

УДК 626.86: 631.45

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕКОНСТРУКЦИИ  
МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ НА СРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКАХ ПОЛЕСЬЯ  
С РАЗВИТЫМ МЕЗОРЕЛЬЕФОМ**

**Э.Н. Шкутов**, кандидат технических наук  
Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси

**Ключевые слова:** реконструкция, торфяники, мелиоративная система, проектирование, уровень грунтовых вод, урожайность, экономическая эффективность

**Введение**

По данным инвентаризации мелиоративных систем в Беларуси используется 776,7 тыс. га маломощных и минерализованных торфяных почв (торфяные маломощные 0,3-1,0 м – 552,1 тыс. га, минерализованные торфяники – 224,6 тыс. га). Их длительная эксплуатация явилась причиной трансформации всего комплекса свойств торфяных почв. Суммарный эффект – падение продуктивности, обусловлен следующими причинами: а) снижение запасов органической составляющей почвенного покрова (минерализация, дефляция и др. виды потерь), возрастающая неоднородность почвенного покрова за счет увеличения доли песчаных почв; б) последствия осадки торфяника, в результате которой проявляется мезорельеф подстилающего песчаного слоя (с размахом колебаний отметок поверхности в среднем около 1 м, в экстремальных случаях до 2 м и более).

В таких условиях на существующих мелиоративных системах невозможно обеспечить оптимальный водный режим на всей площади: пониженные элементы рельефа переувлажняются, а бугры переосушаются. Практически эффективное сельскохозяйственное производство с оптимальным водным режимом возможно только на полосе по склонам бугров, которая смещается в высотном отношении в зависимости от водности года, выращиваемых культур и поддерживаемых УГВ.

В 1990 г. на объекте “Калиновка” Любанского района, установлены величины потерь урожайности от неоднородности водного режима в 20-40%. В 1993 г. эти работы дополнены агрономическими исследованиями в Солигорском районе (потери 15-20%). Площади с вышеописанными свойствами неуклонно увеличиваются.

Оценочные расчеты показывают, что современные потери урожая на рассматриваемых угодьях республики в средний год составляют около 3 млн. ц. к. ед. (этого объема кормов было бы достаточно, чтобы содержать более 80 тыс. дойных коров и получать каждый год дополнительно около 400 тыс. т. молока). Полная ликвидация этих потерь была бы эквивалентна вводу 150 тыс. га полноценных сельскохозяйственных угодий.

Помимо вышеприведенных проблем, около 13% таких угодий загрязнено выбросами ЧАЭС. Ранее нами установлено, что уровенный режим играет значительную роль в формировании радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции. Так, на типичной мелиоративной системе Полесья до 70% загрязнений было получено с 10% площади переувлажняемых понижений. Нормализация же водного режима после вторичного заболачивания на объекте с типичными для Полесья условиями уменьшает вынос  $^{137}\text{Cs}$  в 3,8 раза. Таким образом, проблема нормализации водного режима на осушенных, сработанных, мелкозалежных торфяниках Полесья представляет собой важную хозяйственную задачу.

Действующие в Республике Беларусь нормативные документы не предусматривают практически никаких особенностей в проектировании и эксплуатации мелиоративных систем на сработанных мелкозалежных торфяниках и тем самым никак не противодействует негативной тенденции уменьшения продуктивности мелиорированных площадей.

***Концептуальная направленность комплекса предложений по реконструкции мелиоративных систем***

В отличие от подавляющего большинства нормативов по проектированию мелиоративных систем, оперирующих при расчетах только гидротехническими и общестроительными возможностями оптимизации и выравнивания водного режима на мелиорируемой территории, в данной работе предлагается подход, который основывается на использовании всех доступных средств для наименее затратного восстановления возможности ведения высокоинтенсивного сельскохозяйственного производства на мелиорированных угодьях, подлежащих реконструкции.

Приоритетность мероприятий, принимаемых при проектировании, в основном определяется их стоимостью и эффективностью. Практически предлагаемая методика проектирования объединяет в единый комплекс работы по реконструированию элементов мелиоративных систем, агромелиоративные мероприятия и агрономические приемы с целью удешевления работ по реконструкции мелиоративных систем, энергосбережению, повышению продуктивности рассматриваемых угодий и, в конечном итоге, эффективности инвестиций в мелиорацию.

Возможности адаптации технологий сельскохозяйственного использования к гидрологическим и почвенным условиям системы, как правило, позволяют (почти без удорожания сельскохозяйственного производства) существенно удешевить реконструкцию за счет снижения требований к равномерности и параметрам гидрологических условий почвенного профиля объекта, поэтому возможности агрономии и гидротехники рассматриваются при проектировании как равноценные составляющие. Кроме того, в качестве равноправного альтернативного варианта использования любой части объекта, рассматриваются и возможности вывода из сельскохозяйственного использования и ренатурализации антропогенно нарушенных природных комплексов.

### **Особенности проведения изысканий**

Для удешевления проектных работ необходимо максимально использовать имеющуюся информацию. Поскольку на реконструируемых площадях уже был реализован и отработал определенное время исходный гидромелиоративный проект, то ранее полный комплект изысканий уже производился. Значительная часть этих данных длительное время не утрачивает актуальность. Кроме того, землепользователем и эксплуатирующей организацией был накоплен определенный опыт ведения сельскохозяйственного производства на рассматриваемой системе и наблюдения за эффективностью работы мелиоративной сети.

Ценными для принятия эффективных решений могут быть данные по локализации зон, проблемных по водному режиму. Годы, в течение которых были существенные потери урожайности и, наоборот. Работа основной проводящей сети в экстремальные годы (переполненные каналы и водоприемник, наличие вымочек на полях). Динамика ухудшения состояния водного режима во времени. Зафиксированные экологические ущербы от работы объекта. Уровень экологической адаптации к влиянию существовавшего мелиоративного объекта на смежных территориях.

Важной для экономических оценок, принимаемых при проектировании решений, является информация о хозяйственной деятельности хозяйств-землепользователей.

Для актуализации собранной ранее информации и уточнения программы изыскательских работ необходимо проведение рекогносцировочно-маршрутных обследований. Объектами обследования являются: территория осушаемого участка; визуальные признаки последствий подтоплений и затоплений, их площади, дислокация, параметры зарослей древесно-кустарниковой растительности (ДКР), лесные угодья; площади угодий; существенные для работы системы ситуативные сети-дороги; ЛЭП; мелиоративная сеть и сооружения на ней, трассы каналов и др.

В процессе обследования в первую очередь выясняют состояние и пригодность водоприемников, а также основных проводящих и ограждающих каналов. Выявляют типы, дислокации и величины деформации реконструируемых каналов. Особое внимание уделяют участкам с оплывшими и обрушившимися откосами, устанавливаются причины деформаций и намечаются мероприятия по их ликвидации. В таких местах планируются дополнительные гидрогеологические изыскания с целью уточнения геологии и режима грунтовых вод.

Одновременно с рекогносцировочно-маршрутным обследованием необходимо организовать проведение сбора агроэкономической информации с использованием местных источников (архивы райсельхозуправления и хозяйств-землепользователей). На основании материалов рекогносцировочно-маршрутного обследования и агроэкономических изысканий устанавливается возможность проектирования реконструкции мелиоративной системы.

При этом непосредственно в хозяйствах производят корректировку имеющегося проектно-изыскательского материала. Фиксируют с проведением необходимых выкопировок и составлением схем: структуру использования угодий с уточнением границ землепользования, необходимость трансформации угодий, схемы севооборотов, урожайности (современная и перспективная), поголовье и продуктивность скота, сведения о наличии основных фондов, картограмму потребности почв в известковании, себестоимость и доходность по видам продукции, затраты труда на производство 1 ц продукции, основные показатели экономической эффективности ранее проведенной мелиорации.

В соответствии с планами районных и областных организаций устанавливают: перспективные планы развития и специализации хозяйств, материалы бонитировки почв и кадастровой оценки, численность населения и использование рабочей силы, состояние жилого и производственного фондов, степень механизации работ и производственных процессов, поголовье, продуктивность и рацион скота, обеспеченность кормами.

На основе вышеперечисленных документов заказчик составляет сам или поручает подрядчику разработать план проведения проектно-изыскательских и строительных работ и согласовывает его с заинтересованными организациями. В части топографических и геологических работ предусматриваются лишь объемы, необходимые для дополнения выполненных ранее, перед реализацией предыдущего гидромелиоративного проекта (по трассам углубляемых или вновь прокладываемых каналов, в местах обнаруженных разрушений сети или сооружений, по образовавшимся за время эксплуатации закрытым переувлажняемым понижениям).

Обязательно уточнение основных водно-физических свойств почвогрунтов (коэффициентов фильтрации и водоотдачи), механического состава, степени разложения, зольности и объемного веса торфяников (послойно), напора грунтовых вод и их характерных уровней для различных периодов года, обследование пониженных элементов мезорельефа с целью установления причин переувлажнения и определения вариантов технических решений для их осушения.

При гидрологических изысканиях также желательно как можно полнее использовать материалы, полученные при эксплуатации реконструируемых систем, но при любом количестве исходной информации, полученной в прошлом, необходима их актуализация. Поэтому обязательны гидрологические изыскания на водоприемнике и водоисточнике, по их результатам составляется описание их современного состояния, уровня режима, типичных и экстремальных расходов, соответствие проектным параметрам, рекомендации по техническим решениям, обеспечивающим приемлемые условия подачи и сброса воды с реконструируемой системы.

### ***Многовариантное проектирование***

Как всякая техническая задача, реконструкция мелиоративной системы имеет бесчисленное множество решений. Уже достаточно долго выдвигаются требования ис-

пользовать многовариантное проектирование, чтобы из многих вариантов выбрать наилучший. Проектировщики пытались выполнять эти требования и предлагали выбор из нескольких (как правило, двух) проектных решений. Однако в условиях постоянного административного нажима с целью снижения затрат на проектирование подготовка многих вариантов проектных решений по каждому объекту затруднительна – слишком долго и дорого. Также неясно, сколько должно быть вариантов, чтобы проектное решение стало достаточно эффективным?

