

УДК 626.86 : 581.526.3

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И АЛГОРИТМА  
УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ  
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ  
ДЛЯ ТОРМОЖЕНИЯ МЕСТНОГО СТОКА**

**Э.Н. Шкутов**, кандидат технических наук

**В.П. Иванов**, кандидат технических наук

**А.И. Ракицкий**, аспирант

РУП «Институт мелиорации»

г. Минск, Беларусь

**Аннотация**

В статье приведены результаты работы по доработке ранее разработанного приема управления уровнем воды в мелиоративных водотоках (регулируемым зарастанием русла водной растительностью) до уровня технологии. Сформированы рабочие версии приемов и режимов окашивания водной растительности мелиоративных водотоков; разработаны методика расчета управляющих воздействий и прототип алгоритма управления водным режимом; проведена оценка возможной экономической эффективности использования для управления водным режимом на осушительных системах водной растительности вместо подпорных сооружений.

**Ключевые слова:** увлажнение площадей осушительных систем, водная растительность

**Abstract**

**E.N. Shkutov, V.P. Ivanov, A.I. Rakitsky**

**ACCOUNTING OF CONTROL ACTIONS  
AND MANAGEMENT ALGORITHM OF WATER  
REGIME IN DRAINAGE SYSTEMS USING  
WATER PLANTS TO SLOW DOWN RUNOFF**

The article presents the results of experiment to improve the management of water regime developed earlier (regulation of overgrowing of canal bed) to make the technology. Working versions and moving modes are developed, accounting method of control activities and management algorithm are formulated; water vegetation is studied as cost-effective method to organize water regime instead of retaining structures.

**Keywords:** humidification of drainage systems, water vegetation

**Введение**

В Республике Беларусь задача по управлению водным режимом на осушительных системах, не оснащенных подпорными гидротехническими сооружениями, является очень актуальной. Ранее [1] уже предпринималась попытка управления водным режимом посредством тормозящего воздействия растительности на водный поток без применения подпорных гидротехнических сооружений. Экспериментально была доказана хозяйственная возможность управления уровнем режимом в открытой сети, а также возможность проведения подпочвенного увлажнения площадей осушительных систем.

В данной работе рассматривается методика расчета управляющих воздействий и возможный алгоритм управления, оценка экономических перспектив предлагаемого способа увлажнения.

**Объекты и методика исследования**

Экспедиционные обследования проводились по всей территории республики, на мелиоративных

каналах-водоприемниках, имеющих круглогодичный сток. Экспериментальный участок для детальных гидравлических исследований располагался на канале «Дричинский» Пуховичского района Минской области. На нем исследовались варианты окоски водной и околководной растительности. Экономическая оценка эффективности предлагаемого приема проводилась на примере участка мелиоративной системы на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства.

**Результаты и их обсуждение**

1. *Формирование рабочих приемов и режимов окашивания водной растительности мелиоративных водотоков, предназначенных для увлажнения площадей осушительных систем (без использования подпорных сооружений)*

При разработке перспективных приемов и режимов окашивания водной и околководной растительности мелиоративных водотоков особое внимание уделялось приемам окоски, способным обеспе-

чить следующие возможности:

- торможение потока в периоды минимального стока, а также подъема уровней в мелиоративном водотоке для повышения уровней грунтовых вод (УГВ) на прилегающих сельскохозяйственных полях в засушливые периоды;

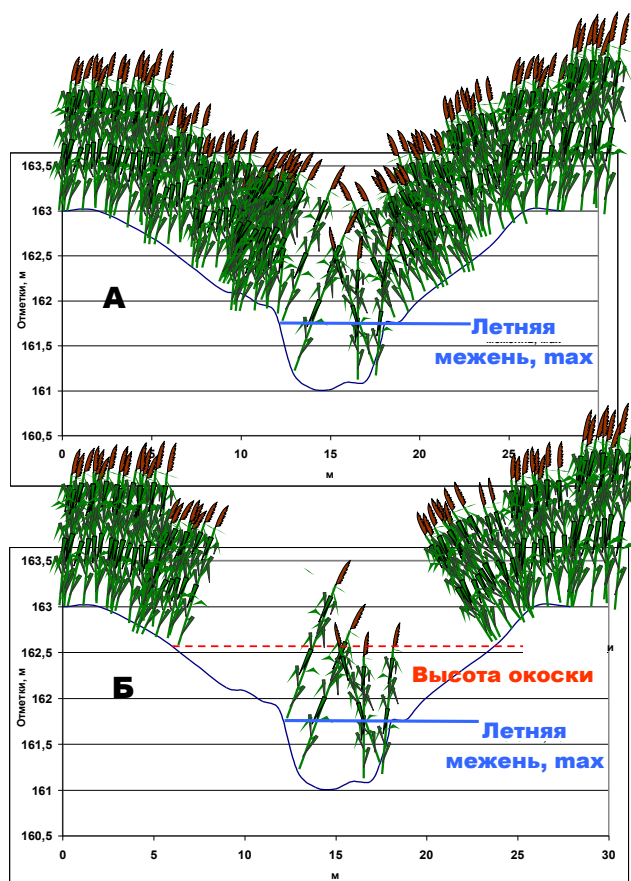
- быстрый сброс поверхностных вод при выпадении экстремальных осадков и значительный расход при низких уровнях воды в каналах (УВК) во время длительных дождливых периодов.

Для решения этих противоречивых задач необходимо формировать такие геометрические формы поперечных сечений зарослей в руслах водотоков, чтобы высокая гидравлическая шероховатость формировалась только в нижней части поперечного сечения каналов, а при высоких уровнях истечение потока происходило бы при относительно низких гидравлических сопротивлениях русел мелиоративных водотоков. Это обеспечит водосбросы летне-осенних паводков (ЛОП) при минимально возможных уровнях воды в сети и наиболее низкие уровни грунтовых вод в дождливые периоды.

