноводческих стоков по площади. Основные вопросы проектирования таких систем изложены в нормативных документах, а вопросы эксплуатации регламентированы различными отраслевыми инструкциями и рекомендациями. Учитывая, что подобные системы являются крупными антропогенными включениями в природную среду, их проектировали водооборотными. Это предполагало исключение сброса сточных и возвратных вод с мелиоративной системы за пределы полей орошения. Достигалось это тем, что на оросительных системах строилась сбросная сеть для сбора загрязненных поверхностных и инфильтрационных вод, аккумуляции их в специальных водоемах с последующим использованием для полива. На рис. 1 приведена принципиальная схема такой специализированной водооборотной системы.

Основными элементами такой системы являются: резервуары осветленных стоков (РОС), в которых аккумулируется годовой объем стоков, предназначенных для орошения; система трубопроводов оросительной сети с насосной станцией для распределения стоков по поливным участкам; дренажно-сбросная сеть для перехвата загрязненных поверхностных и дренажных вод; пруды-накопители сбросных (возвратных) вод; лесозащитные насаждения для оздоровления ситуации на прилегающей к полям орошения территории.

В последнее время основными направлениями по обеспечению экологической безопасности специализированных мелиоративных систем является, прежде всего, применение высокоэффективных способов предварительной очистки и подготовки стоков, поступающих в РОСы, и совершенствование конструкций устройств для распределения стоков по площади орошения.

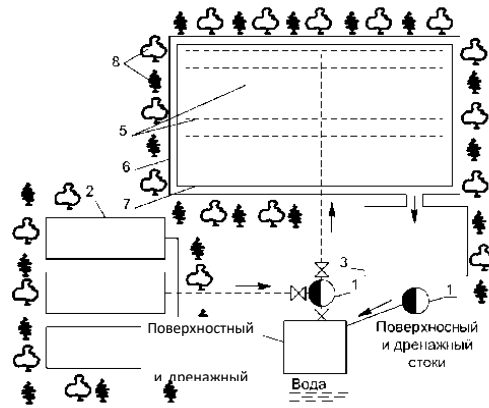


Рисунок 1— Состав элементов водооборотной оросительной системы:

- 1 – насосно-силовая установка; 2 – пруды-накопители стоков;
 3 – водоем природной воды; 4 – смеситель; 5 – дренажная сеть;
 6 – нагорно-ловчая сеть; 7 – орошаемые земли; 8 – лесополосы.

Вместе с тем, как показывает практика, вопросам функционирования дренажно-сбросной сети уделено недостаточно внимания. Традиционно эта сеть выполняется из дренажных труб, применяемых для осушения избыточно увлажненных земель. Как показывают исследования эксплуатация дренажно-коллекторной сети из керамических, пластмассовых и других материалов является весьма трудоемкой, а эффективность осушительного действия со временем снижается.

Кроме того, стоки по химическому составу отличаются от природной воды, поэтому процессы заиливания материального дренажа проходят более интенсивно. Особенно это относится к химическому заиливанию соединениями железа. Эффективность осушительного действия такой сети, как показывает практика, остается сравнительно невысокой. В первую очередь это имеет место на землях атмосферного водного питания с преобладающими глинистыми и суглинистыми почвами. К этому необходимо добавить, что устройство материального дренажа (пластмассового, керамического и т. д.) является дорогостоящим мероприятием. Как вариант снижения материалоемкости дренажно-сбросной сети на слабоводопроницаемых почвах целесообразно применение бессточного дренажа, который представляет собой сеть траншей, заполненных вынутым из них грунтом. При этом открытая проводящая сеть отсутствует.

Механизм действия такой осушительной системы следующий. Атмосферные осадки, талая дождевая вода или поливные воды, стекая по поверхности почвы либо внутрипочвенным путем, достигают траншей с разрыхленным грунтом и сравнительно легко доходят до ее дна. Аккумулируясь и растекаясь в подпочвенном горизонте, вода образует временный подвешенный водоносный слой. При этом верхние слои почвы быстрее освобождаются от избытка влаги и обеспечивают благоприятный водный режим для растений. В засушливый период, когда верхний корнеобитаемый слой почвы иссушается, поступление влаги из подвешенного водоносного слоя происходит за счет капиллярных сил. Таким образом, поглощающие дрены участвуют в регулировании водного режима почвы, обеспечивая улучшение условий для растений. Обычно поглощающий дренаж устраивается поперек уклона поверхности почвы. Его глубина может колебаться от 0,8 до 1,2 м, а расстояние между соседними дренажами может составлять 5–20 м.

За прошедшие десятилетия накоплен большой опыт технологии внесения жидкого навоза и животноводческих стоков. Широко применяется технология внесения стоков мобильным транспортом.

Однако данная технология, как показывает практика, не обеспечивает решения проблемы утилизации всего объема стоков, образующихся на фермах. Поэтому на специализированных мелиоративных системах в основном применяют дождевание, крайне редко - подпочвенное орошение.

Для изучения возможности применения агромелиоративных мероприятий в сочетании с поглощающим дренажем были проведены многолетние производственные опыты, схема которых включала следующие варианты (таблица 6).

Т а б л и ц а 6– Схема опыта по изучению работоспособности поглощающего дренажа и агромелиоративных мероприятий

18

Номер варианта	Вид агромелиоративной обработки
1	Без орошения стоками и мелиоративных мероприятий (абсолютный контроль)
2	Орошение стоками без мелиоративных мероприятий (контроль)
3	Орошение стоками + поглощающий дренаж
4	Орошение стоками + поглощающий дренаж в сочетании с почвоуглублением на 30 см
5	Орошение стоками + поглощающий дренаж в сочетании с рыхлением на глубину 60 см
6	Орошение стоками + поглощающий дренаж в сочетании с внесением соломы в почву в количестве 4 т/га
7	Орошение стоками + поглощающий дренаж в сочетании с почвоуглублением и внесением соломы в почву в количестве 4 т/га
8	Орошение стоками + поглощающий дренаж в сочетании с рыхлением на глубину 60 см и внесением соломы в почву в количестве 4 т/га

Варианты опыта характеризовались следующими параметрами. В варианте 1 обработка почвы и поливы не проводились. В варианте 2 обработка почвы не проводилась, но осуществлялись поливы стоками.

В вариантах опыта 3–8 поглощающие дрены представляли собой траншеи глубиной 0,8 м. На дно траншей укладывался слой соломы или растительных остатков слоем 20 см. После этого траншеи засыпались вынутым грунтом (рис. 2). Расстояние между соседними поглощающими дренами принималось равным 10 м. Траншеи устраивались узкотраншейным экскаватором и имели ширину 20 см. Для повышения эффективности перевода поверхностного стока во внутрипочвенный через 5 м по длине поглощающей дрены устраивались фильтрационные окна с использованием для этой цели пожнивных остатков. Уклон дрен составлял в среднем 0,002. В варианте 4 кроме поглощающих дрен выполнялось почвоуглубление путем припахивания подпахотного горизонта с глубиной почвоуглубления 30 см.

Вариант 5 представлял собой сочетание поглощающего дренажа с рыхлением на глубину 60 см, чтобы не повредить закрытые дрены. Рыхление осуществлялось рыхлителем-щелевателем РЩ-3,5. В варианте 6 наряду с поглощающим дренажем производилось запахивание соломы в количестве 4 т/га. Предварительно солома измельчалась и по возможности равномерно распределялась по поверхности участка, затем проводился полив стоками свиноподкомплекс, а после подсыхания поверхности производилось запахивание на глубину 20–25 см.