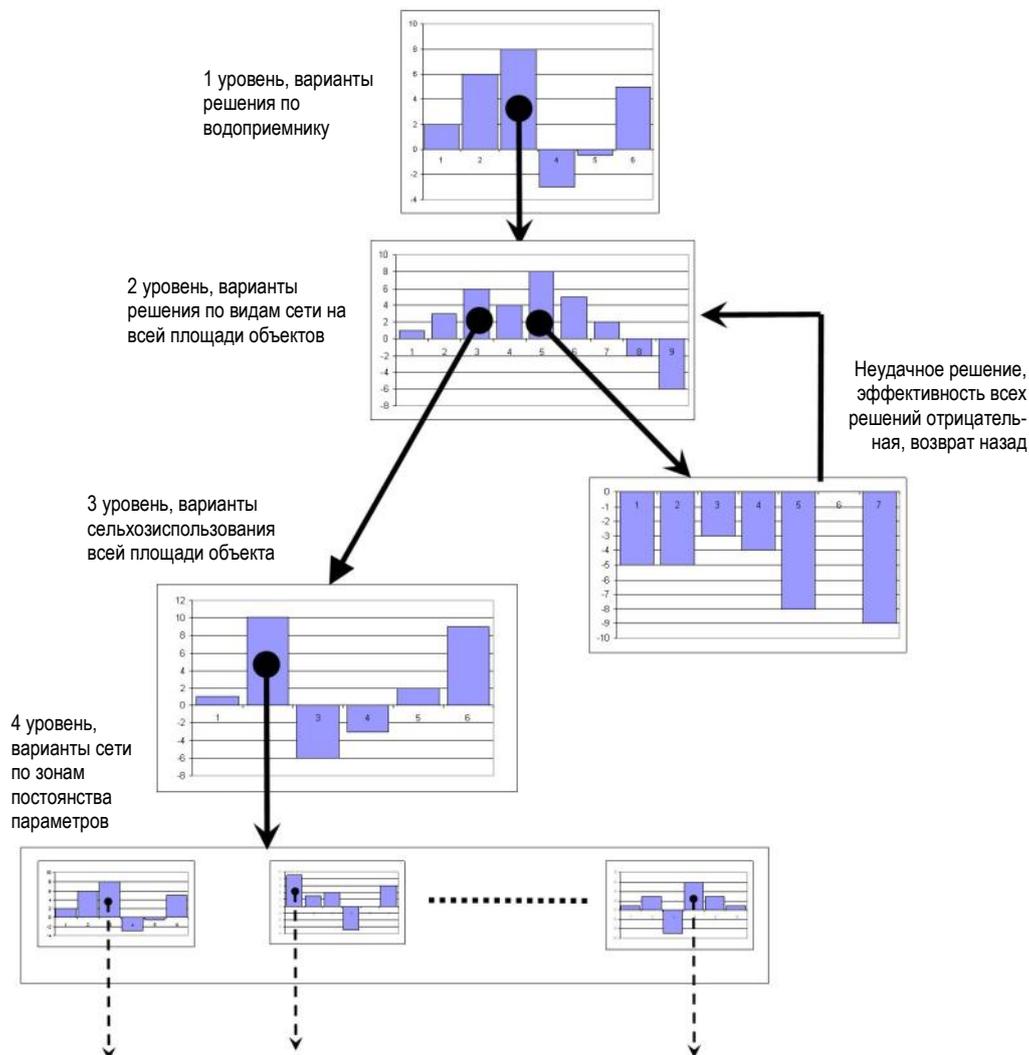
Для формализации и удешевления процедуры многовариантного проектирования предлагается итерационный, с селективными элементами выбора способ (алгоритм) совершенствования проектного решения. Алгоритм предполагает до начала расчетов параметров технических и агрономических решений и оформления проектной документации сделать обоснованный последовательный выбор вариантов решений (гидромелиоративных, сельскохозяйственных, эколого-экономических) по всей системе в целом и каждому элементарному участку мелиорированной площади, который достаточно велик, чтобы представлять собой хозяйственно значимую величину, и обладает специфическими свойствами, требующими индивидуальных технических или агрономических решений.

При этом на каждом шаге рассматривается несколько альтернатив, но к проработке с использованием расчетов по укрупненным показателям принимаются только наиболее перспективные варианты. Тем самым окончательное решение, при относительно небольших затратах на проектные работы, будет экономически и функционально близким к оптимальному. При этом процесс легко контролируется и документируется.

Если классифицировать в терминах оптимизационных задач предложенный алгоритм, то его можно отнести к итеративным по координатным поискам. Итеративность проявляется в возможности возврата в случае тупиковых ситуаций на один или более шагов и проведении следующей итерации (см. рис. 1).

Очередность рассмотрения и оценки решений по элементам определяется принципом убывания площади, на которой оцениваемый элемент влияет на нормализацию водного режима или адаптируется под существующие посевы. Если на каком-то этапе выясняется, что принятые на более ранних стадиях решения делают невозможными или слишком затратными последующие шаги, то реализуется возврат к предыдущему шагу и изменяется принятый вариант, чтобы обеспечить возможность решения на более низком уровне, сохранив эффективность более общих решений.

Для разработки экономически эффективных проектов реконструкции гидромелиоративных систем необходимо на каждом уровне выбора все варианты решений оценивать с точки зрения экономической эффективности и технологической целесообразности, даже если в ранее изданных нормативах эти решения рассматривались как аксиомы. Например: ограничения на форму и площадь посевных контуров; создание на поле одинаковых условий для растениеводства; расчет регулирующей сети на всем объекте



**Рис. 1. Фрагмент схемы работы алгоритма по выбору наилучшего решения при проектировании реконструкции мелиоративной системы**

по наиболее требовательной к водному режиму культуре; приоритет закрытого дренажа перед сетью открытых каналов и др. Безусловно, эти решения действительно повышали функциональные возможности мелиоративной системы и облегчали ведение сельскохозяйственного производства, но в современных экономических условиях цена этих улучшений может быть слишком высока.

Практическая реализация вышеприведенных рекомендаций предполагает постоянные экономические оценки, сопровождающие каждый шаг подбора, близкого к оптимальному набору и сочетанию технических и биологических решений. Детальные экономические расчеты сделали бы этот процесс очень затратным и трудоемким, а зачастую и невозможным из-за недостатка исходной информации. Поэтому на этапе предварительного

отбора комбинаций для наилучшего решения предлагается использовать оценки по укрупненным экономическим и (или) натуральным показателям и даже экспертные оценки.

Элементами, влияющими на всю площадь системы, являются водоприемник и водоисточник, если предполагается осушительно-увлажнительная система. Поэтому выбор технических решений при реконструкции мелиоративной системы начинают именно с них. Далее порядок рассмотрения ясен из рис.1.

#### **Оценка мелиоративного объекта как системы управления уровнем режимом**

Прежде всего, по результатам изысканий определяются существующие возможности и перспективы подачи и сброса воды на уровне реконструируемой системы. Оцениваются возможные изменения параметров на момент проектирования и на период работы реконструируемой системы, параметры источников подачи воды, данные о возможных расходах подачи (отвода и транзита) и отметках уровня воды в точках подачи и водосброса.

При этом обязателен учет особенностей работы водоисточников и водоприемников в расчетном интервале погодных условий и внутрисезонном разрезе.

Для уменьшения объема изыскательской и аналитической работы, а также затрат на проектирование при определении основных параметров системы можно использовать прием объединения в единые массивы площадей по признакам идентичности природных условий, мелиоративной сети и ее состояния. По результатам анализа всей имеющейся проектной, изыскательской и эксплуатационной информации площадь исследуемой системы делится на зоны постоянства параметров (ЗПП), т.е. участки, в пределах которых основные характеристики системы можно считать постоянными (идентичные гидрогеология, топография, почвенные условия, регулирующая сеть, расположение относительно проводящей и ограждающей сети).

Затем, по данным изысканий, эксплуатационных служб и сведениям, полученным от специалистов хозяйств-землепользователей, выделяют ЗПП, не отвечающие требованиям сельскохозяйственного производства. Эти участки даже при экспедиционном обследовании обнаруживаются достаточно точно по внешним признакам вторичного заболачивания (кочки, переувлажнение, многолетняя гидрофитная растительность) и невозможности ведения интенсивного сельскохозяйственного производства (колеи, отсутствие культурной растительности).

ЗПП наносятся на топокарты с обозначенной мелиоративной сетью и выбираются репрезентативные системы, на которых определяются искомые параметры. Причем, должны быть выбраны и зоны с некондиционным водным режимом с тем, чтобы на основе их параметров определить сельскохозяйственные ущербы, экономическую мотивацию ремонта или реконструкции. Основные параметры, характеризующие возможности мелиоративной сети в части управления водным режимом, следующие.

Диапазон изменения уровней воды в каналах (УВК) определяется по проектным данным (продольные профили и поперечники каналов, отметки порогов и верха затворов подпорных сооружений). Учитываются величины заиления, реальные отметки бровок и подпорных сооружений. В случае имеющихся ограничений со стороны проводящей сети, водоисточника и (или) водоприемника учитываются и они.