В ходе выполнения НИР в 2014 г. установлено, что в части задержания меженного стока для подъема уровней в меженный период заросли тростника неэффективны. В русле растения реже и тоньше, чем на откосах. С другой стороны густые заросли на откосах представляют собой значимое препятствие для потоков половодья и ЛОП. Для визуализации приемов окосок использованы реальные поперечные профили канала «Дричинский». На рисунке 1 приведена схема поперечника заросшего тростником и его требуемая окоска для пропуска ЛОП.

Поэтому относительно тростниковых и других жесткостебельных зарослей на откосах и бровках каналов рекомендации однозначные. Они должны окашиваться 1-2 раза за сезон. Вывод о необходимости окоски одного или двух откосов делается на основе гидролого-гидравлических расчетов, из условия пропуска необходимых расходов при заданных глубинах в каналах.

Особо следует отметить необходимость удаление густых жесткостебельных зарослей до весеннего половодья. По нашим наблюдениям, очень эффективно выжигание сухих тростниковых зарослей в конце зимы или ранней весной, до подъема уровней воды. На рисунке 2 приведен пример выжигания (в



**Рисунок 1. – Схема поперечника, заросшего тростником (А) и окошенного для пропуска ЛОП (Б)**



**Рисунок 2. – Вид на правый берег (вверх по течению) канала «Дричинский» после выжигания сухих тростниковых зарослей неизвестными лицами (20.03.2014 г)**

настоящее время незаконного) тростниковых зарослей неизвестными лицами на экспериментальном участке канала «Дричинский».

На наш взгляд, выжигания сухой травянистой растительности, специально обученными и технически оснащенными бригадами, в сроки и локализации

ях, согласованных с районными организациями МЧС и охраны природы, могут быть экологически безвредны, пожаробезопасны и экономически эффективны. Таким образом, обоснованность полных запретов на выжигание сухой травянистой растительности на откосах каналов нуждается в дополнительных исследованиях возможных рисков экологических ущербов и хозяйственной эффективности.

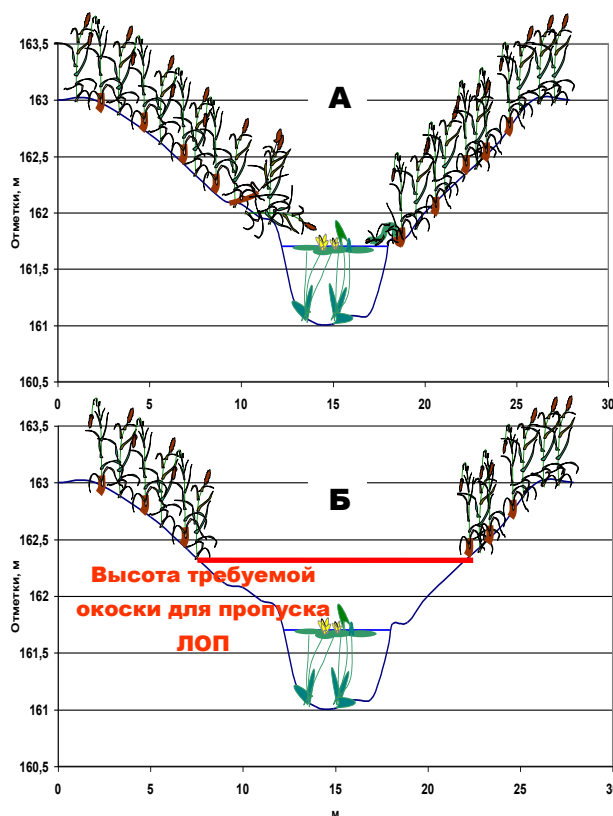
Помимо количеств окашиваний жесткостельной растительности, режимы проведения этих работ характеризуются рекомендуемыми сроками окашиваний. Разумеется, в любом случае, это будет какое-то приближение к идеальному случаю, окашивания перед приходом того летне-осеннего циклона, воды которого необходимо будет отводить максимально быстро. При этом особенно важно убрать скошенную зеленую массу с откосов, чтобы она не закупорила гидротехнические сооружения, и не вызвала переполнение каналов с затоплением осушенных площадей. В противном случае на будущий год оставленная масса будет закреплена корнями водной растительности, и произойдет закупорка канала уже на постоянной основе, для ликвидации которой потребуются применение экскаватора. Пример реализации такого сценария на практике приведен на рисунке 3.



**Рисунок 3. – Растительная перемычка перед шлюзом, образовавшаяся на заторе из скошенной травы. Объект «Комарово» Петриковского района Гомельской области**

Заросли тростника или иной жесткостельной травянистой растительности должны быть тем или иным способом удалены с откосов до весеннего половодья, затем желательна ее подкашивание в первой декаде июня и в третьей декаде июля.

На рисунках 1Б и 4Б приведена схема окоски на высоту, определенную гидравлическим расчетом, для пропуска ЛОП заданной обеспеченности данным каналом. Теоретически это может обеспечить некоторое снижение расходов на окоску. Но эти схемы приведены в основном для того, чтобы показать, что окоска бровки «корыта» русла гораздо эффективнее практикуемой в настоящее время окоски берм и верхней части откосов каналов, очевидно проводимой больше в эстетических, чем в гидравлических целях.



**Рисунок 4. – Схема поперечника канала с зарослями кубышки желтой в русле потока и откосами заросшими многолетними травами, в случае экспериментального участка, в основном канареечнике (А) и окошенного для пропуска ЛОП (Б)**

Удаление растительности из русла, в частности кубышки желтой и тростника, не рекомендуется в летний период, если планируется повышение уровней бытовых горизонтов с целью повышения влажности почвы под посевами. Но если объект близок к переувлажненному состоянию, то очистка дна каналов от растительности обязательна.