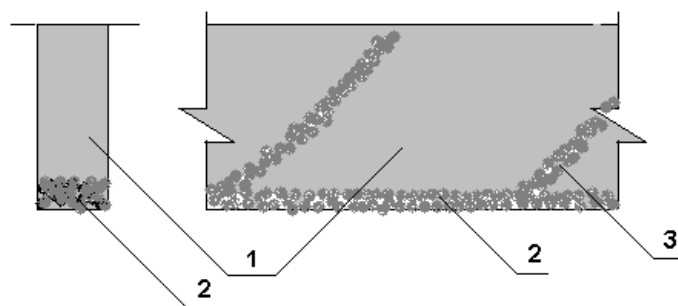


Рисунок 2– Схема поглощающей дрены, использованной в опытах:
 1 – траншея, заполненная почвогрунтом; 2 – пожнивные остатки, уложенные на дно траншеи; 3 – слой пожнивных остатков, соединяющий пахотный горизонт с дном траншеи

19

Вариант 7 сочетал в себе технологии вариантов 4 и 6. По поверхности участка распределялись солома и пожнивные остатки, затем следовал полив стоками, и после этого проводилась глубокая вспашка с припахиванием подпахотного горизонта по аналогии с вариантом 4. В варианте 8 после выполнения поглощающего дренажа проводилось рыхление на глубину 60 см, затем по поверхности распределялась солома, следовал полив стоками в качестве органических удобрений и только потом проводилась обычная вспашка.

После устройства поглощающего дренажа и проведения агромелиоративных мероприятий осенью было выполнено залужение опытного участка с посевом злаковых многолетних трав.

Орошение навозными стоками свинокомплекса проводилось годовой нормой по азоту 250–300 кг/га при среднем значении 280 кг/га. Годовая норма вносилась дробно. Сроки внесения стоков под многолетние травы были следующими: первое внесение – весной при возобновлении вегетации; последующие – после очередных укосов. Если увлажнительный эффект стоков не обеспечивал требуемый уровень влажности в расчетном слое, то проводилось дополнительное увлажнение природной чистой водой. При этом поливы на опытных делянках назначались при снижении влажности почвы до уровня 75–80 % НВ в слое почвы 0,5 м.

Третий вопрос

Плодородие и урожай сельскохозяйственных культур во многом зависят от агрофизических и водно-физических свойств почвы, которые определяют содержание в ней воды и воздуха.

В результате систематических обработок почвы происходит механическое разрушение структуры пахотного и подпахотных слоев. Вместе с тем внесение животноводческих стоков способствует оструктурированию почв в результате агрегирования мелких фракций. Эти факторы в определенной степени влияют на исходное состояние микроагрегатного состава почвы.

Представленные в табл. 6 результаты анализов гранулометрического состава показали, что внесение животноводческих стоков не оказывало заметного влияния на изменение гранулометрического состава дерново-подзолистых почв. Как в контроле без внесения стоков, так и при их внесении содержание частиц определенного размера по почвенным слоям оставалось практически одинаковым. Прослеживалась тенденция незначительного снижения содержания илистых фракций в верхнем слое почвы (0–20 см) и перемещения их в подпахотные слои (20–60 см).

Орошение животноводческими стоками, не оказывая практического влияния на гранулометрический состав, изменяло структурно-агрегатный состав почвы, который непосредственно влияет на ее водно-воздушный и питательный режимы. Известно, что наличие боль-

шого количества илистой и коллоидной фракций в минеральной части почвы вместе с органическим веществом способствует образованию водопрочных макро- и микроагрегатов. Причем в формировании макроструктуры почвы важную роль играет процесс образования прочных, неразмываемых водой отдельностей.

Таблица 6– Гранулометрический состав почвы при удобрительном орошении животноводческими стоками (средние данные за 15 лет)

Слой почвы, см	Содержание фракций размером (мм), %					
	>0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	>0,01
20 Вариант 1 (без внесения стоков и агромероприятий)						
0–20	11,4	61,6	8,2	8,2	10,6	27,0
20–40	12,2	63,2	6,4	6,9	11,3	24,6
40–60	13,5	62,5	5,6	5,9	12,5	24,0
Вариант 3 (поглощающий дренаж без агромероприятий)						
0–20	12,6	60,4	9,5	8,2	9,3	27,0
20–40	11,9	64,2	7,1	6,2	10,6	23,9
40–60	14,2	62,8	5,2	3,6	14,2	23,0
Вариант 5 (поглощающий дренаж + рыхление)						
0–20	12,1	62,9	8,7	5,7	10,6	25,0
20–40	12,7	61,7	6,3	6,5	12,8	25,6
40–60	13,5	63,3	4,9	6,5	11,8	23,2
Вариант 8 (поглощающий дренаж с глубоким рыхлением и внесением соломы)						
0–20	11,8	60,8	7,9	11,1	8,4	27,4
20–40	13,5	61,7	6,8	3,4	14,6	24,8
40–60	14,1	62,9	4,6	4,3	14,1	23,0

Наряду с макроструктурой (агрегаты более 0,25 мм) большое значение для оценки свойства почвы имеет ее микроструктура. Она также должна быть водопрочной и пористой. При этом наилучшее соотношение размеров микроструктуры соответствует величинам частиц 0,25–0,05–0,01 мм.

Различные агрегаты только тогда являются показателями степени физического состояния почвы, когда обладают достаточной водопрочностью. Это свойство обусловлено физико-химической связью минеральной и органической частей почвы. Водопрочность повышается при окультуривании почвы и внесении органических удобрений. Микроструктура, будучи водопрочной, непосредственно повышает влаго-емкость почв, улучшает водо- и воздухопроницаемость, играя роль песчаных зерен и лессовидной фракции. Вместе с тем она превосходит последние по качеству, так как в отличие от песчаных зерен и крупной пыли микроагрегаты обладают внутриагрегатной порозностью, где сосредоточивается вода, микроорганизмы, корневые волоски.

Из сказанного следует, что при оценке структуры нельзя ограничиваться только макроагрегатным анализом почвы, также необходимо проводить и микроагрегатный анализ при мокром просеивании, поскольку для свойств почв, особенно физических, очень важен качественный состав микроагрегатов.

Согласно данным проведенных опытов, представленным в табл. 7, можно сделать вывод о том, что использование сточных вод свинокомплексов для удобрительного орошения способствовало оструктуриванию пахотного слоя почвы. Так, при сухом просеивании содержание агрономически ценных агрегатов в пахотном слое почвы (0–20 см) в контроле составля-

до 72,9 %, а при внесении стоков на фоне поглощающего дренажа количество их увеличилось до 76,8 %.

Таблица 7– Влияние животноводческих стоков и мелиоративных мероприятий на структурное состояние слоя почвы 0–20 см (средние данные за 15 лет)

Размер фракций, мм	Сухое просеивание по вариантам				Мокрое просеивание по вариантам			
	1	3	5	8	1	3	5	8
21 >10	4,5	3,9	5,4	3,1	–	–	–	–
10–0,25	72,9	76,8	77,3	82,4	27,4	31,4	32,6	37,2
<0,25	22,6	19,3	17,3	14,5	72,6	68,6	67,4	62,8

Проведение рыхления на глубину 60 см при орошении животноводческими стоками (вариант 5) способствовало увеличению содержания агрономически ценных агрегатов до 77,3 %. Наибольшее содержание их отмечалось на фоне поглощающего дренажа, глубокого рыхления, внесения в почву соломы (вариант 8). Здесь содержание агрономически ценных агрегатов составляло 82,4 % и было больше, чем в контроле (вариант 1), на 9,5 %. Это свидетельствует о том, что наиболее оструктуренной была почва в варианте 8 с поглощающим дренажем, глубоким рыхлением и внесением в почву соломы.

В целом полученные данные указывают на улучшение агрегатного состава почвы при орошении стоками свиноводческого комплекса, особенно на фоне поглощающего дренажа в сочетании с глубоким рыхлением. Солома, спустя три года после внесения ее в почву, в количестве 4,0 т/га на фоне поглощающего дренажа и глубокого рыхления обеспечивала улучшение агрегатного состава в наибольшей степени.

Большое значение для агрономической характеристики почвы имеет водопрочность ее структуры, т. е. образование прочных, неразмываемых в воде отдельностей. Такая структура образуется в результате скрепления отдельных частиц органоминеральными коллоидами. Почвы, обладающие водопрочной структурой, имеют благоприятный для развития растений водно-воздушный режим и хорошие механические свойства.