Диапазон изменения УГВ определяется (по данным наблюдений, охватывающих основные расчетные периоды работы сети, либо с использованием статической характеристики по определенным УВК). Мелиоративные системы имеют довольно устойчивую статическую характеристику (зависимость УГВ от УВК в средних погодных условиях). Эта характеристика линейна. Тангенс ее угла наклона к оси УВК характеризует эффективность влияния регулирующей сети на УГВ (коэффициент усиления практически всегда меньше единицы – 0,3-0,8). Для построения статической характеристики используются данные синхронных наблюдений за УГВ и УВК на работоспособной сети. На кривых, отображающих изменения УВК и УГВ во времени, выбирают отрезки, когда отсутствовали сильные погодные воздействия и уровни воды были относительно стабильными. По этим отрезкам определяют средние УГВ и УВК и наносят точки на диаграмму. По полученной диаграмме строят статическую характеристику ЗПП. Обычно эта характеристика достаточно стабильна в пределах системы. Более точно статическую характеристику можно получить по данным специально организованных или проводимых в рамках эксплуатационных мероприятий шлюзований. Если сеть утратила работоспособность, то статическую характеристику допускается определять на объекте-аналог (территориальная близость, идентичность геологии и гидрологии, параметров сети).

Интегральная зависимость нарастания площади поля регулирования (или распределение площадей по высотам) от отметки поверхности. Интегральные зависимости либо распределения строятся по данным планиметрирования, или с помощью соответствующего матобеспечения (в этом случае обязательно наличие электронной карты местности).

Если реконструируется осушительно-увлажнительная система (ОУС), то ее площадь делится на поля регулирования (ПР). В состав ПР входят площадь, мелиоративная сеть, подпорные гидротехнические и эксплуатационные сооружения. Границы ПР проходят по элементам проводящей сети или по водораздельным линиям между системами каналов или дренажных систем. Размер ПР определяется местными условиями, типом мелиоративной сети и подпорных сооружений. Например, в условиях Полесья размер ПР может изменяться от 200 га (при использовании подпорных сооружений только на открытых каналах) до 2 га (при использовании гидроавтоматов на коллекторах дренажных систем). Границы ПР обязательно согласуются с границами ЗПП. При оценке структуры системы и определении параметров единицей разделения площади объекта для осушительно-увлажнительных систем является ПР.

Условия работы ПР также могут существенно различаться, это зависит как от почвенных, гидрогеологических и топографических условий, так и от положения относительно водоприемников или водисточников. ПР может подсоединяться к проводящей сети параллельно или в виде каскадов. Для ОУС информационным является динамический параметр – время стабилизации УГВ ( $\tau$  по С.Ф. Аверьянову). Динамические характеристики регулирующей и проводящей сети определять нецелесообразно. Во-первых, они очень переменчивы во времени и зависят от состояния сети, водисточника и (или) водоприемника, а, во-вторых, они имеют быстроедействие, как правило, на порядок выше  $\tau$ . Поэтому вариации быстрогодействия каналов, построенных по актуальным нормативам и находящихся в нормальном эксплуатационном состоянии, реального влияния на качество управления УГВ не имеют.

Время стабилизации  $\tau$  можно определить по известной теоретической зависимости Аверьянова, либо  $\tau$  определить по кривой переходного процесса, полученной при шлюзовании (время достижения 90%-ного уровня от нового установившегося состояния составляет  $2\tau$ ). Этот параметр позволит определить время, за которое может быть изменен УГВ, и оценить возможные величины ущерба урожаю, в случае, если, например, система не будет обладать требуемым быстроедействием.

Проведя такую работу по принятому набору репрезентативных ПР (либо ЗПП для осушительных систем), можно составить объективное представление по дислокации зон с различными условиями на площади объекта реконструкции, возможным ресурсам управления рассматриваемой системы. Такая информация в комплексе с данными изысканий является исчерпывающей для решения вопросов о способах и методах гидромелиорации, агрономических мероприятиях на реконструируемых площадях. Также эти данные позволяют в укрупненных показателях рассчитать ущербы от неоптимальности водного режима и, сопоставив ущербы с требуемыми затратами на ремонт или реконструкцию мелиоративной системы, принять обоснованное решение по использованию тех или иных альтернативных решений.

Однако следует отметить, что если при реконструкции не предусматривается масштабное переустройство регулирующей сети объекта и ранее построенная сеть обеспечивала требуемое качество водного режима, например, до заиления водоприемника или проводящей сети, то определение динамических характеристик не требуется.

Для практического применения вышеприведенного алгоритма формирования структуры проектного решения ранее и в процессе выполнения данной работы были разработаны следующие методики.

#### ***Определение базового уровня урожайности***

Методика опубликована ранее [1], поэтому при ее описании ограничимся самыми общими сведениями. Зачастую агроэкономические изыскания затруднены и очень затратны. Собираемая информация недостоверна и субъективна. Для объективной оцен-

ки продуктивности реконструируемых угодий определяется расчетный базовый уровень урожайности различных культур. Базовый уровень – это урожайность, получаемая в заданных почвенных и хозяйственных условиях при среднемноголетних значениях погодных факторов при нормальном водном режиме. Из множества производственных факторов, влияющих на урожайность, методикой учитываются пять основных: географическое место расположения; почвенные условия; доза основных элементов питания (минеральные и органические удобрения); интенсивность использования средств защиты растений и обеспеченность сельхозтехникой.

Зависимость продуктивности от географического места и дозы минеральных удобрений определяется по опубликованным результатам опытов с дозами удобрений на территории Республики Беларусь и смежных зарубежных областях, на различных почвах, характерных для мелиоративных систем. Выразить эту зависимость компактными универсальными формулами оказалось затруднительно из-за их разнообразия и многочисленности. Поэтому для получения зависимости урожайности от дозы удобрений выбирается ряд публикаций, в которых описаны опыты, территориально близкие к реконструируемой системе и на почвенных разновидностях, характерных для рассматриваемых площадей. Использование опубликованных данных по влиянию уровня минерального питания имеет те преимущества, что они имеют четкую привязку к территории и почвенным условиям, времени проведения, сроку осреднения, точности соблюдения технологии выращивания и более высокую достоверность. К методике прилагается компактная база данных по результатам таких опытов (около 6000 вариантов опытов). По приведенным материалам строятся диаграммы связи урожайности основных культур от дозы удобрений и аппроксимируются квадратичными зависимостями.

Связи урожайности с обеспеченностью сельскохозяйственной техникой и с интенсивностью применения средств защиты растений получены в виде корреляционных зависимостей для условий Беларуси [1].

Расчет базового уровня урожайности на реконструируемой мелиоративной системе проводится в следующем порядке. Уровень урожайности в заданном месте и при определенной дозе удобрений является потенциально достижимым (с учетом коэффициента перехода к производственным посевам  $k=0,7$ ; кроме трав,  $k=1$ ). Недостаточно интенсивные работы по защите растений, выражающиеся в недостаточном финансировании, уменьшают потенциальный уровень в зависимости от принятого объема финансирования этих работ. От оставшейся части потенциального уровня урожайности может вычитаться еще некоторая часть, зависящая от удельной стоимости техники ( $\$/га$ ) в хозяйстве-землепользователе.

Таким образом, базовая урожайность ( $Y_0$ ) рассматриваемой культуры определяется выражением:

$$Y_0 = Y_1 \cdot (1-k_2) \cdot (1-k_3).$$

Здесь:  $Y_1$  – потенциальный уровень урожайности при заданных условиях: культура, место расположения и почвенные условия. Определяется выражением  $Y_1 = a_1 \cdot X_1^2 + bX_1 + c$ , где:  $X_1$  – доза NPK, кг д.в./ га;  $a_1$  и  $b_1$  – коэффициенты аппроксимирующей корреляционной зависимости потенциальной урожайности от дозы NPK;  $c$  – уровень урожайности в рассматриваемых условиях без внесения NPK.

$k_2$  и  $k_3$  – соответственно доли потерь от недостатка средств защиты растений и техники для обработки, оба определяются зависимостями:  $Y_i = (a_i \cdot X_i^2 + b_i X_i + c_i) / 100$  при  $X_i < D_i$ ; или  $=0$  при  $X_i \geq D_i$ .

$i=1$ :  $Y_1$  – доля потерь от недостатка средств на защиту растений;  $X_1$  – величина затрат на защиту растений, \$/га;  $a_1$ ,  $b_1$  и  $c_1$  – коэффициенты аппроксимирующей кривой корреляционной зависимости потерь от недостатка средств на защиту растений;  $D_1$  – пороговая величина затрат на химзащиту ( $X_i < D_i$  – потери учитываются;  $X_i \geq D_i$  – потери не учитываются).

$i=2$ :  $Y_2$  – доля потерь от недостатка средств на техническую оснащенность;  $X_2$  – величина затрат на технику, \$/га;  $a_1$ ,  $b_1$  и  $c_1$  – коэффициенты аппроксимирующей кривой корреляционной зависимости потерь от недостатка средств на технику;  $D_1$  – пороговая величина затрат на техническое оснащение.

Результаты апробации методики на примере ПОСМЗил сведены в табл. 1.

**Таблица 1. Сравнение рассчитанных и фактических урожайностей на ПОСМЗил**

Культура	Урожайности полученные, ц/га			
	в опытах с дозами NPK	при переходе к производственным посевам	фактический, средний за 2001-2004 гг.	фактически полученный в проблемной зоне в 2004 г.
Картофель	290	203	168,8	160
Кукуруза	300	210	211,5	-
Оз. рожь	35,5	24,5	34,8	-
Ячмень	38	26,6	34,3	38,9
Пшеница	33	23,1	34,3	38,4
Травы однолетние	328	230	208	27,9
Травы многолетние	189	132	208,2	-

Как видим из табл. 1, базовая урожайность картофеля, кукурузы и трав определена с удовлетворительной точностью. Что касается зерновых, то применение коэффициента перехода к производственным посевам оказался излишним. Это свидетельствует о высоком агроуровне выращивания зерновых на ПОСМЗил. Практически достигнут уровень урожайности зерновых, получаемый на этих землях в опытах. Однако урожайность на ПОСМЗил, как правило, в 1,5-2 раза выше урожайности по району. Поэтому при применении методики на землях рядовых хозяйств целесообразно оставить коэффициент перехода к урожайности производственных посевов равным 0,7.