Наиболее приемлемые сроки окашивания многолетних трав на откосах каналов практически совпа-



дают с укусами на сельскохозяйственных полях.

Многолетние мягкостебельные травы после выпадения снега полегают и не создают дополнительного сопротивления при пропуске весеннего половодья. У кубышки желтой осенью отмирают листья, поэтому при таком типе зарослей дополнительных мероприятий по подготовке канала к пропуску весеннего половодья не требуется.

По предварительным оценкам для борьбы с тростниковыми зарослями целесообразно использовать и гербициды: распространенные в настоящее время глифосатосодержащие препараты или старые и более дешевые, например, 2,4-Д (2-этилгексилловый эфир) и др.

*2. Разработка методики расчета управляющих воздействий и алгоритма управления водным режимом, адаптированных под использование вместо подпорных сооружений водной растительности*

С учетом взаимодействия водной растительности с водными потоками мелиоративных водотоков, был разработан прототип алгоритма управления (АУ) водным режимом осушительных систем с помощью регулирования зарастания водной растительностью русел мелиоративных водотоков. В данном случае мелиоративная система взаимодействует с рабочими органами, представляющими собой не технические устройства, а биологическую самонастраивающуюся систему водотока и растительного сообщества. Поэтому АУ несколько отличается от традиционно используемых в технических системах.

Отличие это состоит в том, что при управлении водным режимом в комплексе с собственно АУ, представляющим собой перечень условий и действий по формированию и реализации управляющего воздействия после поступления сигнала об отклонении регулируемого параметра от заданного, применяется целенаправленная программа действий по заблаговременному формированию наиболее безопасной с точки зрения пропуска внезапных дождевых паводков геометрии и параметров травянистых зарослей в русле и на откосах водотока (рисунки 1,4). При использовании АУ водным режимом могут, как и в случае работы с подпорными сооружениями, использоваться численные значения параметров АУ (наблюдаемых и требуемых значений регулируемых величин, как правило, УГВ), так и качественные показатели определяемые наблюдателями (как прави-

ло, уровни воды в каналах, состояние растительности и проходимость техники на с.-х. полях).

Поскольку предполагается, что в идеальном случае при задержании стока с помощью водной растительности удастся достигнуть эффективности предупредительного шлюзования на ОУС с помощью подпорных сооружений, то рассмотрим детали применяемого АУ, как базового варианта для сравнения. Алгоритм, применяемый в настоящее время на практике при проведении предупредительного шлюзования, можно описать следующим образом:

1. Независимо от применяемых технологий и АУ водным режимом на всех ОУС реализуется (как минимум, должна исполняться) программа сезонных изменений положения затворов. Осенью затвор поднимается, чтобы в зимний период он не вмерз в ледовый покров канала, а весной была возможность беспрепятственно пропустить пиковые расходы половодья. Обычно осенний подъем затворов проводится по инициативе и в сроки, определяемые предприятиями мелиоративных систем (ПМС).

2. В период весеннего половодья начинается реализация основного управляющего воздействия алгоритма предупредительного шлюзования. Затворы подпорных сооружений должны быть закрыты, чтобы задержать часть весеннего стока для подъема уровней грунтовых вод и использования хозяйственно значимой части стока на эвапотранспирацию сельскохозяйственными посевами. Выбор оптимального момента закрытия затворов затруднен противоречивостью преследуемых целей. Для проведения почвообработки и посева необходимо максимально быстрое осушение площадей, поэтому предпочтительнее держать затворы ГТС открытыми как можно дольше. Вместе с тем для обеспечения приемлемого водного баланса на площадях ОУС в начале летнего периода рекомендуется закрывать затворы пораньше. Дата перекрывания стока определяется землепользователем. Чаще всего ему нужны и осушенные понижения (обычно не более 10 – 15 % площади объекта), так что на большей части площадей производится (если позволяет сеть) излишний сброс. Однако после, как правило, затянувшегося сева объема стока уже не хватает даже на половинное наполнение каналов у подпорных сооружений. По этой причине часто в средний по погодным условиям год уже в мае на Полесье пахотный горизонт на песчаных и

постторфяных почвах переосушается и пылит под сильными ветрами. Районные сельхозуправления в большинстве случаев понуждают хозяйства и ПМС к скорейшему закрытию затворов на ОУС.

Обычно для этого требуется специальное постановление райисполкома. Хотя примерно на 30–40 % площадей ОУС предупредительное шлюзование начинается в сроки близкие к оптимальным. Средние сроки весеннего закрытия затворов ОУС в центральной и южной части республики приходятся на 10.04 – 10.05.

3. По необходимости в летнее время проводится открывание затворов и сброс запаса воды, как реакция на дождливый период. Срок этого маневра обычно определяется коллективным решением взаимодействующих субъектов: хозяйств; ПМС; райсельхозуправления. В отдельные годы может потребоваться и второй маневр по задержанию и сбросу местного стока, но это происходит крайне редко.

4. Инициаторами снижения УГВ перед уборочными работами является хозяйства при поддержке управления. Правда, опытные руководители ПМС зачастую сами принимают такое решение, не ожидая указаний свыше.

Далее возврат к пункту 1.

Используемый алгоритм в терминах теории управления технологическими процессами можно классифицировать как управление по программе (сезонные маневры затворами) в определенные периоды с точкой пуска по косвенному показателю (конец сева, отсутствие требуемых осадков), летом «по возмущению» (наступление дождливого периода) и осень программно «обеспечение уборки зерновых». Регулятор релейный, двухпозиционный.

Для реализации такой возможности при реконструкции ОУС затрачивается (по данным РУП «Белгипроводхоз») \$ 439,4 на 1 га реконструируемой площади или около \$21000 на сооружение.

