МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

С. В. Набздоров

ВОЗДЕЛЫВАНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

Монография

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2026

УДК 631.63:631.5:631.67

Набздоров, С. В. Возделывание сахарной свеклы в условиях орошения / С. В. Набздоров. – Горки : Бел. гос. с.-х. акад., 2026. – 118 с. – ISBN 978-985-882-882-0.

Монография посвящена научно-практическим вопросам возделывания сахарной свеклы в условиях орошения. Рассмотрены биологические особенности культуры, требования к водному, пищевому и температурному режимам, а также влияние орошения на рост, развитие, урожайность и сахаристость корнеплодов.

Для специалистов в области мелиорации, аспирантов, магистрантов, студентов, обучающихся по специальности «Мелиорация и водное хозяйство».

Табл. 45. Ил. 24. Библиогр.: 178 назв.

Печатается по решению Научно-технического совета
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Протокол № 4 от 26 апреля 2025 г.

Рецензенты:
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
начальник НИС УО «Международный государственный
экологический институт им. А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета Н. Н. Цыбулько;

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
профессор кафедры кормопроизводства и хранения
продукции растениеводства Белорусской государственной
сельскохозяйственной академии Б. В. Шелюто

ISBN 978-985-882-882-0

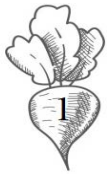
© Набздоров С. В., 2026
© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2026

ВВЕДЕНИЕ

Одним из стратегических направлений развития сельскохозяйственного производства Беларуси является повышение эффективности возделывания сахарной свеклы. Рост конкурентоспособности производства сахарной свеклы и других культур, наращивание экспортного потенциала Беларуси, развитие экологически безопасного сельского хозяйства, ориентированного на укрепление продовольственной безопасности страны, обеспечение полноценного питания и здорового образа жизни населения – основные цели Государственной программы «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы. В этой программе индикатором развития свеклосахарного подкомплекса является достижение к 2025 году объемов производства сахарной свеклы в хозяйствах всех категорий не менее 5 млн т при средней урожайности 538 ц/га при сахаристости не менее 17 % [1].

Республика Беларусь за последние годы вышла на сравнительно высокий уровень в технологии возделывания сахарной свеклы, уйдя практически от ручного труда. Известно, что урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы зависят от почвы, технологии возделывания, применения минеральных и органических удобрений и природно-климатических условий. Наиболее пригодны для возделывания сахарной свеклы суглинистые почвы. В целом по республике на них размещается около 37 % пашни, но даже на этих почвах следует отметить существенную зависимость производства культуры от погодных условий. Например, среднегодовой объем производства сахарной свеклы за 2016–2020 годы составил 4,6 млн т, или 139,5 % к уровню 2015 года, а в 2019 году получена максимальная урожайность – 519 ц/га, но в следующем 2020 году, неблагоприятном по влаго- и теплообеспеченности вегетационного периода, собрано сахарной свеклы только 4 млн т при средней урожайности 482 ц/га. Непредсказуемые колебания урожайности сахарной свеклы по годам усложняют планирование производства культуры, отрицательно отражаются на управлении производством конечного продукта – сахара.

Природно-климатические условия Республики Беларусь характеризуются неравномерным распределением атмосферных осадков в течение вегетации, что предполагает необходимость регулирования водного режима. Этот недостаток можно исключить только путем проведения мелиоративных мероприятий [2–5].



1 ВОЗДЕЛЫВАНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

1.1. Интенсификация свекловодства – основа повышения конкурентоспособности сахарной промышленности Беларуси

Сахарная свекла – основная техническая культура, используемая в качестве сырья для производства белого сахара. Вместе с тем известно, что сахарная свекла является одной из наиболее трудоемких и материалоемких культур. На 1 га посевов свеклы затраты труда в 11–13 раз выше, а материально-денежные – в 6–8 раз выше, чем на 1 га зерновых культур, но при этом выход валовой продукции, наоборот, больше в 3–4 раза, а чистый доход выше в 4 раза [6].

В Беларуси в 2005 году под сахарной свеклой было занято 100,3 тыс. га при валовом сборе около 3 065 тыс. т [7, 8]. Учитывая потребности внутреннего рынка и возможный экспортный потенциал, такой уровень организации сахарного производства для страны оценивался как недостаточный, поэтому в плане организационно-технологических мероприятий, направленных на развитие сахарной промышленности Беларуси в 2005–2010 годах, было предусмотрено увеличение суммарного объема производства сахарной свеклы к 2010 году в физической массе до 3 893 тыс. т (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15 июля 2005 г. № 792). Плановые показатели к 2011 году были успешно достигнуты. Кроме того, в соответствии с постановлением Правительства свеклоперерабатывающие предприятия (ОАО «Городейский сахарный комбинат», ОАО «Жабинковский сахарный завод», ОАО «Скидельский сахарный комбинат», ОАО «Слуцкий сахарорафинадный комбинат») провели существенную модернизацию производственных мощностей, в которую государством было вложено более 55 млн долл. США. Реконструкция предприятий сахарной промышленности позволила повысить производственные мощности по переработке сахарной свеклы каждого предприятия до 7 тыс. т в сутки [9, 10].

Дальнейшее развитие свекловодства в 2011–2015 годах осуществлялось в основном без увеличения посевных площадей, за счет интенсификации выращивания сахарной свеклы, повышения ее урожайно-

сти и сахаристости (роста сбора сахара с 1 га), обеспечения сохранности и снижения потерь сахарной свеклы на всех технологических этапах. Более того, в эти годы производителями сахарной свеклы совместно с учеными аграрного отделения НАН Беларуси и организациями сахарной промышленности были реализованы мероприятия по технологическому сопровождению возделывания сахарной свеклы от подготовки семян к посеву до уборки в соответствии с требованиями отраслевого регламента и обеспечению сохранности продукции на всех технологических этапах. Повышение урожайности и сахаристости сахарной свеклы, рост объема сбора сахара с 1 га и обеспечение сохранности сахарной свеклы позволили в 2011–2015 годах значительно увеличить объемы производства сахара на мощностях действующих предприятий сахарной промышленности. К 2015 году благодаря комплексному решению проблем сахарного производства, включая экономическую поддержку отрасли и внедрение в свеклосеяние новых сортов и гибридов, предложенных белорусскими селекционерами, в хозяйствах Беларуси значительно повысилась урожайность культуры, а сбор вырос почти на миллион тонн [11].

Однако следует отметить, что валовой сбор сахарной свеклы в Беларуси весьма существенно различается по годам. Если за 2010–2014 годы производство сахарной свеклы выросло более чем на 21 %, то в 2015 году оно уменьшилось на 31 %. Основные причины были связаны не только с нарушением технологии – сроков внесения удобрений и начала уборочной кампании. Существенное влияние оказали неблагоприятные погодные условия, связанные с засухами, вызванными неравномерным распределением атмосферных осадков в период интенсивного роста сахарной свеклы [12].

В благоприятном по метеоусловиям 2016 году общий сбор сахарной свеклы на душу населения увеличился с 398 до 450 кг/чел., благодаря чему Беларусь стала одним из лидеров среди стран СНГ по этому показателю. По отношению к 2015 году за 2016 год производство сахарной свеклы в Республике Беларусь выросло на 978,5 тыс. т (29,7 %), а в 2017 году – на 1 627,8 тыс. т (49,3 %). В 2016 году собрано максимальное количество сахарной свеклы за последние восемь лет – 4 927,7 тыс. т. Сбор сахарной свеклы в 2017 году превысил запланированный в Государственной программе развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы на 0,6 % [7, 8, 13, 14].

Следует отметить, что урожайность сахарной свеклы и производство сахара в странах Европы также сильно колеблются в зависимости от почвенно-климатических и погодных условий, уровня культуры

земледелия и применяемых технологий. Если такие страны, как Австрия, Бельгия, Великобритания, Германия, Голландия, Дания, Швеция, Швейцария и Франция, получают по 8–12 т/га сахара, то Албания, Беларусь, Болгария, Грузия, Латвия, Литва, Россия, Румыния и Украина – только по 3–5 т/га. При этом Беларусь находится не на последнем месте. Так, с 2010 по 2014 годы наша республика по валовому сбору сахарной свеклы занимала среди восемнадцати приведенных выше стран вполне достойное восьмое место. Это свидетельствует о довольно высоком уровне развития сахарной отрасли в республике и ее способности конкурировать со странами Европы. В настоящее время Беларусь среди стран СНГ занимает третье место по сбору сахарной свеклы. Заметим, что в 2010–2016 годы в таких странах, как Азербайджан, Казахстан, Кыргызстан, Молдова, Туркменистан, объемы производства свеклы были значительно меньше (не менее чем в 6 раз) [7, 8, 15, 16].

Все страны Таможенного союза, кроме России, в 2015 и 2016 годах имели снижение производства сахарной свеклы, а Россия за эти годы увеличила производство на 13 772 тыс. т (почти на 30 %). В 2016 году в России достигнуты весьма высокие показатели по многим позициям, включая рекордный сбор сахарной свеклы (около 45 млн т). Благодаря этому Россия по валовому сбору вышла на первое место в мире, опередив такие страны, как Франция, США, Германия. Следует отметить, что в России имеют место некоторые колебания площадей, занятых под сахарной свеклой. Если в 2017 году под культурой использовалось 1,17 млн га, то в 2018 году эта площадь сократилась до 1,11 млн га, а в 2019 году выросла до 1,13 млн га. Все зависит от рентабельности производства. Например, аналитики предполагают, что в 2022 году площадь посевов опять может уменьшиться из-за прогноза общего снижения рентабельности возделывания сахарной свеклы [17].

Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы (подпрограмма 1 «Развитие растениеводства, переработки и реализации продукции растениеводства») предусматривалось достижение к 2020 году объемов производства сахарной свеклы при средней сахаристости около 17 % в хозяйствах всех категорий не менее 4 902 тыс. т. Учитывая, что урожайность в 2019 году по сравнению с 2005 годом увеличилась более чем в 1,5 раза (на 58 %) и практически достигла уровня 50 т/га, запланированный уровень производства на сегодняшний день можно оценивать как достигнутый. Среднегодовой объем производства сахарной свеклы за 2016–2020 годы составил 4,6 млн т, или 139,5 % к уровню 2015 года.

В 2020 году сбор сахарной свеклы составил 4 млн т при средней урожайности 482 ц/га по сравнению с 519 ц/га в 2019 году и 330 ц/га в 2015 году [1, 18, 19, 20].

Сахарная отрасль начала конкурировать по производству сахара со странами ЕС и СНГ. Поэтому, несмотря на то что в мире преобладает изготовление сахара из тростника, в ЕС растет конкурентоспособность свекловичного сахара. При этом следует учитывать, что на общемировом рынке по производству сахара значительным авторитетом обладает Ассоциация сахаропроизводителей стран-участниц Таможенного союза Беларуси, Казахстана, России, сформированная для повышения уровня конкурентоспособности, что в целом положительно влияет на развитие сахарного производства в Беларуси. В этих условиях свекловичной отрасли необходимо не только обеспечить получение планируемых объемов производства сахарной свеклы, но и достичь соответствующего уровня эффективности возделывания культуры, чтобы не проиграть в конкурентной борьбе.

Сравнительный анализ данных по урожайности сахарной свеклы в Республике Беларусь показывает, что в 2019 году лидером являлась Минская область – 568 ц/га, а минимальная урожайность получена в Брестской области – всего 424 ц/га. В Могилевской области урожайность на 16,8 % меньше, чем в Минской, но больше на 10,6 %, чем в Брестской области [21].

Целью Государственной программы «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы является повышение экономической эффективности агропромышленного комплекса, развитие конкурентоспособного и экологически безопасного сельского хозяйства, ориентированного на укрепление продовольственной безопасности Республики Беларусь [1]. Для достижения данной цели и показателей, указанных в подпрограмме 1 «Развитие растениеводства, переработки и реализации продукции растениеводства», для развития свеклосахарного подкомплекса в 2021–2025 годах следует использовать все факторы роста урожайности сахарной свеклы, имеющиеся в Беларуси. Вместе с тем, сравнивая условия Беларуси с условиями стран Европы, нужно помнить о биоклиматическом потенциале. На данный момент юг Польши, не говоря уже о юге Франции, по длине вегетационного периода и сумме активных температур намного превосходят Беларусь. Биоклиматический потенциал Беларуси (интегральный показатель продуктивности природных условий) оценивается в 100–121 балл. В Великобритании, например, он составляет в среднем около 121, Польше – 125–135, Германии – 125–140, в США – 150–220 баллов. Таким образом, аграрная

сфера республики и свекловодство, в частности, всегда будут в худших условиях, чем в большинстве стран мира [22, 23]. Тем не менее в Беларуси выводятся новые, более продуктивные сорта и гибриды, а также совершенствуется технология возделывания сахарной свеклы, включая управление питанием и водным режимом растений.

1.2. Особенности режима орошения и водопотребления сахарной свеклы

Известно, что технологии орошения сахарной свеклы разрабатывались в СССР с 50-х годов XX века. Они базировались на общих теоретических предпосылках и результатах полевых исследований, проводимых в центральных и южных регионах России, Казахстане, Украине, Молдове. В процессе исследований были определены физиологические показатели реакции растений на орошение. При хорошей влагообеспеченности снижается концентрация клеточного сока, осмотическое давление, сосущая сила клеток. Это приводит к улучшению фотосинтеза, роста, развития растений и увеличению урожайности, а при недостатке влаги в растениях происходит распад сложных органических веществ – гидролиз [24, 25].

Основная задача проводимых исследований состояла в том, чтобы определить допустимые границы снижения почвенной влажности в корнеобитаемом слое, не приводящие к существенной потере урожая. Классик теории режима орошения сельскохозяйственных культур в СССР А. Н. Костяков, базируясь на качественной оценке доступности почвенной влаги для растений и результатах многочисленных полевых опытов, проведенных в разных регионах СССР в 1950-е годы, предлагал при орошении сельскохозяйственных культур использовать в качестве нижней границы оптимального содержания влаги в почве уровень 65–70 % от наименьшей влагоемкости (НВ) [26]. Однако полевой опыт И. М. Никульникова показал, что в Центрально-Черноземной зоне орошать сахарную свеклу следует при понижении влажности почвы не ниже 80 % НВ. При этом средняя урожайность на орошаемых землях составила 38,4–41,4 т/га, а без орошения получено 33,2 т/га. Прибавка урожая составила 10,1–12,2 т/га. В опытах было также установлено, что наибольшая часть дефицита почвенной влаги приходится на вторую половину вегетации сахарной свеклы. Именно в этот период идет интенсивный прирост корня и требуется наибольшее количество воды. Причем по данным Сальского опытного поля, на недобор урожая са-

харной свеклы особо влияет июльская засуха, несколько меньше – августовская [27].

В свою очередь, по результатам исследований М. П. Багрова, полученным в те же годы в полупустынных районах Юго-Востока, в период от всходов и до начала сахаронакопления в корнеплодах влажность почвы следует поддерживать не ниже 80–85 % от НВ, а в период сахаронакопления – не ниже 60–70 % от НВ [28].

Исследования А. О. Лымарь и А. А. Федоровского подтвердили, что повышение предполивной влажности с 70 до 80 % НВ на фоне повышенных доз NPK увеличивает урожайность сахарной свеклы в Молдове на 2,3 т/га [29].

Согласно данным И. П. Кружилина и А. С. Мушинского, в Ростовской области в варианте без орошения в 1992 году собрано всего 20 т/га, а при орошении с предполивной влажностью 80 % НВ получено 58,8 т/га, т. е. урожайность при орошении возросла почти в 3 раза по сравнению с неорошаемым вариантом [30].

Семилетние исследования тех же авторов с полусахарной свеклой на орошаемом участке ОПХ «Урожайное» Оренбургского НИИСХ, проведенные в конце 1990-х годов на черноземе обыкновенном карбонатном среднесуглинистом маломощном среднегумусном, также показали, что на посевах полусахарной свеклы в течение всего периода вегетации влажность почвы следует удерживать не ниже 80–85 % НВ в начале вегетации в слое 0–40 см, а во второй половине вегетации в тех же пределах, но в слое 0–60 см. При расчете доз удобрений рекомендовалось учитывать, что каждые 10 т корнеплодов с соответствующим количеством ботвы выносят 26,4 кг N, 8,5 кг P_2O_5 и 43,4 кг K_2O [31].

Результаты полевых опытов, проведенных учеными Краснодарской опытной станции, также указывают на необходимость поддержания того же предполивного уровня влажности почвы (не ниже 80 % НВ), но в слое почвы 0–100 см. При такой предполивной влажности прибавка урожайности зависит только от доз внесения удобрений (табл. 1.1) [31].

Таблица 1.1. **Влияние различных доз удобрений на урожайность сахарной свеклы**

Внесено удобрений, кг д. в/га	Внесено NPK, кг д. в/га	Урожайность корнеплодов, т/га			Прибавка, т/га
		1994 г.	1995 г.	В среднем за 2 года	
Контроль	0	46,09	42,19	44,14	–
P_{50}	50	47,95	48,09	48,02	3,88
$N_{60}P_{50}$	110	52,64	50,49	51,56	7,42
$N_{60}P_{50}K_{60}$	170	56,24	48,86	52,55	8,41

Как видим, полученные в опытах на Кубани данные подтверждают наличие тенденции снижения окупаемости удобрений при повышении доз их внесения.

На рис. 1.1 приведены зависимости урожайности сахарной свеклы от дозы NPK, построенные по данным табл. 1.1.

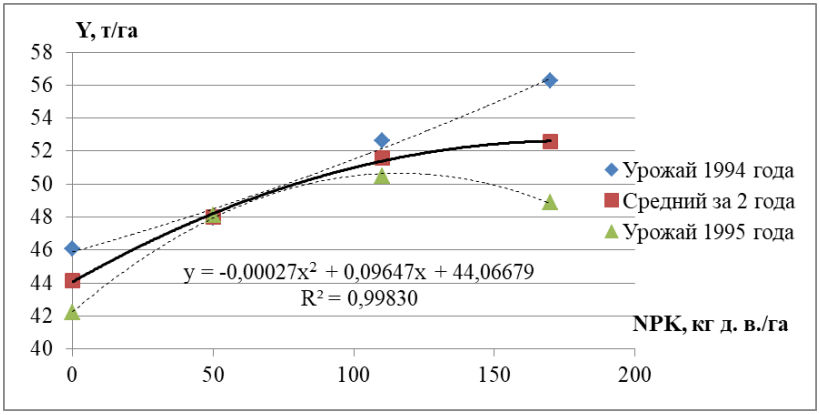


Рис. 1.1. Зависимости урожайности сахарной свеклы от доз NPK при предполивной влажности в слое почвы 0–100 см не ниже 80 % НВ

В то же время полевые опыты Т. Е. Ивановой, проведенные в Хакасии в конце 1990-х годов, подтвердили рекомендации А. Н. Костякова, и в качестве показателя наиболее эффективного режима орошения сахарной свеклы рекомендовано предполивную влажность почвы поддерживать на уровне 65–75 % НВ. При этом было отмечено, что рентабельное возделывание сахарной свеклы в условиях исследований возможно только при орошении [32].

Результаты исследований Е. А. Яковенко подтвердили прежние выводы, показав, что оптимальным является режим орошения сахарной свеклы с поддержанием предполивных влагозапасов в течение всего вегетационного периода не ниже 80 % НВ в слое почвы мощностью 70 см. При этом урожайность составила 47,3 т/га, а в варианте без орошения – всего 20,9 т/га [33].

В опыте Л. В. Трубачева и др. максимальная урожайность (48,0 т/га) также была получена в варианте с предполивной влажностью 80 % НВ и при густоте стояния 110 тыс. шт. растений на 1 га. При предполивной влажности 70 % НВ и густоте стояния растений

110 тыс. шт/га получено в среднем 46,2 т/га, а при густоте 80 тыс. шт/га – 43,8 т/га [34].

В эти же годы проводились исследования, направленные на изучение водопотребления сахарной свеклы. Например, И. И. Ененко и И. А. Мокальчук установили, что в Саратовской области на среднесуглинистых почвах режим орошения сахарной свеклы необходимо увязывать с текущим водопотреблением, зависящим от метеоусловий, и характерными тремя фазами развития: первая – интенсивный рост вегетативной массы, вторая – рост вегетативной массы и увеличение массы корнеплода, третья – накопление сахара. Наибольшее водопотребление отмечено во второй период вегетации [35, 36]. В годы исследований наибольший чистый доход был получен при предполивной влажности 80 % НВ.

А. П. Коломиец предложил при орошении не только учитывать требования по технологии возделывания сахарной свеклы, но и искать пути для уменьшения водопотребления, повышения водопроницаемости почвы и качества полива [37]. Им было отмечено, что урожайность зависит от точности водобалансового расчета, по результатам которого ведется управление поливом [38].

Исследования И. А. Абугашева также подтвердили, что очень важное значение при управлении поливом имеет точность расчета режима орошения. Им установлено, что рациональная организация поливов на базе расчетного режима орошения способствует повышению урожайности на 6 т/га и экономии воды на 10–12 % по сравнению с поливом без контроля динамики почвенных влагозапасов [39].

Прогнозированием урожайности сахарной свеклы на орошаемых землях занимались В. П. Кириченко и С. Д. Лысогоров. Они отмечали, что эффективный прогноз урожайности сахарной свеклы зависит от всего комплекса гидрометеорологических условий. Исследования показали, что условия года могут изменить урожайность в диапазоне 17,3 %. Поэтому урожайность сахарной свеклы в отдельные годы будет отклоняться в ту или иную сторону от прогнозируемой до 10 % [40].

По результатам подобных исследований с целью снижения ошибки прогноза урожайности сахарной свеклы в южных районах Российской Федерации предложено учитывать водообеспеченность культуры через оросительную норму, поскольку было установлено, что прибавка урожайности в наибольшей степени зависит от нормы орошения в интервале от 1 000 до 2 000 $м^3$/га [33].

Таким образом, полевые опыты по возделыванию сахарной свеклы в условиях орошения показали, что режим поливов культуры должен увязываться с водоудерживающей способностью почвы, с биологическими особенностями растений и текущими метеоусловиями, от которых зависят водопотребление орошаемого поля и оросительная норма. Очевидно, что и в Беларуси именно от этих факторов будет зависеть эффективность искусственного увлажнения (орошения) сахарной свеклы.

1.3. Основные направления повышения эффективности возделывания сахарной свеклы в условиях Беларуси

Целесообразность возделывания сахарной свеклы, помимо насыщения рынка конкурентоспособной товарной продукцией для производства сахара, определяется положительным влиянием свекловичного севооборота на урожайность последующих сельскохозяйственных культур, особенно зерновых. Повышение продуктивности посевов сахарной свеклы способствует укреплению кормовой базы хозяйств и повышению почвенного плодородия. Так, использование ботвы в качестве удобрения при урожайности корнеплодов в 450–500 ц/га эквивалентно внесению 30 т навоза на гектар. А в качестве побочного продукта при производстве сахара получают дефекат – ценное известковое удобрение, которое по эффективности не уступает доломитовой муке [41].

В Беларуси для повышения урожайности свеклы делается акцент на семена ускоренного прорастания, которые дают всходы на 3–4 дня раньше обычного. Это важно, поскольку один день весеннего развития приравнивается к пяти дням осеннего. Специалисты также предлагают более массово использовать скороспелые гибриды и сорта, способные к 1 сентября достичь сахаристости свыше 15 %. Следовательно, если 5–10 лет назад в Беларуси было нормой получать 35–40 т/га сахарной свеклы, то сейчас такие показатели считаются провальными. Наука и практика подтверждают, что урожайность сахарной свеклы 500 ц/га для Беларуси далеко не предел. СПК могут получать урожайность не менее 550–570 ц/га, тем более что лучшие хозяйства уже вышли на уровень 700–750 ц/га. Однако Германия и Польша в настоящее время получают по 800–1 000 ц/га, а ведущие французские производители – до 1 200–1 400 ц/га корнеплодов сахарной свеклы. В Беларуси необхо-

димо находить и реализовать дополнительные резервы для роста эффективности свекловичного производства, чтобы конкурировать с Западными странами по производству сахара.

Известно, что сахарная свекла – умеренно теплолюбивая культура. Минимальная температура почвы для прорастания семян составляет 3–4 °С, но всходы при этом появляются только на 25–28-й день, при температуре 6–7 °С – на 10–15-й, 10–11 °С – на 5–10-й и 15–18 °С – на 5–7-й день. В первые дни всходы сахарной свеклы очень чувствительны к заморозкам. В фазе «вилочки» заморозки –3…–4 °С могут уничтожить растения. С появлением первой пары листьев холодостойкость повышается, и свекла может выдерживать заморозки до –4…–6 °С. Оптимальная температура для ассимиляции составляет 20–23 °С. При температуре ниже 6–8 °С накопление сахара в корнеплодах прекращается. Осенью вегетация свеклы заканчивается с установлением ночной температуры ниже 2–4 °С [42].

Наиболее пригодными для сахарной свеклы являются хорошо аэрированные почвы без камней, богатые гумусом, имеющие близкую к нейтральной реакцию среды, высокую биологическую активность, стабильную структуру, рыхлое сложение, благоприятный водный режим и оптимальное содержание макро- и микроэлементов. Этим требованиям отвечают дерново-подзолистые суглинистые почвы, развивающиеся на легких и средних суглинках, а также супесчаные, подстилаемые с небольшой глубины (0,5 м) моренным суглинком с высокой водоудерживающей способностью и хорошо аэрированные, балл плодородия которых составляет не менее 30 [43]. Больше всего их в Витебской, Могилевской и Минской областях, очень мало в Брестской (8,7 %). В то же время основные площади зон свеклосеяния находятся в Брестской и Гродненской областях, причем расположены они на песчаных и супесчаных почвах [44]. Однако на таких почвах в годы сильных засух возможен недобор урожая до 25–30 %. Не рекомендуется возделывать сахарную свеклу на торфяных (подверженных весенним заморозкам) и песчаных (подверженных летним засухам) почвах, подстилаемых песками, а также при сильной закамененности (более 2 %) и при крутизне склона более 6 [43].