### **Определение потерь урожайности из-за нарушений уровня режима**

Ущерб урожаю от нарушений водного режима на реконструируемой мелиоративной системе является необходимым компонентом любых экономических расчетов при технико-экономическом обосновании. Вначале, в качестве альтернативы, предусматривался вариант процедуры оценки потерь на основе сравнения фактических урожайностей на системе, нуждающейся в реконструкции, с урожайностями на объекте-аналоге с удовлетворительным водным режимом. Однако в ходе практического опробования этого метода было принято решение о необходимости разработки методик, основанных только на использовании вычислительных процедур.

Методика расчета потерь урожайности от некачественного управления уровнями грунтовых вод на мелиоративных системах также опубликована ранее [1], поэтому ограничимся общими сведениями о ее сути. Методика построена на корреляционных зависимостях потерь урожайности различных культур от нарушений уровня режима. Зависимости получены по результатам обобщений результатов специальных экспериментов. Потери определяются в зоне измерения УГВ для одной или нескольких выбранных культур. Доля потерь урожайности от некачественного управления УГВ определяется в процентах от базового уровня урожайности. При оценке эффективности работы системы управления учитывается только прибавка от влияния управляемого фактора – УГВ. Влияние всех прочих условий учитывается косвенно, уровнем урожайности, рассчитанным для рассматриваемого участка.

К независимым факторам, связанным с качеством управления УГВ и вызывающим невосполнимые (в течение расчетного года) потери урожайности, относятся: неточное регулирование УГВ для данного объекта, сезона и культуры, подтопление и затопление корневой системы растений, а также связанное с ними смещение от оптимальных сроков сева и уборки урожая. Количественным показателем точности поддержания заданного уровня режима принят средний модуль отклонения за весь вегетационный период текущего УГВ от заданного.

Потери урожайности от факторов, связанных с качеством управления УГВ, определяются по зависимости:

$$\Delta G = \Delta g_1 + \sum_{i=2}^n \frac{g_{i-1}^{nom} - \Delta g_{i-1}}{100} \Delta g_i.$$

Здесь:  $\Delta G$  – суммарные потери в течение рассматриваемого сезона, % от потенциального урожая;

$\Delta g_i$  – доля потерь урожая от влияния  $i$ -го фактора стресса, %;

$g_{i-1}^{nom}$  – урожайность, в % от потенциальной, получение которой возможно до начала действия  $i$ -го фактора стресса, %.

Ущерб рассчитывается цепочкой по мере наступления в реальном времени

факторов стресса: весеннее затопление – летние подтопления и затопления – точность управления – осенние затопления. Расчет автоматизирован и проводится с помощью программы, реализованной в среде в электронной таблице Excel.

**Отбор технических и агрономических решений для нормализации водного режима или адаптации посевов к существующим условиям на реконструируемой системе**

**I. Схема формирования структуры проектных решений.** Отбор и оценка эффективности альтернативных решений проводится в порядке убывания затрагиваемых техническим или агрономическим решением площадей. При этом на каждом уровне величины площадей рассматриваются несколько решений, как гидротехнического, так и агрономического плана. Эти решения оцениваются по функциональным возможностям и экономическим показателям (в укрупненных показателях) и для дальнейшей разработки принимается самый эффективный. Затем переходят к меньшему уровню площадей, на которых проблемы водного режима не решались вариантами более высокого уровня. На нем также рассматривается ряд альтернатив и выбирается наилучший и т.д. (см. рис. 1).

Типовой порядок уровней решений и примерный перечень альтернатив представлен в табл. 2.

Для использования в условиях реконструируемых мелиоративных систем на сработанных мелкозалежных торфяниках Полесья с развитым мезорельефом пригодны многие технические решения, описанные в действующих нормативных документах. Мы рассмотрим

**Таблица 2. Порядок рассмотрения и примерный перечень альтернативных решений**

Проблемный элемент системы	Зона обслуживания	Альтернативные решения
Водоприемник	Весь объект или его пониженная часть	Ремонт (реконструкция) водоприемника, переход к польдерному типу системы, подбор культур в верхней части системы и отказ от сельскохозяйственного использования низовья
Мелиоративная сеть	Весь объект или ЗПП	Виды сети, ее параметры для всего объекта, либо по ЗПП параметров, «решительная» планировка, организация поверхностного стока, оптимизация управления водным режимом и подбор культур, или выбор агроспециализации для различных ЗПП, тип размещения посевов по ЗПП (обычное и адаптивное), ренатурализация некоторых ЗПП.
Элементы рельефа (макро-, мезоформы) в сочетании с почвенными разновидностями.	Часть ЗПП	Планировка, адаптивное размещение посевов, ренатурализация наиболее непригодных к сельхозиспользованию участков. Организация поверхностного стока, индивидуальные технические решения по западинам.
Элементы рельефа (микро- и наноформы) в сочетании с почвенными разновидностями	Периодическое появление на всей или части площади объекта	Узкозагонная вспашка, организация поверхностного стока, эксплуатационная планировка, специфичная почвообработка.

только некоторые реализации, по которым в данной работе были предложены существенные элементы новизны в конструктивной, либо расчетной части и даются краткие характеристики для предварительной оценки перспективности их дальнейших разработок.

**II. Гидротехнические и строительные решения. Увеличение (относительно проектной) глубины регулирующей и проводящей сети** в общем случае связано с невозможностью ведения сельскохозяйственного производства из-за переувлажнения. При этом подчистка сети до проектных отметок или строительство новых каналов, выотно увязанных со старыми решениями, не обеспечивают необходимого осушения, например, из-за осадки торфяника.

Может быть перспективным к применению при переувлажнении более половины площадей системы. Это очень дорогостоящее мероприятие. Помимо углубления сети потребуются заглубить почти все сооружения, стоимость углубления порога сооружения практически равна строительству нового. И, кроме того, неизбежно увеличение влияния на окружающую территорию. Потребуется новое детальное экологическое обследование окружающих территорий, оценка влияния новых параметров системы на природную среду и системы водоснабжения населенных пунктов. Углубление сети не освобождает от работ по организации поверхностного стока и осушения замкнутых понижений. Тем не менее, только углубление сети примерно в 4 раза дешевле (ориентировочно 200-300 \$/га) создания зимнего польдера с механическим водоподъемом.

На объектах с развитым мезорельефом углубление сети – это обеспечение нормального осушения наиболее плодородных зон – понижений. Соответственно расширится зона переосушаемых бугров, но они обычно менее плодородны и, как правило, значительные их площади исходно переосушены.

Решение о целесообразности проведения углубления сети может отчасти обосновываться зависимостями, полученными при расчетах экономической эффективности производства при различных среднесезонных УГВ. Поскольку в рассматриваемых условиях обычные системы не обеспечивают нормального увлажнения пахотного горизонта, в рамках данной работы были предприняты попытки разработки и испытания (на физических и математических моделях) новых типов сети.

**Системы дифференцированного управления водным режимом по элементам рельефа** на базе горизонтальной регулирующей сети. Суть состоит в том, что она имеет автономные дренажные системы для регулирования УГВ на повышенных и пониженных элементах мезорельефа (увлажнение бугров и осушение низин). По сути, на каждом поле регулирования будут работать минимум две регулирующих сети, взаимодействующих между собой. Каждый тип сети связан с каналом, в котором поддерживается соответствующий уровень воды. Поскольку повышения и понижения расположены случайным образом, то не исключается возможность пересечения коллектором "чужой" территории. В этом случае он должен быть выполнен в виде герметичного водовода.

Таким образом, дренажные системы располагаются по буграм и западинам, под склонами дренаж не предусматривается. Расстояние между системами определяется расчетом. Подавая на бугры повышенный напор и осушая низины, создается в некоторой степени "бугристый" рельеф зеркала УГВ, который стремится копировать поверхность земли.

Экспериментальные исследования показали, что на типичных полесских объектах реально создание уклонов водной поверхности грунтовых вод в пределах 0,001-0,003. Очевидно, что это примерно на порядок меньше уклонов поверхности, встречающихся в рассматриваемых условиях. Следовательно, экономически целесообразная регулирующая сеть не обеспечивает полного копирования уровнями воды мезорельефа даже в условиях среднеразвитого мезорельефа. Стоимость строительства такой сети примерно вдвое больше обычного закрытого дренажа.

Математическое моделирование работы таких систем на опытных участках показало, что с помощью этого решения можно рассчитывать на прибавку урожая до 10%. Реально такая система в Беларуси нигде не построена.

Эта же идея, реализуемая с помощью гидроавтоматов "по нижнему бьефу" на закрытой сети, предлагалась к использованию в украинских нормативных документах [2].

При реконструкции осушительных систем обязательно рассматривается вариант создания ОУС. Если увлажнение осушаемых земель целесообразно, следует запроектированную осушительную сеть увязать со схемой орошения или увлажнения.

**Водооборотная осушительно-оросительная система на базе вертикального дренажа.** Принцип действия системы заключался в понижении УГВ путем откачек из скважин при избыточном увлажнении и орошении подземными водами с помощью широкозахватной техники в засушливые периоды. Приведенная стоимость строительства и эксплуатации системы вертикального дренажа на типичном мелкозалежном торфянике Полесья составляет около 1800 \$/га. К этому необходимо добавить стоимость оросительной системы, величина которой зависит от конструктивного решения. Многочисленные исследования показали, что в условиях Полесья оросительные системы экономически эффективны только при производстве овощей в пригородных зонах.

Опыт эксплуатации системы вертикального дренажа показал необходимость дополнения системы скважин мероприятиями по отводу поверхностных вод и осушению западин. Практически нужна система выборочного осушения. Стоимость ее строительства и эксплуатации примерно равняется стоимости вертикального дренажа.