Опытные данные, приведенные в табл. 7, показали, что одновременно с увеличением количества агрономически ценных агрегатов при внесении в почву свиноводческих стоков увеличился процент водопрочных агрегатов более 0,25 мм, особенно на фоне агро-мелиоративных приемов, а также при внесении в почву соломы. Так, в контроле содержание водопрочных агрегатов более 0,25 мм в верхнем пахотном слое (0–20 см) составило 27,4 %. При внесении ежегодной нормы по азоту 280 кг/га на фоне поглощающего дренажа (вариант 3) это увеличение было 31,4 %. Проведение рыхления на глубину 60 см на фоне поглощающего дренажа обеспечило повышение содержания водопрочных агрегатов до 32,6 %, а при дополнительном внесении соломы – до 37,2 %. Следовательно, внесение животноводческих стоков способствовало заметному улучшению структурно-агрегатного состава почвы и повышению водопрочности почвенных агрегатов. При этом наибольшее оструктуривание отмечалось в варианте 8 при внесении стоков на фоне поглощающего дренажа, глубокого рыхления и внесения соломы.

Следует отметить, что плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур во многом зависят от строения пахотного слоя, которое оказывает непосредственное влияние на соотношение воздуха и воды в почве. Плотность сложения и пористость почвы, в свою очередь, определяются минералогическим, гранулометрическим и структурно-агрегатным составом. Они весьма неустойчивы и могут существенно изменяться в зависимости от природных факторов, технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Для большинства расте-

ний оптимальная плотность находится в пределах 1,10–1,30 г/см³. При значениях, превышающих 1,4 г/см³, проникновение корней в почву затруднено, что отрицательно влияет на продуктивность растений.

Орошение животноводческими стоками, содержащими органические вещества и минеральные примеси, оказывало влияние на плотность сложения почвы (табл. 9.8). В приведенной таблице представлены данные о плотности метрового слоя почвы в характерные по увлажнению годы: 1999 – засушливый, 2003, 2005, 2009 – влажный, 2010, 2014 – среднепогодный.

В начале исследований (1999 г.) плотность сложения активного слоя почвы изменялась в зависимости от особенностей воздействия агромероприятий. В пахотном слое почвы (0–20 см), где сосредоточена основная масса корней, плотность сложения была наиболее благоприятной и изменялась в вариантах опыта от 1,22 до 1,28 г/см³. Наименьшие значения ее характерны для участков, где вносилась в почву солома. В слое почвы 0–40 см плотность сложения в вариантах с агромероприятиями уменьшалась по сравнению с контролем на 0,06–0,12 г/см³, или на 4,4–7,4 %, и наименьшие значения ее зафиксированы в вариантах с агромероприятиями и запахиванием соломы (вариант 8).

Т а б л и ц а 8– Плотность сложения почвы при орошении животноводческими стоками по вариантам опыта, г/см³

Слой почвы, см	Варианты опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1999 г.								
0–20	1,25	1,28	1,27	1,26	1,26	1,24	1,23	1,22
0–40	1,36	1,38	1,37	1,30	1,28	1,36	1,28	1,26
0–60	1,41	1,42	1,41	1,38	1,31	1,40	1,34	1,29
0–100	1,45	1,45	1,44	1,42	1,38	1,44	1,41	1,37
2005 г.								
0–20	1,28	1,32	1,31	1,30	1,28	1,26	1,26	1,26
0–40	1,37	1,40	1,39	1,38	1,36	1,38	1,37	1,35
0–60	1,41	1,43	1,42	1,42	1,40	1,42	1,41	1,39
0–100	1,46	1,46	1,45	1,43	1,41	1,45	1,43	1,40
2009 г.								
0–20	1,25	1,27	1,26	1,25	1,25	1,25	1,24	1,24
0–40	1,38	1,39	1,37	1,35	1,29	1,35	1,29	1,25
0–60	1,42	1,43	1,42	1,39	1,31	1,40	1,35	1,28
0–100	1,45	1,46	1,45	1,43	1,40	1,42	1,40	1,37
2010 г.								
0–20	1,26	1,28	1,28	1,26	1,25	1,26	1,25	1,24
0–40	1,39	1,40	1,38	1,35	1,30	1,37	1,33	1,28
0–60	1,43	1,43	1,42	1,40	1,32	1,42	1,38	1,30
0–100	1,45	1,46	1,45	1,45	1,44	1,45	1,44	1,40
2014 г.								
0–20	1,29	1,32	1,31	1,30	1,29	1,30	1,29	1,29
0–40	1,41	1,41	1,40	1,40	1,39	1,40	1,39	1,39
0–60	1,44	1,44	1,44	1,43	1,44	1,44	1,43	1,42
0–100	1,45	1,46	1,45	1,45	1,45	1,45	1,44	1,45

Разуплотнение почвы до 60 см было достигнуто только в вариантах 5 и 8, где проводилось рыхление. Здесь плотность сложения в слое почвы 0–60 см составила 1,29–1,31 г/см³ и была ниже, чем в контрольном варианте, на 0,10–0,12 г/см³, или 7,1–8,5 %. В более глубоких почвенных горизонтах плотность сложения практически не отличалась от исходной.

В пахотном слое 0–20 см при проведении удобрительных поливов (вариант 2) плотность сложения была больше, чем в контроле (вариант 1), на 0,02 г/см³. Однако в вариантах с агроメリоративными мероприятиями на фоне поглощающего дренажа (варианты 4 и 5) плотность сложения по сравнению с вариантом 2 уменьшилась на 0,02 г/см³, а при внесении соломы (варианты 7 и 8) – до 0,04 г/см³, или 3,1 %. В слое почвы 0–40 см сочетание поглощающего дренажа с агроメリоративными мероприятиями и внесением соломы (варианты 7 и 8) обеспечивало снижение значений плотности сложения на 0,11 г/см³, или 7,9 %, по сравнению с вариантом 2, где проводился полив только сточными водами. В почвенном слое 0–60 см разуплотнение почвы отмечалось на четвертый год последствия только в вариантах с глубоким рыхлением (на 0,10–0,12 г/см³, или 7,0–8,5 %) по сравнению с вариантом 2, где только проводились поливы животноводческими стоками.

На шестой год после проведения агроメリоративных мероприятий (2005 г.) влияние их на снижение плотности почвы практически не отмечено. Из анализа полученных данных можно заключить, что действие агроメリоративных мероприятий глубокого рыхления на снижение плотности сложения сохраняется в течение шести лет.

Дождевание животноводческими стоками свиного комплекса приводило к уплотнению верхних почвенных слоев. В пахотном слое 0–20 см плотность сложения составила 1,32 г/см³ (вариант 2), что по сравнению с контролем на 4,8 % больше.

Следует отметить, что на фоне поглощающего дренажа и агроメリоративных мероприятий имеет место увеличение плотности почвы при удобрительном орошении свиноводческими стоками, но ее показатели остаются ниже, чем в контрольном варианте. Орошение стоками без агроメリорации приводило к увеличению плотности в среднем на 4 %. Аналогичные закономерности отмечены и другими авторами.

Результаты определения плотности сложения в 2009, 2010 и 2014 гг. показали, что в год проведения агроメリоративных мероприятий (2009 г.) плотность сложения заметно уменьшилась в слое почвы 0–40 см, а при проведении глубокого рыхления – на 0–60 см. В пахотном слое плотность изменялась в вариантах опыта в пределах 1,24–1,27 г/см³. Здесь незначительное снижение плотности сложения было отмечено только в вариантах с почвоуглублением и глубоким рыхлением. Более выражено разуплотнение почвенного слоя 0–40 см. По сравнению с вариантом 2 плотность сложения в вариантах с почвоуглублением уменьшилась до 7,2 %, а в вариантах с глубоким рыхлением – до 10,1 %. Заметные разуплотнения в слое 0–60 см были зафиксированы только в вариантах 5 и 8. Здесь плотность сложения уменьшилась по сравнению с вариантом 2 на 8,4–10,2 %.