Сахарная свекла предъявляет высокие требования не только к исходному плодородию почвы, но и к ее физическому состоянию, обеспеченности макро- и микроэлементами. При формировании 1 т урожая свекла выносит 4,0–4,5 кг азота, 1,2–2,0 кг подвижного фосфора и

4–10 кг калия, а также значительное количество кальция, магния, серы, натрия (в среднем 0,5 кг на 1 т урожая). Из микроэлементов сахарная свекла наиболее чувствительна к недостатку бора и марганца. Оптимальные агрохимические показатели почвы для возделывания сахарной свеклы следующие: pH – в пределах 5,8–6,5, содержание гумуса – не менее 1,8 %, подвижного фосфора и калия – не менее 150 мг/кг почвы, бора – не менее 0,5–0,7 мг/кг почвы [45].

В опытах БелНИИ почвоведения и агрохимии, проведенных на дерново-подзолистых легкосуглинистых (с близкими к оптимальным агрохимическими свойствами) почвах РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле», в среднем за три года получено: при внесении 80 т/га навоза и $P_{120}K_{210}B_2$ (фон) – 45,8 т/га корнеплодов с сахаристостью 18,0 %; в варианте фон + N_{120} до сева – 51,1 т/га с сахаристостью 16,8 %; в варианте фон + N_{90} основное внесение и N_{30} в подкормку – 51,9 т/га с сахаристостью 17,0 % [44].

Практика применения комплексных удобрений в Беларуси очень ограничена. В 2013 г. ОАО «Гомельский химический завод» поставлено потребителям Республики 27,8 тыс. т ф. в. комплексных удобрений, в том числе 14,1 тыс. т для льна и 10,1 тыс. т для сахарной свеклы, соответственно в 2014 – 16,8 и 10,7 тыс. т, в 2015 – 2,4 тыс. т для льна и 1,6 тыс. т для сахарной свеклы [46].

Сотрудниками РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» в 1997–1999 годах на окультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве (pH_{KCl} – 6,3, P_2O_5 – 280–300, K_2O – 300–360 мг/кг) проведено испытание разных форм азотных удобрений: КАС, аммиачная селитра, мочевина, сульфат аммония, которые вносили под предпосевную обработку почвы. По продуктивности эффективность внесения КАС была на уровне аммиачной селитры, сульфата аммония и мочевины. В сухой год проявилось некоторое преимущество КАС в сравнении с мочевиной, но при практически равном урожае затраты на внесение КАС составили 7,6 долл. США, а аммиачной селитры – 18,2 долл. США [45].

В последующие годы в полевых опытах РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» дополнительно изучена эффективность сроков и способов внесения КАС, сульфата аммония и мочевины [47]. Эти опыты и опыты, проведенные в 2000–2001 годах Институтом почвоведения и агрохимии НАН Беларуси на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (экспериментальная база «Курасовщина» Минского

района), свидетельствуют о равнозначности по действию на продуктивность сахарной свеклы разных форм азотных удобрений. При этом содержание сахара в корнеплодах менялось несущественно (от 18,1 до 18,6 %) при урожайности 62–69 т/га [48].

В исследованиях на дерново-подзолистой супесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком (Щучинский район), установлено, что оптимальной дозой азотных удобрений под сахарную свеклу является N_{90} в предпосевную культивацию на фоне 60 т/га навоза и $P_{90}K_{150}$. Увеличение доз азота до $N_{120–150}$ снизило окупаемость азота урожаем, увеличив содержание альфа-аминного азота, и не привело к существенному росту урожайности [49]. По результатам этих исследований было установлено, что доля почвенного азота в питании сахарной свеклы составляет 57–69 %, а лучший способ внесения азота – под предпосевную обработку почвы [50].

Заметим, что в странах, производящих сахар из свеклы, наблюдается устойчивая тенденция уменьшения доз азотных удобрений под сахарную свеклу. Так, по данным опросов фермеров Институтом свекловодства Германии, на долю с дозой азота более 160 кг/га приходилось менее 10 % занимаемой этой культурой площади, 160–121 кг/га – менее 25 %, 120–81 кг/га – более 35 %, 80–41 кг/га – около 25 % и до 40 кг/га – немногим более 10 % [51]. Данными агрохимического обследования почв свекловичных полей СПК «Агрокомбинат «Снов», выполненного службой почвенного плодородия Германии под урожай 1999 года, установлено, что при оптимальном содержании гумуса, P_2O_5, K_2O и внесении 100 т/га высококачественного навоза потребность в минеральном азоте составляет всего 30–40 кг д. в/га.

В свою очередь, исключение азота в паровом звене севооборота несколько уменьшало сбор сахара, а в клеверном – почти не изменило. Полуторная доза азота была абсолютно неэффективной в паровом звене и снижала сборы сахара в клеверном звене даже в нормальные и влажные годы, т. е. в первом случае оказалось достаточным внесение N_{120}, а во втором можно было обойтись и меньшим количеством минерального азота.

Количество фосфора для получения максимального урожая сахарной свеклы в большинстве стран составляет 50–100 кг/га P_2O_5, и только на почвах, крайне плохо обеспеченных фосфором, его необходимо вносить больше [52].

Исключение калия из минерального удобрения во всех случаях вызывало значительное уменьшение сбора сахара. Внесение его половинной дозы снижало результат к уровню контроля в паровом звене и было явно недостаточным в клеверном, особенно в оптимальные и влажные годы. Полуторная доза калия увеличивала сбор сахара на 4–8 % по сравнению с контролем в обоих звеньях с почти отсутствующими различиями в зависимости от количества осадков за счет сохранения качества корнеплодов при некотором повышении урожайности. Совместное применение полуторных доз азота и калия было целесообразно только в благоприятные по влагообеспеченности годы в паровом звене. Во влажные и сухие годы повышение дозы азота, несмотря на одновременное повышение дозы калия, все же снижало сахаристость и не способствовало существенному росту урожайности. Увеличение дозы калия до 225 кг д. в/га обеспечивало более высокий сбор сахара при любых погодных условиях в обоих звеньях севооборота.

Нормативами, разработанными научно-исследовательскими учреждениями республики, определена максимально допустимая годовая доза азота под сахарную свеклу, обеспечивающая получение высококачественного урожая (на фоне 60–80 т/га органических удобрений), не превышающая 150 кг д. в/га. При отсутствии органических удобрений доза азота может быть увеличена до 180 кг д. в/га. В основное удобрение под вспашку рекомендуется вносить 75 % фосфорных, калийных удобрений, остальные 25 % – весной [53].

Исследованиями РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» установлено, что фенологические фазы развития растений сахарной свеклы наступают примерно в такие сроки: появление семядолей на поверхности почвы (фаза «вилочки») – на 10–12-й день после сева; первая пара настоящих листьев – через 1–2 недели после того, как были отмечены массовые всходы (не мене 75 % от общего количества); вторая пара – через неделю после первой; третья, четвертая и пятая пары – через каждые последующие 3–4 дня. В дальнейшем нарастание листьев происходит по 2–3 листочка через каждые 3–5 дней. Смыкание листьев в рядках наступает в первой половине июля, а в междурядьях – в начале или середине августа, иногда во второй половине июля. К концу вегетации нарастание листьев замедляется до одного-двух за 5 дней. Всего за вегетационный период на каждом растении образуется до 40–50 листьев. Листья первого десятка к нача-

лу уборки отмирают, а листья последнего находятся в это время еще в молодом возрасте. Следовательно, активно ассимилирующими до конца вегетационного периода остаются листья второго и третьего десятков – около 20–25 шт. Длительность жизни листьев первого десятка составляет 2,5 мес., второго – 3–3,5, третьего – 3, четвертого и пятого – 1,5–2 мес. Самые последние 5–8 листьев, появившиеся в конце августа и начале сентября, до уборки не успевают полностью развиться. Поддерживать активную ассимиляцию листьев в процессе вегетации важно, поскольку для сахарной свеклы существует такая закономерность: чем быстрее площадь листьев достигает оптимальных размеров и продолжительнее остается на этом уровне, тем выше урожайность [54].

От площади листовой поверхности зависит водопотребление культуры. Особенно много воды на испарение (для защиты от перегрева) требуется в период интенсивного роста (июль – август). Недостаток влаги в эти месяцы может вызвать сильное увядание листьев и снижение интенсивности фотосинтеза, а избыток влаги в сентябре способствует повышению обводненности тканей и усилению роста новых листьев, что ведет к снижению сахаристости [44, 54].

Таким образом, для повышения эффективности возделывания сахарной свеклы в Республике Беларусь необходимо, прежде всего, решить следующие задачи: обеспечить повсеместное использование новых перспективных сортов и гибридов культуры с семенами ускоренного прорастания и для каждой зоны свеклосеяния отработать систему сбалансированного питания культуры [55, 56]. Помимо этого, поскольку в последние годы отмечено более частое появление засух, снижающих урожайность, появилась необходимость изучить экономическую целесообразность орошения сахарной свеклы, возделываемой в республике на дерново-подзолистых почвах. При положительных результатах таких исследований орошение позволит существенно увеличить рентабельность и в целом повысить конкурентоспособность сахарного производства в Беларуси.

1.4. Влияние влагообеспеченности вегетационного периода на урожайность сахарной свеклы в Беларуси

При возделывании сахарной свеклы в Беларуси основным источником накопления влаги в почве являются атмосферные осадки. Близость республики к Атлантическому океану, интенсивная циклониче-

ская деятельность, высокая влажность воздуха и облачность обусловливают выпадение среднегодового количества осадков 580–620 мм, в том числе за теплый период (апрель – октябрь) – 400–450 мм, но при крайне неравномерном их распределении. С продвижением на территорию Беларуси циклонов интенсивность осадков возрастает, причем нередко они выпадают в виде ливней. При распространении же мощных антициклонов устанавливается засушливая погода. Сухие периоды разной продолжительности наблюдаются ежегодно. Причем в теплое время года частота и продолжительность засух увеличиваются, особенно на юге и юго-востоке страны [54].

Анализ условий естественного увлажнения минеральных почв на территории Беларуси свидетельствует также о том, что вследствие невысокой влагоемкости преобладающей части минеральных почв при многообразии рельефа значительная часть осадков может расходоваться непроизводительно (на поверхностный и внутрипочвенный сток), поэтому почти ежегодно в сухие периоды во второй половине вегетации культурные растения испытывают недостаток влаги, особенно на повышенных элементах рельефа и почвах легкого гранулометрического состава [57, 58].

Характеризуя условия республики, можно отметить, что весной, в начале вегетации растений, запасы продуктивной влаги в почве обычно достаточны (в метровом слое суглинистой почвы они превышают 200–300 мм). Затем с повышением температуры и увеличением транспирации запасы влаги постепенно убывают до 65–120 мм на суглинистых почвах (в июле – августе) и до 45–80 мм на супесчаных, чего явно не хватает для формирования высокого урожая. Запасы продуктивной влаги в 20-сантиметровом слое почвы в засушливые периоды могут снижаться до 10–15 мм и даже меньше, что создает крайне неблагоприятные условия для поглощения питательных веществ. Часто к концу лета количество продуктивной влаги вновь увеличивается (до 120 мм в 100-сантиметровом слое почвы на супесях и 150–200 мм на суглинках), но это повышение уже не может компенсировать предыдущий ущерб урожаю. Неоднократно подтверждено, что влага оказывает большое влияние на окупаемость минеральных удобрений. Даже временный ее недостаток замедляет рост растений и снижает эффективность удобрений [59].

Учеными РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» было прослежено влияние количества осадков на продуктивность сахар-

ной свеклы, ее технологические качества и эффективность удобрений. Из взятых для анализа девяти лет (1974–1982) выделены три группы (по три года в каждой): с нормальным (322 мм), пониженным (313 мм) и повышенным (449 мм) количеством осадков за период апрель – сентябрь каждого года. Разница в сумме осадков за вегетационный период отразилась на продуктивности и качестве сахарной свеклы [57].

Известно, что при испарении воды происходит охлаждение листьев. При сухой погоде устьица у сахарной свеклы сокращаются, а иногда и совсем закрываются, что снижает испарение. При влажной погоде устьица раскрываются широко, испарение увеличивается. При избыточном испарении расход воды листьями превышает приход ее из почвы: происходит потеря внутриклеточного давления, и растение теряет свою упругость (тургор). Длительное увядание отрицательно сказывается на развитии растений сахарной свеклы и на урожае [44, 54]. Так, для образования одного корнеплода массой 500 г за время его роста требуется 40–50 л воды. Для формирования урожайности порядка 50 т/га потребляется около 4 тыс. $м^3$ воды на один гектар. Но возможно это при наличии запаса воды в почве в количестве 60–70 % от полной ее влагоемкости, что соответствует примерно 400–500 мм осадков, регулярно выпадающих в течение вегетации. Больше всего вода используется на испарение листьями [44, 54].

РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» высокие урожаи корнеплодов (более 60 т/га) были получены в годы, когда в летние месяцы (июнь – август) выпадало большее количество осадков (например, 280 мм при средней многолетней норме 216 мм) в сочетании с суммой среднесуточных температур воздуха близкой к норме – 1 550 °С. Экстремально жаркая и сухая погода на протяжении июня, июля и августа (осадков около 100 мм при сумме температур воздуха 1 700–1 750 °С) снижала урожайность корнеплодов до 28–30 т/га. Наивысшее содержание сахара в корнеплодах (19–20 %) характерно для лет с очень сухими сентябрем и октябрем (30–50 % осадков от нормы), а минимальное (15–16 %) – для очень влажной погоды в сентябре и октябре или при сильном поражении листьев церкоспорозом [44, 56–60].

Также установлено, что корреляционная связь между температурой воздуха и урожайностью одинаково сильна в июле, августе и сентябре [54]. При этом содержание сахара в корнеплодах ниже базисного (16 %) наблюдалось 5 лет, в пределах 16,1–17,0 % – 11 лет, от 17,1 до

18,0 % – 10 лет и выше 18,0 % – 18 лет. Также известно, что больше всего сахаристость корнеплодов зависит от количества осадков в сентябре и суммы температур в августе и сентябре [59].

Среди факторов, проявляющих весьма существенное влияние на величину, стабильность урожайности и качество корнеплодов сахарной свеклы, в числе первостепенных следует отметить погоду вегетационного периода – прежде всего температуры воздуха, количество и равномерность выпадения осадков. По данным мониторинга динамики формирования урожайности и качества корнеплодов за 1966–2011 годы (при соблюдении разработанной РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» технологии возделывания) наиболее благоприятных (с урожайностью выше средней многолетней более чем на 20 %) было 11 лет (24 % из 44 %) и очень неблагоприятных (ниже средних многолетних значений более чем на 20 %) – 16 лет (35 %). Остальные 17 лет можно отнести к средним, но все эти годы характеризуются весьма неравномерной тепло- и влагообеспеченностью вегетационных периодов. Зависимость урожайности наиболее сильна от количества осадков, выпавших в июле, тогда как корреляционная связь между осадками в августе и сентябре и урожайностью проявляется слабее.

Несмотря на явную перспективу изучения эффективности орошения сахарной свеклы в Республике Беларусь, этим вопросом до 2017 года не занимались, хотя, как показано выше, в соседних странах опыт возделывания сахарной свеклы на орошаемых землях присутствует достаточно широко. Многолетними исследованиями и практикой убедительно доказано, что орошение сахарной свеклы является основным условием получения высоких и устойчивых ее урожаев в России, Украине, Молдове и других регионах с недостаточным или неустойчивым естественным увлажнением [61, 62].

Вывод.

Таким образом, в настоящее время в Республике Беларусь дождевание полевых культур является основным способом орошения. Что касается требований сахарной свеклы к водному режиму с учетом почвенно-климатических условий, очевидно, что целесообразность и эффективность дождевания, а также особенности режима и технологии дождевания сахарной свеклы требуют детальной проработки. При этом следует учитывать, что положительный эффект дает только качественное дождевание [5]. В связи с этим актуальным остается вопрос совершенствования элементов технологического процесса возде-

лывания сахарной свеклы с целью получения высоких и устойчивых урожаев. Одним из приоритетных направлений в решении данного вопроса является также эффективное использование оросительной воды и минеральных удобрений. Таким образом, исследования предусматривали изучение режима орошения и удобрения сахарной свеклы в условиях северо-востока Беларуси, поскольку рекомендуемые режимы орошения в разных почвенно-климатических условиях весьма различаются. Во-первых, нет единого взгляда на нижнюю границу оптимальной влажности почвы. У разных авторов она колеблется от 60 до 85 % от наименьшей влагоемкости. Во-вторых, существенно различаются рекомендации по мощности увлажняемого слоя почвы (от 40 до 100 см). В-третьих, для отработки рационального (экономного) режима орошения сахарной свеклы под конкретный урожай необходимо знать зависимость водопотребления (суммарного испарения) культуры от величины урожая. Отсутствие в Беларуси подобных исследований не позволяет оценить перспективы орошения сахарной свеклы и разработать соответствующие рекомендации по использованию данного технологического приема для повышения эффективности свекловодства.

Главная задача при отработке управления режимом орошения любой культуры состоит в правильной оценке ее водопотребления – основной составляющей расходной части водного баланса сельскохозяйственного поля. Поскольку водопотребление, под которым понимается суммарный расход влаги полем (испарение влаги почвой и транспирация растениями), определяет режим орошения сельскохозяйственных культур, от правильности его определения зависит эффективность орошения в целом.



2 НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Агроклиматическая характеристика северо-восточного региона Республики Беларусь

Климат Республики Беларусь характеризуется сравнительно мягкими зимами, устойчивым увлажнением и достаточным количеством тепла. По температурному режиму и обеспеченности вегетационного периода влагой территория республики традиционно делилась на три агроклиматические зоны: южную – теплую и неустойчиво влажную; центральную – умеренно теплую и умеренно влажную и северную – прохладную и влажную [63].

Северо-восточный регион Республики Беларусь относится к северной зоне. Климат здесь умеренно-континентальный. Зима сравнительно мягкая, лето влажное и прохладное. Наиболее низкая среднемесячная температура наблюдается в январе и составляет около –8 °С. Самым теплым месяцем является июль, его среднемесячная температура находится в пределах 17,5–18,0 °С. Среднемесячной датой начала вегетационного периода считается 17 апреля, окончания – 17 октября, т. е. его продолжительность составляет 183 дня.

Изменение климата в Беларуси за последние 30 лет оказывает существенное влияние на возделывание сельскохозяйственных культур. Это вызывает как отрицательные, так и положительные последствия с точки зрения результатов сельскохозяйственного производства. С 1989 года началось резкое повышение температуры зимой, что продолжается до настоящего времени. Среднегодовая температура воздуха за 1989–2019 годы превысила климатическую норму на 1,3 °С. При анализе наблюдений с 1881 по 2019 год в Республике Беларусь из 20 самых теплых лет 17 лет приходятся на период 1989–2019 годов. За этот период зафиксированы и самая высокая абсолютная температура воздуха – 38,9 °С (г. Гомель, 2010 г.) и самая высокая среднегодовая температура – 8,8 °С (2019 г.) [64].

В пространственном выражении в Республике Беларусь произошло изменение границ агроклиматических областей: Северная агроклиматическая область распалась, а на юге образовалась новая, более теплая

агроклиматическая область с суммами температур более 2 600 °С, которая продолжает увеличиваться по площади (рис. 2.1).

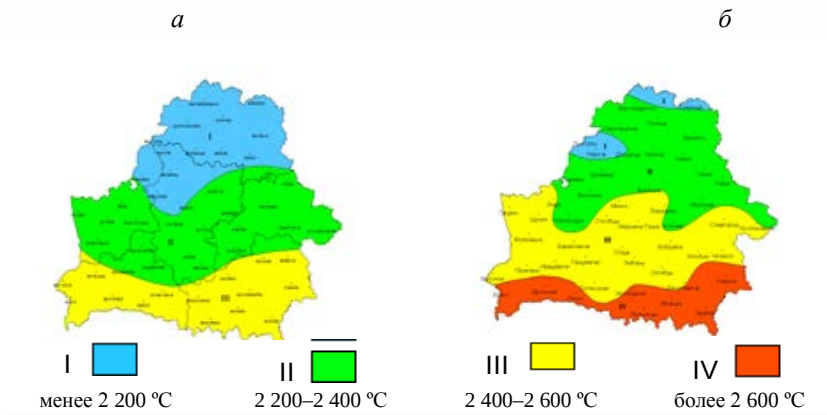


Рис. 2.1. Изменение границ агроклиматических областей Беларуси, установленным по суммам среднесуточных температур воздуха выше 10 ºС:
а – границы агроклиматических областей (до потепления);
б – границы агроклиматических областей за период 1989–2015 гг.
I – Северная, II – Центральная, III – Южная, IV – Новая

В настоящее время Северная агроклиматическая область практически исчезла с территории Беларуси. Можно отметить, что за исследуемый период количество осадков незначительно увеличилось. В холодный период снижается доля твердых осадков (снега) и возрастает доля жидких осадков, увеличивается сток рек в зимний период и уменьшается летнее половодье. Лед на реках и озерах раньше вскрывается, и они позже замерзают. На 10–12 суток увеличился вегетационный период [65].

Необходимо отметить, что в 2019 году климатическое лето длилось в среднем по стране 4 мес. – со второй декады мая до середины сентября. Впервые в 2019–2020 годах отсутствовала климатическая зима, и средняя температура воздуха за зимний период была положительной, отсутствовал устойчивый снежный покров. Существенно изменяется и повторяемость экстремальных погодных явлений: зимой стало меньше сильных волн холода и больше оттепелей, летом – больше волн тепла и засух.

Горецкий район Могилевской области относится к Оршанско-Мстиславскому почвенному району и является характерным предста-

вителем северо-восточного региона Республики Беларусь. На данной территории преобладают дерново-подзолистые пылевато-суглинистые почвы, часто со смытым или намытым верхом. Значительную часть территории занимают дерново-подзолистые связносупесчаные почвы, развивающиеся на песчанистых слабозавалуненных супесях, подстилаемых моренным суглинком (в республике они занимают около 20 % территории).

Одним из определяющих условий роста и развития растений в данном районе является сумма активных температур (среднесуточных температур воздуха выше 10 °С) за период активной вегетации растений. Так, по данным Горецкой метеостанции переход среднесуточной температуры через 5 °С происходит весной 13–15 апреля, осенью – 16–17 октября, т. е. продолжительность вегетационного периода в среднем равна 180–190 суток. Продолжительность периода с температурой выше 10 °С здесь составляет около 140–146 суток. Сумма активных температур за этот период колеблется в пределах 2 000–2 200 °С. Заморозки весной прекращаются в первой декаде мая, а осенью начинаются в конце сентября [66].

Самый теплый месяц – июль (17,6 °С), а самый холодный – январь (–8,2 °С). В 90 % лет абсолютный минимум температуры воздуха бывает в пределах –22…–24 °С, а абсолютный максимум – от 32 до 34 °С.

Зима длится около 4 мес. с сохранением снежного покрова в течение 117–120 дней. Средняя дата образования снежного покрова – 1–5 декабря, схода – 28 марта…2 апреля. Наибольшее количество снега выпадает в феврале, высота снежного покрова составляет 17–22 см. Почва промерзает в среднем на глубину 75–80 см, а в отдельные годы до 140–145 см. Полное оттаивание почвы наступает 15–20 апреля [63, 67].

В климатическом отношении Горецкий район входит в Центральную умеренно-влажную зону Беларуси, ее восточную подобласть. По многолетним данным районной метеостанции, среднегодовая температура воздуха в районе составляет 5–7 °С. Средняя температура января колеблется в пределах от –7,5 до –8 °С, июля – от 17,5 до 18 °С. Продолжительность вегетационного периода – около 185 суток, а безморозного периода – до 150 суток. Годовое количество осадков составляет около 650 мм, из них в течение вегетационного периода выпадает $^{2}/_{3}$ годовой суммы атмосферных осадков [67].

Таким образом, условия региона благоприятны для возделывания сельскохозяйственных культур и получения высоких урожаев пропаш-

ных культур [63, 66]. По данным Горецкой метеостанции, средняя многолетняя сумма осадков для района составляет 617 мм в год. Причем из этого количества осадков в период апрель – сентябрь выпадает 381 мм, а в период октябрь – март – 236 мм. Увлажнение почвы в течение вегетационного периода достаточное. В слое 0–20 см к началу вегетации запасы продуктивной влаги составляют 65–75 мм, а в метровом слое – 200–250 мм.

Общая влажность воздуха также высокая. В среднем за год она близка к 81 %. Среднегодовая скорость ветра составляет 3,8 м/с. Наиболее высокая скорость наблюдается в ноябре и равна 4,6 м/с. Летом скорость ветра снижается, в августе она минимальна – 2,9 м/с [63–68].

Влажность почвы характеризуется не только количеством выпавших осадков, но и количеством испаряемой влаги. Водно-тепловой режим почвы принято характеризовать по Г. Т. Селянинову гидротермическим коэффициентом (ГТК), который определяется как частное от деления суммы осадков за определенный период на сумму активных температур, уменьшенную в 10 раз, соответствующую этому периоду.

Для зоны недостаточного увлажнения оптимальный ГТК установлен в пределах 1,3–1,6. Для северо-восточного региона Республики Беларусь ГТК составляет в среднем 1,45–1,55. Сухой период в течение 10–15 суток наблюдается в среднем за год 2–3 раза, один раз – продолжительностью 16–20 суток и один раз – более 20 суток, что, естественно, отрицательно сказывается на развитии сельскохозяйственных культур.

На опытном участке в годы исследований месячные значения ГТК колебались в пределах 0,4–2,7 (табл. 2.1).

Таблица 2.1. **Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) по опытному участку в 2017–2019 годах**

Распределение по месяцам					Среднее за период
Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	
2017 год					
0,4	0,9	2,7	2,1	2,2	1,7
2018 год					
0,8	1,8	2,7	0,6	0,6	1,3
2019 год					
1,5	1,4	2,5	1,3	0,5	1,4

Это подтверждает то, что в отдельные годы летом в регионе бывают засушливые периоды продолжительностью до 35–40 суток.

