

Введение. Рациональное использование природных ресурсов является одной из наиболее значимых проблем не только в Беларуси, но и во всем мире. Развитие промышленности, транспорта и применение высокоинтенсивных технологий в агропромышленном комплексе приводят к увеличению уровня загрязнения земельных и водных ресурсов. При этом одним из источников загрязнения являются сточные воды, несмотря на то, что их очистке и обезвреживанию уделяется большое внимание [1, 2].

Из всего многообразия категорий сточных вод наибольший практический интерес представляют животноводческие стоки, которые образуются на крупных животноводческих фермах и комплексах в результате применения гидравлических способов уборки помещений. Однако животноводческие стоки, являясь потенциальным загрязнителем водных объектов, содержат различные биогенные элементы, которые могут быть эффективно использованы в растениеводстве.

Для утилизации и обезвреживания животноводческих стоков применяют различные технологии. Одной из них является использование их для удобрительного орошения сельскохозяйственных культур [3, 4, 6, 7–12].

Для практической реализации данной технологии при комплексах построены специализированные мелиоративные системы, работающие по принципу полного водооборота. Как правило, такие системы включают сеть подземных трубопроводов и дождевальную технику для проведения поливов, различные по назначению гидротехнические сооружения, оградительную и дренажно-сбросную сеть для сбора загрязненного поверхностного и дренажного стоков, которые аккумулируют и используют повторно для орошения.

При анализе работы такой водооборотной системы на первый взгляд создается впечатление, что распространение загрязнений за пределы орошаемой территории исключается. Однако практический опыт показывает, что полной очистки и экологической безопасности даже на совершенных системах не обеспечивается. Поэтому работоспособность отдельных

элементов водооборотной мелиоративной системы для удобрительного орошения требует углубленного изучения и совершенствования.

Прежде всего, это относится к дренажной сети, которая должна перехватывать загрязненный внутрипочвенный сток и отводить его в аккумулирующие пруды. Традиционно эта сеть выполняется из керамических или пластмассовых труб, на что требуются большие затраты материальных и финансовых ресурсов. Работоспособность такой сети на полях орошения животноводческими стоками низкая, особенно для объектов со сложными рельефными условиями с преобладанием почв тяжелого гранулометрического состава.

Материалы и методы. Целью настоящих исследований явилось совершенствование конструкции дренажно-сбросной сети водооборотных систем путем применения агромелиоративных приемов и бессточного дренажа, что позволило бы уменьшить объем поверхностного и дренажного стока и повысить экологическую безопасность мелиорируемых агроландшафтов с крупными животноводческими комплексами.

Экспериментальные исследования проведены в течение 1999–2014 гг. на опытном участке в РСУП СГЦ «Заднепровский» Оршанского района Витебской области. В этом хозяйстве имеется свиноводческий комплекс, рассчитанный на выращивание и откорм 54 тыс. голов свиней в год. Полевой опыт был заложен в 8 вариантах (табл. 1).

Таблица 1

Схема вариантов опыта по изучению работоспособности бессточного дренажа и агромелиоративных мероприятий

| Вариант | Опыты |
|---------|--|
| 1 | Без орошения стоками и мелиоративных мероприятий (абсолютный контроль) |
| 2 | Орошение стоками без мелиоративных мероприятий (контроль) |
| 3 | Орошение стоками + бессточный дренаж |
| 4 | Орошение стоками + бессточный дренаж в сочетании с почвоуглублением на 30 см |
| 5 | Орошение стоками + бессточный дренаж в сочетании с рыхлением на глубину 60 см |
| 6 | Орошение стоками + бессточный дренаж в сочетании с внесением соломы в почву в количестве 4 т/га |
| 7 | Орошение стоками + бессточный дренаж в сочетании с почвоуглублением и внесением соломы в почву в количестве 4 т/га |
| 8 | Орошение стоками + бессточный дренаж в сочетании с рыхлением на глубину 60 см и внесением соломы в почву в количестве 4 т/га |

С целью получения достоверных данных исследования проведены в трехкратной повторности. Размещение учетных делянок было систематическим.