В 2010 г. плотность в пахотном слое уменьшилась на 0,02–0,04 г/см³, или 1,6–3,5 %. Более заметное разуплотнение наблюдалось в слое почвы 0–40 см. По сравнению с вариантом 2 плотность сложения в вариантах с почвоуглублением и внесением соломы снизилась на 0,05–0,07 г/см³, или 3,6–5,0 %, а при глубоком рыхлении – на 0,10–0,12 г/см³, или 7,1–8,6 %. В слое почвы 0–60 см заметное разуплотнение отмечалось только в вариантах 5 и 8 с глубоким рыхлением. По сравнению с вариантом 2 глубокое рыхление и запахивание соломы обеспечили снижение плотности почвы на 0,11–0,13 г/см³, или 7,7–9,1 %.

В 2014 г. агроメリоративные мероприятия на разуплотнение почвы влияния практически не оказывали. При этом только в слое почвы 0–60 см при проведении глубокого рыхления плотность сложения была меньше на 0,02 г/см³ по сравнению с вариантом полива животноводческими стоками без проведения агроメリоративных мероприятий и поглощающего дренажа. Увеличение плотности при орошении обусловлено передвижением сельскохозяйственной техники по увлажненной почве. В вариантах с запахиванием соломы и агроメリоративными мероприятиями в разрыхленных слоях почвы плотность сложения была ниже,

чем в контроле, на 5–10 % и применение свиноводческих стоков за период исследований не отразилось на изменении плотности почвы.

Так, из анализа данных следует, что работоспособность поглощающего дренажа и почвоуглубления сохраняется в течение 4–5 лет, поглощающего дренажа в сочетании с рыхлением и запахиванием соломы – 5–6 лет. Наибольший эффект обеспечивает вариант поглощающего дренажа в сочетании с рыхлением на глубину 60 см и запахиванием соломы. По полученным данным работоспособность такого варианта агроулучшения составляет до 8 лет.

Так как в ходе опытов существенное изменение плотности твердой фазы почвы не было установлено, то изменение пористости происходило в обратной зависимости от плотности укладки почвы. Орошение животноводческими стоками на фоне агроулучшающих мероприятий приводило к увеличению пористости почвы (табл. 9).

Т а б л и ц а 9–. Пористость почвы при орошении животноводческими стоками по вариантам опыта, %

Слой почвы, см	Варианты опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
В год устройства								
0–20	49,2	48,0	48,4	48,8	48,8	50,1	51,1	52,1
0–40	46,0	45,2	45,6	48,4	48,8	46,0	49,2	49,6
0–60	44,0	43,7	44,0	46,0	48,0	44,4	46,8	48,8
0–100	43,6	43,6	44,0	44,7	46,3	44,0	45,1	46,7
Через 3 года								
0–20	48,9	47,1	47,1	48,1	48,3	49,3	49,4	49,5
0–40	45,9	44,8	45,1	48,0	47,9	45,9	48,6	49,1
0–60	44,1	43,3	43,9	45,2	47,1	44,1	46,1	48,1
0–100	43,6	43,6	43,8	44,7	46,0	43,9	44,8	45,8
Через 6 лет								
0–20	48,8	46,3	46,7	47,6	48,2	48,8	48,9	48,8
0–40	45,6	44,4	44,8	46,8	47,6	45,2	48,0	48,4
0–60	44,0	43,3	43,7	44,9	46,4	43,7	45,3	46,4
0–100	43,2	43,2	43,6	44,5	45,1	43,5	44,3	45,5

В начале исследований пористость почвы была наиболее благоприятной в вариантах с применением агроулучшающих мероприятий и внесения соломы и составляла 50,1–52,1 %. Без запахивания соломы и в контроле в слое 0–20 см она находилась в пределах 48,0–49,2 %. В разрыхленных горизонтах почвы на фоне агроулучшающих мероприятий пористость почвы по сравнению с вариантом 2 увеличивалась с 48,0 до 48,8 %. При длительном орошении животноводческими стоками в течение всего периода исследований наблюдалась тенденция снижения пористости как в вариантах с агроулучшающими мероприятиями, так и без них.

При этом на участках, где применялось внесение соломы, показатели пористости почвы практически не изменялись по сравнению с исходными данными. На фоне поглощающего дренажа в сочетании с рыхлением и запахиванием соломы пористость в слое почвы 0–60 см после трехлетнего внесения животноводческих стоков составляла 48,1 % и была выше на 5,2 %, чем в варианте 2. По сравнению с началом исследований пористость почвы к концу исследований в этих вариантах снизилась. Следовательно, удобрительное орошение животноводческими стоками в первые три года несущественно снижает пористость почвы, но при внесении в почву соломы и проведении рыхления на фоне поглощающего дренажа происходит заметное увеличение пористости по сравнению с контролем. Исходя из этого, можно

сделать вывод, что при использовании сточных вод свинокомплексов для орошения необходимо предусматривать комплекс мероприятий, включающих поглощающий дренаж, глубокое рыхление и внесение в почву соломы. Эти мероприятия направлены на улучшение физических свойств почвы.

9.4 Биоинженерные сооружения по очистке сточных и возвратных вод

25

В условиях Беларуси использование жидкой фракции стоков на орошение осуществляется в основном на землях осушенных гончарным дренажем, основным назначением которого является отвод избыточных вод. Наличие осушительной сети позволяет одновременно осуществлять перехват загрязненного дренажного стока с аккумулярованием его в пруде-накопителе.

В силу того, что дренажный сток, как правило, загрязнен аммонием и другими соединениями, сброс его в открытые водоемы недопустим.

Для предупреждения загрязнения природных вод в состав специализированных мелиоративных систем должны включаться сооружения, которые обеспечивали бы дополнительную очистку сбросных вод. В этой связи учеными и специалистами практиками разрабатываются различные конструкции отстойников, биоплато и т. д. К ним предъявляются следующие основные требования:

- положительная природоохранная основа (предупреждение загрязнения поверхностных и грунтовых вод, деградации и загрязнения почв; ликвидация эрозии и др.);
- достаточная простота конструктивного и технологического исполнения;
- экономичность (подтверждается экономическим эффектом).

В качестве дополнительных требований можно отметить малую энергоемкость, возможность использования местных недефицитных материалов.

В последнее время обращается значительное внимание на естественные процессы самоочищения воды с использованием очистительной способности гидромакрофитов и микрофитов.

Гидромакрофиты, или высшая водная растительность (ВВР), используются в биологических отстойниках различного вида, на ботанических площадках, в биопрудах, фитофльтрационных устройствах, биоинженерных сооружениях регулирования качества воды и т. д. Это вызвано тем, что ВВР обладает значительной поглощательной способностью солей, в том числе и тяжелых металлов. В частности, в 1 кг воздушно-сухой массы тростника обыкновенного накапливается азота 20–26 г, фосфора – 10–20 г, калия – 10–30 г. Таким образом, 1 кг стеблей и корней может накопить 200–250 г нитратов, 100–125 г фосфора, 20–90 г калия [50]. Все это дает предпосылки для использования ВВР в качестве очистительного компонента в мелиоративных системах.

В КУСХП «Северный» Городокского района Витебской области были и созданы биоинженерные сооружения (рис. 9.4). Доочистка загрязненных вод происходит в результате фильтрации их через почву (в дне пруда первой ступени очистки заложен дренаж), а также за счет высшей водной растительности (рогоз, камыш), произрастающей преимущественно в 2-м пруде. Очищенная вода из второго пруда сбрасывается в водоприемник (р. Кабищанка) или в случае необходимости направляется на доочистку в биоканал, длина которого составляет 300 м. В его ложе также произрастает рогоз. Конструкция БИС позволяет сбрасывать воду после любой ступени очистки. Такие сооружения обеспечивают высокий водоохраный эффект. В них степень доочистки составляет по азоту аммонийному около 85–95 %, фосфору – 60–80 %, БПК₅ – от 86 до 95 % (Г. П. Щитников и др., 2005; П. Ф. Тиво и др., 2006).

Для улучшения впитывающей способности суглинистых почв необходимо перед залужением участка проводить разуплотнение подпахотного слоя, кротование и после залужения по мере надобности щелевание. Для этой цели, как показывают исследования БГСХА, можно использовать также специальный водоналивной каток, по окружности которого шарнирно установлены зубья. С их помощью в дернине трав делаются вертикальные проколы диаметром 16–20 мм, где в процессе дождевания и задерживается поливная жидкость.