Как видим, условия увлажнения региона по годам весьма изменчивы как в целом за вегетацию, так и по месяцам вегетационного периода, что негативно влияет на формирование урожаев полевых культур.

2.2. Характеристика опытного участка

Выше отмечено, что наиболее пригодными для выращивания сахарной свеклы являются дерново-подзолистые суглинистые почвы, подстилаемые с глубины 0,5 м моренным суглинком, с высокой водоудерживающей способностью [35, 57, 69]. Кроме того, известно, чтобы вырастить корнеплод массой 500 г, за время его роста требуется 40–50 л воды, что соответствует примерно 400–500 мм осадков, регулярно выпадающих в течение года [33, 34, 44, 54, 70–74]. Соблюдение указанных выше условий было обеспечено на участке опытно-производственного комплекса «Тушково-1» Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, расположенном в п. Чарны Горецкого района Могилевской области.

Схема оросительной системы опытного комплекса «Тушково-1» представлена на рис. 2.2.

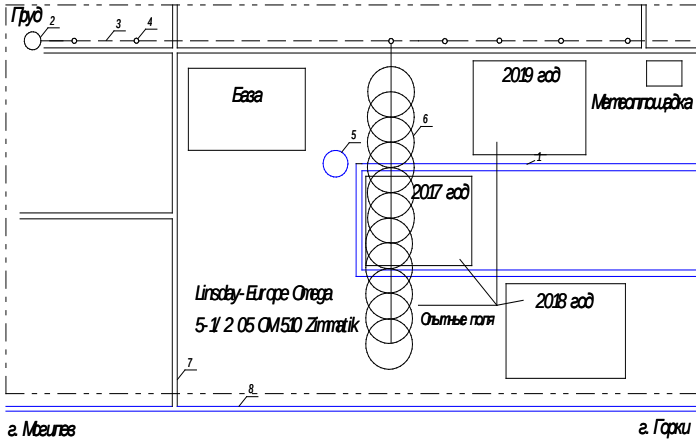


Рис. 2.2. Схема оросительной системы опытного комплекса «Тушково-1»:
1 – каналы; *2* – насосная станция; *3* – магистральный трубопровод (МТ); *4* – гидрант; *5* – наблюдательный колодец; *6* – дождеватель «Zimmatik»; *7* – полевая дорога; *8* – асфальтная дорога

Опытно-производственный комплекс, оснащенный современной дождевальной техникой, введен в эксплуатацию в 2006 году после его реконструкции. Весь период исследований оросительная система находилась в работоспособном состоянии, что позволило провести все работы в соответствии с намеченной программой. Опытный участок имеет выровненный рельеф с незначительным уклоном в западном направлении.

Особенности климатических условий, рельефа, растительного покрова Беларуси наложили существенный отпечаток на ее почвенный покров. По данным Т. Н. Кулаковской и др., 42,3 % всей территории республики занимают дерново-подзолистые почвы, различающиеся по степени оподзоленности и гранулометрическому составу [75]. Дерново-подзолистые почвы характеризуются низким естественным плодородием (повышенной кислотностью, слабой обеспеченностью элементами питания). Вследствие интенсивного применения минеральных, органических и известковых удобрений средневзвешенная величина pH_{KCl} пахотных земель республики составляет 5,98, содержание подвижного фосфора – 183 мг/кг, калия – 175 мг/кг почвы, гумуса – 2,27 % [76].

Согласно принятой для Беларуси почвенно-географической классификации [77], полевые опыты проводились на территории Оршанско-Горецко-Мстиславского агропочвенного района, который относится к северо-восточному почвенно-климатическому округу Северной провинции.

Почва дерново-подзолистая, легкосуглинистая, сформировавшаяся на пылеватом суглинке. Под ним залегает прослойка пылеватого песка, подстилаемого с глубины около 1,0 м моренным суглинком. Грунтовые воды находятся на глубине более 6 м. Основным источником формирования почвенных влагозапасов являются атмосферные осадки, недостаточное количество которых и их неравномерность выпадения в период вегетации предопределяют необходимость орошения.

Почти по всему профилю почва легкосуглинистая. Лишь на глубине 97–119 см имеется супесчаная прослойка. В верхних горизонтах (A_1, A_2B_1) преобладающей фракцией является крупная пыль.

Агрохимические показатели пахотного горизонта почвы представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. **Агрохимические показатели почвы опытного участка**

Показатели	Единицы измерения	Значения
pH	–	5,7–6,3
P_2O_5	мг/кг	203–320
K_2O	мг/кг	247–423
Гумус	%	1,7–2,1

Как видно из данных табл. 2.2, пахотный горизонт почвы характеризуется pH, близкой к нейтральной среде, недостаточным содержанием гумуса и достаточной обеспеченностью подвижными соединениями калия, повышенным содержанием фосфора.

Основные водно-физические свойства почвы опытного участка, установленные по результатам анализов, приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3. **Основные водно-физические свойства почвы опытного участка**

Глубина слоя, см	Плотность почвы, г/см^3			НВ, % от массы сухой почвы		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
0–10	1,36	1,31	1,35	22,5	25,69	23,08
10–20	1,45	1,36	1,39	20,21	24,71	21,28
20–30	1,53	1,42	1,43	20,39	23,49	19,61
30–40	1,55	1,48	1,46	21,63	21,71	21,7
40–50	1,58	1,5	1,53	22,27	22,34	21,6
50–60	1,6	1,56	1,58	21,98	22,87	20,98
60–70	1,56	1,56	1,61	21,94	22,30	20,51
70–80	1,57	1,57	1,61	21,81	22,19	20,86
80–90	1,56	1,66	1,63	21,6	21,75	20,18
90–100	1,55	1,7	1,63	21,66	20,94	19,79
Среднее по слоям						
0–40	1,47	1,39	1,41	21,18	23,90	21,42
0–60	1,51	1,44	1,46	21,50	24,47	21,38
0–100	1,53	1,51	1,52	21,60	22,80	20,96

Таким образом, гранулометрические и агрохимические показатели, а также водно-физические свойства указывают на то, что почва опытного поля является типичной для условий северо-восточной части Беларуси и благоприятной по своим характеристикам для возделывания сахарной свеклы.

2.3. Схема опыта и методика проведения исследований

Наблюдения и необходимые измерения на опытном участке выполнялись по общепринятым методикам, изученным в полевых и лабораторных условиях и изложенных в соответствующих научных пуб-

ликациях и учебной литературе [78–86]. Разработку схемы опыта по изучению режима дождевания сахарной свеклы осуществляли в соответствии с рекомендациями ведущих ученых России и Беларуси [83–107].

С учетом отсутствия опыта орошения сахарной свеклы в условиях Республики Беларусь был заложен полевой опыт с тремя вариантами режима дождевания по схеме, рекомендуемой РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» и УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».

Схема опыта

Режим орошения сахарной свеклы на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах и влияние увлажнения на урожайность сахарной свеклы изучались с использованием методики водобалансового расчета при расчетной глубине слоя почвы 0–40 см при воздействии двух задаваемых факторов А и В.

Фактор А – орошение

Цель – изучить влияние режимов орошения на влагообеспеченность, водопотребление и урожайность сахарной свеклы:

Варианты:

A_1 – без орошения (контроль).

A_2 – поддержание влажности почвы в слое 0–40 см при нижней границе регулирования 60 % НВ.

A_3 – поддержание влажности почвы в слое 0–40 см при нижней границе регулирования 70 % НВ.

A_4 – поддержание влажности почвы в слое 0–40 см при нижней границе регулирования 80 % НВ.

Сахарная свекла в этих вариантах (фактор А) возделывалась на фоне содержания в почве питательных веществ, который был определен непосредственно в поле в пахотном слое перед посевом и составил в 2017 году: подвижный фосфор – 289,3 мг/кг почвы, обменный калий – 247 мг/кг почвы; в 2018 году: подвижный фосфор – 203 мг/кг почвы, обменный калий – 251 мг/кг почвы; в 2019 году: подвижный фосфор – 320 мг/кг почвы, обменный калий – 423 мг/кг почвы. По рекомендации ученых РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» для обеспечения сравнимости данных во все годы исследова-

ний азотные удобрения вносили в дозах, дополняющих содержание азота в почве до одного уровня – N90.

Фактор В – удобрения

Цель – изучить влияние доз внесения минеральных удобрений на урожайность сахарной свеклы на фоне разных режимов орошения.

Доза удобрения $N_{120}P_{90}K_{180}$

B_1 – внесение удобрений без орошения (контроль).

B_2 – внесение удобрений при поддержании влажности почвы в слое 0–40 см при нижней границе регулирования 60 % НВ.

B_3 – внесение удобрений при поддержании влажности почвы в слое 0–40 см при нижней границе регулирования 70 % НВ.

B_4 – внесение удобрений при поддержании влажности почвы в слое 0–40 см при нижней границе регулирования 80 % НВ.

Доза удобрения $N_{150}P_{110}K_{300}$

B_5 – внесение удобрений без орошения (контроль).

B_6 – внесение удобрений при поддержании влажности почвы в слое 0–40 см при нижней границе регулирования 60 % НВ.

B_7 – внесение удобрений при поддержании влажности почвы в слое 0–40 см при нижней границе регулирования 70 % НВ.

B_8 – внесение удобрений при поддержании влажности почвы в слое 0–40 см при нижней границе регулирования 80 % НВ.

Виды удобрений были следующие: карбамид с содержанием N – 46 %; аммофос с содержанием P_2O_5 – 50 % и N – 10 %; хлористый калий с содержанием K_2O – 62 %.

Органические удобрения (навоз) применялись во все годы исследования во всех вариантах в дозе 30 т/га.

По фактору А опыт заложен с систематическим размещением вариантов со смещением по повторностям. Повторность опыта четырехкратная. Делянки имеют прямоугольную форму, площадь делянки составляет от 52 до 64 м^2. Ширина защитных полос между вариантами равна удвоенному значению ширины захвата дождевальной машины и составляет 10 м, защитные полосы между делянками шириной 2 м.

Норма высева для сахарной свеклы была принята по рекомендации РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» и составила 1,3 посевной единицы. По фактору В размещение делянок рендомизированное.

Агротехника в опыте применялась общепринятая для условий зоны. Полив вариантов производился широкозахватной дождевальной машиной Linsday-Europe Omega «Zimmatik» [10].

При исследовании режима орошения с учетом биологических особенностей сахарной свеклы использовали методики, разработанные и признанные в Беларуси [99–118].

Схема размещения вариантов опыта представлена на рис. 2.3.

Во все годы исследований опытные посевы сахарной свеклы размещались в полевом севообороте после редьки масличной. Для опытов использован гибрид сахарной свеклы Белполь одноростковый. Гибрид включен в Государственный реестр сортов с 2015 года. С 2016 года гибрид Белполь включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию по ЦЧЗ Российской Федерации (№ 62756/8654401).

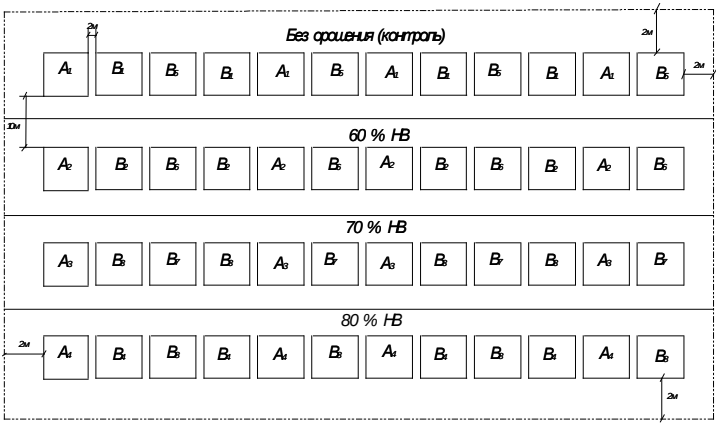


Рис. 2.3. Схема размещения вариантов опыта

Диплоидный гибрид Белполь отличается достаточно высокой урожайностью и сахаристостью. Обладает высокой технологичностью благодаря равномерной густоте и расположению головки корнеплода в почве. Имеет высокие технологические качества корнеплодов, что обеспечивает снижение потерь сахара при переработке. Устойчив к

ризомании, толерантен к церкоспорозу. Может возделываться во всех регионах Беларуси, в том числе там, где существует угроза поражения ризоманией. Пригоден для средних сроков уборки.

Размеры и форма делянок под опытами определены исходя из удобства их закладки и проведения агротехнических мероприятий. Делянки располагались на выровненных участках вдоль временного оросителя.

Принятые нами площади делянок соответствуют требованиям методики закладки опытов Б. А. Доспехова [79, 119].

Контроль за метеорологическими условиями вегетационного периода велся на специально оборудованной метеоплощадке на «Тушково-1». Кроме того, при анализе метеорологической информации использовались данные агрометеорологической станции г. Горки. Расстояние по прямой между постом и станцией составляет около 5 км. Для измерений использовались: максимальный и минимальный термометры, термограф М16 АМ, гигрограф М21 АН, плювиограф, два почвенных дождемера ГР-28 и дождемер Третьякова.

В течение вегетации сахарной свеклы, согласно общепринятым методикам, проводились работы описанные далее.

Весной на опытных участках отбирались пробы почвы в пахотном слое. В почвенных образцах определялись pH, гумус – по Тюрину [120], калий – на пламенном фотометре и подвижный фосфор – по Кирсанову [121].

Водно-физические свойства почвы определялись следующими методами:

– плотность почвы – по методу Н. А. Качинского [122] по слоям через 10 см до 1 м;

– плотность твердой фазы почвы – пикнометрическим способом [123, 124];

– наименьшая влагоемкость, являющаяся верхним пределом регулирования почвенных влагозапасов, определялась в полевых условиях методом залива площадки [67];

– пористость почвы – расчетным способом [125];

– влажность почвы – термостатно-весовым методом.

Для определения водно-физических свойств использовалось стандартное оборудование: бур почвенный АМ-16, алюминиевые стаканчики (бюксы), технические весы.

Образцы почвы отбирались через 0,1 м до глубины 0,6 м почвенным буром через каждые 10 дней, а также до и после проведения поливов и выпадения осадков более 5 мм, в день посадки и уборки в трехкратной повторности [126].

Они высушивались до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105 °С.

Расчетный слой увлажнения почвы был принят равным 40 см, где размещается основная масса корней сахарной свеклы. Для получения объективной информации по водопотреблению растений расчет водного баланса выполнялся и для почвенного слоя 0–50 см.

Величина поливной нормы рассчитывалась по известной методике А. Н. Костякова, исходя из водно-физических свойств почвы [127]. Для исключения поверхностного стока при орошении предельная норма полива не превышала 300 $м^3$/га с учетом гранулометрического состава почвы опытного участка [128]. В связи с этим поливные нормы по вариантам опыта составили:

$А_1$, $В_1$, $В_5$ – варианты без орошения (контроль);

$А_2$, $В_2$, $В_6$ – при предполивной влажности почвы 60 % НВ в слое 0–40 см – 300 $м^3$/га;

$А_3$, $В_3$, $В_7$ – при предполивной влажности почвы 70 % НВ в слое 0–40 см – 300 $м^3$/га;

$А_4$, $В_4$, $В_8$ – при предполивной влажности почвы 80 % НВ в слое 0–40 см – 250 $м^3$/га.

Суммарное водопотребление за вегетационный период, а также в отдельные фазы развития сахарной свеклы определялось методом водного баланса с учетом запасов почвенной влаги в слое 0,4 м. При этом учитывались следующие составляющие водного баланса:

– запас влаги в начале и в конце вегетационного периода и в отдельные фазы вегетации сахарной свеклы;

– осадки;

– поливная норма.

Грунтовые воды на опытном участке залегали глубоко (глубже 6,0 м), поэтому при водобалансовом расчете подпитка корнеобитаемого слоя от грунтовых вод не учитывалась.

Фенологические наблюдения за сроками наступления очередных фаз развития проводились визуально, началом наступления очередной фазы развития считалось наступление ее у 10 % растений, а полная фаза – при наступлении у 75 % растений на делянках [119].

Отмечались следующие фазы вегетации сахарной свеклы: посев – всходы, всходы – появление от одного до пяти настоящих листьев, смыкание листьев в рядках, смыкание листьев в междурядьях, размыкание листьев в междурядьях, уборка.

Наблюдения за прохождением фенологических фаз растений проводились один раз в 5 суток на каждой опытной делянке.

Изучение накопления массы корнеплодов проводилось в период времени с 1 июля по 1 октября с интервалом 10 суток путем выкапывания и взвешивания корнеплодов с делянок всех повторностей.

Учет урожая проводился по учетным делянкам площадью 18 м^2. Учетные делянки убирались одновременно, в один день.

Сахаристость корнеплодов определялась поляриметрическим методом на автоматической линии в РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» (г. Несвиж).

2.4. Метеорологические условия в годы проведения исследований, оценка необходимости дополнительного увлажнения сахарной свеклы

Как известно, эффективность удобрений, величина урожая и качество продукции в значительной мере определяются метеорологическими условиями [129]. В Республике Беларусь ежегодно наблюдаются погодные аномалии, которые оказывают различное влияние на развитие сельскохозяйственных культур и формирование их урожая.

Для атмосферных осадков характерна внутригодовая и многолетняя изменчивость в отношении как пространственного распределения (по территории), так и во времени. Для Беларуси установлено, что за последние десятилетия количество осадков на юге уменьшилось, на севере возросло [67].

Метеорологические условия (данные Горецкой метеостанции) в годы проведения исследований были различны и отличались от средних многолетних значений (рис. 2.4, 2.5).

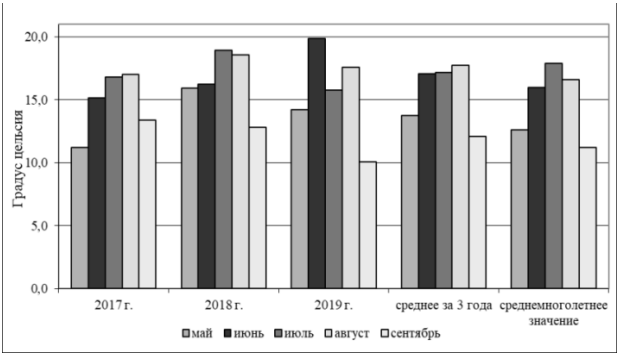


Рис. 2.4. Среднемесячная температура воздуха за 2017–2019 годы, °С

В годы исследований значения осадков и максимальных температур воздуха в течение вегетационного периода сахарной свеклы определялись по данным метеопоста «Тушково-1».

По кривой обеспеченности осадков, построенной по ежегодным данным за период с 1965 по 2016 год, была определена их обеспеченность в годы исследований.

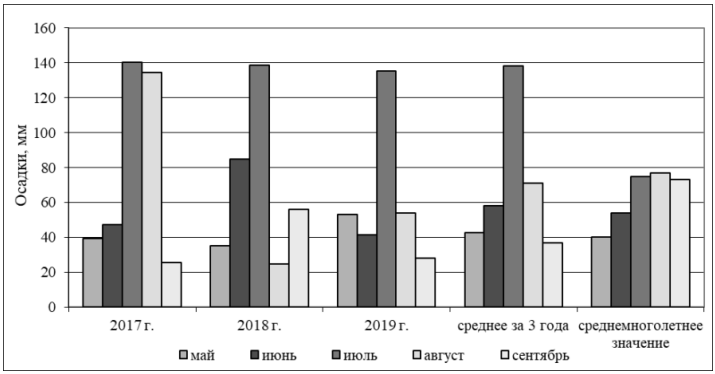


Рис. 2.5. Количество осадков за вегетационные периоды (2017–2019 годы), мм

В зависимости от характера гидрологической переменной для вычисления обеспеченностей используются различные формулы. Выражать обеспеченности можно как в долях единицы, так и в процентах. Обобщающая расчетная формула имеет вид:

$$P = \frac{m - a}{n + (1 - 2a)} 100\ \%, \qquad (2.1)$$

где m – порядковый номер члена ряда;

a – любое число от нуля до 0,5;

n – общее число членов ряда.

Для построения кривых обеспеченности используются различные модификации формулы (2.1). Наиболее распространены формулы авторов:

Чегодаева (при $C_S = 2C_V$): $P = [(m - 0{,}3) / (n + 0{,}4)]\ 100\ \%$;

Блохинова (при $C_S < 2C_V$): $P = [(m - 0{,}4) / (n + 0{,}2)]\ 100\ \%$;

Хазена (Гумбеля) (при $C_S > 2C_V$): $P = [(m - 0{,}5) / n]\ 100\ \%$.

В условиях Беларуси наиболее часто применяются формулы (при C_S – 0,41; C_V – 0,25):

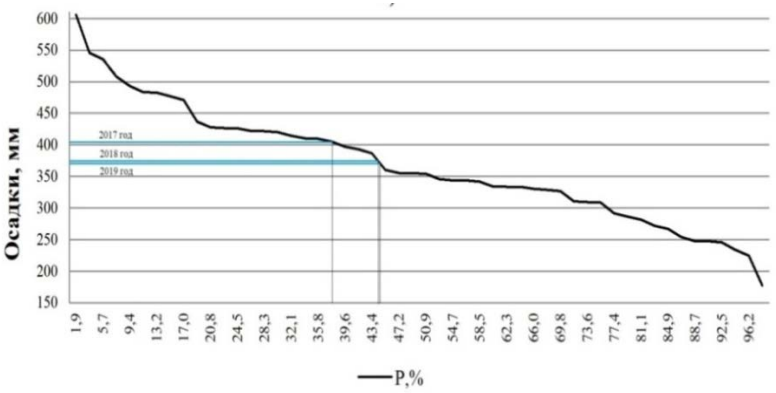
Крицкого – Менкеля: $P = m / (n + 1)$ 100 %;

Алексеева: $P = [(m – 0,25) / (n + 0,5)]$ 100 %.

При проектировании ответственных сооружений для расчета максимального стока (и наивысших его уровней) наиболее широко используется формула Крицкого – Менкеля, поскольку она создает некоторый запас надежности в оценке значений переменной малой расчетной обеспеченности (до 1 %). Формула Гумбеля, напротив, существенно занижает характеристики малых расчетных обеспеченностей и завышает значения больших, близких к 100 %, поэтому ее рекомендуют применять для расчета эмпирической кривой обеспеченности минимальных расходов (или уровней летней, зимней межени). Кривая Гумбеля широко применяется в гидрологических расчетах в США, Англии и ряде других стран [130–132].

В нашем случае мы использовали формулу Крицкого – Менкеля для достижения более точного результата.

По кривой обеспеченности мы определили, что все годы исследований по величине атмосферных осадков можно отнести к средней влагообеспеченности (рис. 2.6) согласно принятой градации: 0–25 % – влажный год; 25–60 % – средней влажности год; 60–80 % – среднесухой год; 80–90 % – сухой год; 90 % и более – засушливый год.



Сумма осадков, мм: 2017 год – 407,4; 2018 год – 374,5; 2019 год – 372,1.

Рис. 2.6. Кривая обеспеченности по осадкам

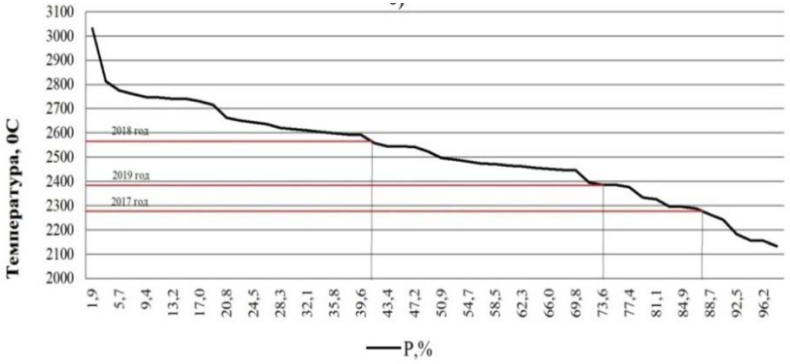
Следует отметить, что влагообеспеченность территории можно также оценить по гидротермическому коэффициенту (ГТК) по Г. Т. Селянинову (табл. 2.1). По этой градации ГТК влагообеспеченность почв республики Беларусь достаточная и позволяет получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур.

Анализируя метеорологические условия вегетационного периода 2017 года (данные Горецкой метеостанции), отметим, что в этот год внутримесячное распределение атмосферных осадков было достаточно неравномерным.

Кривая обеспеченности сумм среднесуточной температуры воздуха приведена на рис. 2.7.

Среднесуточная температура воздуха второй декады мая 2017 года составила 9,9 °С, что на 2,8 °С ниже нормы, количество осадков составило 12,4 мм, что ниже нормы на 4,6 мм. В третьей декаде мая выпало 14,9 мм осадков при норме 21 мм.

Июнь характеризовался прохладной погодой по сравнению со среднемноголетними данными. Температура воздуха была 15,2 °С при норме 16,0 °С. Количество осадков составило 47,5 мм, что меньше нормы на 27,5 мм.



Сумма среднесуточных температур воздуха, °С: 2017 год – 2 275,4; 2018 год – 2 564,4; 2019 год – 2 381,6.

Рис. 2.7. Кривая обеспеченности по температурам

Июль характеризовался более сухой и жаркой погодой. Среднемесячная температура воздуха была 16,8 °С. Осадков в этом месяце выпало 140,3 мм при среднемноголетней норме 77 мм. Больше всего выпало осадков в третью декаду – 96,4 мм, что превысило норму на

70,4 мм. Можно отметить, что около 60 % выпало 29 июля. Абсолютный максимум температуры воздуха (29,4 °С) зафиксирован 26 июля.

В августе осадков выпало 116,7 мм, а норма составляет 73 мм. В первую декаду осадков не было при норме 25,0 мм. Во второй и третьей декадах количество осадков превысило норму на 61,3 мм. Около 85 мм выпало за 3 дня. Среднемесячная температура воздуха была 17,0 °С при норме 16,6 °С. Максимальная температура была зафиксирована 20 числа и составила 31,3 °С, это максимум за весь вегетационный период.