Рассмотрим общую информацию по предлагаемому АУ водным режимом на основе регулирования шероховатости русел мелиоративных водотоков с помощью водной и околородной растительности. Управляемой величиной принят уровень воды в канале (УВК) с круглогодичным током воды, который гидравлически связан с уровнями воды и напорами в регулирующей сети и далее с УГВ на площадях осушительной системы, не оборудованной подпорными

сооружениями. Определяемыми параметрами алгоритма являются связь УВК с УГВ в зоне влияния водотока; предельные значения УВК при проведении торможения местного стока растительностью.

В силу многофакторной зависимости УВК от текущих погодных, природных и техногенных (состояние русла) условий, регулирование в основном будет носить двухпозиционный характер: проводится или не проводится задержание стока. Проводить многопозиционное или непрерывное регулирование степенью торможения местного стока не представляется возможным. Причем реализация АУ возможна как по данным визуального обследования системы, так и по результатам измерений регулируемых параметров.

Рассмотрим основные положения предлагаемой перспективной версии АУ водным режимом на основе использования водной растительности для изменения гидравлической шероховатости русла (рисунок 5).

Часть программного управления системой. Независимо от состояния водного режима объекта, аналогично варианту АУ, используемому для ОУС осенью-зимой, русло, откосы и бермы водотока должны быть очищены от жесткостебельной растительности, чтобы обеспечить минимальную шероховатость и соответственно максимальную пропускную способность русла при прохождении весеннего половодья. Это может быть окоска или управляемый пал высохшей растительности. согласованный с компетентными органами по срокам, исполнителям и локализации на местности, выполняемый силами ПМС. Дата проведения выбирается исполнителем до начала зимнего или весеннего таяния снега.

2. Часть управления «по возмущению» или по факту наступления хозяйственной необходимости. В весенний период после половодья никаких действий не производится. Уровни и расходы воды в водотоках системы в средние по погодным условиям годы снижаются, несмотря на отрастание водной растительности в русле, тормозящей этот процесс. В этот период предлагаемая технология проигрывает техногенным ОУС, поскольку там можно начать задержание стока в любой выбранный момент. В рассматриваемом случае особенностью является естественное нарастание степени торможения стока за счет развития водной растительности в русле водотока

вплоть до момента необходимого вмешательства, например, по достижению предельно допустимого уровня воды в водотоке после выпадения обильных осадков или наступления срока снижения УГВ перед уборкой.

В алгоритме имеется параллельная основной цепочка мероприятий на откосах каналов, обеспечивающая безопасный пропуск возможного летнего паводка. Согласно данным наблюдений за отращиванием травянистых растений, необходимо проведение окашивания части откосов, либо, если имеется такая возможность, полное окашивание откосов. Линейные размеры минимальной окоски являются рассчитываемыми величинами (на пропуск летне-осеннего паводка 10 % обеспеченности). Сроки окашивания определяются либо по фактическому от-

растанию густой жесткостебельной травянистой растительности на откосах каналов на 0,5–0,75 м, либо программно, по средним срокам наступления этих показателей для центральной и южной части республики: 1 укос, третья декада мая – 1 декада июня; 2 укос, третья декада июля – первая декада августа. При этом обязательным условием является уборка скошенной на откосах массы из поперечного сечения канала.

Далее по пункту 1. На рисунке 5 представлена укрупненная блок-схема алгоритма управления водным режимом на отдельном поле регулирования, являющимся относительно автономным модулем системы.

Для реальной работы АУ должны быть определены настройки регулятора, разработана методика