Несмотря на очевидность успеха в обеспечении оптимального водного режима на любых вариантах развития мезорельефа, также очевидны недостатки этого варианта. Система сложная в эксплуатации, дорогая и требует все более лимитируемой электроэнергии. Последнюю действующую в Республике Беларусь систему вертикального дренажа на ПОСМЗил из-за ее несовместимости с современными условиями не отремонтировали, а реконструировали. Построили сеть разреженных каналов и выборочного дренажа, дополненную мероприятиями по осушению западин.

**Проведение планировочных работ по различным технологиям с целью ликвидации мезорельефа.** "Решительная планировка" предусматривает уничтожение элементов мезорельефа и превращение поля в относительно ровную, специальным образом организованную площадь, например, в виде дву- или односкатной крыши.

На глубоких торфяниках мощностью >1 м на повышениях почти не имеется отрицательных последствий при засыпке понижений до 40 см. При большей глубине засыпки существенна потеря плодородия даже торфяного слоя. Для восстановления плодородия потребуется около 5 лет. Остается актуальной перспектива возврата к новому развитию мезорельефа в будущем. Строительная стоимость перемещения 100 м<sup>3</sup> на расстояние до 50 м около 50\$ [3]. Типичные объемы планировочных работ 100-500 м<sup>3</sup>/га.

На сработанных мелкозалежных торфяниках может допускаться только эксплуатационная планировка локальных понижений глубиной до 20 см. В экспериментах, при попытках выравнивания понижений в 40 см длиннобазовым планировщиком, как правило, происходило полное обнажение песчаной подпочвы на значительных площадях смежных бугров раньше, чем удавалось добиться выравнивания территории. Восстановление плодородия этих бугров оценивается более чем в 500\$/га за 8-10 лет (внесение 50 т/га навоза ежегодно) [4, 5]. Более глубокие понижения планируются с использованием карьерной технологии с разработкой, погрузкой грунта в автомобили экскаватором и многократном перемещении растительного грунта по специальной технологии (300-500 \$/га). У значительного числа землепользователей сложилось чрезвычайно негативное отношение к планировке развитого мезорельефа на сработанных торфяниках Полесья. В среднем, на типичном объекте, прямые строительные затраты на такой вариант выравнивания водного режима (скрепер, планировщик) можно ожидать в пределах 100-500 \$/га и даже более. Оптимистичный прогноз окупаемости (на опытах) 7 лет [4].

В процессе реконструкции мелиоративных систем работает тяжелая техника, микрорельеф ухудшается также и в результате проведения мелиоративно-строительных работ (прокладка дренажных линий, строительство гидротехнических сооружений, расчистка площадей от ДКР и камней). Поэтому в комплексе работ по реконструкции осушительных систем строительная планировка поверхности является мероприятием обязательным. Планировке старопахотных земель на легких почвах должно предшествовать дискование в 1-2 следа [6]. Максимальная величина допускаемой срезки – насыпки грунта за один проход планировщика – 3-4 см. Величина срезки не должна превышать половины мощности гумусового слоя почвы.

При реконструкции осушительных систем за один год выровнять поверхность почвы невозможно (неравномерная осадка). Кроме того, в период эксплуатации образуются различные неровности (разъемные борозды, свалы, гребни, гряды), поэтому ежегодно следует проводить эксплуатационную планировку перед посевом или после уборки сельскохозяйственных культур (во время проведения почвообработок).

В комплексе приемов при реконструкции осушительных систем большое значение имеет внесение повышенных доз органических удобрений. На мелиорируемых землях, кроме требуемого количества удобрений под ту или иную культуру, необходимо вносить удобрения для восстановления почвенного плодородия, нарушенного при производстве культуртехнических и мелиоративно-строительных работ. Дозы вносимых удобрений определяются по тем же нормативам, что и при новом строительстве [7].

**Ренатурализация западин** с подъемом поверхности и пескованием смежных торфяников, устройство специальных экологических ниш. В замкнутых глубоких понижениях, самотечное осушение которых слишком затратно, целесообразно строительство копаней, которые являются источником грунта для требуемого подъема отметок смежных территорий и пескования торфяных почв в понижении (для повышения их продуктивности, снижения пожароопасности и повышения проходимости сельскохозяйственных машин); экологической нишей для околводных животных и орнитофауны; пожарным водоисточником; эстетичным элементом ландшафта. В условиях Полесья рассматривать копань как водоприемник нецелесообразно, при использовании для водопоя ею утрачиваются все экофункции.

Водоем может иметь практически любую близкую к прямоугольной или овальной форму, в определенной мере копирующую конфигурацию понижения. Площадь водного зеркала и объем выемки подбираются из расчета подъема отметок поверхности западины до уровня, нормализующего водный режим, и пескования площади торфяника дозой 300 м<sup>3</sup>/га (для зерновых и многолетних трав) – 500-600 м<sup>3</sup>/га (картофель и однолетние кормовые). Если при проектировании обязательных элементов копани появляется излишек грунта, то он используется при создании на островке и бровках водоема возвышений для организации среды обитания норным животным.

Обязательными элементами копани экологической направленности являются (Закржевский П.И., 1990): островок среди водного зеркала с одним пологим откосом; зона мелководья (примерно 25-30% водного зеркала) глубиной до 0,5 м (в летний период) для питания околводных и водоплавающих птиц; зимовальная яма водных животных, она же – пожарный водозабор глубиной более 2 м в летнюю межень.

Подъем поверхности торфяника и его пескование увеличивают продуктивность площадей вокруг копани. Обобщение зависимостей урожайности различных культур от доз пескования показало, что для компенсации потери площади под водным зеркалом копани необходимо, чтобы площадь пескования минимум в 10 раз превышала площадь копани. Результаты обобщения опытов пескования торфяника различными дозами песка приведены в табл. 3.

Экономические расчеты на типичном полесском объекте показали, что удельная стоимость ренатурализации западины посредством устройства копани зависит от глубины выемки и площади зеркала копани, а также площади и величины подсыпки и колеблется от 50 до 500 \$/га. Соответственно окупаемость строительства составляет от 0,4 до 1,1 года.

**Таблица 3. Зависимости прибавки урожайности (в %) от доз внесенного песка при песковании торфяников**

Культура	Зависимость прибавки урожайности (У %) от дозы пескования (Х м <sup>3</sup> /га)
Зерновые	$Y=27 \cdot (1-\exp(-0,005265 \cdot X))-19 \cdot (1-\exp(-0,002185 \cdot X))$
Картофель	$Y=-6E-05 \cdot X^2+0,0815 \cdot X-0,3159$
Кукуруза	$Y=-9E-05 \cdot X^2+0,0866 \cdot X$
Райграс	$Y=-8E-05 \cdot X^2+0,0974 \cdot X-0,9586$
Многолетние травы	$Y=-5E-05 \cdot X^2+0,043 \cdot X+0,4422$
Злаковые травы	$Y=-1E-04 \cdot X^2+0,0966 \cdot X+0,2335$
Бобово-злаковые травы	$Y=0,0213 \cdot X+0,018$

Ренатурализация западин может осуществляться и простым выводом ее из сельскохозяйственного использования. Оставление в естественном состоянии не влечет никаких строительных затрат, но приносит ежегодные потери прибыли с этой площади (20-100 \$/га·год). Как правило, такие понижения зарастают осоками и кустарниками, эстетичность ландшафта с такими участками спорна.

По данным публикаций, в некоторых случаях альтернативой пескованию могло быть применение спецзапашки, создание искусственного почвенного профиля с перемежающимися в подпахотном горизонте косыми слоями песка и торфа. Пахотный горизонт состоит из слоя торфа, перемешанного с песком. Это мероприятие в 70-80-х гг. широко пропагандировалось и внедрялось в производство [8]. Предполагалось, что, создав вместо торфяника техногенную органоминеральную почву, получим целый ряд преимуществ по сравнению с торфяниками и пескованием сработанных торфяников. Проведенные раскопки и обследование участка спецзапашки на ПОСМЗил (использовался в сельскохозяйственном производстве более 30 лет) показали, что более приемлемым вариантом является обычное пескование (кроме случая необходимости разрушения цельности прослоек в торфе или малопроницаемых слоев на контакте торф-песок). Пескование обеспечивает все реально доказанные относительно торфяника преимущества, присущие спецзапашке, и в то же время технологически значительно проще и дешевле.

### **III. Агрономические решения по обеспечению высокоинтенсивного растениеводства на реконструируемых мелиоративных системах**

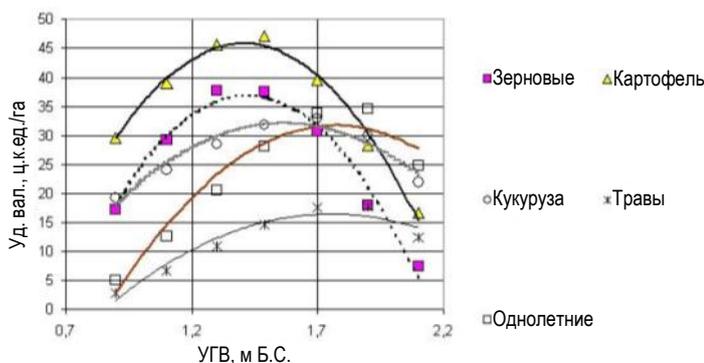
**Формирование оптимальной структуры сельскохозяйственного использования** Проектирование необходимо начинать с решения вопросов целесообразного сельскохозяйственного использования. Характер использования определяется потребностями хозяйства-землепользователя, степенью сработки (трансформации) торфяника, развитием мезорельефа, существующим водным режимом. При этом в качестве исходных можно рекомендовать общие соображения [9]: чем меньший удельный вес торфяников в хозяйстве, тем большая их доля должна отводиться под луговые угодья.

Если такого рода распределение удовлетворяет потребности хозяйства, то на этом первоначальное планирование заканчивается. Под каждый вид угодий определяется требуемая норма осушения.

Если не устраивает – проводится работа по согласованию интересов хозяйства с возможностью сети и целесообразными вариантами сельхозиспользования.