Сентябрь оказался менее дождливым, чем август, осадков выпало 25,7 мм, что на 41 % меньше нормы. Во все декады наблюдалось выпадение осадков ниже нормы. Среднемесячная температура воздуха составила 13,4 °С при норме 11,2 °С (см. рис. 2.4–2.5).

В целом 2017 год можно отнести к средневлажному году (см. рис. 2.6). По Селянинову этот год был избыточно увлажненным при ГТК = 1,7.

В 2017 году вегетационный период сахарной свеклы составил 148 суток (с 6 мая по 1 октября).

В первую декаду мая 2018 года осадков выпало 0,3 мм при норме 16,0 мм. Средняя температура превысила норму на 5,9 °С. Во вторую декаду средняя температура воздуха составила 14,6 °С при норме 12,7 °С, количество осадков превысило норму на 86 %. В третьей декаде мая температура составила 16,1 °С и превысила норму на 2,1 °С. Осадков выпало 3,3 мм, что составило 15,7 % от среднемноголетней нормы.

В июне осадков выпало 84,8 мм, что выше среднемноголетней нормы на 9,8 мм. Осадки, так же как и в мае, выпадали неравномерно. В первую декаду количество осадков было ниже нормы на 21,9 мм. Температура тоже была ниже нормы на 0,9 °С. Во вторую и третью декады количество осадков превысило норму на 31,7 мм. Температура воздуха составила 17,2 °С и соответствовала примерно среднемноголетнему значению. Максимальная температура была зафиксирована 29 июня и составила 27,1 °С.

Июль 2018 года был теплым и влажным. Среднемесячная температура воздуха достигла 18,9 °С, что на 3,0 °С выше нормы. Количество осадков составило 138,6 мм, что выше на 80 % среднемноголетней нормы. Около 83,2 мм осадков выпало за 4 дня (около 60 % от общего количества). Это говорит о неравномерности выпадения осадков в период вегетации растений. Абсолютный максимум температур зафиксирован в конце июля – 29,8 °С.

Август был сухим по сравнению с июлем. Температура воздуха составила 18,6 °С, что выше нормы на 2,0 °С. Количество выпавших осадков составило 24,9 мм, что на 34,1 % меньше среднемноголетнего значения. Во все декады наблюдался дефицит осадков. В первую и третью декады количество осадков было меньше нормы на 92 %. Температура воздуха превысила норму в среднем на 2 °С.

Сентябрь, как и август, был сухим, осадков выпало 56,1 мм, что на 5,9 мм ниже среднемноголетней нормы. В первую и вторую декады количество осадков было ниже нормы на 63 %. Отклонение температуры от нормы составило 4,9 °С. Абсолютный максимум температур зафиксирован в конце июля – 29,8 °С (см. рис. 2.4–2.5).

2018 год, как и 2017, относится к средневлажному году (см. рис. 2.6). По Селянинову 2018 год был оптимальным по увлажнению – ГТК = 1,3. В 2018 году вегетационный период сахарной свеклы составил 147 суток (с 7 мая по 1 октября).

Весна 2019 года началась раньше обычных сроков. В третьей декаде апреля температура превысила норму на 11 °С, осадков выпало 0 при норме 14 мм. Это способствовало прогреву почвы и ее готовности к раннему посеву.

Среднемесячная температура воздуха в мае 2019 года составила 14,2 °С, что на 4,8 °С выше нормы. Осадков выпало 53,1 мм при норме 54 мм. Основное количество осадков выпало в первую декаду мая и составило 31,9 мм. Затем наблюдалась нехватка осадков, а в третью декаду их было меньше нормы на 70 %.

В июне осадков выпало 41,5 мм, что выше среднемноголетней нормы на 33,5 мм, и это количество выпало в среднем за 8 суток. Средняя температура воздуха за июнь составила 19,9 °С, что на 11,7 °С выше среднемноголетнего значения. Июнь оказался самым жарким в этом году. Абсолютный максимум температуры воздуха, равный 31,6 °С, зафиксирован 12 июня.

Июль 2019 года был менее жарким, чем июнь. Среднемесячная температура воздуха составила 15,7 °С, что на 6,6 °С ниже нормы. Количество осадков составило 135,2 мм при норме 77 мм. Причем 76,7 мм выпало за 2 дня. Это подтверждает неравномерность выпадения осадков в течение месяцев и даже декад.

Август оказался более засушливым по сравнению с июлем. Температура воздуха была 17,6 °С, что выше нормы на 2,9 °С. Количество выпавших осадков составило 54 мм, что на 19 мм меньше среднемно-

голетнего значения. Вторая и третья декады были сухими, количество осадков на 81 % было меньше нормы.

Сентябрь был также засушливым, осадков выпало 28,3 мм, что на 33,7 мм ниже среднемноголетней нормы. Средняя температура составила 10,1 °С, что ниже нормы на 3,4 °С (см. рис. 2.4–2.5).

2019 год по влажности можно отнести к средневлажному году (см. рис. 2.6). По Селянинову это год был оптимальным по увлажнению при ГТК = 1,4 (см. табл. 2.1).

Вегетационный период сахарной свеклы в 2019 году составил 158 суток (с 26 апреля по 1 октября).

Из анализа метеорологических характеристик (данные Горецкой метеостанции) следует, что годы исследований отличались по погодным условиям, а вегетационные периоды этих лет были разными по обеспеченности осадками. Так, в вегетационный период 2017 года наблюдалось снижение количества осадков по сравнению со среднемноголетними значениями, но по сумме осадков (387,3 мм) он относится к средневлажному. При этом следует учитывать, что около 200 мм осадков выпало за 5 суток.

В 2018 году в девяти декадах наблюдался дефицит осадков по сравнению с нормой. Из 339,7 мм 186,8 выпало за 10 суток. В 2019 году количество осадков составило 312,1 мм, из них 138,1 мм выпало за 5 суток.

Как видим, при достаточно благоприятной сумме атмосферных осадков в годы исследований в целом за вегетацию в отдельные месяцы и особенно декады наблюдался их значительный дефицит, что негативно сказывалось на развитии растений и урожайности сахарной свеклы.



3 ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

3.1. Динамика влагозапасов почвы по вариантам опыта

Водный режим почвы в годы исследований складывался под влиянием текущих погодных условий (в частности, выпавших атмосферных осадков и температур воздуха) и водопотребления растений, на которое влияли суточный ход температуры и относительной влажности воздуха, скорость и направление ветра и другие факторы. В орошаемых вариантах, помимо указанного, на водный режим почвы оказывали влияние вегетационные поливы и повышенное суммарное испарение (водопотребление) – основные составляющие водного баланса почвы. В расчетах динамики почвенных влагозапасов подпитывание от грунтовых вод не учитывалось, поскольку уровень грунтовых вод находился на глубине более 6 м. Приток поверхностных вод с внешнего водосбора также отсутствовал, поскольку уклон поверхности поля был незначительным.

Известно, что на востоке Беларуси в большинстве типов почв содержание гумуса невысоко – до 3 %, что является причиной слабой водопрочности почвенных агрегатов. При выпадении интенсивных осадков структура такой почвы быстро меняется, особенно в поверхностном слое до 3 см. Из этого следует, что интенсивность атмосферных осадков и искусственного дождя при орошении влияют на состояние почвы. В нашем опыте интенсивность полива широкозахватной дождевальной машиной Linsday-EuropeOmega «Zimmatik» не превышала допустимого предела и позволяла исключить слипание почвенных частиц.

Изменение динамики влагозапасов почвы по вариантам опытов для каждого года исследований представлено на рис. 3.1–3.3.

Вегетационный период в 2017 году начался с посева сахарной свеклы, проведенной 6 мая. Влагозапасы в слое 0–40 см на начало вегетации по вариантам опыта колебались в пределах от 98 до 115 мм. Причем на следующий день после посева сахарной свеклы выпало 6,4 мм осадков, что положительно повлияло на всходы культуры.

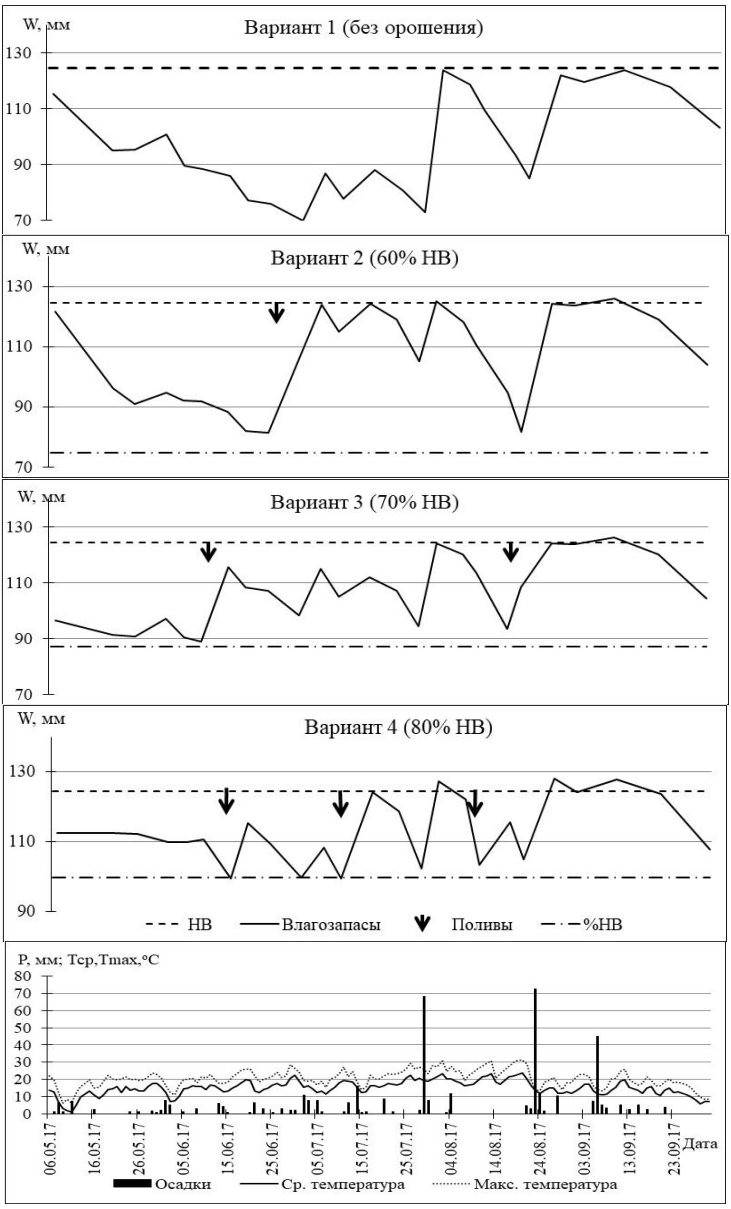


Рис. 3.1. Динамика влагозапасов почвы в слое 0–40 см в 2017 году

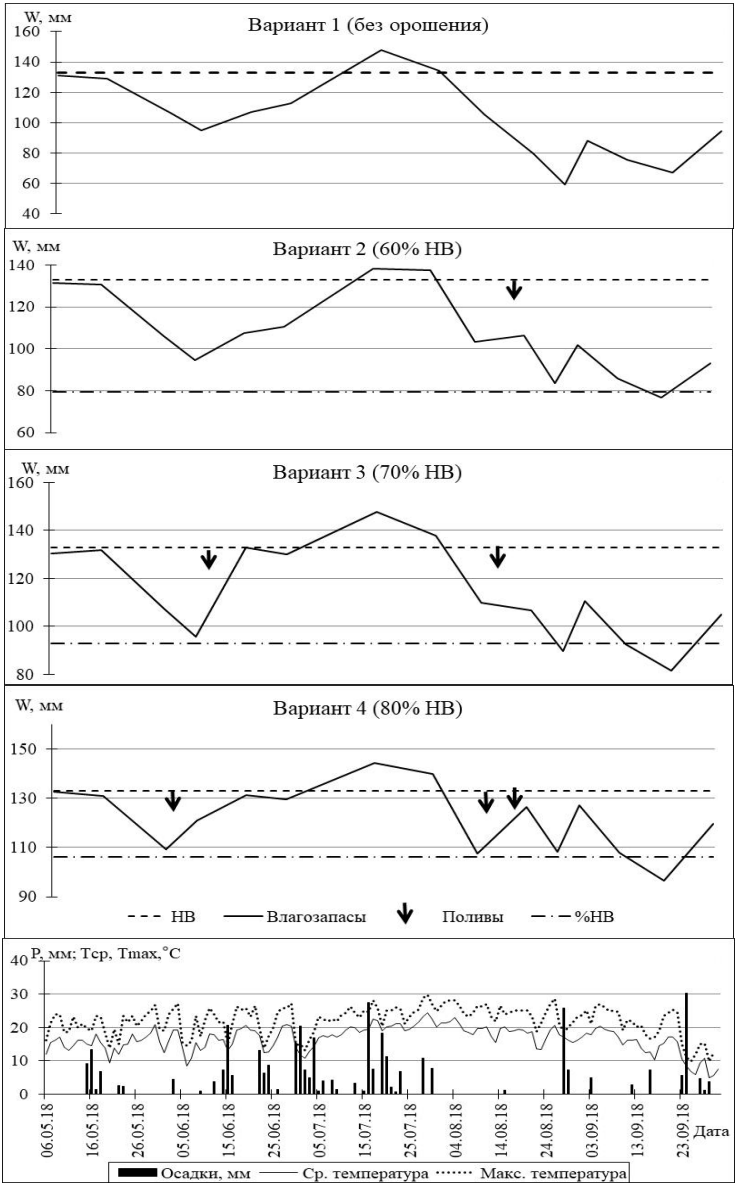


Рис. 3.2. Динамика влагозапасов почвы в слое 0–40 см в 2018 году

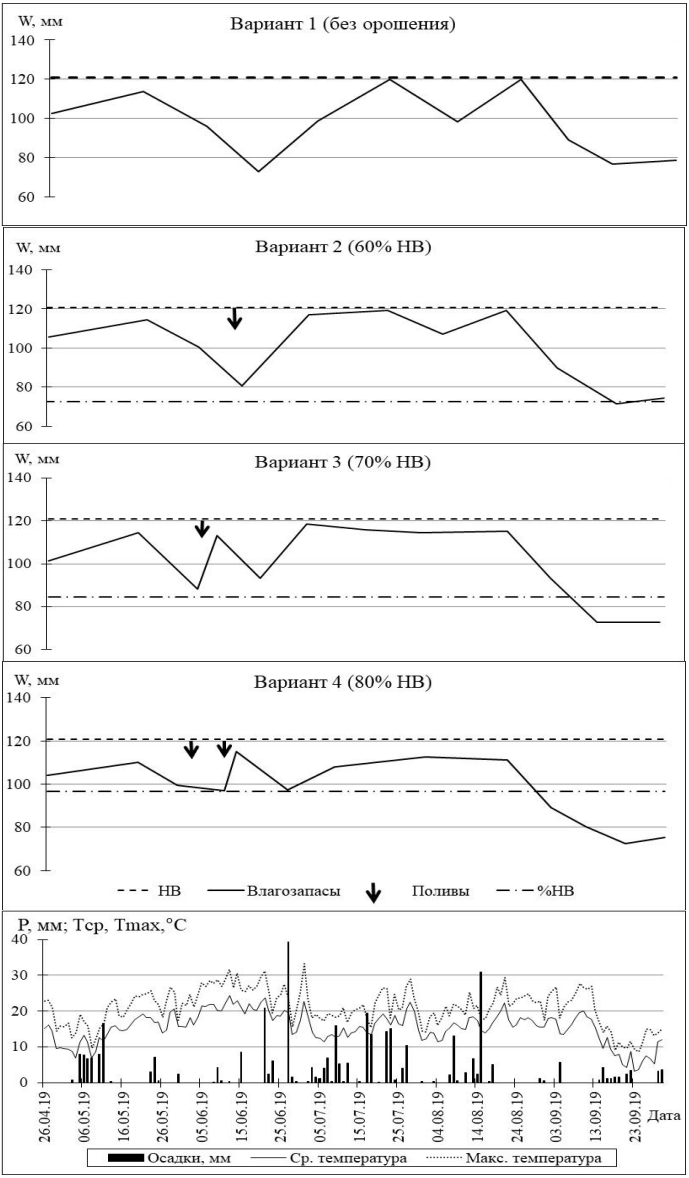


Рис. 3.3. Динамика влагозапасов почвы в слое 0–40 см в 2019 году

Всходы сахарной свеклы в 2017 году появились 17 мая. Влагозапасы на 20 мая составили по вариантам от 77 до 90 % НВ (рис. 3.1). Поливы в этот период не проводились, во всех вариантах влагозапасы находились в границах регулирования.

Первые поливы провели во второй декаде июня 12-го числа в варианте 70 % НВ нормой 300 м^3/га и 16-го числа в варианте 80 % НВ нормой 250 м^3/га. В третьей декаде июня в варианте 60 % НВ был выполнен первый полив (26.06.2017) нормой 300 м^3/га (см. рис. 3.1).

Первая декада июля была прохладной. В этот период недостаток влаги был только в варианте 4, в котором 10 июля влажность понизилась до 79 % НВ, поэтому здесь 11 июля был выполнен второй полив поливной нормой 250 м^3/га. Вторая и третья декады июля были влажными, самый влажный день был 29 июля, когда выпало 68,2 мм осадков.

На 1 августа влагозапасы во всех вариантах опыта благодаря выпавшим атмосферным осадкам не требовали дополнительного увлажнения. С 5 по 20 августа наблюдался засушливый период, осадки отсутствовали, что и привело к снижению влагозапасов почвы в вариантах 3 и 4. Так, в варианте 4 был проведен третий полив нормой 250 м^3/га 11 августа, а в варианте 3 – второй полив 19 августа поливной нормой 300 м^3/га (см. рис. 3.1).

Третья декада месяца была влажной. Самый влажный день был 23 августа, когда количество осадков за сутки составило 72,7 мм. На 28-е число влагозапасы были в пределах наименьшей влагоемкости во всех вариантах.

В течение вегетации сахарной свеклы в 2017 году в варианте 1 с естественным увлажнением влажность почвы колебалась в пределах от 56 до 100 % НВ.

В 2018 году посев сахарной свеклы был выполнен 7 мая, всходы появились через 9 дней. Влагозапасы почвы на 17 мая по вариантам опыта колебались от 97 до 99 % НВ (см. рис. 3.2). Вторая декада мая была засушливой. Первый период без дождей наблюдали с 24 мая по 2 июня, но благодаря высоким влагозапасам на начало вегетации в этот период поливы не проводились.

Первая декада июня также была засушливая. Первый полив (04.06.2018) был выполнен в варианте 4 при влажности почвы 81 % НВ поливной нормой 250 м^3/га. Максимальная температура воздуха в этот период доходила до 27,3 °С. В варианте 3 влажность почвы снизилась до 70 % НВ, поэтому 11 июня был проведен полив нормой 300 м^3/га.

Вторая и третья декады июня были дождливыми, количество осадков превысило норму на 12 и 17,6 мм соответственно. В этот период во всех вариантах влагозапасы находились в пределах регулирования и поливы не проводились (см. рис. 3.2).

Июль характеризовался достаточно равномерным выпадением осадков. По декадам наблюдалось превышение нормы на 35,0, 42,4 и 2,1 мм соответственно. В июле поливы не проводились. Влагозапасы на 30 июля составляли 134,4; 137,4; 137,4 и 139,7 мм соответственно по вариантам (см. рис. 3.2).

С начала августа наступил засушливый период (с 31.07.2018 по 27.08.2018) продолжительностью 28 дней. За этот период осадков выпало всего 1,2 мм. В варианте 1 (без орошения) влажность почвы понизилась до 44,5 % НВ; в варианте 2 – до 64 % НВ; в варианте 3 и 4 – до 74,0 и 80,8 % НВ соответственно, поэтому за две декады августа поливы были проведены на всех вариантах опыта (кроме контроля). В варианте 4 было проведено два полива нормой 250 $м^3$/га (10.08.2018 и 17.08.2018), в варианте 3 – один полив нормой 300 $м^3$/га (13.08.2018) и в варианте 2 – один полив нормой 300 $м^3$/га (17.08.2018) (см. рис. 3.2).

В сентябре поливы не выполнялись. Велась подготовка к уборке культуры.

Посев сахарной свеклы в 2019 году был выполнен 26 апреля. Апрель характеризовался недостаточной влагообеспеченностью. В период с 1 апреля по 4 мая выпало всего 2,8 мм осадков. Это увеличило довсходовый период по сравнению с прошлыми годами до 21 суток.

В течение первой и второй декад мая выпало 54,3 мм атмосферных осадков, и на момент всходов влагозапасы почвы были близки к наименьшей влагоемкости (91,1–94,9 % НВ).

В июне наблюдалось крайне неравномерное выпадение атмосферных осадков. В течение первых двух декад количество осадков было меньше нормы на 18,1 и 16,2 мм соответственно. В этот период влажность почвы во всех вариантах опыта снизилась до пределов регулирования (см. рис. 3.3). В результате были проведены поливы: в варианте 4 – два полива (02.06.2019 и 11.06.2019) нормой 250 $м^3$/га, в варианте 3 – один полив (06.06.2019) нормой 300 $м^3$/га и в варианте 2 – один полив (19.06.2019) нормой 300 $м^3$/га. А в третьей декаде количество атмосферных осадков превысило норму на 43,5 мм.

Июль 2019 года отличался достаточно равномерным распределением атмосферных осадков. При этом количество осадков незначительно

превысило норму (на 14,9; 13,4 и 18,8 мм соответственно по декадам). Такие условия благоприятно отразились на росте и развитии сахарной свеклы. В этот период влажность почвы находилась в оптимальных пределах во всех вариантах опыта (см. рис. 3.3). Поливы не проводились.

Начало августа в 2019 году оказалось засушливым: количество осадков было меньше нормы на 8,8 мм. Среднесуточная температура составила 19 °С, что на 1,2 °С выше нормы. В этот период влагозапасы почвы находились в пределах регулирования и поливы не проводились (см. рис. 3.3).

Во второй декаде августа наблюдался избыток атмосферных осадков, количество которых превысило норму на 24,4 мм. С 19 августа наступил засушливый период, который продолжался до 29 августа. В этот период осадков не наблюдалось, а максимальная температура поднималась до 29,4 °С. Вместе с тем влагозапасы почвы на конец августа находились в пределах регулирования во всех вариантах.

В сентябре 2019 года атмосферных осадков выпало меньше нормы, что привело в третьей декаде к снижению влагозапасов почвы ниже пределов регулирования во всех вариантах (см. рис. 3.3). В варианте без орошения (контроль) влажность почвы в течение вегетации сахарной свеклы варьировала от 54,9 до 100 % НВ.

3.2. Увлажненность вегетационных периодов и режимы орошения сахарной свеклы

Погодные условия в период исследований на опытном поле отличались значительным колебанием количества осадков. Их абсолютные значения за первую декаду мая – третью декаду сентября, по данным метеопоста «Тушково-1», в течение 2017–2019 годов изменялись в пределах 372–407 мм, что было на 9–19 % больше нормы (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Суммы осадков и среднесуточных температур за вегетационные периоды в сравнении с нормой

Год	Среднесуточная температура воздуха		Атмосферные осадки	
	Сумма, °С	Отклонение от нормы, %	Сумма, мм	Отклонение от нормы, %
2017	2 275,4	+0,1	407,4	+19,5
2018	2 564,4	+12,8	374,5	+9,8
2019	2 381,6	+4,7	372,1	+9,1

Подобная оценка является весьма приблизительной и не позволяет точно охарактеризовать состояние тепло- и влагообеспеченности вегетационных периодов, так как не учитывает, прежде всего, распределение осадков по декадам. Подробная характеристика этих периодов по тепло- и влагообеспеченности дана в главе 2.

В соответствии со схемой опыта влажность в корнеобитаемом (расчетном) слое почвы при орошении должна поддерживается на уровне, который удовлетворяет потребность растений в воде в течение всего вегетационного периода. Сроки поливов назначались при снижении почвенных влагозапасов до предполивного уровня в корнеобитаемом слое, мощность которого в нашем опыте принята равной 0,4 м.

Вегетационный период в 2017 году продолжался 148 суток (до начала октября), теплый период (со среднесуточной температурой воздуха свыше 10 °С) составил 134 суток, а оросительный период продолжался с начала второй декады июня и до конца второй декады августа. Количество атмосферных осадков в 2017 году превысило норму, составив 119,5 % от среднемноголетней величины (табл. 3.2).

Таблица 3.2. **Метеорологические показатели вегетационного периода 2017 г.**

Месяц	Декада	Среднесуточная температура воздуха, °С		Атмосферные осадки, мм		Дефицит влажности воздуха, мб
		Фактическая	Отклонение от нормы	Фактические	Отклонение от нормы	
Май	2	9,9	–2,8	9,7	–7,3	57,9
	3	14,9	0,9	6,6	–14,4	94,1
Июнь	1	12,8	–2,3	16,8	–6,2	73,6
	2	16,2	0,2	11,5	–13,5	98,1
	3	16,5	–0,3	16,9	–10,1	101,3
Июль	1	14,9	–2,6	27,8	2,8	85,3
	2	16,1	–1,9	33,7	7,7	85,1
	3	19,2	1,1	79,1	53,1	124,8
Август	1	19,2	1,4	12,6	–12,4	114,9
	2	21,2	4,3	0	–24	138,7
	3	13,9	–1,3	104,1	80,1	80,7
Сентябрь	1	13,8	0,6	60,8	39,8	69,9
	2	14,8	3,7	15,3	–5,7	78,4
	3	10,7	1,4	3,9	–16,1	63

В период вегетации отмечалось неравномерное выпадение осадков. Так, со второй декады мая по первую декаду июля количество осадков было на 51,5 мм меньше нормы, что и привело к необходимости поли-

вов в вариантах 80 % НВ и 70 % НВ во вторую декаду, а в варианте 60 % НВ в третью декаду июня. В июле количество осадков на 63,6 мм превысило норму, но при неравномерности их выпадения в варианте с нижней границей регулирования 80 % НВ полив пришлось проводить во второй декаде месяца. Август также характеризовался крайне неравномерным выпадением осадков. Так, в первую и вторую декады осадков выпало меньше нормы на 36,4 мм, поэтому в вариантах 80 % НВ и 70 % НВ были выполнены поливы. В третью декаду месяца осадков выпало на 80,1 мм больше нормы, из них 72,7 мм выпало 23-го числа. В целом по теплообеспеченности вегетационного периода 2017 год был близким к норме. Но из-за неравномерного выпадения атмосферных осадков в варианте 80 % НВ пришлось провести три полива, в варианте 70 % НВ – два полива, в варианте 60 % НВ – один полив (табл. 3.3).