Варианты опыта характеризовались следующими параметрами. В варианте 1 обработка почвы не проводилась, и не было поливов. В варианте 2 обработка почвы не проводилась, но осуществлялись поливы стоками. В вариантах опыта 3–8 бессточные дренажи 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. Расстояние между соседними бессточными дренажами принималось 10 м, выполнялись они поперек ранее уложенного керамического дренажа.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая легкосуглинистая пылеватая, является характерной для данной зоны. В пахотном горизонте плотность почвы составляла 1,34 г/см³, пористость – 48,5 %, наименьшая влагоемкость – 25,4 %, обеспеченность гумусом и питательными элементами – средняя.

Результаты и обсуждения. При орошении стоками животноводческих комплексов возникает необходимость уточнения отдельных элементов режима орошения. Это объясняется увеличением водопотребления сельскохозяйственных культур и необходимостью оценки возможности утилизации навозных стоков в различные по влагообеспеченности годы.

В процессе проведения полевых опытов по режиму орошения нормы полива устанавливали по общепринятым методикам. В табл. 2 приведены поливные нормы и сроки полива многолетних трав в годы исследований.

Таблица 2

Сроки поливов, нормы поливов и орошения и за период исследований

| Год | Осадки, мм | Сроки и нормы поливов, мм | Нормы орошения, мм |
|------|------------|--|--------------------|
| 1999 | 223,7 | 26.04 (25), 21.05 (25), 17.06 (25), 14.07 (25), 07.08 (20) | 120 |
| 2000 | 497,7 | 04.05 (20), 14.06 (20), 19.08 (19) | 59 |
| 2001 | 467,7 | 06.05 (20), 16.06 (20), 25.08 (23) | 63 |
| 2002 | 294,4 | 24.04 (18), 23.05 (25), 21.06 (20), 19.07 (25), 07.08 (20), 21.08 (25) | 133 |
| 2003 | 413,9 | 07.05 (20), 16.06 (25), 25.07 (25) | 70 |
| 2004 | 293,6 | 03.05 (25), 14.06 (25), 23.07 (25), 08.09 (20) | 95 |
| 2005 | 400,5 | 29.04 (25), 07.07 (25), 31.08 (25) | 75 |
| 2009 | 412,7 | 28.04 (20), 18.05 (25), 4.07 (25), 26.08 (20) | 90 |
| 2010 | 365,6 | 26.04 (25), 04.06 (20), 20.06 (25), 05.07 (25), 22.07 (20) | 115 |
| 2014 | 352,7 | 22.04 (25), 25.05 (20), 03.06 (25), 25.06 (25), 18.07 (25), 10.09 (20) | 135 |

Анализ табл. 2 указывает на то, что в зависимости от тепловлагообеспеченности вегетационного периода при утилизации животноводческих стоков при норме азота 280 кг/га и создании оптимального водного режима в корнеобитаемом слое почвы в течение вегетации потребовалось проведение от трех до шести поливов нормами 18...25 мм. Оросительные нормы при этом составили 59...135 мм. В засушливые годы, кроме удобрительных и удобрительно-увлажнительных поливов, проводились поливы чистой водой.

Влажность почвы является одним из основных факторов, оказывающих непосредственное влияние на рост и развитие растений. Она подвержена колебаниям в связи с изменением расходных и приходных статей водного баланса. Для рассматриваемой зоны в вегетационные периоды характерен атмосферный тип водного питания. При этом выпадающие атмосферные осадки и талые снеговые воды не только промачивают активный слой почвы, но и проникают гораздо глубже. Они могут достигать грунтовых вод и подпитывать их. Поэтому определяющим фактором формирования водного режима являются атмосферные осадки.

В ходе проведения опытов водный режим почвы изменялся и в зависимости от проведенных поливов. Однако эти поливы, как правило, нормой, которая не превышала 25 мм, оказывали влияние на влагозапасы верхнего слоя почвы глубиной не более 60 см.