Для предотвращения просачивания биогенных элементов в нижележащие горизонты объем жидкой фракции стоков, вносимой за один прием, не должен превышать величину водоудерживающей способности корнеобитаемого слоя почвы.

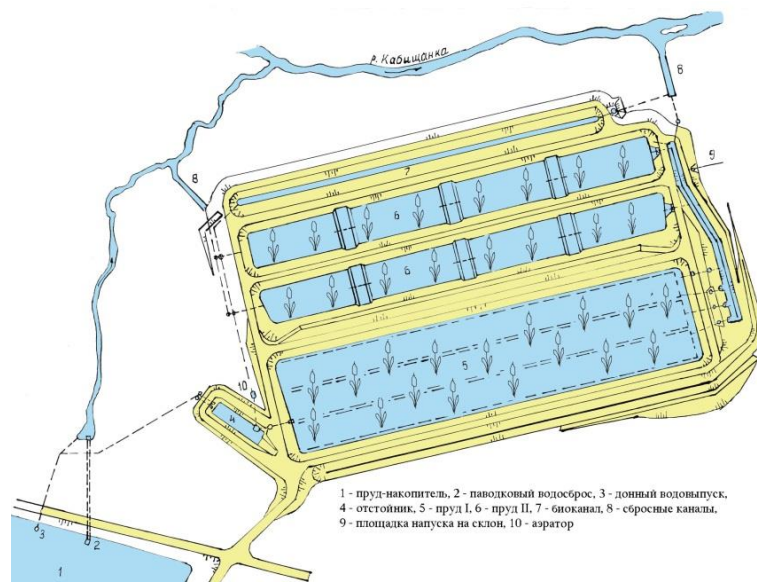


Рисунок 9.4— Схема биоинженерных сооружений

Для доочистки возвратных вод (дренажного и поверхностного стока) можно использовать также полив напуском по склону, устроенному на связных почвах. Первый вариант (рис. 9.5) конструктивно выполняется на склоне, засеянном травой, и содержит ороситель, представляющий собой, например, перфорированный трубопровод, уложенный поверх слоя водопоглощающего материала в траншею (или борозду), нижняя часть которой соединена с дневной поверхностью склона кротовинами.

Работа на сельскохозяйственном поле осуществляется следующим образом. Очищаемая жидкость подается в ороситель, из которого она фильтруется через водопоглощающий материал траншеи, проходит предварительную очистку от взвешенных частиц и попадает в кротовины. Последние закладываются с уклоном, обеспечивающим незаилающие и неразмывающие скорости движения воды в них. Протекая по кротовинам, загрязненная вода взаимодействует с почвой и выходит по ним на поверхность склона. Затем она перехватывается траншеей с водопоглощающим материалом и процесс повторяется, что в итоге обеспечивает доочистку стоков.

Второй вариант сельскохозяйственного поля орошения также располагается на склоне, засеянном травой, поперек которого выполнены пористые засеваемые валики из смеси равных частей торфа, песка и растительной массы. Для обеспечения почвенной очистки поверхность склона разрыхлена на глубину перегнойного горизонта, а подстилающий слой уплотнен. Очистка загрязненного поверхностного стока происходит в результате фильтрации его через пористые валики, а также перемещения по разрыхленному перегнойному горизонту и поверхности почвы.

Особенностью третьего варианта является наличие на засеянном склоне кротовин. Их выполняют в несколько ярусов таким образом, чтобы они соединяли поверхность склона с перехватывающими траншеями, располагающимися поперек склона. Причем кротовины устроены с различным уклоном. В верхней части склона кротовины нижнего яруса выполнены с положительным уклоном, среднего – с нулевым, а верхнего – с отрицательным. В нижней части склона все кротовины имеют отрицательный уклон. Здесь может очищаться жидкость, загрязненная большим количеством взвешенных веществ, после этого она попадает в перехватывающую канаву, расположенную в нижней части склона, а из нее – на орошение, технические цели или на сброс. После заиления всех кротовин и перехватывающих траншей поле перепахивается и используется для выращивания сельскохозяйственных культур.

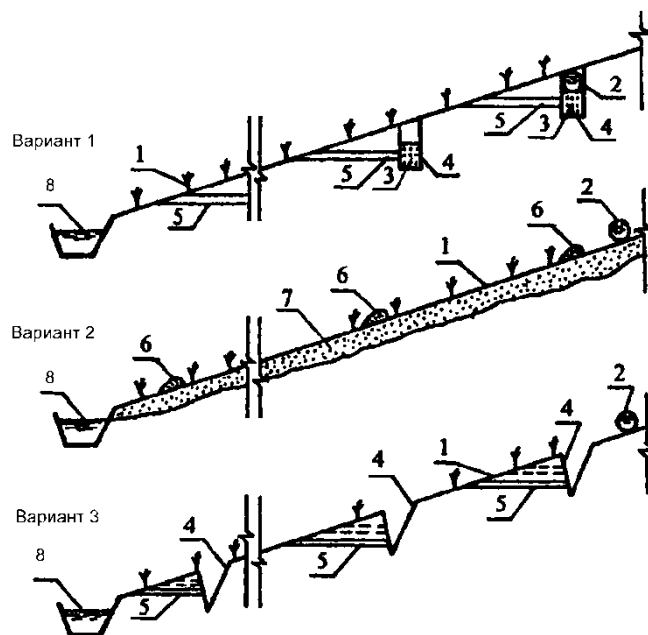


Рисунок 9.5– Земледельческие поля орошения для доочистки возвратных вод: 1 – засеянный склон; 2 – ороситель; 3 – водопоглощающий материал; 4 – траншея (борозда); 5 – кротовина; 6 – пористые валики; 7 – разрыхленный слой; 8 – перехватывающая (водосборная) канава

В плане траншеи выполняются поперек склона приблизительно параллельно его горизонталям. Число ярусов траншей принимают в зависимости от требуемой степени очистки (не менее 2–3). Допустимые уклоны поверхности должны быть 0,2–0,04, оптимальная глубина траншей – 0,6–1,0 м.

Кротовины выполняются перпендикулярно траншее (при больших уклонах поверхности с целью увеличения длины кротовины допускается закладывать их под углом к траншеям). Расстояние между кротовинами должно быть 1–1,5 м. Они должны соединять нижнюю часть траншеи с дневной поверхностью склона, причем уклон их принимают в пределах 0,002–0,005. Расстояние между траншеями определяется из соотношения

$$B = t(i_1 - i_2)l, \quad (9.1)$$

где B – расстояние между траншеями, м;

t – глубина траншей, м;

i_1 – уклон поверхности склона;

i_2 – уклон дна кротовин;

l – технологический запас на аэрацию стоков и очистку их растениями, принимаемый в пределах 10–15 м.

Ориентировочные параметры поливного участка приведены в табл. 9.11. В ней указана длина склона, необходимая для наибольшей очистки стоков (применительно к возвратным водам допустимо ее уменьшение в 1,5–2 раза).

Т а б л и ц а 9.11– Параметры поливного участка земельного поля орошения для очистки сточных и доочистки возвратных вод (1-й вариант)

Уклон поверхности склона	Средняя длина кротовин, м	Расстояние между траншеями, м	Требуемая длина склона, м
0,20	5	16–20	80
0,15	7	18–22	75
0,10	10	19–23	70
0,08	12	20–24	65
0,06	18	23–27	60
0,04	26	29–33	60

В качестве водопоглощающего материала можно использовать торф и солому (или пожнивные остатки). Причем первая траншея заполняется соломой до распределительного трубопровода оросителя, который укладывают поверх соломы так, чтобы расстояние от его верха до дневной поверхности склона составляло 0,2–0,3 м.

Поверх распределительного трубопровода укладывается солома слоем 0,05–0,1 м и торф слоем 0,1–0,2 м. Траншеи остальных ярусов заполняются соломой слоем 0,4 м, а затем торфом до дневной поверхности склона.