Таблица 3.3. **Режим орошения сахарной свеклы в годы исследований**

Вариант	Дата полива	Количество поливов	Поливная норма, $м^3/га$	Оросительная норма, $м^3/га$
2017 год				
Без орошения	–	–	–	–
80 % НВ	16.06 11.07 11.08	3	250 250 250	750
70 % НВ	12.06 19.08	2	300 300	600
60 % НВ	26.06	1	300	300
2018 год				
Без орошения	–	–	–	–
80 % НВ	04.06 10.08 17.08	3	250 250 250	750
70 % НВ	11.06 13.08	2	300 300	600
60 % НВ	17.08	1	300	300
2019 год				
Без орошения	–	–	–	–
80 % НВ	02.06 11.06	2	250 250	500
70 % НВ	06.06	1	300	300
60 % НВ	11.06	1	300	300

Теплый период в 2018 году продолжался 140 суток. В целом количество осадков было больше нормы на 9,8 %. Но за третью декаду мая

и первую декаду июня количество атмосферных осадков было меньше нормы на 33,8 мм, и в этот период были выполнены поливы в вариантах 80 % НВ и 70 % НВ. Со второй декады июня по третью декаду июля количество осадков превысило норму на 109,1 мм. С 1 по 27 августа продолжался засушливый период, за это время выпало всего 1,2 мм осадков. Поливы выполнялись в течение засухи во всех вариантах: 60 % НВ и 70 % НВ – по одному поливу, а 80 % НВ – два полива (см. табл. 3.3). Еще один засушливый период наблюдался в первой декаде сентября. По теплообеспеченности 2018 год превысил норму на 12,8 % (табл. 3.4)

Таблица 3.4. **Метеорологические показатели вегетационного периода 2018 года**

Месяц	Декада	Среднесуточная температура воздуха, °С		Атмосферные осадки, мм		Дефицит влажности воздуха, мб
		Фактическая	Отклонение от нормы	Фактические	Отклонение от нормы	
Май	2	14,6	1,9	30,8	13,8	39,4
	3	16,1	2,1	4,8	–16,2	68,6
Июнь	1	14,2	–0,9	5,4	–17,6	80,3
	2	17,6	1,6	37	12	87,8
	3	16,9	0,1	44,6	17,6	86,4
Июль	1	15,4	–2,1	60	35	68,3
	2	20,0	2,0	68,4	42,4	88,2
	3	21,2	3,1	28,1	2,1	84,6
Август	1	20,4	2,6	0	–25	93,3
	2	18,8	1,9	1,2	–22,8	73,7
	3	16,8	1,6	33,1	9,1	74,1
Сентябрь	1	18,2	5,0	4,8	–16,2	70,9
	2	14,5	3,4	9,9	–11,1	56,4
	3	9,5	0,2	45,4	25,4	38,1

Теплый период 2019 года составил 138 суток. По количеству выпавших осадков год был похож на 2018 год, но по распределению осадков в течение вегетационного периода годы различались. Так, со второй декады мая по вторую декаду июня в 2019 году наблюдался недостаток атмосферных осадков к норме на 42,2 мм, что и привело к необходимости поливов: в варианте 80 % НВ – два полива и в вариантах 60 % НВ и 70 % НВ – по одному поливу (см. табл. 3.3). С третьей декады июня по третью декаду июля количество осадков превысило норму на 90,6 мм, поэтому поливы не проводились. Засушливые периоды были с 28 июля по 6 августа и с 19 августа по 3 сентября, за эти

периоды выпало 0,6 и 1,7 мм осадков соответственно. В целом по теплообеспеченности вегетационный период был близким к норме (табл. 3.5).

Таблица 3.5. **Метеорологические показатели вегетационного периода 2019 года**

Месяц	Декада	Среднесуточная температура воздуха, °С		Атмосферные осадки, мм		Дефицит влажности воздуха, мб
		Фактическая	Отклонение от нормы	Фактические	Отклонение от нормы	
Апрель	3	19,9	11,0	0	–14	71,9
Май	1	14,8	3,8	38,2	22,2	37,2
	2	21,1	8,4	16,9	–0,1	66,7
	3	22,9	8,9	13,2	–7,8	82,4
Июнь	1	25,9	10,8	4,9	–18,1	94,5
	2	27,8	11,8	8,8	–16,2	105,5
	3	23,6	6,8	70,5	43,5	78,3
Июль	1	20,5	3,0	39,9	14,9	52,6
	2	20,0	2,0	39,4	13,4	49,8
	3	22,8	4,7	44,8	18,8	69,2
Август	1	19,0	1,2	16,2	–8,8	51,7
	2	21,6	4,7	48,4	24,4	56,5
	3	23,1	7,9	1,7	–22,3	73,3
Сентябрь	1	24,0	10,8	5,8	–15,2	67,2
	2	16,4	5,3	10,7	–10,3	49
	3	12,2	2,9	12,7	–7,3	27,9

В отмеченные годы количество атмосферных осадков в целом за вегетацию превышало норму, но их распределение внутри вегетационного периода приводило к засухам, что потребовало проводить орошение по вариантам в соответствии со схемой опыта. Различия в тепло- и влагообеспеченности вегетационных периодов сахарной свеклы в годы исследований обусловили различия и в режимах увлажнения.

Дождевание сахарной свеклы обычно проводили в вечернее время суток. Величина поливных норм, как отмечено выше, принималась равной 250 $м^3$/га в варианте 80 % НВ и 300 $м^3$/га в вариантах 70 % НВ и 60 % НВ. Фактически поливная норма фиксировалась с помощью дождемеров, которые расставлялись по площади захвата дождевальной машины.

Данные табл. 3.3 показывают, что возделывание сахарной свеклы на востоке республики в разные годы по погодным условиям требует проведения поливов для улучшения условий влагообеспеченности.

Наибольший дефицит влаги наблюдался во все годы в первой половине вегетации (июнь) и в период основного набора массы корнеплода сахарной свеклы (август). На эти месяцы приходится основная часть поливов [133, 134, 135].

За три года исследований среднее количество поливов составило: в варианте с нижним пределом регулирования 80 % НВ – два-три полива, в варианте с нижним пределом регулирования 70 % НВ – один-два полива и в варианте с нижним пределом регулирования 60 % НВ – один полив. В среднем за три года исследований оросительная норма по вариантам 80 % НВ, 70 % НВ и 60 % НВ равнялась 667, 500 и 300 $м^3$/га соответственно. Засушливые периоды разной степени во все годы существенно снижали урожайность на неорошаемых участках.

Ранее было отмечено, что в целом почвенно-климатические условия района исследований являются типичными. Это позволяет распространить результаты исследований на территорию северо-восточной части Республики Беларусь с суглинистыми почвами.

3.3. Определение водопотребления сахарной свеклы

Водопотребление любой сельскохозяйственной культуры, необходимое для разработки режима орошения, может быть установлено различными методами. В мелиоративной практике водопотребление наиболее часто определяют с использованием уравнения водного баланса.

Уравнение водного баланса почвы является выражением основополагающего физического закона сохранения вещества. Суть данного уравнения состоит в том, что наличие влаги в почве определяется ее приходом (приходными факторами) и расходом (расходными факторами). Расчет водного баланса почвы ведется последовательно по установленным временным интервалам, продолжительность которых устанавливается в зависимости от решаемой задачи. На основе уравнения водного баланса разработаны многочисленные методы расчета динамики почвенных влагозапасов в течение вегетации. Например, при условии глубокого залегания уровня грунтовых вод (УГВ) и при незначительных величинах поверхностного стока уравнение водного баланса для расчетного слоя почвы имеет вид:

$$W_{кi} = W_{нi} + P_i + m_i - E_i - C_i, \qquad (3.1)$$

где $W_{кi}$ – влагозапасы расчетного слоя почвы на конец i-го расчетного интервала, мм;

$W_{нi}$ – влагозапасы расчетного слоя почвы на начало i-го расчетного интервала, мм;

P_i – осадки за i-й расчетный интервал, мм;

m_i – поливная норма в i-й расчетный интервал, мм;

E_i – водопотребление (эвапотранспирация, суммарное испарение) орошаемой культуры за i-й расчетный интервал, мм;

C_i – величина сбросов излишков атмосферных осадков за пределы расчетного слоя почвы в течение i-го расчетного интервала (в периоды переувлажнений);

i – порядковый номер расчетного интервала.

Влагозапасы в расчетном слое почвы на начало водобалансового расчета определяются, как правило, непосредственно в поле. Приходные элементы водного баланса (атмосферные осадки и поливные нормы) замеряются с помощью дождемеров. Расходные элементы водного баланса (эвапотранспирация, сток воды за пределы расчетного слоя почвы) орошаемой культуры обычно определяются путем вычислений.

Например, эвапотранспирация определяется путем решения уравнения водного баланса почвы относительно величины водопотребления. При этом известными элементами водного баланса являются текущие (начальные и конечные) влагозапасы в активном слое почвы, выпадающие атмосферные осадки и поливы (если они проводились).

Величина внутрипочвенного стока C_i определялась согласно рекомендации ТКП 45-3.04-178-2009 (02250) Оросительные системы. Правила проектирования (Минск, 2010) по формуле [128]:

$$C_i = К_с(W_{кi} - W_{нв}), \qquad (3.2)$$

где $К_с$ – коэффициент стока.

Значения $К_с$ принимались в зависимости от гранулометрического состава почвы: $К_с = 1{,}0$ для песчаных, супесчаных и легкосуглинистых почв.

Большая трудоемкость методов прямого измерения водопотребления растений (сумма транспирации и испарения с поверхности почвы) во времени и по площади привела к созданию целого ряда расчетных формул для определения этой величины. Формулы базируются на корреляционной зависимости между испарением и одним или группой метеорологических показателей. В качестве основных метеорологических показателей, как правило, принимают температуру воздуха, де-

фицит влажности, абсолютную и относительную влажность воздуха, атмосферные осадки [127].

Нами для определения подекадного водопотребления использовался графоаналитический способ. Он включал в себя ряд последовательных действий. Во-первых, построение интегральной кривой водопотребления, на которой по оси абсцисс располагаются календарные даты от начала вегетации, а по оси ординат нарастающим итогом фиксируется водопотребление (суммарное испарение, эвапотранспирация), соответствующее промежутку между смежными датами отбора почвенных образцов и рассчитанное по вытекающей из (3.1) формуле

$$E_i = W_{нi} - W_{кi} + P_i + m_i - C_i. \qquad (3.3)$$

Во-вторых, отрезки, соответствующие началу каждой календарной декады, фиксируются прямыми линиями, параллельными оси ординат, от нулевой ординаты до интегральной кривой водопотребления с засечками в точках пересечения с интегральной кривой. В-третьих, проводятся прямые, параллельные оси абсцисс, от полученных точек пересечения с интегральной кривой водопотребления до оси ординат. На четвертом этапе с оси абсцисс снимаются величины сумм водопотребления за выделенные календарные декады. Таким путем водопотребление определялось до уборки культуры.

На протяжении последних лет в республике заготовку сахарной свеклы начинали с 1 сентября. Столь ранние сроки – вынужденная мера, поскольку в сентябре продолжаются накопление массы корнеплодов и повышение сахаристости. Однако мощности имеющихся четырех сахарных заводов не позволяют укладываться в сроки переработки урожая. Приходится проводить раннюю уборку корнеплодов, чтобы избежать потерь при их хранении, поэтому водопотребление сахарной свеклы определялось со 2-й декады мая по 3-ю декаду августа включительно.

Для уточнения мощности корнеобитаемого слоя, из которого потребляется почвенная влага сахарной свеклой в течение вегетации, водобалансовые расчеты выполнялись для двух слоев – 0–40 и 0–50 см. Результаты подекадных расчетов по этим слоям, выполненных согласно ТКП, в годы наблюдений за орошаемый период (май – август) представлены в табл. 3.6–3.7.

В табл. 3.8 выполнено сравнение величин водопотребления сахарной свеклы за оросительный период (май – август), полученных при разной мощности расчетного слоя почвы.

Таблица 3.6. **Декадное водопотребление сахарной свеклы в течение оросительного периода в годы исследований из слоя почвы 0–40 см, мм**

Вариант опыта	Декады вегетационного периода										
	Май		Июнь			Июль			Август		
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2017 год											
Без орошения	5	16	14	20	24	24	26	32	30	30	18
60 % НВ	5	18	16	22	24	24	28	46	40	34	20
70 % НВ	5	16	14	22	26	28	30	48	40	40	22
80 % НВ	5	16	16	22	26	32	36	52	44	42	22
2018 год											
Без орошения	5	22	26	28	30	28	38	50	38	24	22
60 % НВ	5	23	27	30	34	36	42	40	38	28	26
70 % НВ	5	24	28	32	34	40	48	46	34	26	26
80 % НВ	5	25	30	33	33	38	52	40	36	27	27
2019 год											
Без орошения	6	20	26	30	30	30	32	44	32	30	30
60 % НВ	6	22	28	32	36	36	38	44	36	30	30
70 % НВ	8	24	30	34	36	36	40	50	36	30	28
80 % НВ	8	26	30	38	40	40	40	50	34	32	26
Среднее за период исследований											
Без орошения	5	19	22	26	28	27	32	42	33	28	23
60 % НВ	5	21	24	28	31	32	36	43	38	31	25
70 % НВ	6	21	24	29	32	35	39	48	37	32	25
80 % НВ	6	22	25	31	33	37	43	47	38	34	25

Таблица 3.7. **Декадное водопотребление сахарной свеклы в течение оросительного периода в годы исследований из слоя почвы 0–50 см, мм**

Вариант опыта	Декады вегетационного периода										
	Май		Июнь			Июль			Август		
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2017 год											
Без орошения	5	20	18	24	26	26	28	32	30	30	18
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60 % НВ	5	18	20	22	26	26	28	48	41	35	21
70 % НВ	5	18	18	24	26	28	32	50	42	42	24
80 % НВ	5	18	18	24	28	32	38	54	44	42	24
2018 год											
Без орошения	5	24	28	32	32	30	36	40	36	28	28
60 % НВ	5	24	28	32	34	38	42	40	38	30	30
70 % НВ	5	24	30	34	36	36	46	44	40	32	24
80 % НВ	5	24	30	38	38	38	48	42	36	28	24

Окончание табл. 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2019 год											
Без орошения	7	23	26	32	30	30	32	46	32	26	28
60 % НВ	8	26	32	36	32	32	36	46	34	30	30
70 % НВ	8	24	30	34	38	38	40	50	36	30	28
80 % НВ	8	28	30	36	40	42	42	50	36	32	30
Среднее за период исследований											
Без орошения	6	22	24	29	29	29	32	39	33	28	25
60 % НВ	6	23	27	30	31	32	35	45	38	32	27
70 % НВ	6	22	26	31	33	34	39	48	39	35	25
80 % НВ	6	23	26	33	35	37	43	49	39	34	26

Таблица 3.8. **Сравнение водопотребления (*E*, мм) сахарной свеклы за орошаемый период при разной мощности расчетного слоя почвы**

Год	Вариант опыта											
	Без орошения			60 % НВ			70 % НВ			80 % НВ		
	Водопотребление, мм											
	$E_{0–40}$	$E_{0–50}$	ΔE, %	$E_{0–40}$	$E_{0–50}$	ΔE, %	$E_{0–40}$	$E_{0–50}$	ΔE, %	$E_{0–40}$	$E_{0–50}$	ΔE, %
2017	239	257	7,5	277	290	4,7	291	309	6,2	313	327	4,5
2018	311	319	2,6	329	341	3,6	343	351	2,3	346	351	1,4
2019	310	312	0,6	338	342	1,2	352	356	1,1	364	374	2,7
Среднее	287	296	3,1	315	324	2,9	329	339	3,0	341	351	2,9

Как видим, разница значений водопотребления при разной мощности расчетного слоя незначительна. За годы исследований она колебалась в среднем в пределах 2,9–3,1 %. Из результатов следует, что расчетный слой для орошения сахарной свеклы можно принимать как 0–40 см, так и 0–50 см. Данный вывод позволяет адаптировать рекомендации других авторов в части выбора мощности расчетного слоя почвы при проектировании и эксплуатации оросительных систем с сахарной свеклой.

Мощность расчетного слоя в пределах 40–50 см также не оказала существенного влияния на величину суточного водопотребления. Среднесуточное водопотребление при естественном увлажнении варьировало от 2,2 до 3,0 мм/сут, а при орошении было несколько выше – 2,6–3,5 мм/сут (табл. 3.9). Различие не превысило 2,9–3,1 %.

Таблица 3.9. **Среднесуточное водопотребление сахарной свеклы (ε, мм/сут) в зависимости от мощности расчетного слоя в годы исследований**

Год	Вариант опыта							
	Без орошения		60 % НВ		70 % НВ		80 % НВ	
	Слой, см							
	0–40	0–50	0–40	0–50	0–40	0–50	0–40	0–50
2017	2,2	2,4	2,6	2,7	2,7	2,9	2,9	3,1
2018	2,9	3,0	3,0	3,2	3,2	3,3	3,2	3,3
2019	2,9	2,9	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5

Результаты опыта показывают, что суммарное испарение сахарной свеклы существенно зависит от влажности корнеобитаемого слоя почвы. Так, например, в 2017 году водопотребление растений за вегетацию из слоя 0–40 см составило 2 390 м^3/га в варианте с естественным увлажнением и 3 130 м^3/га в варианте с орошением не ниже 80 % НВ. По годам исследований значения водопотребления для расчетного слоя 0–40 см изменялись от 239 до 311 мм в вариантах с естественным увлажнением и от 277 до 364 мм при орошении [136].

3.4. Оценка точности биоклиматического метода расчета водопотребления сахарной свеклы

При проектировании и эксплуатации оросительных систем важнейшее значение имеет точность определения водопотребления орошаемой культуры. Во-первых, от водопотребления орошаемого поля зависит дефицит водного баланса почвы и расчетная (проектная) нагрузка на дождевальную технику, что в конечном счете определяет экономические показатели проекта орошения. Во-вторых, эффективность управления водным режимом почвы при проведении поливов на эксплуатируемых оросительных системах также зависит от точности определения текущего водопотребления.

Среди методов определения водопотребления (суммарного испарения, эвапотранспирация) сельскохозяйственных культур наибольшее распространение получил так называемый биоклиматический метод, который был разработан в СССР А. М. Алпатьевым и С. М. Алпатьевым (Украина) в 60-е годы XX века [137–142]. Авторами было показано, что водопотребление растений тесно коррелирует с температурой, влажностью и дефицитом влажности воздуха, штатно измеряемыми на метеостанциях. После детального изучения возможной структуры расчетной зависимости в качестве основного метеорологического показателя был выбран вычисляемый по температуре и влажности воздуха среднесуточный дефицит влажности воздуха, который комплексно характеризует испаряющую способность приземного слоя атмосферы. Водопотребление сельскохозяйственных культур было предложено определять по формуле

$$E_i = K_{di} \cdot \Sigma d_i, \tag{3.4}$$

где K_{di} – биоклиматический (биологический) коэффициент водопотребления, вычисленный по дефицитам влажности воздуха и изменяющийся в течение вегетации (по i-м интервалам заданной продолжительности) по характерной для каждого вида растений кривой, мм/мб;

Σd_i – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за рассматриваемый i-й интервал, мб.

В формуле (3.4) ход водопотребления по фазам развития растений учитывается биоклиматическими коэффициентами. Авторы формулы (3.4) отмечали, что она приемлема исключительно при достаточной увлажненности почвы и относительно высокой урожайности культуры, когда водопотребление ограничивается только теплоэнергетическими ресурсами и дальнейший рост урожайности не сопровождается существенным ростом потребности в воде.

В процессе использования формулы (3.4) в водобалансовых расчетах разными авторами было установлено, что метод А. М. Алпатьева и С. М. Алпатьева имеет существенный недостаток, состоящий в изменчивости биоклиматических коэффициентов не только по регионам, но даже в пределах одной зоны по годам в зависимости от погодных условий. Для снижения вариабельности биоклиматических коэффициентов А. И. Михальцевичем было предложено для условий Беларуси линейную эмпирическую зависимость (3.4) заменить степенной, что позволило существенно снизить зональную и погодно-климатическую вариацию биоклиматических коэффициентов [143]:

$$E_i = 1{,}74 \cdot nK_{di}d_i^{0,4}, \tag{3.5}$$

где 1,74 – эмпирический коэффициент;

n – число суток в расчетном интервале;

d_i – среднесуточный дефицит влажности воздуха за расчетный интервал, мб/сут.

Сравнительный анализ формул (3.4) и (3.5) показал, что расчетная зависимость (3.5) является более обоснованной [137]. С целью упрощения алгоритма расчета формула (3.5) была несколько трансформирована, и для условий Республики Беларусь предложена формула, вошедшая в ТКП 45-3.04-178-2009 (02250) Оросительные системы. Правила проектирования (Минск, 2010) [128]:

$$E_i = 1{,}35 \cdot n_iK_{di}d_i^{0,5}, \tag{3.6}$$

Помимо степенной зависимости (3.6) были разработаны и другие модификации формулы (3.5). Например, для определения суточного водопотребления орошаемых многолетних бобовых трав В. И. Вихровым предложена эмпирическая зависимость, помимо дефицита влажности воздуха учитывающая скорость ветра и прогнозную урожайность [144]:

$$E_i = n_iK_{di}d_i^{0,64}(1 + V_2)^{0,42}K_y, \tag{3.7}$$

где V_2 – среднесуточная за период скорость ветра на высоте 2 м в i-м интервале, м/с;

$K_у$ – параметр, учитывающий уровень урожайности (продуктивность) орошаемых трав в данном укосе.

В каждой из вышеприведенных формул (3.3)–(3.7) водопотребление сельскохозяйственной культуры прямо пропорционально биоклиматическому коэффициенту, а это означает, что ошибки в установлении величины данного коэффициента в той же пропорции повторяются и при вычислении водопотребления. Из этого следует, что чем теснее связь между биоклиматическими коэффициентами, установленными по данным конкретного года, с расчетными биоклиматическими коэффициентами, осредненными за многолетие, тем точнее будет определено водопотребление сельскохозяйственной культуры в конкретном году.

Поскольку биоклиматические коэффициенты водопотребления сахарной свеклы в Беларуси до настоящего времени не определялись, нами они были вычислены для лет исследований по вариантам опыта по формулам (3.4)–(3.6) с применением полученного экспериментального материала. В табл. 3.10 приведены биоклиматические коэффициенты сахарной свеклы, рассчитанные по формуле (3.4).

Результаты расчета демонстрируют значительные вариации декадных коэффициентов по годам исследований и по вариантам опыта. Например, начиная с третьей декады мая и по третью декаду июля отклонение коэффициентов по годам от среднемноголетних значений превышает 1,4–1,7 раза, что, соответственно, вызывает большие расхождения в результатах водобалансовых расчетов. График на рис. 3.4, *а*, построенный по данным табл. 3.10, демонстрирует невысокие коэффициенты детерминации связи между декадными биоклиматическими коэффициентами сахарной свеклы ($К_{бi}$ и $К_{бср}$) со второй декады мая до конца августа (в пределах 0,4–0,5).

В свою очередь, значения биоклиматических коэффициентов, вычисленных по формуле А. И. Михальцевича (табл. 3.11), хотя и изменчивы, но не так значительно. Аналогичный вывод следует и из данных табл. 3.9, в которой приведены коэффициенты, вычисленные по формуле ТКП [128]. Коэффициенты детерминации связи между декадными биоклиматическими коэффициентами водопотребления сахарной свеклы, вычисленными по формулам (3.5), (3.6) в годы исследований, и средними за 2017–2019 годы изменяются в пределах 0,6–0,7 (табл. 3.11, 3.12, рис. 3.4) [145].