Наибольшие колебания влажности происходили в контрольном варианте. В вариантах с глубоким рыхлением в засушливые периоды

влажность почвы была выше, чем в контрольном варианте (без рыхления и удобрительных поливов). Наиболее благоприятные условия влажности почвы для многолетних трав сложились в вариантах с глубоким рыхлением, агрономелиоративными мероприятиями и особенно там, где вносилась в почву солома. Для подтверждения этого были проведены расчеты водного баланса для каждого из изучаемых вариантов. При выполнении этих расчетов использована упрощенная методика, которая не учитывала подпитывания грунтовых вод, что соответствовало условиям проведения опытов при глубоком их залегании.

Водный баланс для вариантов имеет вид:

$$\pm W = \Delta W_n + K_{II}P + M - E,$$

где $\pm W$ – избыток (+), недостаток (–) влагозапасов в расчетном слое почвы по отношению к расчетному водопотреблению, мм; ΔW_n – используемые влагозапасы из расчетного слоя почвы, мм; P – атмосферные осадки, мм; K_{II} – поправочный коэффициент использования осадков; M – дополнительное количество воды, поданное с орошением (оросительная норма), мм; E – водопотребление сельскохозяйственной культуры, мм.

В качестве расчетного периода в исследованиях был принят вегетационный период.

Результаты расчетов водного баланса почвы за годы исследований показали, что во всех изучаемых вариантах основным фактором изменчивости водного режима дерново-подзолистой почвы являются атмосферные осадки. В контроле без орошения удельный вес используемых полезных осадков в суммарном водопотреблении многолетних трав в среднем за 10 лет составил 78,4 %, а потребление влагозапасов из почвы – 21,6 %. В орошаемых животноводческими стоками вариантах доля используемых полезных осадков составляла 64,1...64,7 % от суммарного водопотребления многолетних трав. Поливы стоками свиноводческого комплекса в сочетании с чистой водой восполняли 19,2...19,4 % суммарного водопотребления, а на долю почвенных влагозапасов приходилось в среднем 16,1...16,5 %.

Наибольшее использование запасов влаги из почвы отмечалось в вариантах с глубоким рыхлением. Недостаток влаги был значительным в засушливые годы в контрольном варианте и колебался от 50 мм в 2004 г. до 206,7 мм в 2002 г. В орошаемых вариантах водный режим в основном поддерживался в оптимальных пределах. В годы с достаточным естественным увлажнением (2000, 2001, 2003 и 2009 г.) во всех вариантах в целом за вегетационный период имел место избыток влаги, в том числе и с орошением. Однако это не влияло на развитие многолетних трав, так как осадки выпадали неравномерно, а поливы в эти периоды носили удобрительный характер и их нормы определялись из расчета внесения требуемого количества биогенных элементов.

При анализе динамики водного баланса по годам исследований отмечены следующие особенности. Прежде всего проведенные агрономелиоративные мероприятия способствовали оптимальному перераспределению влаги в почве и эффективному ее использованию. В засушливом 1999 г. недостаток влаги колебался от 32,4 до 43,1 мм в орошаемых вариантах, а в первом (контрольном) варианте, где орошение не проводилось, он увеличился до 153,3 мм.

Проведенные поливы при оросительной норме за вегетацию 120 мм на всех орошаемых вариантах значительно снизили напряженность водного режима. В зависимости от варианта обработки недостаток влаги колебался незначительно. На развитие трав этот недостаток влияния не оказал, так как он соотнесен к метровому слою почвы, в то время как основная масса корней растений сосредоточена в полуметровом слое, и поливные разовые нормы были рассчитаны из условия увлажнения этого слоя.

В целом в вариантах с удобрительно-увлажнительными поливами полученный дефицит влаги в вегетационный период составлял не более 8,5 % от расчетного водопотребления, а на контроле он создавался из-за отсутствия поливов. Следует отметить, что агрономелиоративные мероприятия

и бессточный дренаж способствовали большему использованию запасов влаги из расчетного слоя почвы.