На втором этапе предварительной оценки определяется пригодность существующей системы по обеспечению требуемого водного режима для ведения интенсивного сельскохозяйственного производства. Выделяются площади с неудовлетворительным водным режимом и рассматриваются альтернативы гидротехнической нормализации водного режима, либо – как агрономическими мероприятиями приспособить растительный покров под существующий или достижимый водный режим. Подбираются гидротехнические мероприятия, которые при минимальных затратах обеспечивают требуемый водный режим. После рассмотрения доступных возможностей агрономии и гидротехники, могут формироваться смешанные варианты по разным частям объекта.

При расчетах текущего состояния продуктивности мелиорированных угодий учитывается базовый уровень урожайности и потери ее от неоптимальности водного режима и почвенных условий на всем поле. Для прогнозирования изменений продуктивности проводится ряд расчетов при различных УГВ (как правило,  $\pm 0,5$  м от актуального среднесезонного УГВ). Обычно эти графики (см. рис. 2) достаточно информативны в части необходимости и перспективности работ по реконструкции мелиоративной сети или проведения других мероприятий. Максимальной продуктивности различные культуры достигают при различных УГВ. Кроме того, даже немаксимальный выход продукции с посевов одних культур может устраивать хозяйственников больше, чем наибольший с других. То же можно заключить по зависимостям рентабельности производства в различных условиях увлажнения.



**Рис. 2. Сравнительная продуктивность различных культур при изменении степени увлажнения на типичном поле сработанного торфяника**

Таким образом, подбор культур, соответствующих условиям увлажнения поля позволяет, в определенном диапазоне условий, получить те же производственные и экономические результаты, что и при проведении гидротехнических мероприятий, но при нулевых затратах на строительные работы.

Такого рода зависимости строятся хотя бы для одного поля из полей севооборота ЗПП или ПР. По результатам расчетов выбирается перспективное направление восстановления на объекте высокоинтенсивного растениеводства, пример расчета приведен на рис. 2.

Если результативность растениеводства неудовлетворительна – опробуется вариант адаптации посевных площадей к условиям поля с помощью уменьшения посевных контуров. Производится оценка изменения продуктивности и затрат при уменьшении посевных контуров и возможности подбора продуктивных культур для неблагоприятных зон поля регулирования.

***Расчет экономических возможностей адаптации сельскохозяйственных посевов к почвенным и топографическим условиям типичного сработанного торфяника со средней степенью развития мезорельефа.*** При проведении исследований очень перспективным (в какой-то мере аналог широко обсуждаемого на Западе направления «прецизионного» или «точного» земледелия) приемом представлялся переход к посевам, адаптированным к топографическим и почвенным условиям. Поэтому рассмотрим этот вопрос подробнее.

Поскольку сработанный мелкозалежный торфяник, как правило, представляет собой очень пеструю картину и по рельефу (а значит по водному режиму) и по почвенным условиям (от полноценного торфяника до антропогенно преобразованных песчаных почв с содержанием ОВ менее 10%), то предполагалась возможность существенного увеличения продуктивности за счет расположения культур по элементам мезорельефа с максимальным учетом их требований к водному режиму и почвенным условиям.

Было очевидно, что при этом придется пойти на уменьшение размеров посевных контуров. Известно, что это влечет за собой увеличение трудоемкости и сложности организации полевых работ. С другой стороны, имеются вариации урожайности в связи с различием водного режима по элементам рельефа и почвенным условиям, на торфяно-песчаных комплексах плодородие почвенного слоя достаточно тесно коррелирует с содержанием ОВ в почвенном слое. Следовательно, для оценки эффективности адаптации растительного покрова к природным условиям необходимо получить связи продуктивности с вышеупомянутыми факторами.

Существенным моментом, ограничивающим пригодность опубликованной по рассматриваемому вопросу информации, является то, что, как правило, мелкоконтурность обуславливалась природными препятствиями (овраги, заболоченные участки, древесно-кустарниковые заросли, завалуненность и др.). Все эти естественные границы способствуют ухудшению условий произрастания сельскохозяйственных культур и в этих приграничных зонах снижается урожайность. Этот факт и отмечается в опубликованных исследованиях по влиянию мелкоконтурности на продуктивность угодий и себестоимость продукции. В наших же условиях таких границ (кроме случая заболоченных понижений при неисправной мелиоративной сети) нет.

В этом случае важной задачей является определение связи размера посевного контура с критерием эффективности, например, экономическими, технологическими или энергетическими показателями, чтобы можно было определить минимально допустимую площадь посевного контура, при котором можно вести эффективное растениеводство.

Интересная информация, касающаяся влияния размера контура, опубликована в [10]. В этих указаниях приведена связь площади обрабатываемых участков с поправочными коэффициентами к бальной оценке почв. Несложная обработка этой информации позволила получить зависимость потерь урожайности от размера посевного контура. Результаты приведены на рис. 3, на этот же рисунок мы поместили данные такой же зависимости, полученные в БелНИИМиВХ (Р.А. Мышко, 1979) и данные из [11].

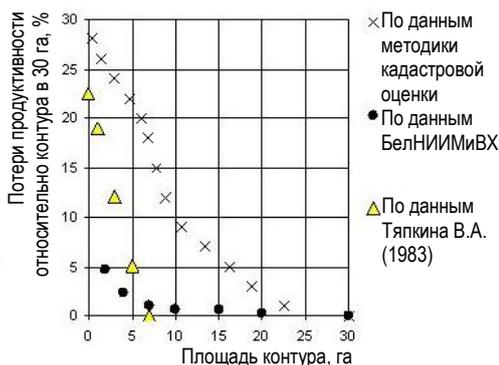


Рис. 3. Зависимость потерь продуктивности пашни от площади посевного контура

стремится иметь как можно больший посевной контур. Если он не велик, значит его ограничивает древесно-кустарниковая растительность, дорога, либо заболоченный участок или что-либо другое. Отсюда учитывались потери от следующих причин: 1) уплотнение почвы на полосах разворота; 2) избыточная увлажненность у границ западин или болота; 3) затененность посевов, прилегающих к опушке леса или к границе кустарника; 4) нарушения почвенного покрова при строительстве каналов и дорог, порча транспортом посевов, прилегающих к неулучшенным дорогам; 5) от края поля распространяются сорняки и болезни.

В расчетах БелНИИМиВХ учитывалось только снижение урожайности на полосе разворота. Рассмотрев аргументацию [10] применительно к нашей задаче, можно заметить, что здесь речь идет о выделении среди пахотного участка на старой мелиоративной системе небольшого контура с локальными почвенными и (или) топографическими условиями. Значит, пункты 2-3 не актуальны для нашего случая. Пункт 1 тоже не столь однозначен, раз нет естественных границ, значит обработка более ранних и (или) более ценных культур будет производиться таким образом, что полосы разворота размещаются на соседнем (еще не обработанной площади, либо на посевах менее ценных культур, например, травах) посевном контуре. Следовательно, в первом случае уплотнение будет только на части площадей, а во втором – развороты не принесут практически никакого вреда. Дороги на мелиоративных системах обычно располагаются вдоль каналов на грунте кавальеров, для их насыпи не сгребался почвенный горизонт с окружающей территории. Вынутый при строительстве канала грунт представляет собой торфо-песчаную

Анализ описания методик определения расчета поправочных коэффициентов показал, что все зависимости получены не прямыми измерениями, а расчетным путем на основании обобщения статистических данных и соображений по влиянию на урожайность участка тех или иных данных. Это оставляет определенные допуски к полученным результатам.

В методике определения кадастровой стоимости при расчетах потерь учитывалось соображение, что хозяйственник

смесь, которая разравнивается примерно на 20-метровой полосе от бровки канала. При этом происходит пескование торфяника и повышается его продуктивность. Что касается порчи посевов вдоль неорганизованных полевых дорог, то, по нашему мнению, она будет происходить как на автоморфных почвах, так и на мелиоративной системе одинаково для контуров любых размеров. Более того, дороги на мелиоративных системах более упорядочены и, соответственно, занимают меньшую площадь. Таким образом, пункт 4 также не следует учитывать в наших расчетах.

Что касается пункта 5, то, во-первых, это спорный тезис. На мелиоративной системе сорняки обычно распространяются от неухоженной открытой сети или лесополос. В нашем же случае, скорее всего, речь может идти всего лишь о границе между однотипными культурами или видами трав. Там нет возможности для появления сорной растительности. Во-вторых, болезни как раз сильнее поражают большие массивы монокультур. И, наконец, естественные враги вредителей также распространяются от границ посевов.

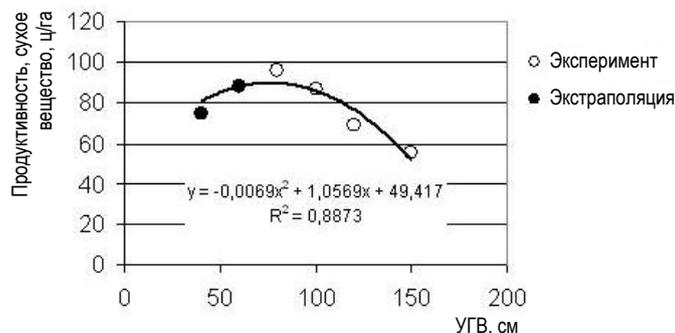
Анализ работы [11] показал, что все результаты были получены в Калининской области в условиях, значительно отличающихся от Полесья. Другим существенным моментом является размер контура, который не влияет на снижение урожайности. По [11], контур площадью в 6 га уже не понижает продуктивность, авторы [10], учитывая полесские масштабы, ориентируются на поле в 30 га. По нашему мнению, Р.А. Мышко все же ближе к условиям данной задачи.