Таблица 3.10. **Декадные биоклиматические коэффициенты водопотребления сахарной свеклы, рассчитанные по формуле А. М. и С. М. Алпатьевых, по вариантам опыта в годы исследований ($К_{бi}$) и средние за 2017–2019 годы ($К_{бср}$)**

Вариант опыта	Расчетный период											Средний
	Май		Июнь			Июль			Август			
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2017 год												
Без орошения	0,17	0,17	0,19	0,20	0,24	0,28	0,31	0,26	0,26	0,22	0,22	0,23
60 % НВ	0,17	0,19	0,22	0,22	0,24	0,28	0,33	0,37	0,35	0,25	0,25	0,26
70 % НВ	0,17	0,17	0,19	0,22	0,26	0,33	0,35	0,38	0,35	0,29	0,27	0,27
80 % НВ	0,17	0,17	0,22	0,22	0,26	0,38	0,42	0,42	0,38	0,30	0,27	0,29
2018 год												
Без орошения	0,33	0,32	0,32	0,32	0,35	0,41	0,43	0,59	0,41	0,33	0,30	0,37
60 % НВ	0,33	0,34	0,34	0,34	0,39	0,53	0,48	0,47	0,41	0,38	0,35	0,40
70 % НВ	0,33	0,35	0,35	0,36	0,39	0,59	0,54	0,54	0,36	0,35	0,35	0,41
80 % НВ	0,33	0,36	0,37	0,38	0,38	0,56	0,59	0,47	0,39	0,37	0,36	0,41
2019 год												
Без орошения	0,21	0,24	0,28	0,28	0,38	0,57	0,64	0,64	0,62	0,53	0,41	0,44
60 % НВ	0,21	0,27	0,30	0,30	0,46	0,68	0,76	0,64	0,70	0,53	0,41	0,48
70 % НВ	0,28	0,29	0,32	0,32	0,46	0,68	0,80	0,72	0,70	0,53	0,38	0,50
80 % НВ	0,28	0,32	0,32	0,36	0,51	0,76	0,80	0,72	0,66	0,57	0,35	0,51
Среднее за период исследований, мм/мб												
Без орошения	0,24	0,24	0,26	0,27	0,32	0,42	0,46	0,49	0,43	0,36	0,31	0,35
60 % НВ	0,24	0,26	0,28	0,29	0,36	0,50	0,52	0,49	0,48	0,39	0,34	0,38
70 % НВ	0,26	0,27	0,29	0,30	0,37	0,53	0,57	0,55	0,47	0,39	0,34	0,39
80 % НВ	0,26	0,28	0,30	0,32	0,38	0,56	0,61	0,54	0,48	0,41	0,33	0,41
Средний $К_б$	0,25	0,27	0,28	0,30	0,36	0,50	0,54	0,52	0,46	0,39	0,33	0,38

Таблица 3.11. **Биоклиматические коэффициенты водопотребления сахарной свеклы за вегетационные периоды (2017–2019 годы) по вариантам опыта, рассчитанные по формуле А. И. Михальцевича**

Вариант опыта	Расчетный период											Средний
	Май		Июнь			Июль			Август			
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2017 год												
Без орошения	0,33	0,35	0,36	0,46	0,55	0,59	0,63	0,63	0,65	0,60	0,42	0,51
60 % НВ	0,33	0,40	0,41	0,51	0,55	0,59	0,68	0,91	0,87	0,68	0,47	0,58
70 % НВ	0,33	0,35	0,36	0,51	0,59	0,68	0,73	0,95	0,87	0,80	0,52	0,61
80 % НВ	0,33	0,35	0,41	0,51	0,59	0,78	0,88	1,03	0,95	0,84	0,52	0,65
2018 год												
Без орошения	0,37	0,55	0,65	0,67	0,73	0,75	0,91	1,16	0,89	0,62	0,54	0,71
60 % НВ	0,37	0,58	0,67	0,72	0,82	0,96	1,01	0,92	0,89	0,72	0,63	0,76
70 % НВ	0,44	0,60	0,70	0,77	0,82	1,07	1,15	1,06	0,80	0,67	0,63	0,79
80 % НВ	0,37	0,63	0,75	0,80	0,80	1,01	1,25	0,92	0,85	0,70	0,66	0,79
2019 год												
Без орошения	0,39	0,47	0,61	0,67	0,76	0,89	0,97	1,10	0,95	0,86	0,73	0,76
60 % НВ	0,39	0,51	0,66	0,72	0,91	1,07	1,15	1,10	1,07	0,86	0,73	0,83
70 % НВ	0,52	0,56	0,70	0,76	0,91	1,07	1,21	1,25	1,07	0,86	0,69	0,87
80 % НВ	0,52	0,61	0,70	0,85	1,01	1,18	1,21	1,25	1,01	0,92	0,64	0,90
Среднее по годам, мм/мб												
Без орошения	0,36	0,46	0,54	0,60	0,68	0,74	0,84	0,96	0,83	0,70	0,56	0,66
60 % НВ	0,36	0,50	0,58	0,65	0,76	0,87	0,95	0,98	0,94	0,76	0,61	0,72
70 % НВ	0,43	0,51	0,59	0,68	0,77	0,94	1,03	1,09	0,91	0,78	0,61	0,76
80 % НВ	0,41	0,53	0,62	0,72	0,80	0,99	1,11	1,07	0,94	0,82	0,60	0,78
Средний $К_б$	0,39	0,50	0,58	0,66	0,75	0,88	0,98	1,02	0,91	0,76	0,60	0,73

Таблица 3.12. **Биоклиматические коэффициенты водопотребления сахарной свеклы за вегетационные периоды (2017–2019 годы) по вариантам опыта, рассчитанные по формуле ТКП-45.304-178-2009 (02250)**

Вариант опыта	Расчетный период											Средний
	Май		Июнь			Июль			Август			
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2017 год												
Без орошения	0,35	0,37	0,38	0,47	0,56	0,61	0,66	0,64	0,66	0,60	0,45	0,52
60 % НВ	0,35	0,41	0,44	0,52	0,56	0,61	0,71	0,92	0,87	0,68	0,50	0,60
70 % НВ	0,35	0,37	0,38	0,52	0,61	0,71	0,76	0,96	0,87	0,80	0,55	0,62
80 % НВ	0,35	0,37	0,44	0,52	0,61	0,81	0,91	1,04	0,96	0,84	0,55	0,67
2018 год												
Без орошения	0,43	0,59	0,68	0,70	0,76	0,79	0,95	1,21	0,92	0,65	0,57	0,75
60 % НВ	0,43	0,62	0,71	0,75	0,86	1,02	1,05	0,97	0,92	0,76	0,67	0,80
70 % НВ	0,51	0,65	0,73	0,80	0,86	1,13	1,20	1,12	0,82	0,71	0,67	0,84
80 % НВ	0,43	0,67	0,78	0,82	0,83	1,08	1,30	0,97	0,87	0,74	0,70	0,84
2019 год												
Без орошения	0,41	0,49	0,63	0,68	0,79	0,97	1,06	1,18	1,04	0,93	0,78	0,82
60 % НВ	0,41	0,54	0,67	0,73	0,95	1,16	1,26	1,18	1,17	0,93	0,78	0,89
70 % НВ	0,55	0,59	0,72	0,78	0,95	1,16	1,33	1,34	1,17	0,93	0,73	0,93
80 % НВ	0,55	0,64	0,72	0,87	1,06	1,29	1,33	1,34	1,11	1,00	0,68	0,96
Среднее по годам, мм/мб												
Без орошения	0,40	0,48	0,56	0,62	0,70	0,79	0,89	1,01	0,87	0,73	0,60	0,70
60 % НВ	0,40	0,53	0,61	0,67	0,79	0,93	1,01	1,02	0,99	0,79	0,65	0,76
70 % НВ	0,47	0,54	0,61	0,70	0,80	1,00	1,10	1,14	0,96	0,81	0,65	0,80
80 % НВ	0,44	0,56	0,65	0,74	0,83	1,06	1,18	1,12	0,98	0,86	0,64	0,82
Средний $K_б$	0,43	0,53	0,61	0,68	0,78	0,95	1,04	1,07	0,95	0,80	0,64	0,77

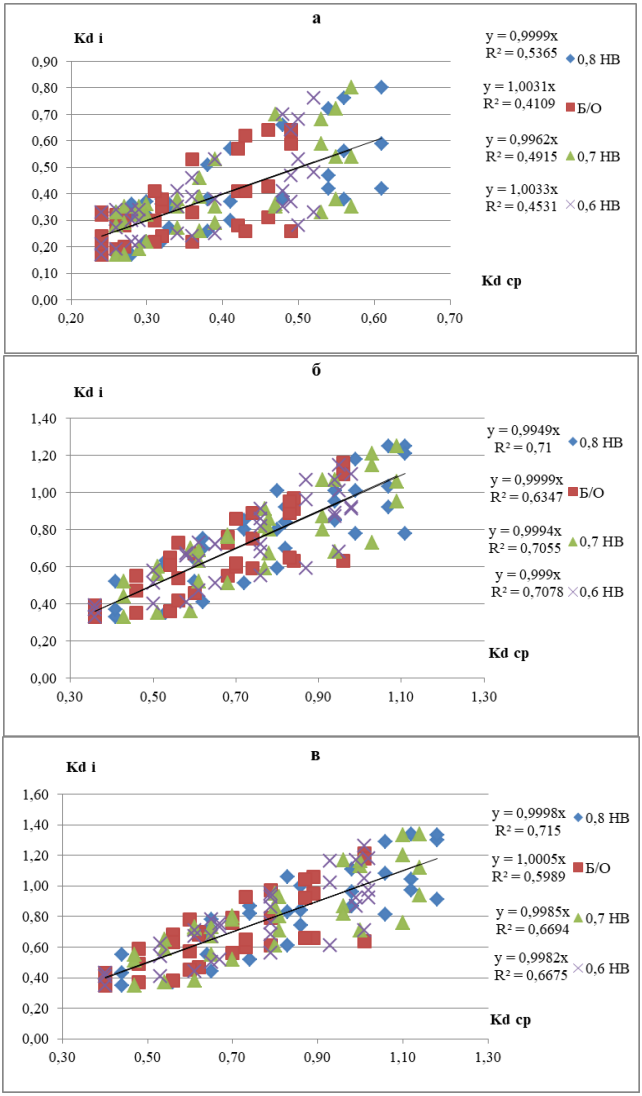


Рис. 3.4. Связь между декадными биоклиматическими (K_{di}) коэффициентами водопотребления сахарной свеклы по годам исследований и средними за 2017–2019 годы коэффициентами ($K_{dср}$): *а* – вычисленными по формуле (3.4); *б* – по формуле (3.5); *в* – по формуле (3.6)

Отметим, что при расчете водопотребления орошаемых сельскохозяйственных культур в качестве показателя, характеризующего метеорологические условия, часто используют температуру воздуха. Было экспериментально доказано, что имеет место тесная корреляция между декадным водопотреблением орошаемых культур и суммарной за этот расчетный интервал среднесуточной температурой воздуха [146–152]. Приемлемой для вычислений оказалась простейшая формула:

$$E_i = K_t \Sigma t_i, \qquad (3.8)$$

где K_t – биотермический коэффициент *i*-го интервала, вычисленный по среднесуточным температурам воздуха, мм/°С;

Σt_i – сумма среднесуточных температур воздуха за расчетный *i*-й интервал, °С.

Основываясь на результатах проведенных расчетов в качестве фактора, управляющего процессом водопотребления, нами предложено использовать также максимальную за сутки температуру воздуха, поскольку этот метеопараметр, осредненный за декаду, не только достаточно точно отражает влияние испаряющей способности приземного слоя атмосферы на растения, но и наиболее легко контролируется в производственных условиях, что особенно важно для управления орошением. Биологические особенности развития культур здесь учитываются с помощью соответствующих биотермических коэффициентов, рассчитанных по среднесуточным или максимальным за сутки температурам воздуха.

Биотермические коэффициенты определялись из линейной зависимости вида (3.8). Например, для максимальной температуры

$$K_{tm} = E_i / \Sigma t_{mi}, \qquad (3.9)$$

где K_{tm} – биотермический коэффициент *i*-го интервала, вычисленный по максимальным за сутки температурам воздуха, мм/°С;

Σt_{mi} – сумма суточных максимальных температур воздуха за расчетный *i*-й интервал, °С.

Биотермические коэффициенты сахарной свеклы, которые были вычислены по среднесуточным и максимальным температурам, представлены в табл. 3.13 и 3.14. Расчеты показали, что значения коэффициентов, вычисленных по среднесуточным температурам (см. табл. 3.10), варьируют по декадам в диапазоне от 0,09 до 0,28 мм/°С. Для максимальных температур этот диапазон несколько меньше (от 0,05 до

0,20 мм/°С). Причем годовые и средние за три года значения декадных биотермических коэффициентов, рассчитанные по максимальным и среднесуточным температурам, имеют достаточно тесную связь, которая представлена на рис. 3.5 [145].

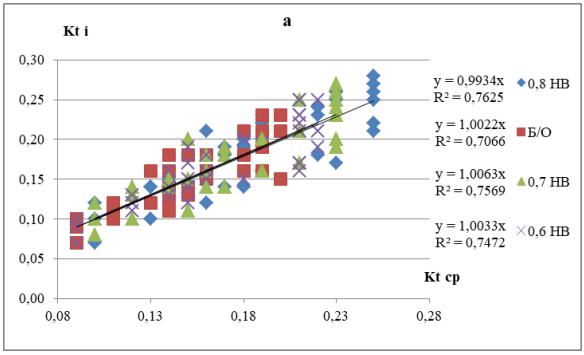
Исходя из коэффициентов детерминации, приведенных на рис. 3.5, использование в водобалансовых расчетах биотермических коэффициентов сахарной свеклы, вычисленных по среднесуточным и максимальным температурам, дает наиболее точные результаты.

Таблица 3.13. **Биотермические коэффициенты водопотребления сахарной свеклы за вегетационные периоды (2017–2019 годы), рассчитанные по среднесуточным температурам, осредненным за декаду**

Вариант опыта	Расчетный период											Средний
	Май		Июнь			Июль			Август			
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2017 год												
Без орошения	0,10	0,10	0,11	0,12	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16	0,14	0,12	0,13
60 % НВ	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,22	0,21	0,16	0,13	0,15
70 % НВ	0,10	0,10	0,11	0,14	0,16	0,19	0,19	0,23	0,21	0,19	0,14	0,16
80 % НВ	0,10	0,10	0,12	0,14	0,16	0,21	0,22	0,25	0,23	0,20	0,14	0,17
2018 год												
Без орошения	0,07	0,12	0,18	0,16	0,18	0,18	0,19	0,21	0,19	0,13	0,12	0,16
60 % НВ	0,07	0,13	0,19	0,17	0,20	0,23	0,21	0,17	0,19	0,15	0,14	0,17
70 % НВ	0,08	0,14	0,20	0,18	0,20	0,26	0,24	0,20	0,17	0,14	0,14	0,18
80 % НВ	0,07	0,14	0,21	0,19	0,20	0,25	0,26	0,17	0,18	0,14	0,15	0,18
2019 год												
Без орошения	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,21	0,21	0,23	0,23	0,18	0,16	0,17
60 % НВ	0,09	0,12	0,14	0,15	0,20	0,25	0,25	0,23	0,25	0,18	0,16	0,18
70 % НВ	0,12	0,13	0,15	0,16	0,20	0,25	0,27	0,26	0,25	0,18	0,15	0,19
80 % НВ	0,12	0,14	0,15	0,18	0,22	0,28	0,27	0,26	0,24	0,19	0,14	0,20
Среднее за период исследований												
Без орошения	0,09	0,11	0,14	0,14	0,16	0,18	0,19	0,20	0,19	0,15	0,13	0,15
60 % НВ	0,09	0,12	0,15	0,15	0,18	0,21	0,21	0,21	0,22	0,16	0,14	0,17
70 % НВ	0,10	0,12	0,15	0,16	0,19	0,23	0,23	0,23	0,21	0,17	0,14	0,18
80 % НВ	0,10	0,13	0,16	0,17	0,19	0,25	0,25	0,23	0,22	0,18	0,14	0,18
Средний $K_б$	0,09	0,12	0,15	0,16	0,18	0,22	0,22	0,22	0,21	0,17	0,14	0,17

Таблица 3.14. **Биотермические коэффициенты водопотребления сахарной свеклы за вегетационные периоды (2017–2019 годы), рассчитанные по максимальным суточным температурам, осредненным за декаду**

Вариант опыта	Расчетный период											Средний
	Май		Июнь			Июль			Август			
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2017 год												
Без орошения	0,07	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,11	0,12	0,11	0,09	0,10
60 % НВ	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,16	0,16	0,12	0,10	0,11
70 % НВ	0,07	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17	0,16	0,14	0,11	0,12
80 % НВ	0,07	0,07	0,09	0,10	0,12	0,16	0,17	0,19	0,17	0,15	0,11	0,13
2018 год												
Без орошения	0,05	0,09	0,13	0,12	0,14	0,14	0,15	0,18	0,15	0,10	0,09	0,12
60 % НВ	0,05	0,10	0,13	0,13	0,16	0,18	0,17	0,14	0,15	0,11	0,10	0,13
70 % НВ	0,06	0,10	0,14	0,14	0,16	0,20	0,19	0,16	0,13	0,11	0,10	0,14
80 % НВ	0,05	0,10	0,15	0,14	0,15	0,19	0,21	0,14	0,14	0,11	0,11	0,14
2019 год												
Без орошения	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,16	0,18	0,17	0,14	0,12	0,13
60 % НВ	0,07	0,09	0,11	0,12	0,15	0,18	0,19	0,18	0,19	0,14	0,12	0,14
70 % НВ	0,09	0,10	0,12	0,12	0,15	0,18	0,20	0,20	0,19	0,14	0,11	0,14
80 % НВ	0,09	0,10	0,12	0,14	0,17	0,20	0,20	0,20	0,18	0,15	0,10	0,15
Среднее за период исследований												
Без орошения	0,06	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15	0,16	0,14	0,11	0,10	0,12
60 % НВ	0,06	0,09	0,11	0,12	0,14	0,16	0,17	0,16	0,16	0,13	0,11	0,13
70 % НВ	0,07	0,09	0,11	0,12	0,14	0,17	0,18	0,18	0,16	0,13	0,11	0,13
80 % НВ	0,07	0,09	0,12	0,13	0,15	0,18	0,19	0,18	0,16	0,14	0,11	0,14
Средний $К_б$	0,07	0,09	0,11	0,12	0,14	0,16	0,17	0,17	0,16	0,13	0,11	0,13



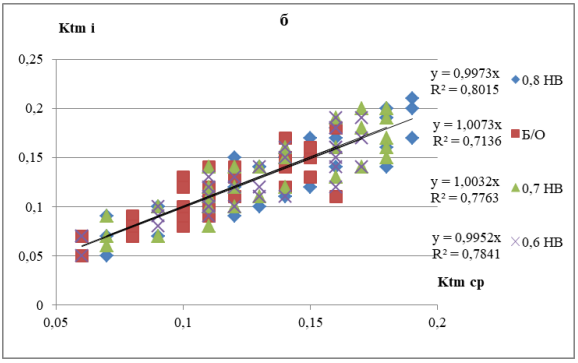


Рис. 3.5. Связь между декадными биотермическими (K_{ti}, K_{tmi}) коэффициентами водопотребления сахарной свеклы по годам исследований и средними за 2017–2019 годы ($K_{tср}$, $K_{tmср}$): *а* – по среднесуточным температурам воздуха; *б* – по максимальным температурам воздуха, осредненным за декаду

Достаточно высокие коэффициенты детерминации связи между декадными биотермическими коэффициентами (0,7–0,8) позволяют также рекомендовать данные методики расчета водопотребления сахарной свеклы по температурам воздуха к практическому применению.

3.5. Зависимость водопотребления от погодных условий и урожайности сахарной свеклы

Ранее было указано, что в качестве фактора, управляющего процессом водопотребления, предложено использовать максимальную за сутки температуру воздуха, осредненную за расчетный интервал, равный декаде, поскольку, именно этот осредненный метеопараметр не только достаточно точно отражает влияние испаряющей способности приземного слоя атмосферы на растения, но и наиболее легко контролируется в производственных условиях [149].

Биологические особенности и фазы развития культур учитываются в расчете с помощью соответствующих биотермических коэффициентов, определяющих связь между водопотреблением растений и осредненной максимальной температурой воздуха.

Суточное водопотребление сельскохозяйственного поля (орошаемых растений) определяется по формуле, которая для посуточного водобалансового расчета запишется следующим образом [149, 150]:

$$E_{mi} = 0{,}1K_{tmi} \cdot \sum_{i-9}^{i} t_i \ , \qquad (3.10)$$

где E_{mi} – максимальное водопотребление орошаемой культуры, под которым понимается эвапотранспирация культуры за i-е (расчетные) сутки при оптимальном увлажнении почвы, мм;

K_{tmi} – биотермический коэффициент орошаемой культуры в i-е сутки, мм/град;

$\sum_{i-9}^{i} t_i$ – сумма максимальных суточных температур воздуха за расчетные (i-е) сутки и 9 суток, предыдущих расчетным, °С.

Биотермические коэффициенты в формуле (3.10) отражают биологические особенности культуры в разные фазы ее развития и соответствуют приращению водопотребления в данных условиях при повышении максимальной за сутки температуры воздуха на один градус.

При расчете фактического суточного водопотребления для учета увлажненности корнеобитаемого слоя, характеризуемой текущими почвенными влагозапасами, согласно ТКП [128] вводится коэффициент увлажненности почвы φ_i, зависящий от уровня увлажненности почвы по отношению к ее наименьшей влагоемкости:

$$E_i = \varphi_i E_{mi}, \qquad (3.11)$$

где E_i – фактическое водопотребление орошаемой культуры за i-е (расчетные) сутки, мм/сут.

Определять коэффициент увлажненности почвы (φ_i) в ТКП предложено по формуле А. П. Лихацевича, имеющей вид

$$\varphi_i = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{W_{НВ}}{W_{Нi}} - 1\right)^2\right], \qquad (3.12)$$

где $W_{НВ}$ – влагозапасы расчетного слоя почвы при наименьшей влагоемкости, мм;

$W_{Нi}$ – начальные влагозапасы при водобалансовом расчете в i-е сутки, мм.

В основу формулы (3.10) положена идея учета влияния теплообеспеченности на водопотребление растений. А с помощью коэффициента увлажненности (формула (3.12)) можно учесть любые варианты увлажнения почвы, начиная от варианта без орошения и заканчивая вариантом с капельным поливом нормами, близкими к суточному водопотреблению орошаемой культуры. Следовательно, уже в самой методике заложена возможность учета влияния на водопотребление растений текущей влаго- и теплообеспеченности вегетационного периода [153].

Таким образом, в процессе расчета суточного водного баланса почвы сначала по осредненным максимальным температурам воздуха определяется максимальное водопотребление в *i*-е сутки при достаточном увлажнении корнеобитаемого слоя, а затем рассчитывается фактическое водопотребление (E_i), учитывающее увлажнение почвы в конкретные сутки. Суммируя суточную эвапотранспирацию за всю вегетацию, получают соответственно сезонное водопотребление культуры:

$$E = \sum_{i=1}^{N} E_i \,, \tag{3.13}$$

где E – суммарное водопотребление культуры за вегетационный период, мм;

N – продолжительность вегетационного периода, сут.

Сравнивая формулы (3.10), (3.11) и (3.13), можем записать:

$$E = \varphi_{ср} K_{t(ср)} \sum_{i=1}^{N} t_{mi} \,, \tag{3.14}$$

где $\varphi_{ср}$ – осредненная за вегетацию величина коэффициента, учитывающего увлажненность почвы (зависит от режима орошения и колеблется в пределах 0,95–0,99);

$K_{t(ср)}$ – осредненная за вегетацию величина биотермического коэффициента орошаемой культуры, мм/град [154].

Вместе с тем известно, что сезонное водопотребление культуры напрямую связано с ее урожайностью. Эту связь использовал в своих исследованиях В. И. Вихров [144]. По предложению А. Н. Костякова зависимость сезонного водопотребления культуры от ее урожайности в обобщенной форме можно представлять простейшей линейной функцией [26]. Продублируем ее:

$$E = К_в Y,$$

где E – водопотребление культуры за вегетационный период, м^3/га;

$К_в$ – коэффициент водопотребления, м^3/т;

Y – урожайность культуры, т/га.

Эмпирическая зависимость справедлива в узком диапазоне урожайностей и не отвечает результатам полевых опытов, охватывающих широкий спектр условий возделывания культур. Поэтому для использования в водобалансовых расчетах предлагались и предлагаются другие формулы, более точно аппроксимирующие опытные данные. Например, в статье В. И. Ольгаренко и др. [155] зависимость водопотребления моркови от урожайности авторы предлагают представлять экспоненциальной функцией. Продублируем ее:

$$E = b_1 e^{b2Y},$$

где b_1, b_2 – эмпирические коэффициенты.

Заметим, что с учетом известных свойств экспоненциальных зависимостей вышеприведенную формулу можем привести к виду

$$E = E_{min} e^{b2Y}, \qquad (3.15)$$

где E_{min} – водопотребление культуры при нулевой урожайности (при экстраполяции области снижения урожайности до нулевого значения), м^3/га.

Согласно формуле В. И. Ольгаренко водопотребление моркови при нулевой урожайности не равно нулю, как в формуле А. Н. Костякова. Аналогичный вывод получен в Беларуси при анализе данных многолетних лизиметрических исследований Н. В. Окулика на Пружанском гидролого-гидрогеологическом стационаре Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства, проведенных с озимой рожью и картофелем [138]. Эти опыты были направлены на оценку составных элементов водного баланса почвы, включая водопотребление культур при удовлетворительном водном режиме [156, 136, 157].

В монографии Н. В. Окулика не приведены результаты статистической обработки данных и не предложена какая-либо количественная связь водопотребления исследуемых культур с их урожайностями, а лишь на рисунках показаны опытные точки [138]. Мы отсканировали указанные рисунки (см. рис. 1.2) и провели обработку приведенных на них опытных точек с использованием стандартной программы Excel [158]. Графики, предложенные программой Excel, показывают, что для

аппроксимации опытных точек одинаково успешно можно применить как линейную, так и параболическую функции (рис. 3.6).

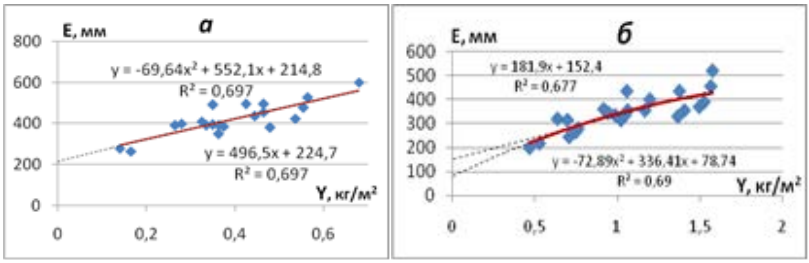


Рис. 3.6. Зависимость водопотребления озимой ржи (*а*) и картофеля (*б*) от урожайности по данным Н. В. Окулика [65]

Данные Пружанского гидролого-гидрогеологического стационара получены в лизиметрических опытах при удовлетворительном водном режиме (на осушенном болоте) и не могут характеризовать все условия, поэтому для уточнения формы зависимости водопотребления от урожайности дополнительно используем результаты проведенных нами в 2017–2019 годах полевых опытов с орошением сахарной свеклы на участке «Тушково-1» Горецкого района Могилевской области.