В состав поливного участка, выполненного по второму варианту, входит засеянный травой склон, перегнойный горизонт которого разрыхлен перед посевом трав. На поверхности склона выполнены засеваемые валики из смеси торфа, песка и растительной массы.

В плане валики выполняются поперек склона приблизительно параллельно его горизонталям. Число валиков принимается в зависимости от требуемой степени очистки (не менее 3–5). Они выполняются высотой 0,15–0,25 м с коэффициентом заложения откосов $m \geq 5$ и засеваются травосмесью с нормой высева, увеличенной в 1,5–2 раза. Первый валик от трубопровода представляет собой смесь крупнозернистого песка и торфа в соотношении 1:1, второй – в соотношении 1:2, третий и последующие валики – в соотношении 1:3, а последний – соответственно 2:1.

В зависимости от уклона поверхности ориентировочно параметры поливного участка можно принять по табл. 9.12.

Т а б л и ц а 9.12– Параметры поливного участка сельскохозяйственного поля орошения для очистки сточных и доочистки возвратных вод (2-й вариант)

Уклон поверхности склона	Расстояние между траншеями, м	Требуемая длина склона, м
0,02	8–12	30
0,04	8–12	50
0,06	8–12	75
0,08	6–10	100
0,10	6–10	130

*Для доочистки возвратных вод допустимо уменьшение длины склона в 1,6–2 раза.

Участки для устройства данной системы выбираются на слабопроницаемых почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава, имеющих достаточную защищенность подземных вод от загрязнения. Суточная нагрузка стоков на 1 га площади поливного участка зависит от природных условий и состава стоков и обычно составляет около 500 м³/га в сутки.

При подготовке участка производят планировку, уборку камней и другие работы по поверхностному улучшению. Для создания плотного травяного покрова норма высева семян увеличивается также в 1,5–2 раза. В состав многолетних злаковых трав следует включать канареечник, мятлик луговой и другие влаголюбивые травы.

Эффективность очистки на этих полях очень высокая. В частности, БПК₅ снижается на 95 %, происходит практически полная очистка от взвешенных веществ.

9.5 Совершенствование проводящей сети специализированных мелиоративных систем

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 объем его повторно использовать на полив не всегда удастся.

Возможно применение нескольких вариантов.

Пруды-накопители, из которых предусмотрены сбросы воды в водоприемник, могут иметь конструкцию, обеспечивающую доочистку поступающих в них вод (рис. 9.6).

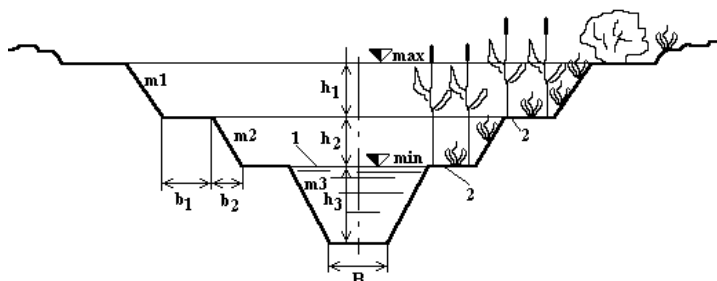


Рисунок 9.6–. Пруд-накопитель:

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

В этом случае целесообразно строительство каскада мелководных прудов, обеспечивающих оптимальные условия перемешивания воды и развития гидробионтов, способствующих самоочистительной способности прудов. Причем при перетекании воды из верхних прудов в нижние она должна аэрироваться, что может быть достигнуто применением специальных водосливов. Возможна дополнительная аэрация воды в прудах с помощью специальных приспособлений.

Большой водоохраный эффект дает применение специальных отстойников, которые могут также выполнять функции прудов-накопителей. Для улучшения условий очистки воды в таких отстойниках желательно культивировать высшую водную растительность, обладающую высокой поглотительной способностью относительно биогенных элементов, соединений тяжелых металлов и других загрязнителей. Как указывалось выше, в 1 кг воздушно-сухой массы тростника обыкновенного накапливается 20–26 г азота, 10–20 г фосфора, 10–30 г калия. Учитывая то, что ВВР нормально развивается при определенных (различных для каждого вида макрофитов) уровнях воды, ее культивируют на специальных мелководных участках или бермах.

Доочистку возвратных вод можно выполнять и в процессе транспортировки их по проводящей сети. Для этой цели можно применять специальные биомелиоративные каналы. Схематично конструкция канала приведена на рис. 9.7.

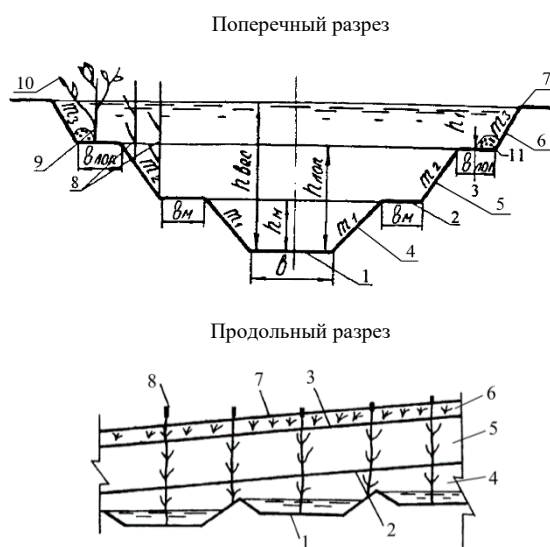


Рисунок 9.7– Конструкция биоканала:

- 1 – дно; 2 – нижняя берма; 3 – верхняя берма; 4, 5 – откосы;
6 – бровка; 7–10 – высшие водные растения; 11 – валик;

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

Конструкции этого типа совмещают функции водосборной сети и очистных сооружений, что значительно упрощает процесс доочистки возвратных вод. Однако применение для этих целей каналов общего принятого поперечного сечения связано с определенными трудностями. Это вызвано тем, что водосборные каналы обычно выполняют функции магистральных и нагорных, что обуславливает резкое изменение расхода, а следовательно, уровней и скоростей движения воды в них в разные 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 летне-осенних паводков (или регулируется длительность его в зависимости от вида ВВР).
4. Не допускается полное пересыхание воды в сооружении, если по технологическим, гидрологическим и другим 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 вышеперечисленных требований. Этот канал предназначен для сбора и 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.

Особенностями данной конструкции является то, что в канале трапецеидальной формы поперечного сечения выполняют две бермы – нижнюю (на отметке горизонта воды в бытовой период) и верхнюю (на отметке горизонта воды в период летне-осеннего дождевого паводка).

На дне канала, выполненного с чередованием участков с прямым, нулевым и обратным уклоном, но со средним уклоном в сторону водоприемника, осуществлена посадка ВВР (например, 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 того, образующийся 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). Полевые модели были построены на оросительных системах Республики Беларусь и Российской Федерации. Осредненные результаты трехлетних исследований представлены в табл. 9.13.

Т а б л и ц а 9.13– Степень очистки загрязненных вод полевой моделью биомелиоративного канала

Показатель	Концентрация ингредиентов в воде биоканала		% очистки
	Исток	Устье	
K ⁺	<u>132,7</u>	<u>31,1</u>	<u>69,7</u>
	142,6	11,5	91,9
NH ₄ ⁺	<u>219,6</u>	<u>29,1</u>	<u>71,1</u>
	63,3	3,9	93,8
Ca ²⁺	<u>50,1</u>	<u>46,3</u>	<u>12,5</u>
	34,6	25,2	27,2
Mg ²⁺	<u>23,4</u>	<u>15,7</u>	<u>35,9</u>
	16,0	8,3	48,2
NO ₃ ⁻	<u>5,4</u>	<u>1,8</u>	<u>80,9</u>
	9,4	0,7	92,6
Cl ⁻	<u>96,6</u>	<u>28,5</u>	<u>70,7</u>
	95,2	7,7	91,9

PO_4^{3-}	$\frac{6,2}{5,1}$	$\frac{1,8}{0,6}$	$\frac{66,1}{88,2}$
-------------	-------------------	-------------------	---------------------

Примечание. В числителе приведены данные по Республике Беларусь, в знаменателе – по Российской Федерации.