Аналогичная картина в распределении водного баланса почвы наблюдалась, в 2000 влажном году, в вегетационный период которого осадков выпало больше нормы, и в метровом слое почвы по всем вариантам наблюдался избыток влаги. При этом величина избытка незначительно различалась в зависимости от способа агромелиоративной обработки. Хотя справедливости ради следует указать, что во втором варианте, на котором применялось орошение без агромелиораций, переувлажнение было несколько выше по сравнению с другими вариантами. Аналогичная ситуация отмечена и в 2001 г., который по условиям естественного увлажнения также был влажным, что способствовало некоторому переувлажнению верхнего слоя почвы.

Из всего периода наблюдений самыми засушливыми были 1999, 2002, 2010 и 2014 гг. Норма орошения в вегетационный период 2002 г. составила 133 мм. Однако в метровом слое наибольшие влагозапасы сохранялись при проведении агромелиоративных мероприятий на фоне бессточного дренажа и составили 80,5...84,4 мм, в то время как в орошаемом варианте 2, но без агромелиорации, было использовано влаги из почвы в количестве 78,5 мм. Наибольший расход влаги из почвы отмечался в контроле и составлял 89,6 мм, недостаток был отмечен в контрольном варианте – 154,3 мм. В орошаемых вариантах с агромелиорацией этот недостаток был незначительным (26,5...32,4 мм). В 2003 г., который по осадкам был близким к норме, проведено три удобрительно-увлажнительных полива. Поливные нормы составили 20...25 мм. Проведенные поливы благоприятно сказались на многолетних травах.

Из запасов почвенной влаги за вегетационный период использовано от 71,1 до 80,1 мм. Наибольшее количество используемой почвенной влаги (80,1 мм) отмечалось в первом контрольном варианте. В вариантах с бессточным дренажом и агромелиоративными мероприятиями использовано 72,8...77,8

мм влаги из почвы, а наименьшее количество – в орошаемом варианте 2 без бессточного дренажа и агроулучшающих мероприятий (71,1 мм). При этом наибольшее использование почвенных влагозапасов отмечалось в варианте 8 с глубоким рыхлением и внесением соломы на фоне бессточного дренажа.

Сравнительные данные по суммарному водопотреблению показали, что в контроле (вариант 1) недостаток влаги за период вегетации многолетних трав по сравнению с расчетным водопотреблением составил 87,8 мм. В орошаемых вариантах эти различия не превышали 5 % по сравнению с фактическим водопотреблением.

Иссушение метрового слоя почвы отмечено в 2004 г. в контрольном варианте (136,1 мм), поливы в вариантах с агроулучшением поддерживали влагозапасы в оптимальных пределах. Здесь недостаток влаги по сравнению с расчетным водопотреблением не превышал 10 %.

В вегетационный период 2005 г., который отличался повышенной влажностью почвы, проведено всего лишь три удобрительно-увлажнительных полива оросительной нормой 75 мм. При этом из расчетного слоя почвы в контроле использовано наибольшее количество влаги (82,6 мм), в то время как в вариантах с бессточным дренажом используемые запасы влаги были меньше и составили 72,5...75,2 мм. Причем в варианте 8 с глубоким рыхлением и внесением соломы было наибольшее использование почвенных влагозапасов. В целом суммарное водопотребление трав в контроле составило 423 мм, а в орошаемых вариантах – 487,9...490,6 мм. Наибольшее суммарное водопотребление трав (490,6 мм) зафиксировано на фоне бессточного дренажа с проведением глубокого рыхления и внесения соломы. Расчетное водопотребление 2005 г. изменялось не более чем на 10 % от фактического потребления влаги многолетними травами.