В табл. 3.15 представлена часть схемы наших опытов с вариантами запланированных режимов орошения и удобрений за вегетационный период (май – сентябрь), по данным которых можно в полной мере проанализировать зависимость водопотребления сахарной свеклы от условий опыта.

Все показатели, приведенные в табл. 3.15, получены с использованием стандартных методик. Значения сезонного водопотребления (E) рассчитывались по зависимостям (3.10)–(3.14). Среднегодовой коэффициент увлажненности почвы (φ) определялся как отношение фактической сезонной эвапотранспирации сахарной свеклы (E) в каждом варианте опыта к максимальному сезонному водопотреблению (E_m), не зависящему от условий увлажнения.

Таблица 3.15. **Показатели водопотребления сахарной свеклы при разных вариантах удобрения и режима орошения за вегетационный период (май – сентябрь) (фактор А)**

Год	Удобрительный фон	Вариант	NPK, кг д.в/га	Урожайность (*У*), т/га	Водопотребление (*Е*), мм	E_m, мм	$\varphi_{ср}$	*Е*, м^3/га	ΣT_m, °С	$\varphi_{ср} K_{ii(ср)}$, мм/°С	$K_{ii(ср)}$, мм/°С	$K_в = E/У$, м^3/т
2017	$N_{90}P_{90}K_{150}$	Без орошения	330	54,7	322,3	348,5	0,925	3 223	3 040	0,106	0,115	58,9
		Поливы при 60 % НВ	330	72,1	340,9	348,5	0,978	3 409	3 040	0,112	0,115	47,3
		Поливы при 70 % НВ	330	105,2	336,7	348,5	0,966	3 367	3 040	0,111	0,115	32,0
		Поливы при 80 % НВ	330	98,7	344,6	348,5	0,989	3 446	3 040	0,113	0,115	34,9
2018	$N_{90}P_{70}K_{150}$	Без орошения	310	58,0	345,4	375,9	0,919	3 454	3 288	0,105	0,114	59,6
		Поливы при 60 % НВ	310	73,8	363,2	375,9	0,966	3 632	3 288	0,110	0,114	49,2
		Поливы при 70 % НВ	310	92,7	365,3	375,9	0,972	3 653	3 288	0,111	0,114	39,4
		Поливы при 80 % НВ	310	87,4	372,5	375,9	0,991	3 725	3 288	0,113	0,114	42,6
2019	$N_{90}P_{100}K_{260}$	Без орошения	450	71,8	346,0	373,3	0,927	3 460	3 325	0,104	0,112	48,2
		Поливы при 60 % НВ	450	80,2	352,1	373,3	0,943	3 521	3 325	0,106	0,112	43,9
		Поливы при 70 % НВ	450	109,8	358,5	373,3	0,960	3 585	3 325	0,108	0,112	32,7
		Поливы при 80 % НВ	450	96,1	361,2	373,3	0,968	3 612	3 325	0,109	0,112	37,6

Точность расчета контролировалась регулярными (не реже одного раза в декаду) замерами влажности в корнеобитаемом слое почвы термостатно-весовым способом по вариантам опыта непосредственно в полевых условиях. Ошибка водобалансового расчета определялась по формуле

$$\delta_W = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{Z}(W_{i\,\text{рас}} - W_{i\,\text{изм}})^2}{Z-1}}, \qquad (3.16)$$

где δ_W – среднеквадратичное отклонение, характеризующее точность водобалансового расчета, мм;

Z – количество замеров почвенной влажности в i-е сутки, которое равнялось количеству используемых в формуле (3.16) рассчитанных в те же сутки влагозапасов, шт.;

$W_{i\text{рас}}$ – влагозапасы в корнеобитаемом слое, полученные при водобалансовом расчете в i-е сутки, мм;

$W_{i\text{изм}}$ – влагозапасы в корнеобитаемом слое почвы, установленные термостатно-весовым способом в i-е сутки, мм.

Отметим, что вычисленное по формуле (3.16) суммарное за три года (2017–2019) среднеквадратическое отклонение рассчитанных почвенных влагозапасов от замеренных в поле составило 6,6 мм. При наименьшей влагоемкости в корнеобитаемом слое почвы опытного участка в 2017 году 124,5 мм, в 2018 году 132,9 мм и в 2019 году 120,8 мм это отклонение соответствует приблизительно 6 % от уровня фактического увлажнения почвы по вариантам опыта, что подтверждает достаточно высокую точность совпадения вычисленных влагозапасов с измеренными. Примерно с такой же ошибкой получены и показатели водопотребления сахарной свеклы при разных вариантах удобрения и режима орошения (см. табл. 3.15). Заметим, что в подобных водобалансовых расчетах допустимой является ошибка до 10–15 % [136, 158, 159, 160].

Выше отмечено, что эмпирические формулы, соответствующие данным полевых исследований Н. В. Окулика, Е. А. Стельмаха, В. И. Ольгаренко и др., отличаются от формулы А. Н. Костякова тем, что при нулевой урожайности водопотребление не равно нулю, а существенно больше. Для того чтобы разрешить возникающее противоречие, мы в качестве формального параметра при экстраполяции предлагаемых эмпирических зависимостей в область с очень низкими урожайностями (близкими к нулю) ввели в анализ понятие «*условно нуле-*

вая урожайность». Например, в формуле (3.15) это E_{min}. Эту урожайность мы назвали «условно нулевой», поскольку в результатах известных нам опытов нет урожайности, равной или хотя бы близкой к нулю. Данную величину (E_{min}) можно определить только путем экстраполяции функции, аппроксимирующей опытные точки, до нулевой урожайности.

Отметим, что согласно данным полевых исследований Н. В. Окулика (см. рис. 3.3) для озимой ржи и картофеля криволинейность связи $E(Y)$ в условиях Беларуси выражена весьма слабо. На основании этого ранее нами был сделан предварительный вывод о том, что в границах урожайностей, полученных в многолетних экспериментах при удовлетворительном водном режиме, кривизной функции $E(Y)$ можно пренебречь, используя для количественной оценки линейную форму зависимости [158]:

$$E = E_{min} + k_в Y, \qquad (3.17)$$

где E_{min} – водопотребление культуры при условно нулевой урожайности (при $Y = 0$), м^3/га;

$k_в$ – коэффициент наклона прямой, характеризующей рост водопотребления от условно нулевого до фактического урожая, м^3/т;

Y – фактическая урожайность, т/га.

Аналогичным образом проанализируем данные табл. 3.15. На рис. 3.7 показаны построенные по данным таблицы графики зависимости водопотребления сахарной свеклы, возделываемой на легкосуглинистых почвах в северо-восточной части Беларуси, от урожайности.

Полученные нами эмпирические зависимости водопотребления сахарной свеклы от урожайности существенно отличаются от графиков на рис. 3.6, а именно:

- точки на рис. 3.7 нельзя аппроксимировать одной функцией, каждый год характеризуется своими параметрами зависимости;

- линейная форма связи $E(Y)$ для 2017 года имеет недопустимо низкий коэффициент детерминации;

- для всех лет наиболее приемлемой при аппроксимации опытных точек оказалась не линейная, а параболическая функция [136].

Представленные на рис. 3.7 прямые линии и параболические кривые при условно нулевой урожайности для всех лет исследований сходятся в точках, существенно больше нуля. Заметим, что в этих точках

водопотребление не зависит ни от доз вносимых удобрений, ни от влаго- и теплообеспеченности года.

Преимуществом параболических функций, приведенных на рис. 3.7, является также то, что они имеют максимумы, которые в данных конкретных случаях соответствуют максимальным урожайностям, которые могут быть получены в условиях конкретного года.

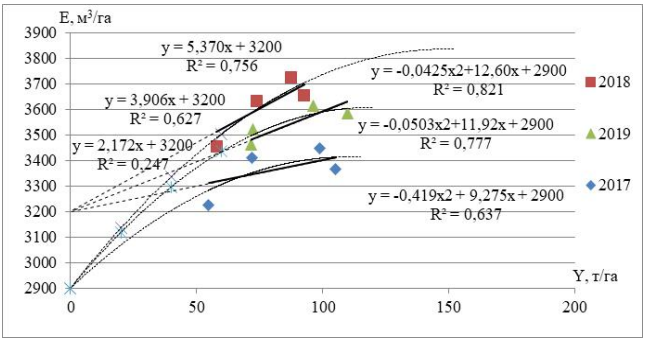


Рис. 3.7. Формы зависимости сезонного водопотребления сахарной свеклы от урожайности [136]

Оценим также предложение российских ученых представлять зависимость водопотребления культуры от ее урожайности с помощью уравнения экспоненты. На рис. 3.8 показаны результаты подобной аппроксимации данных табл. 3.15. Как видим, в пределах опытных точек программа Excel дает координаты экспоненты, практически совпадающие с линейными функциями, показаными здесь жирными прямыми. Причем они совпадают как по графике, так и по показателям тесноты связи (рис. 3.7 и 3.8) [136].

Сравнение графиков, представленных на рис. 3.7 и 3.8, показывает, что по форме как линейную, так и экспоненциальную функции можно использовать в расчетах только в весьма ограниченном диапазоне урожайностей, поскольку очевидно, что водопотребление культуры при росте урожайности не может возрастать до бесконечности, но именно такой рост показывают линейная и экспоненциальная зависимости. Ясно, что должен существовать предел роста водопотребления культуры при повышении ее урожайности, поэтому намного точнее зависимость водопотребления от урожайности представляется параболической функцией.

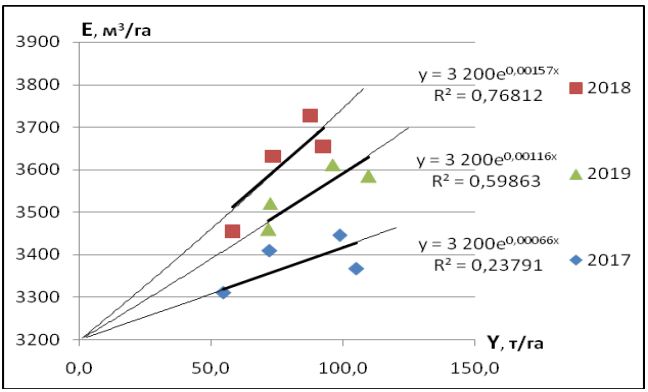


Рис. 3.8. Аппроксимация опытных точек зависимости водопотребления сахарной свеклы от урожайности экспоненциальными функциями [136]

При разработке проектного режима орошения биоклиматические и биотермические коэффициенты определяются, как правило, применительно к проектной урожайности, полученной при фиксированном уровне минерального питания. Нас же интересует вопрос, как могут изменяться биотермические коэффициенты при изменении режима орошения и доз NPK. На рис. 3.9 показано влияние удобрений на биотермические коэффициенты, учитывающие режим орошения ($\varphi_{ср} K_{t(ср)}$).

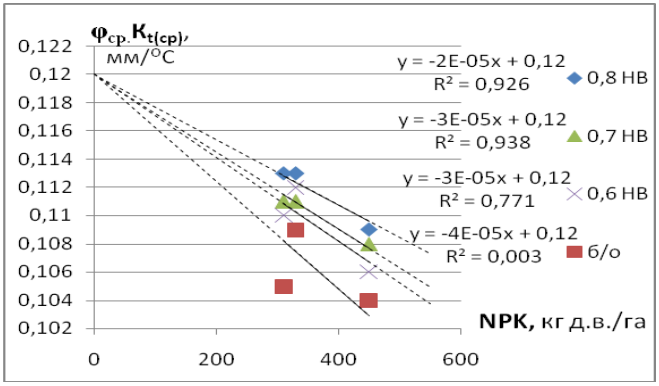


Рис. 3.9. Зависимость средних за год биотермических коэффициентов сахарной свеклы от доз вносимых удобрений при разных вариантах режима орошения [136]

Как видим, биотермические коэффициенты, полученные при разных вариантах режима орошения, несколько возрастают по величине при повышении влагообеспеченности сахарной свеклы. При этом увеличивается теснота связи этих коэффициентов с дозами NPK. Но диапазон их изменения при дозах NPK от 300 до 550 кг д. в/га ограничен в вариантах с орошением весьма небольшими пределами – от 0,105 до 0,113 мм/^{o}C.

Дополнительный анализ графиков, относящихся только к орошаемым вариантам, показывает, что зависимость среднегодовых биотермических коэффициентов сахарной свеклы от доз NPK можно представить одной наклонной прямой, пересекающей ось ординат в точке 0,12 мм/^{o}C (рис. 3.10).

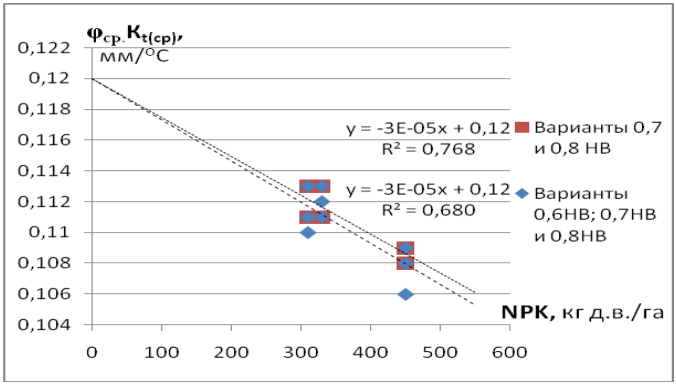


Рис. 3.10. Зависимость средних за год биотермических коэффициентов сахарной свеклы от доз NPK при разных вариантах орошения [136]

Более того, зависимостью водопотребления сахарной свеклы от доз NPK вообще можно пренебречь, сохранив допустимую погрешность результатов водобалансовых расчетов, поскольку аппроксимирующая линейная функция имеет очень небольшой коэффициент наклона (-3E-05x согласно рис. 3.10).

Как показывают данные, проиллюстрированные на рис. 3.11, еще меньший (примерно в 1,5–2,0 раза) коэффициент наклона (-1,72E-05x) аппроксимирующей линейной функции имеет график зависимости биотермических коэффициентов, осредненных за год для всех вариантов опыта, включая варианты с орошением и без него [136].

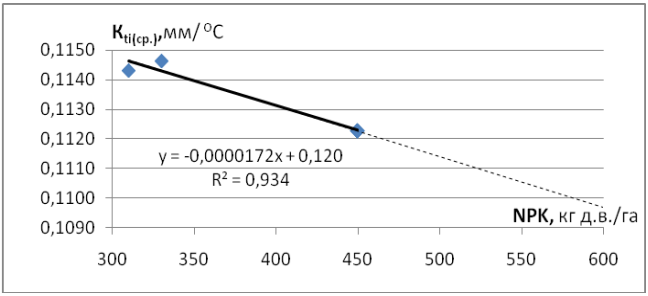


Рис. 3.11. Зависимость средних за год биотермических коэффициентов от доз вносимых удобрений по данным 3-летних полевых опытов [136]

До настоящего времени при расчете водного баланса орошаемого поля водопотребление возделываемой культуры связывалось только с тем режимом орошения, при котором в опытах получена максимальная урожайность. Считалось, что для условий, не совпадающих с условиями опыта, требуются новые исследования, на основе которых должны разрабатываться новые рекомендации. Это существенно ограничивало область внедрения предлагаемых режимов орошения. Таким образом, согласно данным наших полевых исследований можно утверждать, что при проведении водобалансового расчета зависимостью биотермических коэффициентов сахарной свеклы от доз вносимых удобрений и от полученной урожайности можно пренебречь, сохранив достаточную точность выполняемых вычислений. Полученные по данным опыта зависимости скорее отражают тенденцию влияния доз NPK на водопотребление сахарной свеклы, не сказываясь существенно на точности посуточного расчета водного баланса почвы.

В заключение анализа взаимосвязи показателей, влияющих на водопотребление сельскохозяйственных культур, на примере сахарной свеклы проиллюстрируем на рис. 3.12 изменение удельного расхода воды на единицу получаемой растениеводческой продукции при росте урожайности [136].

Опытные точки на рис. 3.12 можно достаточно точно аппроксимировать с применением стандартной программы Excel, либо прямой, либо параболической функцией, но точнее соотносится с результатами опыта именно параболическая зависимость, указывая на существование минимума водопотребления при максимально возможной урожайности.

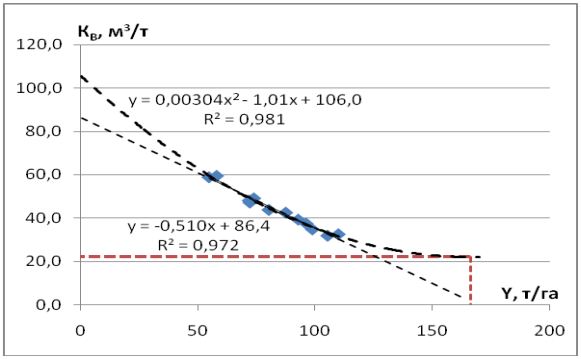


Рис. 3.12. Зависимость удельного водопотребления сахарной свеклы от урожайности культуры [136]

Координаты этого минимума можно получить из уравнения параболической функции, приведенной в верхней части рис. 3.9. Но точнее соотносится с результатами опыта не линейная, а параболическая зависимость, указывая на существование минимума водопотребления при максимально возможной урожайности. Координаты этого минимума для нашего опыта можно установить из полученного уравнения параболической функции, приведенной в верхней части рис. 3.12. Согласно правилам математического анализа этой функции

$$\frac{dy}{dx} = 2 \cdot 0,00304x - 1,01 \cdot$$

Для условий нашего опыта определим координаты максимума параболы:

$dy/dx = 0$ при $x = К_{в\,min}$ и $y = Y_{max} = 1,01 / (2 \cdot 0,00304) \approx 166$ т/га.

В соответствии с уравнением параболы, приведенном на рис. 3.12, получим

$$К_{в\,min} = 0,003042 \cdot 166^2 - 1,01 \cdot 166 + 106,0 \approx 22 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Координаты минимума водопотребления показаны точкой пересечения двух взаимно перпендикулярных штриховых линий, параллельных осям координат (см. рис. 3.12). Как видим, при потенциально возможной урожайности сахарной свеклы, равной в условиях опыта при-

близительно 166 т/га, на одну тонну урожая будет расходовано всего около 22 $м^3$ воды. В то же время согласно этому же рисунку при урожайности свеклы 55 т/га на одну тонну продукции расходуется 60 $м^3$ воды, т. е. в 2,7 раза больше.

Заметим, что опытные точки на рис. 3.9 распределены по вертикальной оси координат в диапазоне от 32 до 60 $м^3$/т, а по горизонтальной оси – в диапазоне от 55 до 110 т/га. Применив экстраполяцию, можем расширить диапазон урожайностей сахарной свеклы, например, до полученного максимума, т. е. до 166 т/га, охватив достаточно большой спектр условий возделывания.

При таком диапазоне колебаний доз NPK (от 300 до 600 кг д. в/га) и урожайностей сахарной свеклы (от 55 до 166 т/га), как показывают полученные в опытах данные, осредненные за год биотермические коэффициенты различаются весьма несущественно, изменяясь в пределах 0,110–0,115 мм/^{o}C (рис. 3.11). Тем самым подтверждается наш вывод не только об отсутствии тесной зависимости биотермических коэффициентов от режимов орошения, но и о несущественном влиянии на них условий питания и полученной урожайности [136].



4 ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ И УДОБРЕНИЙ НА ДИНАМИКУ РОСТА И УРОЖАЙНОСТЬ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

4.1. Влияние удобрений и орошения на рост корнеплодов сахарной свеклы

Все процессы, связанные с жизнедеятельностью растений, могут протекать только при условии обеспечения требуемого тургорного давления в клетках растений, а также интенсивного обмена веществ, что обеспечивается наличием в почве достаточных влагозапасов.

Вода является растворителем, служит средой для передвижения продуктов обмена из одних тканей и органов в другие. «Не азот, не фосфор, не калий, не микроэлементы находятся в минимуме, а вода. И пока этот недостаток воды не будет пополнен, все количество внесенных удобрений будет лежать в почве мертвым капиталом» (В. Р. Вильямс), поэтому удовлетворение потребности в воде – важнейшее условие нормального развития растительного организма [44]. В конечном счете урожайность сахарной свеклы зависит от доз удобрений, водопотребления культуры, количества выпавших осадков и режима орошения.

Выше показано, что сахарная свекла очень требовательна к уровню питания и к водному режиму почвы. Среди полевых культур по отзывчивости на орошение она занимает одно из первых мест. Питательные вещества используются культурой на протяжении всего вегетационного периода [161–164]. В начальный период роста сахарная свекла поглощает относительно небольшое количество азота, фосфора и калия. Корневая система в это время еще слаба. Максимум поступления элементов питания приходится на середину вегетации (июль – август). В это время молодые растения очень чувствительны к недостатку доступных питательных веществ в почве, преимущественно фосфора, поэтому для получения дружных, хорошо развивающихся всходов сахарная свекла должна быть обеспечена элементами минерального питания с самого начала вегетации. В дальнейшем потребление элементов питания резко усиливается, особенно во время интенсивного образования листьев и в начале роста корнеплодов, поэтому очень важно, чтобы в данный период все элементы питания находи-

лись в легкодоступных формах при достаточной влажности почвы. При недостаточной естественной влагообеспеченности вегетационного периода орошение, помимо удобрений, является одним из главных факторов повышения урожайности сахарной свеклы [165, 166].

На фоне требуемых агротехнических мероприятий при орошении сохраняется содержание сахара в корнеплодах. В опытах, проведенных в Восточной Германии, повышение урожайности сахарной свеклы в зависимости от режима полива колебалось от 44 до 141 ц/га, а окупаемость урожаем воды при этом возрастала от 74 до 105 кг/мм [167].

Необходимость проведения орошения, а также сроки и нормы поливов зависят от погоды и текущей потребности посевов сахарной свеклы в воде, причем культура реагирует как на недостаточную, так и на чрезмерную почвенную влажность. Порог влажности почвы, ниже которого в зависимости от температуры и испарения наблюдается недостаток влагозапасов, сопровождающийся снижением урожайности, находится примерно в пределах 35–45 % от полной влагоемкости. На черноземах и лессовых почвах урожайность снижается, когда длительное время почвенные влагозапасы поддерживаются выше 65 % полной влагоемкости (недостаток кислорода в корневой зоне). В свою очередь, на песчаных почвах урожайность сахарной свеклы и выход сахара растет почти линейно до влажности почвы, равной 80 % от полной влагоемкости [168].

Наблюдения за приростом массы корнеплодов согласно схеме опыта проводились начиная с 1 июля через каждые 10 дней. Результаты взвешиваний показали существенное различие в формировании урожайности по вариантам увлажнения. Наибольшие различия в динамике увеличения массы корнеплодов наблюдались в периоды наибольших дефицитов почвенной влаги (рис. 4.1–4.4).

Исследования подтвердили, что величину урожайности определяют как дозы минеральных удобрений, так и режимы увлажнения. Например, при достаточно благоприятной сумме атмосферных осадков в целом за вегетацию 2017 года различия в приросте массы корнеплодов по вариантам опыта стали проявляться с начала вегетации. Эти различия возрастали в периоды наибольших дефицитов почвенной влаги. Следует также отметить отрицательную реакцию растений на переувлажнение почвы. Причем снижение прироста массы корнеплода наблюдалось во всех вариантах (рис. 4.1–4.4).