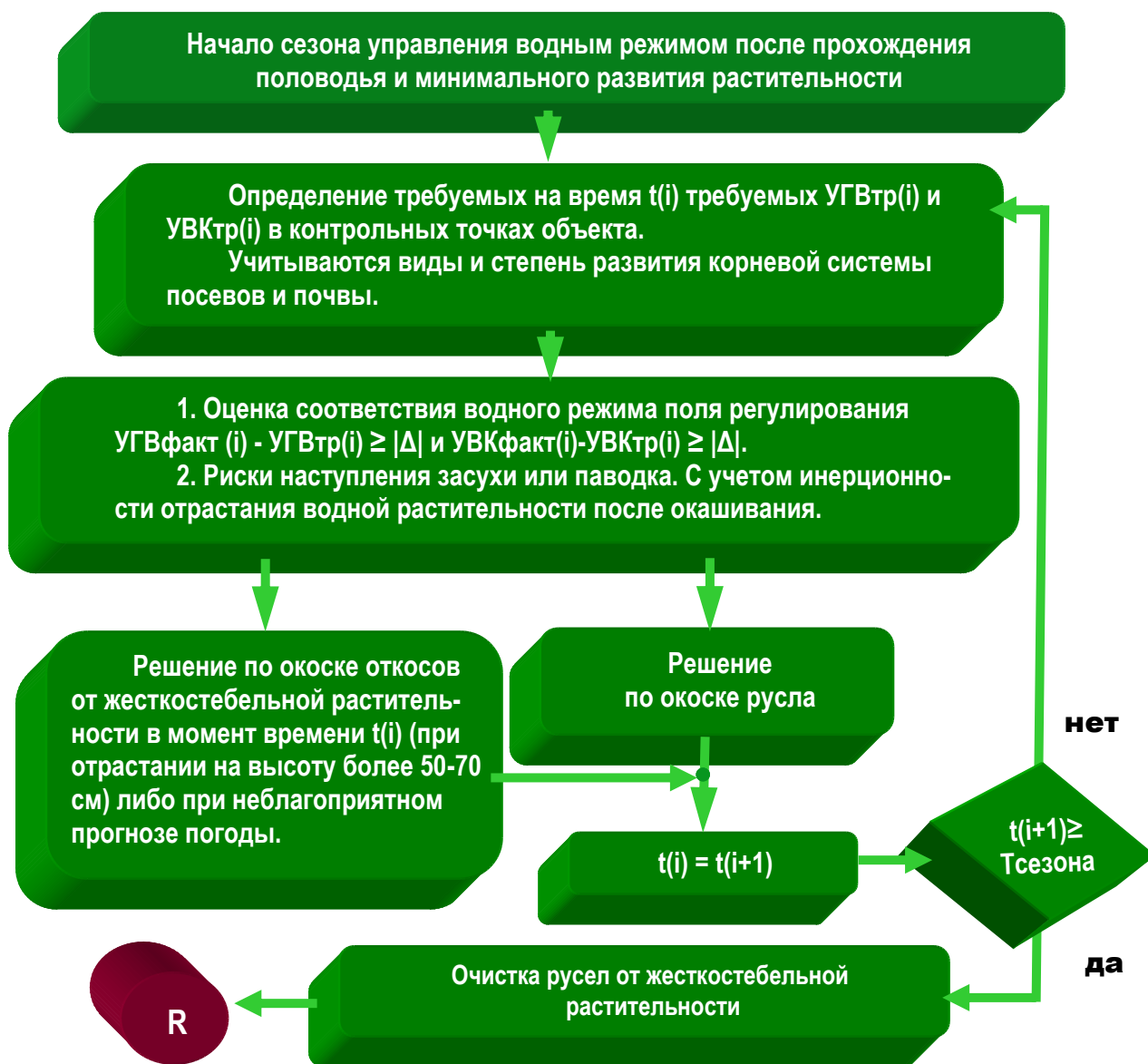


Рисунок 5. – Укрупненная блок-схема алгоритма управления водным режимом на отдельном поле регулирования осушительной системы

расчета управляющих воздействий, адаптированных под использование вместо подпорных сооружений водной растительности.

Любая система управления водным режимом предполагает наличие по конкретному объекту информации о границах площади регулирования; требуемых УВК на этой площади; связи управляющего фактора (УВК) с регулируемым параметром.

Таким образом, прежде всего, необходимо определить границы влияния водотока или системы водотоков мелиоративного объекта, в которых, благодаря торможению местного стока и транзитного расхода, возможно повышение летних бытовых уровней воды. Это необходимо для расчета требуемых и допустимых диапазонов УВК и оценки экономической эффективности реального применения технологии.

При торможении стока зарослями водной растительности имеется одна особенность. Уровень воды в водотоке повышается практически параллельно уклону дна, а не горизонтально, как при шлюзовании подпорными сооружениями, и потому условия увлажнения более однородные и распространяются по водотокам по сложной многофункциональной зависимости.

Если на объекте имеется статистически репрезентативный ряд наблюдений за стоком в мелиоративной сети, то границы зоны регулирования определяются по створам, перпендикулярным каналам, и естественным водотокам с летним меженным расходом 90 % обеспеченности, от первого снизу по течению поперечника, где гидравлические характеристики русла и расход потока не обеспечивает требуемый подъем УВК. Однако такое положение встречается очень редко. Поэтому были рассмотрены другие варианты установления положения границ.

Проведенные исследования показали, что для ОУС с подпорными сооружениями возможно эффективное предупредительное шлюзование, если на каждый гектар увлажняемой площади имеется водосборная площадь от 15 до 30 га. В принципе, в качестве первого приближения можно использовать эти величины и для варианта с торможением стока водной растительностью, при условии, что в ходе эксплуатации они будут уточняться по результатам специальных наблюдений за стоком.

Для формирования более точного источника информации по вопросам формирования поверхно-

стного стока на территории республики в рамках данного проекта НИР было проведено обобщение информации о распределении величин модуля стока. В рамках рассмотрения наибольший интерес представил сток в период с третьей декады мая по 1 сентября (рисунок 6 [2]). Практически речь идет о летнем меженном стоке.

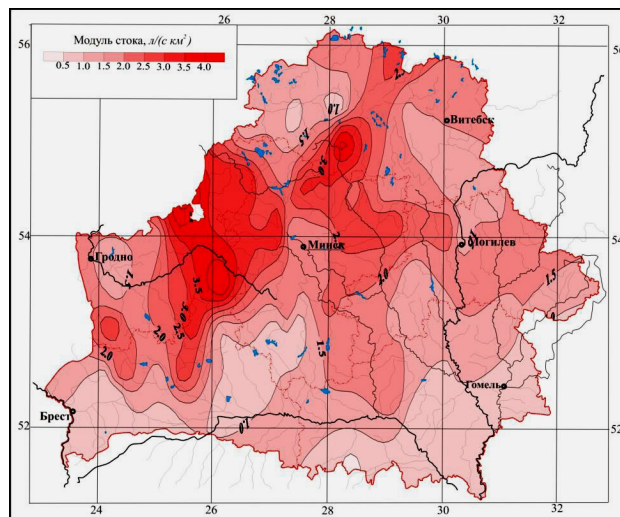


Рисунок 6. – Карта модуля минимального летне-осеннего стока [2]

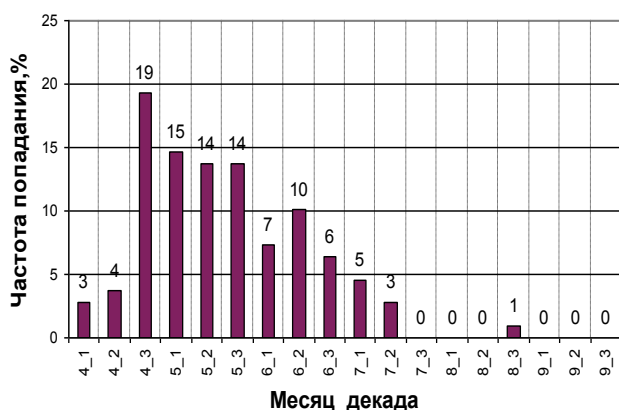
По данным наших наблюдений, управление УВК возможно в период увлажнительных мероприятий на осушительных системах [1], если расход летней межени в водотоке составляет более 5–10 л/с.