Для поддержания оптимальной влажности почвы в вегетационный период 2009 г. проведено четыре удобрительно-увлажнительных полива оросительной нормой 90 мм. За этот период в контроле использовано

многолетними травами из почвы 87,2 мм влаги, а в орошенных вариантах – 81,4...86,5 мм. Агромелиоративные мероприятия несколько улучшали водный режим почвы и повышали продуктивные влагозапасы. В целом суммарное водопотребление трав в контроле (вариант 1) составляло 438,0 мм, а в орошаемых вариантах – 522,2...527,3 мм.

В относительно теплом и сухом 2010 г. за вегетационный период в контроле (вариант 1) использовано 92,5 мм почвенной влаги, а в варианте 2 при удобрительно-увлажнительных поливах – несколько меньше (82,3 мм).

На фоне бессточного дренажа в сочетании с агромелиоративными мероприятиями проведение удобрительно-увлажнительных поливов способствовало более эффективному использованию продуктивных влагозапасов. Наибольшие их значения (90,2 мм) получены в варианте 8 с бессточным дренажем и проведением глубокого рыхления в сочетании с внесением соломы. В целом суммарное водопотребление многолетних трав в контроле (вариант 1) составляло 402,8 мм и было меньше расчетного водопотребления на 112,2 мм. В орошаемых вариантах 2–8 суммарное водопотребление составляло 507,6...515,5 мм и практически не отличалось от расчетного значения. Более высокие показатели суммарного водопотребления трав характерны для вариантов с бессточным дренажем в сочетании с агромелиоративными мероприятиями вследствие использования большего запаса почвенной влаги.

В теплом и сухом 2014 г. изменения почвенных влагозапасов оставались аналогичными с вегетационным периодом 2010 г. Однако в 2014 г. оросительная норма из всех изучаемых лет была наибольшей и составляла 135 мм. Суммарное водопотребление многолетних трав в орошаемых вариантах составляло 518,6...521,7 мм, а в контроле – 391,1 мм, что меньше расчетного водопотребления на 157,9 мм.

Таким образом, применение бессточного дренажа в сочетании с агромелиоративными мероприятиями позволяло регулировать продуктивные запасы влаги в оптимальных пределах и более эффективно их использовать,

особенно при проведении глубокого рыхления с внесением соломы. Принятая автором для расчетов суммарного водопотребления многолетних трав формула по сумме дефицитов влажности воздуха дает достаточно достоверные показатели в орошаемых вариантах. Расхождение рассчитанных значений превышало фактические данные, полученные в полевых условиях, не более чем на 10 %. Однако в зависимости от погодных условий года при расчете водопотребления многолетних трав необходимо уточнить биоклиматический коэффициент.

На орошаемых землях в процессе поливов дождеванием нередко наблюдается поверхностный сток из-за несоответствия впитывающей способности почвы интенсивности дождя, что приводит к образованию поверхностного стока. Это обусловлено еще и тем, что при поливе животноводческими стоками, кроме растворенных химических веществ, в них содержатся взвешенные частицы, которые кольматировали почву и усиливали процессы возникновения поверхностного стока.

Выводы. По результатам наблюдений за водным режимом можно отметить следующее.

1. Во всех изучаемых вариантах основным фактором изменчивости водного режима почвы являются атмосферные осадки, на долю которых приходилось в среднем за 7 лет исследований 66,3 % водопотребления. Проведенные в 1999–2005 гг. поливы стоками свиноводческого комплекса восполняли около 20 % водопотребления, а на долю почвенных влагозапасов почвы приходилось в среднем 16,7 %.

2. Применение бессточного дренажа в сочетании с агрономелиоративными мероприятиями обработки почвы оказывали благоприятное действие на гидрологический режим орошаемой территории. Так, площадь микропонижений, заполненных водой, в обработанных вариантах уменьшилась на 15,5...44,2 %, в т. ч. в вариантах бессточного дренажа в сочетании с рыхлением – на 35,8 %, с внесением соломы – на 41,5

%, с почвоуглублением и внесением соломы – на 43,6 %, с рыхлением и внесением соломы – на 44,2 %.