Результаты реальных опытов с дифференциацией продуктивности по элементам рельефа (Д.Б. Даутина, 1991) на сработанных торфяниках Любанского района, эксплуатируемых более 50 лет, показали, что потери в продуктивности зерновых, относительно продуктивности на склонах, буграх, составляют 16, в низинах 29%. Что примерно соответствует данным, полученным ранее нами на объекте Калиновка, и данным [10].

Несколько иная картина получена по данным стационара на ПОМС (Д.Б. Даутина, Л.Н. Лученок, 2005). По этой информации только кукуруза на силос увеличивает урожайность от низины к бугру. Остальные культуры, по данным 11 лет наблюдений, демонстрируют падение урожайности по мере увеличения отметки поверхности и степени минерализации торфяника. Это связано с некоторым переосушением стационара на ПОСМЗил. Почти для всех культур оптимальные УГВ в низинах. Остальная территория стационара была переосушена.

Очевидно, выявленные зависимости от степени сработки (элемента рельефа) торфяника изменятся при попытке оптимизации уровня режима по максимальной площади (когда УГВ оптимальны на склонах). Вполне возможно, что максимум продуктивности сработанных торфяников получается для большинства культур именно при оптимизации уровня режима в понижениях, где наиболее плодородная почва, а возвышенности в любом случае будут переосушены. Тем не менее, полученные связи могут применяться при расчетах экономических или энергетических оценок. Для использования в этих,

безусловно, очень достоверных данных мы экстраполировали кривые урожайности до зоны переувлажнения. Для экстраполяции кривых урожайности были использованы корреляционные связи, определенные в [1], результаты приведены на рис. 4.



**Рис. 4. Пример дополнения экспериментальной зависимости продуктивности злаковых трав (стационар на ПОМС) расчетными значениями в зоне высоких УГВ**

Для оценки эффективности применения мелкоконтурных, адаптированных к условиям поля, посевов были проведены численные эксперименты с цифровой моделью поля на сработанном торфянике со среднеразвитым мезорельефом. Кроме того, в этих экспериментах прорабатывались вопросы оценки возможных потерь и увеличения затрат на ведение сельскохозяйственных работ на участках с неограниченно малой площадью.

В качестве тестовой площади был выбран опытный участок на ПОСМЗил. Площадь между Б-1-0-4 и Б-1-4. Это репрезентативный представитель ПР на мелиоративных системах центральной части Белорусского Полесья. Площадь покрыта сработанным торфяником. Хорошо выражен мезорельеф. Почвенный покров представлен всей гаммой условий, типичных для сработанных торфяников.

По условию эксперимента поле было разбито на участки (по возможности) с однородными топографическими условиями (низина, бугры, склоны, плато). На площади была выдержана типичная структура посевных площадей хозяйства. По элементам мезорельефа распределялись культуры по диапазону отметок поверхности: зерновые, картофель и кукуруза на силос – по повышенным элементам мезорельефа (>132,4 м), многолетние травы – по пониженным (<132,38 м), другие кормовые культуры по промежуточным (склоны, плато 132,38-132,4 м). При этом учитывалась структура посевных площадей. При формировании полей посевные контура стремились организовывать максимально большими.

Длины гона определялись прямыми измерениями на масштабной схеме. По каждому посевному контуру значения индексов затрат определялись по [10]. Затем индексы распределялись по каждой операции технологий выращивания культур. Расчеты проводились по реальному распределению площадей. Для расчетов при оптимальном распределении использовались только средневзвешенные по площадям индексы.

Чтобы исключить элемент субъективизма (распределение площади поля на посевные контура) и выяснить максимальные возможности, был проведен расчет и для идеального распределения культур по высотам поля.

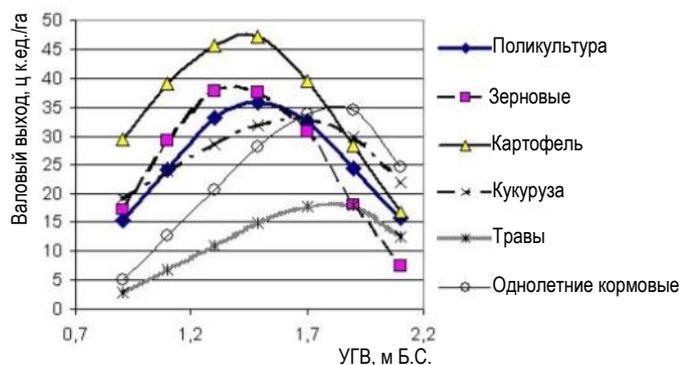
Кроме того, в расчетах учтена разница урожайности различных культур в зависимости от содержания органического вещества (ОВ) в почве. Зависимости урожайности от содержания органического вещества получены (1988-2005 гг.) на стационарах, расположенных в зоне опытного участка на сработанных торфяниках ПОСМЗиЛ. Индексы продуктивности, использованные при расчетах, приведены в табл. 4.

**Таблица 4. Индексы относительной продуктивности культур от содержания ОВ в почве**

Культура	Содержание ОВ, %			
	12,5	22,5	40	70
Многолетние злаковые травы	0,658333	1	1,295833	1,370833
Кукуруза	0,815399	1	0,944341	0,875696
Пелюшко-овсяная смесь	0,827742	1	1,263896	1,28955
Зерновые	0,692898	1	1,160461	1,232705

Расчеты продуктивности и рентабельности растениеводства были выполнены в среде Excel для фактического УГВ (2005), для прогнозирования изменений продуктивности проведен ряд расчетов при различных отметках УГВ: УГВ = 0,9; 1,1; 1,3; 1,7; 1,9; 2,1 м.

Кроме того, с использованием этой же таблицы проведены расчеты различных вариантов учета и неучета необходимости сохранения заданной структуры посевных площадей (см. рис. 5).

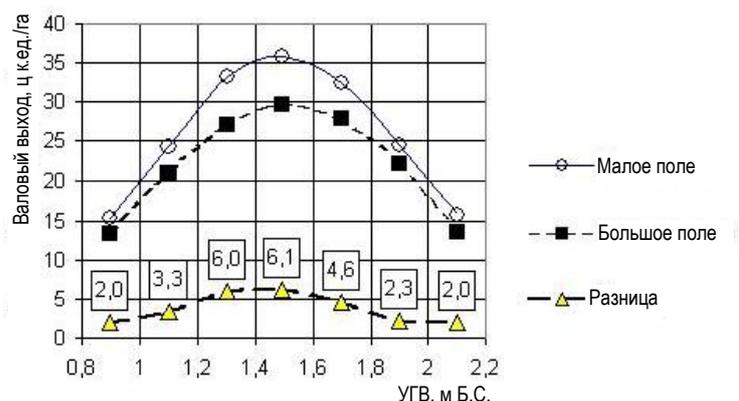


**Рис. 5. Сравнение продуктивности различных культур (монокультура) и мелкоконтурного поля (поликультура, с сохранением структуры посевных площадей) при различных условиях увлажненности (отметки среднесезонного УГВ)**

По рисунку можно сделать целый ряд выводов по перспективным направлениям изменения водного режима на рассматриваемом поле регулирования. Во-первых, для зерновых, картофеля и адаптированных (мелкоконтурных) посевов поликультуры водный режим опытного участка был в 2005 г. (УГВ=1,41 м Б.С.) близким к оптимальному. Однако

для однолетних кормовых и трав уровни должны быть повышены на 30-40 см. Во-вторых, после ремонта канала Б-1 регулирующая сеть поля не нуждается в реконструкции.

Для обеспечения методической «чистоты» сравнения был проведен расчет для больших полей, но с соблюдением существующей структуры посевных площадей. Результаты расчета приведены на рис 6.

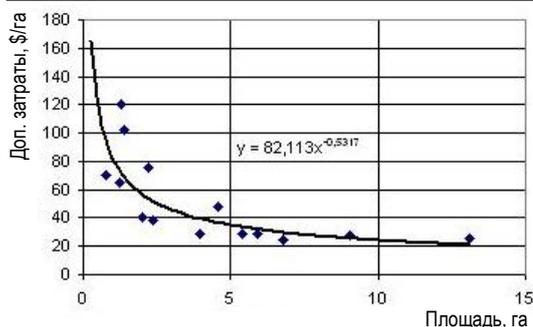


**Рис. 6. Сравнение производительности угодий с адаптированными к почвенным условиям и мезорельефу посевам с продуктивностью больших полей без адаптации. В обоих вариантах выдерживается заданная структура посевных площадей. Сравнение проводится на фоне повышающихся отметок среднесезонных УГВ**

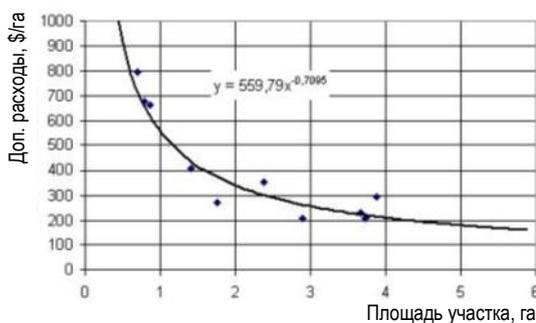
По результатам этих расчетов можно отметить, что адаптированные мелкоконтурные посева имеют преимущество перед неадаптированными большими полями. Уровневый режим 2005 г. близок к оптимальному для валовых выходных показателей. При этом идеально адаптированные посева превышают производительность традиционных на величину более 6 ц.к.ед./га (или около 17%, но это верхняя граница). Заметим также, что и для неадаптированных посевов на больших полях условия 2005 г. стали оптимальными, как только было введено ограничение на структуру посевных площадей. Другой экономический показатель – рентабельность имеет более высокие результаты: в гидрологических условиях 2005 г. уровень рентабельности адаптированных посевов выше на 20%. Интересно, что в случае снижения среднесезонных УГВ превышение уровня рентабельности может составить 32% при физически отрицательной рентабельности обоих вариантов.