На практике и при меньших расходах возможно положительное влияние зарослей водной растительности на УВК. Однако величина подъема уровня будет незначительной, обычно не представляющей хозяйственного интереса. Таким образом, поперечник водотока с расходом 5 – 10 л/с принимается за верхнюю (по течению) границу площади, на которой проводится хозяйственно значимое управление водным режимом.

С другой стороны, слишком большой расход, обуславливающий скорости течения более 0,3 м/с (например, из-за больших уклонов поверхности или расходов), и глубины потока более 1,5 м затрудняют развитие водной растительности и являются индикатором непригодности водотока для управления методом торможения стока водной растительностью. Поэтому поперечники водотоков с такими условиями также являются границами (нижними по течению) зоны регулирования водного режима.



УГВ являются важным параметром, который используется во всех АУ, за исключением программного. В мелиоративной практике имеется несколько вариантов их определения. Для расчета, например, наиболее безопасного диапазона УГВ [3] остановимся на оптимальных средних УГВ за вегетационный период, определяемых согласно [4] в зависимости от почвенных условий и выращиваемых культур. Что касается методов определения средних УГВ, не предполагающих многолетние регулярные наблюдения за уровнями грунтовой воды на площадях объекта, то в процессе исследований в рамках данного проекта были проведены соответствующие исследования по вопросам минимизации временных и трудовых затрат для получения данного параметра. На рисунке 7 приведена вероятность выпадения на данную декаду среднегодового УГВ. Статистическая оценка была проведена по данным измерений в 20 наблюдательных скважинах за 27 лет.



**Рисунок 7. – Частота попадания значения среднего за вегетационный период УГВ на заданную декаду наблюдений (ПОСМЗил)**

Наблюдая УГВ один раз в декаду с третьей декады апреля до конца мая (4 измерения), с вероятностью 62 % можно оценить среднесезонный УГВ с достаточной точностью (теоретически  $\pm 1,5$  см). Даже если в силу аномальных условий сезона, в котором рассчитывался среднесезонный УГВ, он будет определен неточно, то по результатам наблюдений в последующие годы его можно будет уточнить для улучшения качества управления в дальнейшем.

Однако мелиоративные объекты и отдельные поля характеризуются микро- и мезорельефом поверхности, а также различными требованиями к водному режиму выращиваемых культур. Поэтому со-

гласно [4], принимаем, что допускается переувлажнение 5 % площадей при увлажнении трав, в случае пропашных и зерновых – 10 и 5 % соответственно.

Отклонение полученных значений от заданных является численным значением оценки качества водного режима при отсутствии управления.

Если на площадях осушительной системы выращиваются культуры с различными требованиями к водному режиму, то УГВ принимается согласно [4].

Для перехода от требуемых УГВ к требуемым УВК необходимо получить по рассматриваемому объекту статическую характеристику, т.е. зависимость УГВ от УВК. В [4] приведен пример построения такой характеристики, однако нет указаний для практического применения. Разумеется, наилучшим вариантом является построение диаграммы зависимости УГВ от УВК по данным годового, а лучше среднесезонного хода УГВ и УВК. Однако такая возможность скорее исключение, чем правило. Поэтому используются периоды без значительных осадков (желательно 2 недели) и испарения на фоне высоких, а затем низких уровней [4]. Уровни лучше представлять в отметках. Строится график, статическая характеристика объекта линейна, поэтому достаточно двух точек. Затем по этому графику и заданному требуемому УГВ определяется требуемый УВК в данном створе. В случае превышения УВК, определенного расчетом, необходимо принять меры к уменьшению шероховатости русла водотока путем частичного или полного окашивания водной растительности в русле.

Статическая характеристика не соблюдается в периоды динамичных погодных воздействий и переходных процессов на объекте. Но в случае выпадения мощных осадков отпадает и необходимость в торможении стока в мелиоративных водотоках. Необходимо принимать меры по окоске русел водотоков либо химическому уничтожению водной растительности.

*3. Оценка возможной экономической эффективности использования водной растительности для управления водным режимом на осушительных системах*

Оценка экономической эффективности проведена на типичном (по гидрологическим, почвенным и топографическим условиям) для центрального Полесья мелиоративном объекте, участке площа-



дью 800 га на мелиоративной системе ПОСМЗил. Расположение участка приведено на рисунке 8.



**Рисунок 8. – Участок на мелиоративной системе ПОСМЗил для оценки экономической эффективности управления водным режимом с помощью водной растительности**

При этом использовались следующие упрощения и допущения:

Проведенная оценка экономических показателей предназначена для оценочного определения уровня экономической мотивации предлагаемых технологических приемов. Она не рассчитана на принятие конкретных хозяйственных решений, поэтому проведена на объекте-аналоге. Малые сроки проведения исследования не позволили провести многолетние испытания предложенных технологических приемов на чисто осушительной системе. ПОСМЗил единственный в республике мелиоративный объект, где в течение почти 50 лет ведутся непрерывные наблюдения за изменениями УГВ; имеется информация по топографии участка, почвенным условиям, статическим характеристикам мелиоративной системы как объекта управления УГВ.

Площадь экспериментального участка отмечена желтоватым оттенком.

Мелиоративная система ПОСМЗил является осушительно-увлажнительной, на ней имеются подпорные сооружения, позволяющие в известных пределах регулировать уровень режим. Однако в 2014-2015 гг. на объекте отсутствовали гарантированные источники водоподдачи, управление водным режимом осуществлялось только с использованием местного стока, с подачей воды из канала Б-1 в открытые коллекторы четырех полей регулирования,

т.е. именно в том ключе, в котором предусмотрено предлагаемыми технологическими приемами. Поэтому на данном объекте мы можем с достаточной точностью оценить возможные эффекты применения водной растительности в каналах для задержания стока.