Из анализа приведенных данных следует, что биомелиоративный канал обладает высокой очистительной способностью и может быть использован для очистки загрязненных вод.

Основная очистка в канале происходит в бытовом периоде, 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 летне-осеннего дождевого паводка затопливается 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 затопливается и не повреждается.

Весенний паводок проходит во вневегетационный период, поэтому уровень его 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.

Для доочистки возвратных вод применимы разнообразные сооружения и конструкции. Простейшим и необходимым водоохраным сооружением является ограждающая сеть, препятствующая попаданию возвратного стока в гидрографическую сеть. Она выполняется или в виде ограждающих каналов, или в виде ограждающих засеваемых дамб (высота – 0,5–1,5 м, заложение откосов: верхового – более 3, низового – 1,5–2,5, ширина по верху – 3 м и более). В пониженных элементах рельефа, где в сбросной канал возможно сосредоточенное поступление загрязненного поверхностного стока, можно устраивать каналы-накопители-фильтры (рис. 9.8), работающие в режиме предварительной доочистки возвратных вод. Основная доочистка в этой конструкции происходит во время фильтрации загрязненного стока через ограждающие дамбы. Для дополнительной доочистки возвратных вод в каналах-накопителях рекомендуется высаживать высшую водную растительность.

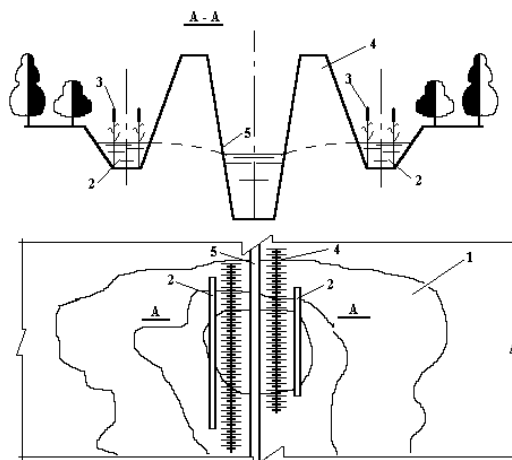


Рисунок 9.8– Канал-накопитель-фильтр:

1 – поля орошения; 2 – канал-накопитель; 3 – высшая водная растительность;
4 – ограждающая фильтрующая дамба; 5 – сбросной канал

Пруды-фильтры (рис. 9.9) работают по тому же принципу, что и каналы-накопители-фильтры. Они могут устраиваться в пониженных элементах рельефа, в том числе и непосредственно на сбросном канале – на участке предварительной или основной доочистки возвратных вод.

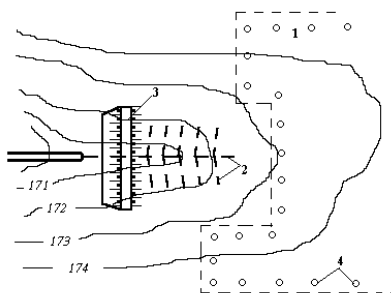


Рисунок 9.9– Пруд-фильтр:
1 – поля орошения; 2 – дренаж в ложе пруда;
3 – дамба пруда; 4 – защитные лесополосы

Биологические пруды с посадками ВВР рекомендуется применять на первой стадии доочистки возвратных вод при каскадном устройстве накопителей. В качестве ВВР (макрофитов) можно использовать рогоз узко- и широколистный, камыш, тростник, аир. Конструктивно это мелководные (1–3 м) пруды с посадками ВВР, особенностью которых является наличие альгобактериального комплекса, обеспечивающего в процессе жизнедеятельности очистку воды, в основном от биогенных элементов, органических веществ, БГКП, ПАВ, нефтепродуктов. Интродукция в прудах ВВР позволяет использовать дополнительный механизм очистки, свойственный сообществам макрофитов (минерализующая деятельность перифитона ВВР, поглощение и накопление загрязняющих элементов как самими макрофитами, так и фито- и бактериопланктоном, обитающим в их зарослях).

В значительной мере очистительная способность ВВР зависит от их вида, режима работы. В среднем содержание азота снижается на 10–80 %, органических веществ – до 90 %, взвешенных веществ – до 98 %, БГКП – на 98 %.

Ориентировочные показатели очистительной способности ВВР приведены в табл. 9.14.

Таблица 9.14–Показатели эффективности очистки сточных вод ВВР

Контролируемый показатель	До очистки ВВР (после отстаивания)	После очистки ВВР	Процент очистки
ХПК, мг O ₂ /л	50,3	10,0	19,9
ВПК, мг O ₂ /л	13,7	6,4	46,7
Щелочность, мг-экв/л	2,4	2,0	83,3
Жесткость, мг-экв/л	1,6	1,0	62,5
Хлориды, мг/л	37,9	14,5	38,2
Сульфаты, мг/л	98,0	42,1	42,9
Фосфаты, мг/л	1,4	0,3	21,4
Нитриты, мг/л	6,2	0,25	4,0
Нитраты, мг/л	2,5	1,03	41,2
Аммонийный азот, мг/л	6,9	0,94	13,6
Взвешенные вещества, мг/л	280,0	42,0	15,0
Сухой остаток, мг/л	4305,0	10,4	0,24
Общее микробное число	2,3 ¹⁰	0,4 ¹⁰	17,4

Данный способ очистки и доочистки стоков гораздо менее капиталоемкий в сравнении с промышленными способами (применением аэротенков, биофильтров и др.), но он требует использования больших водных площадей, длителен по времени и не освобождает от необходимости периодического удаления накопившихся в прудах-отстойниках илов.

Для интенсификации процесса очистки стоков, в основном в безморозные периоды, предлагается использовать культуру высшей водной растительности, способную к быстрому росту, размножению и интенсивному поглощению из водной среды практически всех биогенных элементов и их соединений. Одним из экономически эффективных способов очистки (доочистки) является метод с применением тропического цветкового растения эйхорнии (водного гиацинта). Это растение является представителем высшей водной растительности и способно к быстрому росту при периодическом удалении излишков. В процессе очистки стоков с помощью эйхорнии водные объекты освобождаются от многих биогенных элементов и их соединений, значительно снижается активность тяжелых металлов и радионуклидов. Происходит разрушение органических соединений, фенолов, нефтепродуктов, синтетических поверхностно-активных веществ.

9.6. Биологические отстойники

Способность ВВР к накоплению, утилизации, трансформации многих веществ делает их незаменимыми в процессе самоочищения водоемов. Полученные данные о проведенных работах по очистке и доочистке сточных вод с помощью ВВР отвечают требованиям и санитарно-гигиеническим показателям, предъявляемым к качеству воды, выпускаемой в естественные водоемы либо подаваемой в систему оборотного водоснабжения или для различных технологических целей. Наибольшая экологическая эффективность достигается при применении комплекса мероприятий (табл. 9.15).

Таблица 9.15– Экологическая эффективность водоохранных мероприятий по снижению содержания биогенных элементов в водных объектах

Наименование мероприятия	Экологическая эффективность, %
1. Создание в водоеме зоны высших водных растений	20–40
2. Систематическое скашивание осенью водной растительности	45–55
3. Очистка ложа от илистых отложений	20–40
4. Регулирование русел рек	10–30
5. Борьба с синезелеными водорослями	55–65
6. Оборудование мест для водопоя скота	5–15
7. Аэрация водоемов	30–50

33

Кроме биологических прудов с посадками ВВР разработаны конструкции биологических отстойников, которые представляют собой разновидность биологических прудов. Устраиваются на водосбросных каналах в пониженных элементах рельефа в виде безуклонной выемки, которая конструктивно выполняется глубже канала на 0,3–0,5 м за счет сосредоточенного прямого и обратного уклона его (рис. 9.10).