Чтобы при планировании использования мелкоконтурной адаптации посевов иметь предварительные укрупненные оценки предстоящих затрат, для различных культур были построены зависимости дополнительных затрат от площади посевного контура (см. рис. 7, 8).

По полученным результатам (рис. 7, 8) можно отметить, что в процентных значениях результаты соизмеримы с ранее полученными на рис. 3. Впечатляют дополнительные затраты при переходе к посевным контурам 1-2 га. Они в 1,5-3 раза превышают расходы на самую качественную эксплуатацию мелиоративных систем, которая в значи-



**Рис. 7. Дополнительные расходы на возделывание зерновых на малых посевных контурах при базовых затратах 165,27 \$/га**



**Рис. 8. Дополнительные расходы на возделывание картофеля на малых посевных контурах при базовых затратах 1484,25 \$/га**

тельной мере и обеспечивает неопределенно длительное сохранение возможностей ведения растениеводства на больших посевных контурах.

Исходя из перспективности энергетических расчетов в будущем, при оценке эффективности производственной деятельности, помимо экономических, были сделаны энергетические оценки расчетной адаптации посевов на экспериментальном поле. Дополнительные затраты энергии приведены в нефтяном эквиваленте (марки «Urals») и для сравнения в денежных эквивалентах (через среднегодовую цену нефти марки «Urals» в 2004 г.).

Расчет проведен только для УГВ (2005) на опытном поле. Примеры представлены на рис. 9.

Как видим, при снижении площади посевного контура требуются, в зависимости от культуры, дополнительные затраты энергии, эквивалентные 150-250 л/га нефти марки «Urals». Если перевести

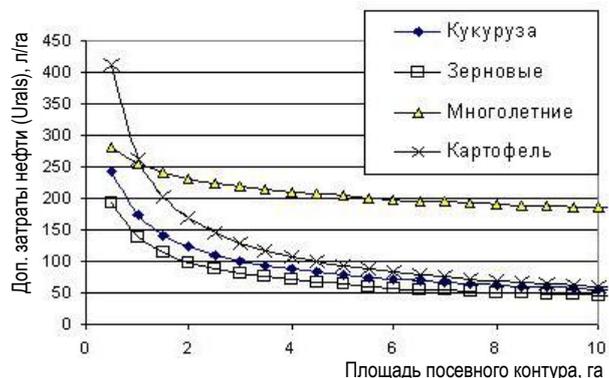
эти затраты в денежное выражение через стоимость нефти в 2004 г., то получим 30-55 \$/га. С методическими целями было проведено сравнение дополнительных затрат, полученных посредством использования денежных оценок в актуальных ценах трудозатрат и ресурсов, и дополнительных затрат энергии, оцененной через стоимость нефти. На рис. 10 приведен пример такого расчета.

Как показали результаты расчетов, величины требуемых дополнительных затрат, вычисленные разными способами, разнятся многократно. Очевидно, что пока ценовые соотношения, используемые в Республике Беларусь, мало связаны с энергетикой процессов и ресурсов.

### **Заключение**

По результатам численных экспериментов можно отметить следующее:

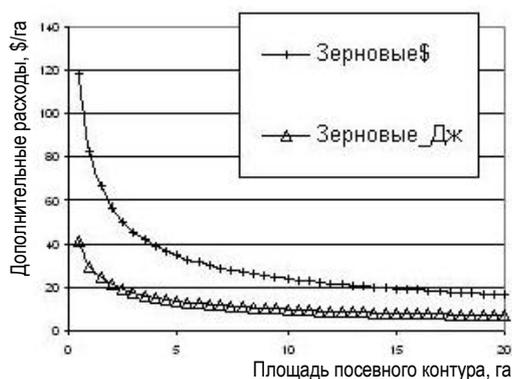
1. На рассматриваемом поле регулирования УГВ близки к оптимальным, поэтому работы по реконструкции сети на нем не требуются. Возможно, эффективными могут оказаться мероприятия по локальным элементам мезорельефа.



**Рис. 9. Дополнительные затраты энергии при уменьшении посевных контуров, в нефтяном эквиваленте (Ural), л/га.**

Расчеты велись через энергосодержание нефти, равное 42300 МДж/т и среднегодовую цену 34,4 долл. за барр. Данные приводятся в докладе Минэкономразвития РФ об итогах социально-экономического развития РФ в 2004 г. ПРАЙМ-ТАСС Москва, 15 февраля 2005

<http://www.primetass.ru/news/show.asp?id=484590&ct=news>



**Рис. 10. Сравнение расчета дополнительных затрат, связанных с уменьшением посевных контуров, при возделывании зерновых, рассчитанных по расценкам (\$) и через стоимость дополнительной энергии, выраженной через стоимость нефти (Дж)**

2. Как в денежном, так и в физическом выражении культуры на конкретном поле могут быть эффективными и невыгодными. Специализация отдельных крупных полей по выращиванию на них специально подобранных монокультур может быть даже более эффективна, чем адаптация (с применением мелких посевных контуров) посевов к условиям поля с соблюдением существующей структуры посевных площадей.

3. Если же соблюдение структуры посевных площадей обязательно, то адаптация посевов (в идеальном случае) более выгодна, продуктивность выше на 6,1 ц к. ед/га (17%), рентабельность может быть выше на 32%.

4. Затраты на ведение сельскохозяйственного производства нарастают с уменьшением посевных контуров по экспоненциальной зависимости, снижение площадей контуров менее 3 га вызывают резкий рост затрат, которые превышают затраты на качест-

венную эксплуатацию мелиоративных систем, обеспечивающую возможность ведения растениеводства на больших посевных контурах.

### **Выводы**

1. Предлагаемый комплекс разработок для предпроектного выбора конструктивных гидротехнических решений с учетом возможностей агро-мелиоративных мероприятий и растениеводческих технологий позволяет: повысить обоснованность этих решений; существенно снизить строительные затраты на реконструкцию мелиоративных систем; максимально использовать возможности мелиоративных систем для повышения продуктивности угодий.

2. На сработанных торфяниках с развитым мезорельефом эффективным приемом ренатурализации наиболее глубоких переувлажненных западин является строительство многофункциональных копаней. При правильно подобранных параметрах конструкции копань окупается в течение одного года, компенсирует потери валового сбора и выполняет многочисленные экологические, хозяйственные и ландшафтные функции.

3. Обобщение данных многолетних стационаров показали нецелесообразность ренатурализации возвышенных элементов мезорельефа. В условиях Полесья имеются все возможности высокоэффективного хозяйственного использования таких площадей, например, под многолетними засухоустойчивыми бобовыми культурами.

4. Значительно эффективнее направлять средства на поддержание работоспособности мелиоративных систем и иметь возможность работать на больших посевных контурах, чем допускать потерю работоспособности мелиоративной сети и вести растениеводство на мелких посевных контурах.

### **Литература**

1. Шкутов Э.Н. Определение расчетного уровня урожайности сельскохозяйственных культур на мелиоративных системах // Мелиорация переувлажненных земель: Сб. научн. работ БелНИИМил. Т. 50. – Мн.: БелНИИМил, 2003. – С. 48-63.
2. Проектування та експлуатація осушувально-зволожувальних систем на землях з пересечним рельєфом (Методичні-вказівки). – Киев-Ровно: Госком України по водному хоз-ву. – 1994. – 104 с.
3. Каталог укрупненных расценок на строительство сооружений и дополнительных единичных расценок для водохозяйственного строительства организаций Белмелиоводхоза / Белгипроводхоз. – Мн. – 1994.
4. Тиво П.Ф., Саскевич Л.А. Планировка осушенных земель и урожай // Земледелие. – 1984. – №12. – С. 35-37.
5. Зубец В.М., Тиво П.Ф., Смирнов В.П. Планировка поверхности торфяников. – Мн.: Ураджай, 1987. – 95 с.
6. Методические указания по реконструкции осушительных систем в нечерноземной зоне РСФСР. – Л. – 1979. – 13 с.
7. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного строительства в Белорусской ССР (РПИ-82). Ч. 4. Сельскохозяйственное освоение мелиорируемых земель. – Мн. – 1982. – 268 с.

8. Белковский В. И., Дречина П. В., Швейдель Э. Я. Эффективность обогащения торфяных почв минеральными компонентами и их влияние на минерализацию органического вещества. – Проблемы Полесья. Вып. 7. – Мн.: Наука и техника, 1981. – С. 91-102.
9. Адаптивные системы земледелия в Беларуси. – Мн.: МСХ, ААН Республики Беларусь: 2001. – С. 153.
10. Кадастровая оценка земель сельскохозяйственных предприятий (Методические указания) / Кузнецов Г.И., Мороз Г.М., Смеян Н.И., Богдевич И.М. и др. // Гос. комитет по земельным ресурсам, геодез. и картограф. РБ. – Мн. – 2001. – С. 49 (прилож. 3 Г).
11. Тяпкин В.А. Оценка комплекса природно-экономических ресурсов сельскохозяйственных предприятий. – М. – 1983. – С. 41.
12. Боровиков В.В., Шкутов Э.Н. Использование имитационного моделирования при оценке экономической эффективности алгоритмов управления УГВ на осушительно-увлажнительных системах // Вопросы проектирования и эксплуатации мелиоративных систем. – Мн.: БелНИИМВХ, 1984. – С. 66-76.

#### **Summary**

#### ***Shkutov E. Methodological Principles of the Reclamation Projects Reconstruction at the Worked-Out Peatbogs with the Developed Meso-Relief***

The complex of proposals on the reclamation project reconstructions is presented, including: the recommendations on investigations, algorithm of multi-choice designing, methods of determination of the basic level and loss of crop yield because of the level mode violation, earth reservoir parameters matching during the renaturalization of lowerings. The solutions on the plant growing intensification provide for the formation of stubbling optimal structure, estimation of the economic possibilities for the crops adaptation to the soil and topographic conditions of the worked-out peatbog with the average degree of the meso-relief development.

*Поступила 08 декабря 2006 г.*