В силу того, что на ПОСМЗил применяются севообороты, в долговременной перспективе в каждой точке участка может находиться любая культура. Поэтому при проведении расчетов предполагаем, что на каждом гектаре поля, выращиваются все культуры в долях пропорциональных структуре посевных площадей и луговых угодий. Структура размещения различных культур на площадях мелиоративной системы ПОСМЗил в 2014 г. следующая: озимые зерновые занимают 18 % всех площадей; яровые зерновые – 38 %, картофель – 3 %; травы (однолетние и многолетние) – 51 %.

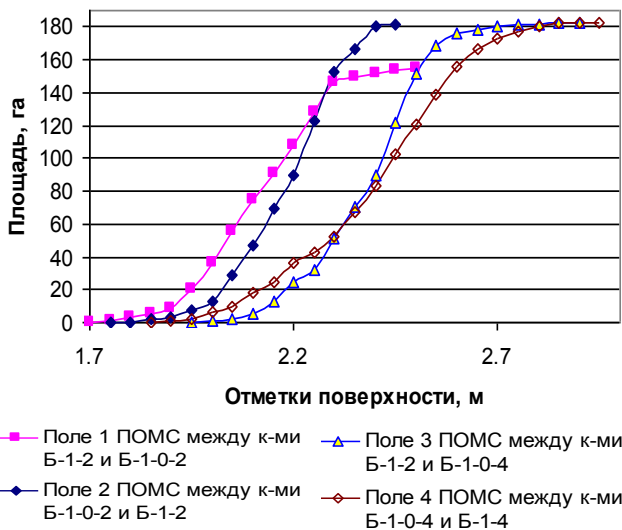
Для краткости опустим детальное описание информации по продольным профилям каналов, расходам стока в канале Б-1, являющегося основным водоисточником системы ПОСМЗил в засушливые годы, когда сток р. Бобринка практически полностью перекрывается шлюзом на вышележащем объекте «Парахонский», Пинского района, Брестской области.

Топографические условия рассматриваемого участка в интересующем нас аспекте представлены кривыми обеспеченности отметок поверхности площадями участка на рисунке 9.

Фактические средние за вегетационный период (01.04.2014-30.09.2014) УГВ по наблюдательным створам на экспериментальном участке составили: ств.17 – 108 см; ств.18 – 109 см; ств.20 – 117 см; ств.21 – 122 см. Считаем, что эти УГВ поддерживались на системе без использования мероприятий по подпочвенному увлажнению и задержки стока водной растительностью.

Номера полей идут по порядку от р. Бобринка. В расчете использованы следующие данные: поля № 1-3 (почвы торфяно-глеевые, мощность торфа 30– 50 см); поле №4 (почвы торфянисто-глеевые, мощность торфа до 30 см).

Средние за вегетационный период оптимальные УГВ с учетом культур и почвенных условий приняты по данным таблицы 6.1 ТКП 45-3.04-203-2010 (02250), как средние между максимальными и минимальными.



**Рисунок 9. – Обеспеченность отметок полей экспериментального участка площадью поверхности**

В качестве расчетного использованы данные по ходу УГВ в среднесезонном 2014 г.

На рисунке 10 представлены средние по наблюдательным створам исследуемого участка сезонные графики УГВ.

По результатам опытов на канале Дричинский можем предположить, что с помощью торможения водного потока зарослями водной растительности,

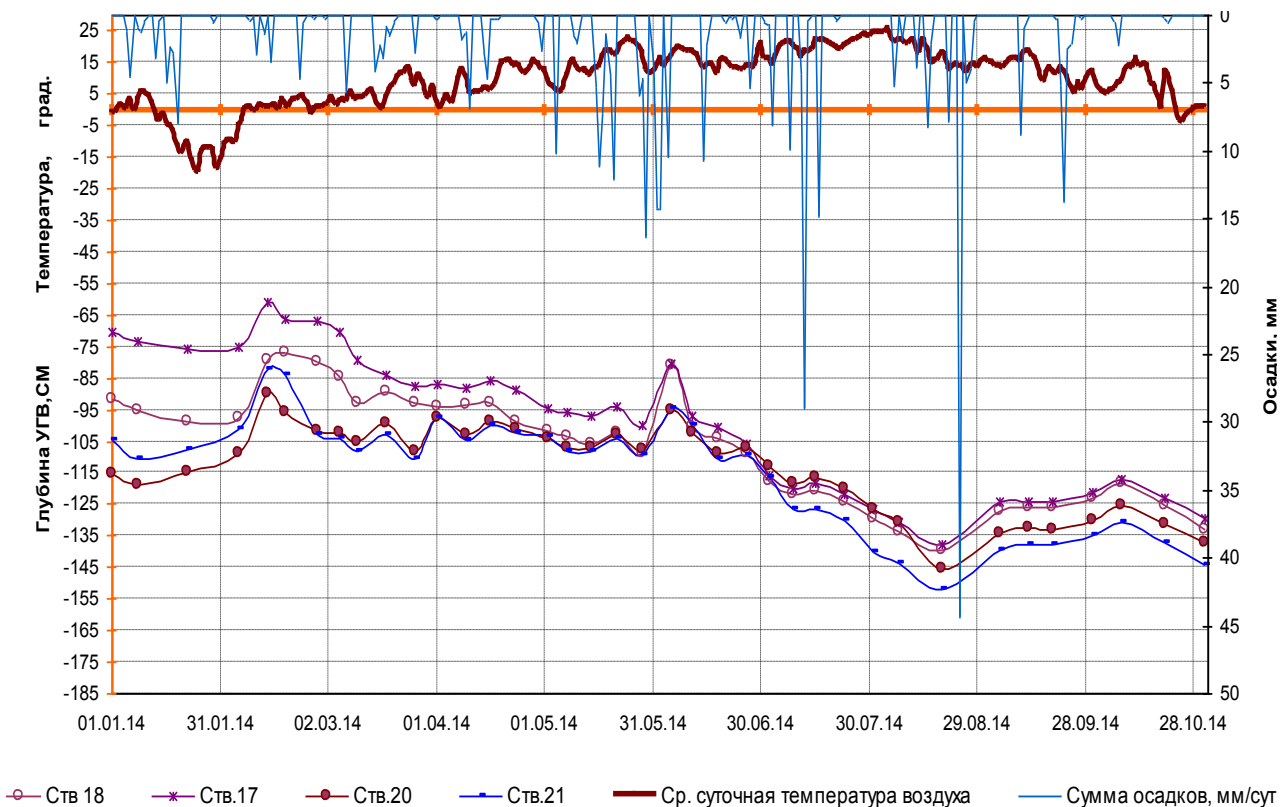
специально формируемыми в каналах Б-1, Б-1-2', Б-1-0-2, Б-1-2, Б-1-0-4 и Б-1-4, уровни воды в сети возможно поднять в среднем до 35 см.