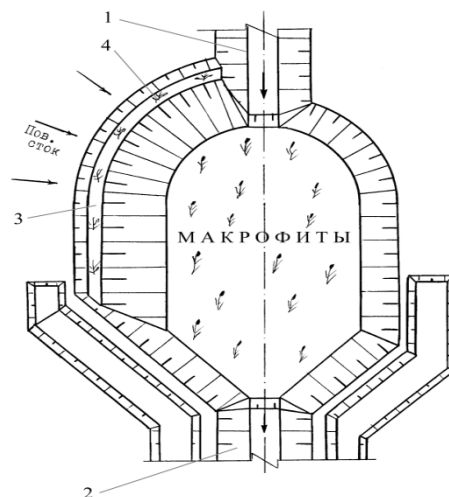


Рисунок 9.10– Биологический отстойник:
1 – подводящий канал; 2 – отводящий канал; 3 – берма;
4 – кустарниковая растительность

На дне отстойника высаживаются макрофиты. Крутизна откосов отстойника и канала принимается одинаковой за исключением откоса, где возможен сосредоточенный приток в канал поверхностного стока в месте пересечения каналом ложбины. Этот откос выполняется более пологим с коэффициентом заложения 3–6. Он закрепляется сплошной одерновкой. Для предварительной очистки поверхностного стока на этом откосе выполняется берма, на которой высаживаются кустарниковая растительность. Сужение выходной части отстойника обеспечивает повышение скоростей движения воды в нем и самопромывку этой части отстойника от наносов в период паводка. Для этой же цели входная часть отстойника выполнена криволинейной в плане, что обеспечивает завихрение воды на входе. Размеры отстойника рассчитываются исходя из необходимого времени контакта воды с ВВР в расчетный период.

Стоки, проходящие доочистку в таких отстойниках, должны быть предварительно очищены от взвешенных веществ, так как очистка отстойников без повреждения ВВР затруднительна.

Для нормальной жизнедеятельности макрофитов нежелательны большие уровни очищаемых стоков в отстойниках, поэтому подачу стоков в них желательно выполнять через водорегулирующие сооружения.

В частности, биологический отстойник можно использовать в качестве сооружения для доочистки возвратного стока, где подача очищаемой жидкости осуществляется через водосбросное регулирующее сооружение.

Размеры отстойника (площадь F , занимаемая макрофитами) определяются из соотношения

$$F = \frac{W(C_i - \text{ПДК}_i)}{V_i}, \quad (9.2)$$

где W – объем очищаемой воды, м³;

C_i – концентрация i -го загрязняющего элемента в очищаемой воде, г/м³;

ПДК _{i} – предельно допустимая концентрация i -го элемента, г/м³;

V_i – очистительная способность макрофитов по снятию i -го загрязнителя в очищаемой воде, г/м².

Расчеты проводятся для всех загрязнителей, концентрация которых превышает ПДК. За расчетную площадь принимается наименьшая.

В данной конструкции рекомендуется использовать автоматические водосбросы, причем забор воды должен осуществляться не только с поверхности, но и из глубины накопителя – для улучшения его санитарного состояния.

Накопитель также можно использовать для частичной доочистки стоков посредством ВВР, которую культивируют на специальных бермах для обеспечения нормальных условий ее жизнедеятельности.

Эффективность очистки возвратного стока может быть существенно повышена применением специальных отстойников. Конструкция одного из них приведена на рис. 9.11.

Отстойник работает следующим образом. Загрязненная вода через входной канал 1 подается в первую секцию 3 отстойника. Вследствие резкого увеличения площади живого сечения потока скорость движения воды уменьшается и взвешенные вещества выпадают на дно первой секции 3.

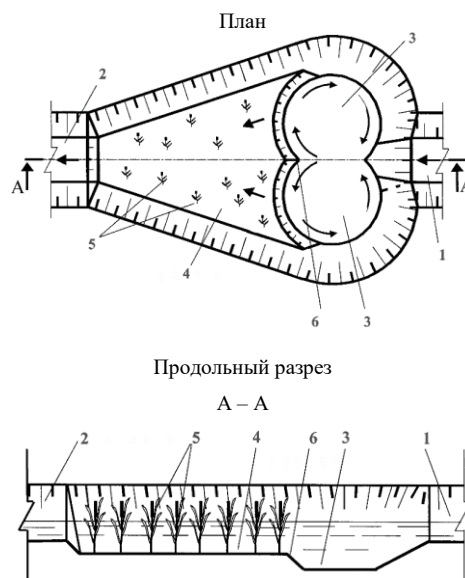


Рисунок 9.11– Гравитационно-биологический отстойник

для очистки загрязненных вод:

- 1 – входной канал; 2 – выходной канал;
- 3, 4 – секции отстойника; 5 – высшая водная растительность; 6 – струенаправляющая грань

В связи с тем что первая секция 3 отстойника выполнена глубиной большей, чем вторая секция 4, а также с тем, что первая секция 3 в плане выполнена в виде окружностей, сопряжение секций отстойника 3 и 4 образует струенаправляющую грань 6. Ось входного канала пересекает окружности, образующие первую секцию 3 отстойника, по хорде длиной меньше их диаметра, поэтому во время движения воды по первой секции 3 поток воды отклоняется в стороны струенаправляющей гранью 6. Возникает медленное круговое движение воды. Путь прохождения ее по первой секции 3 отстойника значительно увеличивается, что способствует более полному выпадению взвешенных частиц в осадок.

По мере заполнения первой секции 3 отстойника верхний (наиболее очищенный) слой воды переливается через струенаправляющую грань 6 и поступает во вторую секцию 4 с высшей водной растительностью 5, где происходит биологическая очистка воды от растворенных в ней химических соединений.

При пропуске промывных расходов (например, наименее загрязненных химическими соединениями паводковых вод – при использовании отстойника в качестве конструктивного элемента гидромелиоративных систем) повышенные скорости потока с круговым движением способствуют промывке первой секции 3 отстойника.

При недостаточности промывки можно периодически подчищать эту секцию экскаваторами, причем высшая водная растительность 5 не повреждается, так как она культивируется только во второй секции 4 отстойника.

Вторая секция 4 отстойника в плане выполнена сужающейся к выходному каналу 2, что приводит к постепенному увеличению скорости потока и препятствует заилению этой секции.

Вторая секция 4 отстойника в вертикальной плоскости выполнена глубже, чем выходной канал 2. Поэтому в ней будет поддерживаться необходимый для нормальной жизнедеятельности высшей водной растительности 5 уровень воды даже при кратковременном прекращении подачи ее в отстойник (по технологическим причинам или природным факторам).

Площадь F , занимаемая ВВР, определяется по формуле (9.2).

Расчеты проводятся для всех загрязнителей, концентрация которых превышает ПДК. За расчетную принимается наибольшая площадь.

Радиус окружности первой секции двухсекционного отстойника по дну рассчитывается по зависимости

35

$$r = \frac{Q - Vmh^2}{2Vh}, \quad (9.3)$$

где Q – расход очищаемой жидкости, проходящей по каналу, м³/с;

V – средняя скорость движения воды по первой секции, м/с;

m – коэффициент заложения откосов первой секции;

h – глубина потока воды в первой секции при пропуске расчетного расхода, м.

Среднюю скорость потока можно определить по формуле

$$V = AQ^{0,2}, \quad (9.4)$$

где A – эмпирический коэффициент; $A = 0,033$ для $\bar{W} < 1,5$; $A = 0,044$ для $\bar{W} = 1,5-3,5$; $A = 0,055$ для $\bar{W} > 3,5$ (

\bar{W} – средневзвешенная гидравлическая крупность наносов, мм/с);

Q – расчетный расход, м³/с.

Ориентировочно среднюю скорость потока в зависимости от средневзвешенной гидравлической крупности наносов можно принять в пределах 0,02–0,05 м/с.

Расстояние между центрами окружностей первой секции равно:

$$B = (0,7-0,8) 2r. \quad (9.5)$$

Глубина второй секции отстойника принимается на 0,2–0,4 м больше глубины канала, а первой – на 0,7–1,0 м больше глубины второй.

Применение отстойника позволяет значительно улучшить экологическую обстановку на полях орошения. Он может быть использован как в качестве самостоятельного очистного сооружения, так и в качестве конструктивного элемента комплекса сооружений по очистке загрязненных в процессе производства вод.