Исследованиями, проведенными ранее на мелиоративной системе ПОСМЗил, установлено, что «коэффициент усиления» (тангенс угла наклона) статической характеристики объекта составляет около 0,5.

Поскольку каналы работают на увлажнение, уровни повышаются за счет торможения транзитного потока воды, поступающей преимущественно извне. Связь уровня воды в каналах с УГВ можно характеризовать этим «коэффициентом усиления». Таким образом, на участке ПОСМЗил можно за счет применения рекомендуемого приема рассчитывать на подъем среднесезонного УГВ на 17,5 см.

В результате исследований, проведенных ранее, были получены корреляционные зависимости изменения урожайности различных культур от среднесезонного УГВ. Эти зависимости использованы для расчета потерь урожайности при отклонении среднесезонного УГВ от оптимального.

При применении приема торможения местного стока зарослями водной растительности уровень урожайности на рассматриваемой площади (800 га)



**Рисунок 10. – Динамика средних по наблюдательным створам УГВ на экспериментальном участке мелиоративной системы ПОСМЗил в погодных условиях 2014 г.**

повысится по сравнению с уровнем 2014 г. следующим образом: озимые зерновые – на 10 %; яровые зерновые и кукуруза – на 11 %; картофель – на 8 %; травы – на 16 %.

При различных уровнях интенсификации сельскохозяйственного производства эти значения могут иметь значительный диапазон колебаний в денежных показателях. Для ориентира проведен расчет для уровня РУП ПОСМЗиЛ. В расчете использованы данные по продуктивности культур 2014 г.: зерновые – 35 ц/га; картофель – 259 ц/га; травы – 48,3 ц.к.ед./га.

В среднем величина дополнительной выручки в \$ США с 1 га посева озимых зерновых составит 28,6; яровых зерновых – 21,4; картофеля – 252,8; травы – 31,1 \$/га в год.

С учетом существующей структуры угодий среднее увеличение выручки составит 36,2 \$/га. Дополнительная выручка с рассматриваемого участка (800 га) составит 28 970 \$ США в погодных условиях 2014 г.

#### **Заключение**

Полученные результаты исследования позволяют заключить, что технологии управления водным режимом на осушительных системах достаточно эффективны и могут быть экономически мотивированы настолько, чтобы ставить вопрос о проведении исследований для разработки технологий управления водным режимом на осушительных системах без подпорных сооружений с помощью регулирования архитектуры зарослей водной и околководной растительности.

Результаты исследований могут изменить подходы к вопросам технологий, определения частоты и сроков окоски каналов предприятиями мелиоративных систем. Если будут разработаны и внедрены в практику технологии управления уровнями воды с помощью регулирования высоты и густоты водной и околководной растительности, то уже они будут диктовать сроки и параметры окашивания травянистой растительности в руслах мелиоративных каналов.

Целенаправленно подобранные режимы и приемы окоски в мелиоративных водотоках водной и околководной травянистой растительности позволяют (в условиях республики) на площадях осушительных систем осуществлять в засушливые летние периоды подпочвенное увлажнение, идентичное предупредительному шлюзованию на ОУС, оснащенных подпорными сооружениями, а во влажные периоды оперативный водоотвод.

В умеренно засушливый год в условиях центрального Полесья управление водным режимом с помощью регулирования степени зарастания и сроков окашивания водной растительности в руслах мелиоративных водотоков должно обеспечить следующую дополнительную выручку с 1 га от реализации сельскохозяйственной продукции (по культурам): озимые зерновые – \$ 28,6; яровые зерновые – \$ 21,4; картофель – \$ 252,8; травы – \$ 31,1. С учетом существующей структуры угодий среднее увеличение выручки составит 36,2 \$/га.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Шкутов, Э.Н. Оценка возможности проведения подпочвенного увлажнения на площадях осушительных систем южной и центральной части Беларуси / Э.Н. Шкутов, В.П. Иванов, А.И. Ракицкий // Мелиорация. – 2017. – №2(80). – С. 10-22.
2. Волчек, А.А. Минимальный сток рек Беларуси / А.А. Волчек, О.И. Грядунова. – Брест : БрГУ, 2010. – 300 с.
3. Рекомендации по оперативному регулированию уровней грунтовых вод / Г.И. Афанасик [и др.]. – Минск : БелНИИМВХ, 1984. – 7 с.
4. ТКП 45-3.04-203-2010 Осушительно-увлажнительные мелиоративные системы. Правила проектирования. – 2011. – 90 с.

*Поступила 5.06.2017*