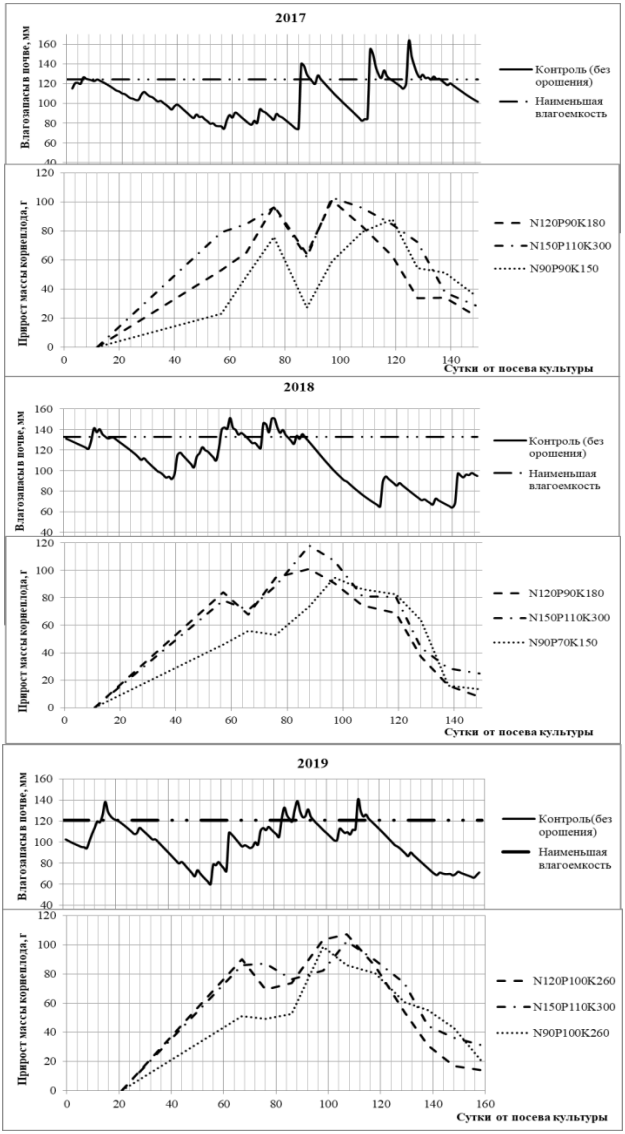


Рис. 4.1. Динамика прироста массы корнеплода сахарной свеклы в варианте без орошения при разных дозах удобрений

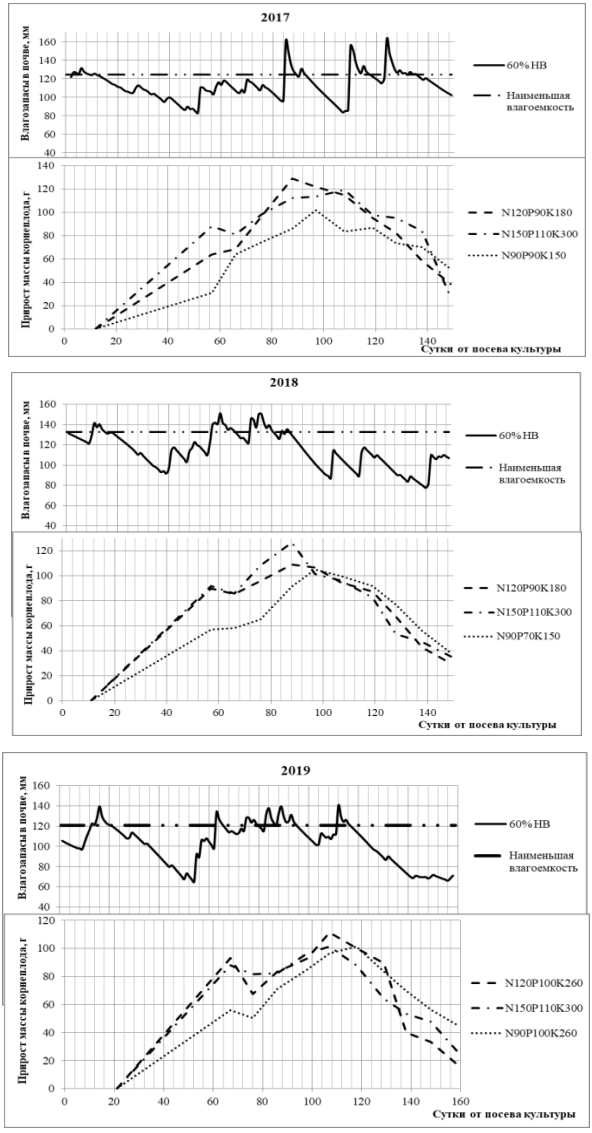


Рис. 4.2. Динамика прироста массы корнеплода сахарной свеклы в варианте 60 % НВ при разных дозах удобрений

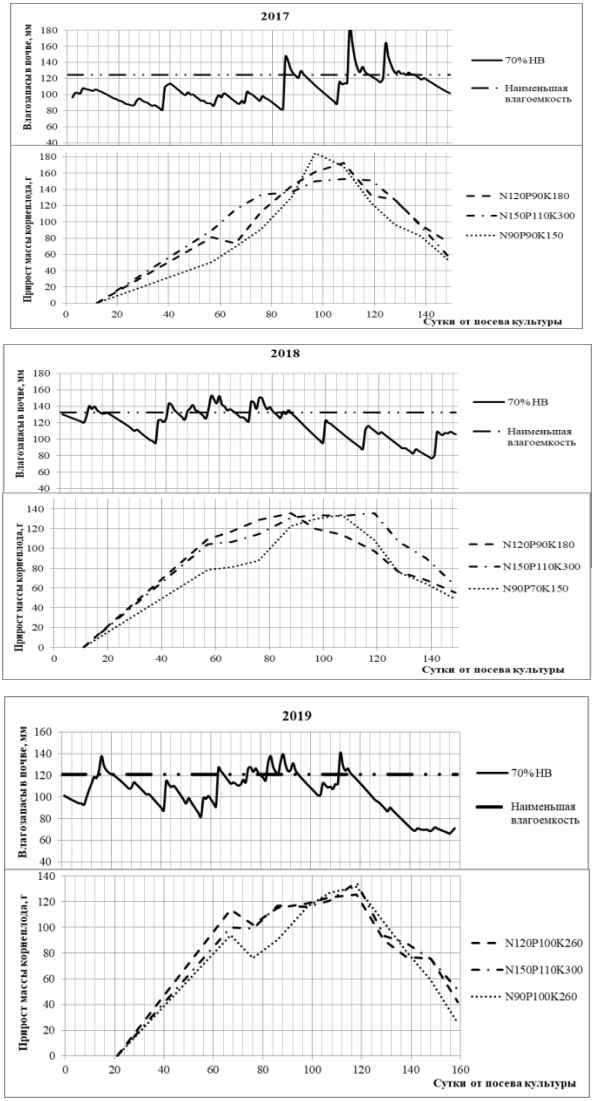


Рис. 4.3. Динамика прироста массы корнеплода сахарной свеклы в варианте 70 % НВ при разных дозах удобрений

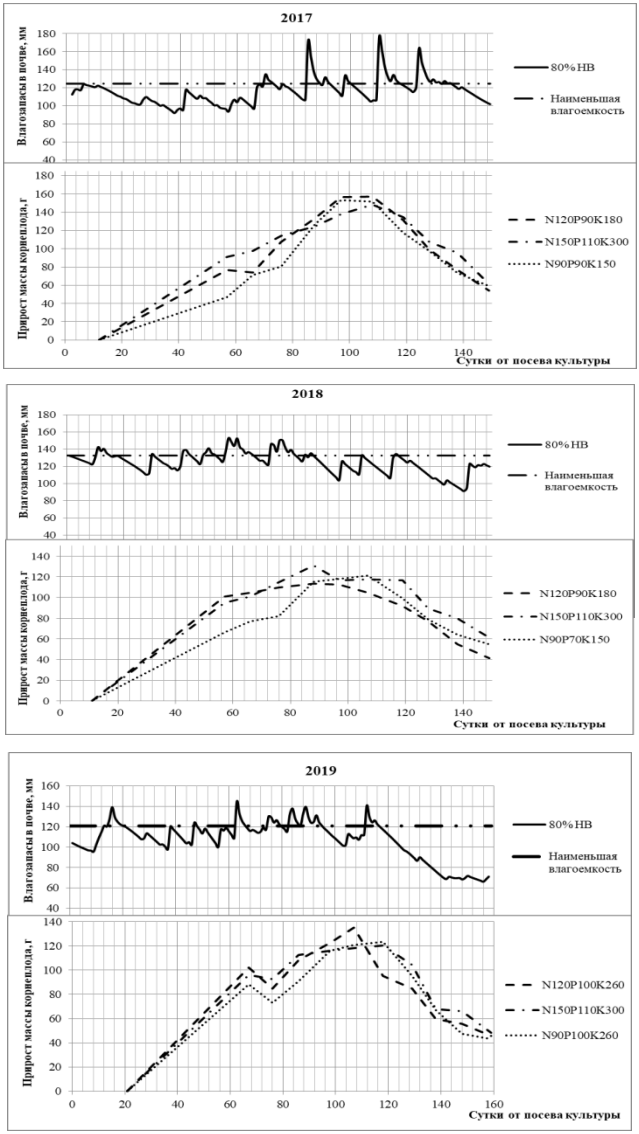


Рис. 4.4. Динамика прироста массы корнеплода сахарной свеклы в варианте 80 % НВ при разных дозах удобрений

Например, в 2017 году в варианте без орошения прирост массы корнеплода резко снизился после выпадения 29 июля (на 85-е сутки вегетации) ливневого дождя (68,2 мм), когда содержание влаги в почве в течение одних суток выросло с 74 до 140 мм (табл. 4.1–4.3). В отдельные сутки 2017 года выпадало от 45 до 72 мм осадков, т. е. год в целом отличался ливневым характером дождей [169].

Таблица 4.1. **Нарастание массы корнеплода сахарной свеклы (г) по вариантам опыта в 2017 году на фоне удобрений $N_{90}P_{90}K_{150}$**

Вариант	Дата									
	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	21.08	01.09	10.09	20.09	01.10
Без орошения	23	72	147	175	233	313	401	455	507	542
60 % НВ	31	95	170	256	358	441	528	602	672	723
70 % НВ	51	121	211	342	527	695	818	914	997	1050
80 % НВ	47	118	199	326	479	630	748	845	919	978

Таблица 4.2. **Нарастание массы корнеплода сахарной свеклы (г) по вариантам опыта в 2017 году на фоне удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$**

Вариант	Дата									
	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	21.08	01.09	10.09	20.09	01.10
Без орошения	53	118	216	280	381	464	526	560	594	616
60 % НВ	64	133	229	358	480	595	690	772	831	869
70 % НВ	81	154	267	412	573	746	878	1006	1102	1177
80 % НВ	77	152	259	392	549	706	837	937	1014	1068

Таблица 4.3. **Нарастание массы корнеплода сахарной свеклы (г) по вариантам опыта в 2017 году на фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$**

Вариант	Дата									
	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	21.08	01.09	10.09	20.09	01.10
Без орошения	79	164	261	323	425	521	605	678	715	744
60 % НВ	88	169	267	379	493	612	709	804	888	916
70 % НВ	90	205	339	475	625	778	929	1057	1152	1209
80 % НВ	91	188	303	427	565	713	848	955	1051	1112

Максимальный прирост массы корнеплода имел место в первую декаду августа 2017 года в вариантах полива с дозой удобрений $N_{90}P_{90}K_{150}$. В варианте 70 % НВ он достигал 18,5 г в сутки (или прибавка к урожайности составила 2,22 т/га), в варианте 80 % НВ – 15,3 г в сутки (1,84 т/га), а в варианте 60 % НВ – 10,2 г в сутки (1,22 т/га). В контроле (без орошения) максимальный прирост зафиксирован в третью декаду августа – 8,8 г в сутки (1,06 т/га). В вариантах с дозой удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$ максимальный прирост корнеплода наблюдался во вторую декаду августа и составил в вариантах 70 % НВ и 80 % НВ 17,3 г в сутки (2,08 т/га) и 15,7 г в сутки (1,88 т/га) соответственно.

В варианте 60 % НВ и контроле (без орошения) максимальный прирост зафиксирован в первую декаду августа – 12,2 г в сутки (или прибавка к урожайности составила 1,46 т/га) и 10,1 г в сутки (1,21 т/га) соответственно. На фоне $N_{150}P_{110}K_{300}$ максимальный прирост массы корнеплода наблюдался также во вторую декаду августа указанного года, но уже в трех вариантах: в варианте 60 % НВ – 11,9 г в сутки (1,43 т/га); в варианте 70 % НВ – 15,3 г в сутки (1,84 т/га); в варианте 80 % НВ – 14,8 г в сутки (1,78 т/га).

В контроле (без орошения) максимальный прирост наблюдался в первую декаду августа – 10,3 г в сутки (1,24 т/га).

При этом на повышение доз удобрений растения реагировали увеличением интенсивности прироста массы корнеплода, набирая темпы с самого начала вегетации, когда дефицита влаги и переувлажнения еще не наблюдалось.

Аналогичное изменение темпов прироста массы корнеплодов имело место и в 2018 году (табл. 4.4–4.6).

Таблица 4.4. **Нарастание массы корнеплода сахарной свеклы (г) по вариантам опыта в 2018 году на фоне удобрений $N_{90}P_{70}K_{150}$**

Вариант	Дата									
	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	21.08	01.09	10.09	20.09	01.10
Без орошения	46	102	155	229	323	410	492	556	572	586
60 % НВ	57	115	180	272	377	477	568	646	701	739
70 % НВ	78	159	247	369	499	633	741	817	881	930
80 % НВ	66	143	225	340	458	579	678	757	821	876

Таблица 4.5. **Нарастание массы корнеплода сахарной свеклы (г) по вариантам опыта в 2018 году на фоне удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$**

Вариант	Дата									
	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	21.08	01.09	10.09	20.09	01.10
Без орошения	84	152	246	347	438	513	581	618	634	642
60 % НВ	90	176	272	381	487	582	670	737	779	809
70 % НВ	109	226	354	490	610	723	821	897	965	1 020
80 % НВ	101	206	316	429	541	646	737	814	869	910

Таблица 4.6. **Нарастание массы корнеплода сахарной свеклы (г) по вариантам опыта в 2018 году на фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$**

Вариант	Дата									
	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	21.08	01.09	10.09	20.09	01.10
Без орошения	78	149	238	356	463	544	625	669	697	722
60 % НВ	92	178	286	413	514	610	693	746	793	828
70 % НВ	104	210	324	455	589	722	857	964	1 054	1 116
80 % НВ	95	195	310	441	557	675	791	880	960	1021

На фоне удобрений $N_{90}P_{70}K_{150}$ максимальный прирост массы корнеплода наблюдался во вторую декаду августа и составил в вариантах 70 % НВ и 80 % НВ 13,4 г в сутки (или прибавка к урожайности составила 1,61 т/га) и 12,1 г в сутки (1,45 т/га) соответственно. В варианте 60 % НВ и контроле (без орошения) максимальный прирост зафиксирован в первую декаду августа – 10,5 г в сутки (1,26 т/га) и 9,5 г в сутки (1,14 т/га) соответственно. Максимальный прирост на фоне удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$ зафиксирован в третью декаду июля: в контроле (без орошения) – 10,1 г в сутки (1,21 т/га); в варианте 60 % НВ – 10,9 г в сутки (1,31 т/га); в варианте 70 % НВ – 13,6 г в сутки (1,63 т/га); в варианте 80 % НВ – 11,3 г в сутки (1,34 т/га). На фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$ максимальный прирост отмечен также в третью декаду июля, но уже в трех вариантах: в контроле (без орошения) – 11,8 г в сутки (1,42 т/га); в варианте 60 % НВ – 12,7 г в сутки (1,52 т/га); в варианте 80 % НВ – 13,1 г в сутки (1,57 т/га). В варианте 70 % НВ практически одинаковый прирост наблюдался на протяжении четырех декад и составил 13,1–13,5 г в сутки.

Но особенно примечательным в развитии сахарной свеклы на дефицит влаги и переувлажнение верхнего слоя почвы был 2019 год (табл. 4.7.–4.9), когда с 24 по 26 июня, т. е. на 60–62-е сутки вегетации,

наблюдалось снижение влагозапасов, а с 63-х по 84-е сутки (с 27 июня по 18 июля) выпало более 120 мм атмосферных осадков [169].

Максимальный прирост массы корнеплода сахарной свеклы в 2019 году в вариантах с дозой удобрений $N_{90}P_{100}K_{260}$ был в контроле (без орошения) в третью декаду июля и составил 9,9 г в сутки (или прибавка к урожайности составила 1,19 т/га). В остальных вариантах максимальный прирост зафиксирован во вторую декаду августа. Так в варианте 70 % НВ он достигал 13,2 г в сутки (1,58 т/га), в варианте 80 % НВ – 12,3 г в сутки (1,48 т/га), а в варианте 60 % НВ – 10,1 г в сутки (1,21 т/га).

Таблица 4.7. **Нарастание массы корнеплода сахарной свеклы (г) по вариантам опыта в 2019 году на фоне удобрений $N_{90}P_{100}K_{260}$**

Вариант	Дата									
	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	21.08	01.09	10.09	20.09	01.10
Без орошения	51	100	153	251	337	418	479	534	577	596
60 % НВ	56	107	178	263	360	461	544	614	670	715
70 % НВ	94	170	260	376	503	634	738	820	878	904
80 % НВ	88	161	252	368	489	612	708	775	822	865

Таблица 4.8. **Нарастание массы корнеплода сахарной свеклы (г) по вариантам опыта в 2019 году на фоне удобрений $N_{120}P_{100}K_{260}$**

Вариант	Дата									
	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	21.08	01.09	10.09	20.09	01.10
Без орошения	90	159	233	337	444	529	583	615	631	645
60 % НВ	93	160	244	336	447	547	637	677	710	727
70 % НВ	114	216	331	450	573	698	788	865	941	982
80 % НВ	102	186	295	417	552	647	732	792	847	893

Таблица 4.9. **Нарастание массы корнеплода сахарной свеклы (г) по вариантам опыта в 2019 году на фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$**

Вариант	Дата									
	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	21.08	01.09	10.09	20.09	01.10
Без орошения	86	173	250	332	434	524	598	642	678	709
60 % НВ	88	169	252	348	449	537	601	654	702	728
70 % НВ	100	199	316	432	553	688	781	869	944	995
80 % НВ	96	188	301	417	535	655	759	827	893	941

На фоне $N_{120}P_{100}K_{260}$ во всех вариантах максимальный прирост наблюдался в первую декаду августа: в контроле (без орошения) – 10,7 г в сутки (1,28 т/га); в варианте 60 % НВ – 11,1 г в сутки (1,33 т/га); в варианте 70 % НВ – 12,3 г в сутки (1,48 т/га); в варианте 80 % НВ – 13,5 г в сутки (1,62 т/га). На фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$ максимальный прирост массы корнеплода сахарной свеклы наблюдался также во вторую декаду августа: в контроле (без орошения) – 13,5 г в сутки (1,62 т/га); в варианте 60 % НВ – 12,0 г в сутки (1,44 т/га). В вариантах 70 % НВ и 80 % НВ максимальный прирост имел место в первую декаду августа – 10,2 г в сутки (1,22 т/га) и 10,1 г в сутки (1,21 т/га) соответственно [135].

При такой стрессовой для растений резкой смене влагообеспеченности даже при средних влагозапасах в слое почвы 0–40 см растения снизили прирост массы корнеплода во всех вариантах опыта (см. рис. 4.1–4.4).

Следует также отметить реакцию растений на повышение содержания в почве основных питательных элементов. С повышением дозы азота от 90 до 120 кг д. в/га интенсивность прироста массы корнеплода резко возросла, а при повышении дозы от 120 до 150 кг д. в/га прирост был существенно ниже [169].

Таким образом, согласно графикам на рис. 4.1–4.4, характеризующим изменение прироста массы корнеплода сахарной свеклы при разной влажности почвы, можно утверждать, что для культуры возникает стресс как при дефиците почвенной влаги, так и при переувлажнении почвы (особенно верхнего слоя). И в одном, и в другом случаях интенсивность роста корнеплода снижается при любых дозах удобрений. На повышение удобрительного фона растения реагируют увеличением интенсивности прироста массы корнеплода, набирая темпы с самого начала вегетации.

При анализе результатов исследований мы видим, что наибольшее нарастание массы корнеплода отмечалось в июле и августе. Максимальная масса корнеплода в среднем за три года наблюдалась в варианте 70 % НВ. Так, при дозе минеральных удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$ масса корнеплода на 1 июля 2017 года составила 81 г, в 2018 году – 109 г, а в 2019 году – 114 г. При дозе минеральных удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$ на 1 июля масса корнеплода по годам исследований была соответственно 90, 104 и 100 г. Наименьшая масса корнеплода наблюдалась в варианте без орошения при всех дозах удобрений [135].

В среднем за три года при дозе удобрений $N_{120}P_{90–100}K_{260}$ прирост массы корнеплода составил: за июль в варианте 1 – 7,9 г в сутки (или прибавка к урожайности составила 0,95 т/га), в варианте 2 – 8,9 г в сутки (1,07 т/га), в варианте 3 – 11,3 г в сутки (1,36 т/га), в варианте 4 – 10,3 г в сутки (1,24 т/га); за август в варианте 1 – 7,8 г в сутки (0,94 т/га), в варианте 2 – 9,9 г в сутки (1,19 т/га), в варианте 3 – 12,2 г в сутки (1,46 т/га), в варианте 4 – 11,5 г в сутки (1,38 т/га); в сентябре в варианте 1 – 2,4 г в сутки (0,29 т/га), в варианте 2 – 4,5 г в сутки (0,54 т/га), в варианте 3 – 7,7 г в сутки (0,92 т/га), в варианте 4 – 6,3 г в сутки (0,76 т/га).

На фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$ средний прирост массы корнеплода был следующим: за июль в варианте 5 – 8,3 г в сутки (или прибавка к урожайности составила 1,0 т/га), в варианте 6 – 9,4 г в сутки (1,13 т/га), в варианте 7 – 11,5 г в сутки (1,38 т/га), в варианте 8 – 10,8 г в сутки (1,3 т/га); за август в варианте 5 – 8,8 г в сутки (1,06 т/га), в варианте 6 – 9,3 г в сутки (1,12 т/га), в варианте 7 – 13,0 г в сутки (1,56 т/га), в варианте 8 – 12,0 г в сутки (1,44 т/га); в сентябре в варианте 5 – 3,8 г в сутки (0,46 т/га), в варианте 6 – 5,2 г в сутки (0,62 т/га), в варианте 7 – 8,3 г в сутки (1,0 т/га), в варианте 8 – 7,5 г в сутки (0,9 т/га) [133, 134, 135].

В дополнение к сделанным ранее выводам следует отметить, что согласно графикам накопления массы корнеплода в течение вегетации (см. рис. 4.1–4.4) в варианте с предполивной влажностью почвы 70 % НВ основные различия в урожайности сахарной свеклы формировались в первые 100 суток вегетации. Причем интенсивность прироста массы корнеплода при орошении была примерно в 1,5 раза выше по сравнению с повышением удобрительного фона с $N_{90}P_{70–100}K_{150–260}$ до $N_{150}P_{110}K_{300}$ [169].

4.2. Зависимость урожайности сахарной свеклы от удобрений и орошения

Полученные в опытах результаты подчеркивают необходимость достаточного увлажнения почвы для получения высокой массы корнеплодов. Как видим по результатам исследований, орошение сахарной свеклы способствовало получению значительно большей урожайности на любом фоне удобрений (табл. 4.10).

Особенно заметна разница в урожайности в варианте с поддержанием влажности почвы в слое 0–40 см при нижней границе регулирования 70 % НВ по отношению к контролю. Прибавка урожайности в

среднем за три года в варианте 70 % НВ составила 66,8 % по отношению к варианту без орошения. Остальные варианты также показали прибавку: в варианте 60 % НВ – 18,2 %, в варианте 80 % НВ – 53,0 %. При нижней границе регулирования влажности почвы 70 % НВ в слое 0–40 см на удобрительном фоне $N_{120}P_{90}K_{180}$ в 2017 году получено 117,7 т/га. В 2018 году при такой же дозе удобрений урожайность составила 102,5 т/га и в 2019 году – 112,4 т/га. В 2017–2019 годах на фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$ получено 121,2, 111,7 и 118,3 т/га соответственно [135, 169, 170].

Таблица 4.10. **Урожайность сахарной свеклы на разных фонах минеральных удобрений, т/га**

Год	Вариант опыта			
	Без орошения	Нижняя граница регулирования 60 % НВ	Нижняя граница регулирования 70 % НВ	Нижняя граница регулирования 80 % НВ
Фактор А				
2017	54,7	72,1	105,2	98,7
2018	58,0	73,8	92,7	87,4
2019	71,8	72,3	109,8	96,1
Средняя	61,5	72,7	102,6	94,1
Фактор В ($N_{120}P_{90}K_{180}$)				
2017	61,2	87,1	117,7	107,1
2018	67,4	80,4	102,5	91,1
2019	77,3	84,4	112,4	108,5
Средняя	68,6	84,0	110,9	102,2
Фактор В ($N_{150}P_{110}K_{300}$)				
2017	74,3	91,9	121,2	111,9
2018	72,7	83,1	111,7	102,5
2019	85,6	90,0	118,3	111,3
Средняя	77,5	88,3	117,1	108,6

Примечание. Для 2017 года $НСР_{05}$ = 3,81, $НСР_{05}^{A}$ = 2,2, $НСР_{05}^{B}$ = 1,9; в 2018 году $НСР_{05}$ = 3,47, $НСР_{05}^{A}$ = 1,99, $НСР_{05}^{B}$ = 1,73; в 2019 году $НСР_{05}$ = 3,17, $НСР_{05}^{A}$ = 1,83, $НСР_{05}^{B}$ = 1,58.

В табл. 4.11 приведены данные эффективности использования поливной воды при формировании урожайности сахарной свеклы.

В среднем за три года при нижней границе регулирования влажности почвы 70 % НВ в слое 0–40 см прибавка урожайности составила на фоне минеральных удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$ 61 %, а на фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$ – 51 % по отношению к варианту без орошения. Остальные варианты также дали прибавку, которая в варианте с поддержанием влажности почвы в слое 0–40 см выше 60 % НВ на фоне минеральных удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$ составила 22 % и на фоне минеральных удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$ – 14 %. В варианте с поддержанием влажности

почвы в слое 0–40 см на уровне 80 % НВ прибавка на фоне минеральных удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$ составила 49 % и на фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$ – 40 % [10, 133, 171].

Таблица 4.11. **Эффективность использования поливной воды при формировании урожая сахарной свеклы**

Показатели	Вариант опыта		
	Нижняя граница регулирования 60 % НВ	Нижняя граница регулирования 70 % НВ	Нижняя граница регулирования 80 % НВ
Фактор А			
Прибавка урожайности, т/га	11,2	41,1	32,6
Оросительная норма, $м^3$/га	300	500	667
Расход поливной воды на прибавку урожайности, $м^3$/т	26,8	12,2	20,5
Прирост прибавки урожайности на 1 $м^3$ поливной воды, кг/$м^3$	37,3	82,2	48,9
Фактор В ($N_{120}P_{90}K_{180}$)			
Прибавка урожайности, т/га	15,4	42,3	33,6
Оросительная норма, $м^3$/га	300	500	667
Расход поливной воды на прибавку урожайности, $м^3$/т	19,5	11,8	19,9
Прирост прибавки урожайности на 1 $м^3$ поливной воды, кг/$м^3$	51,3	84,6	50,4
Фактор В ($N_{150}P_{110}K_{300}$)			
Прибавка урожайности, т/га	10,8	39,6	31,1
Оросительная норма, $м^3$/га	300	500	667
Расход поливной воды на прибавку урожайности, $м^3$/т	27,8	12,6	21,4
Прирост прибавки урожайности на 1 $м^3$ поливной воды, кг/$м^3$	36,0	79,2	46,6

Как видим из табл. 4.10–4.11, орошение сахарной свеклы способствовало получению значительно большей урожайности, чем без орошения. Прирост урожайности на 1 $м^3$ поливной воды в среднем за три года исследований был выше при нижней границе регулирования 70 % НВ и колебался от 79,2 до 84,6 кг/$м^3$ в зависимости от доз минеральных удобрений [133].

Главный показатель, определяющий качество сахарной свеклы как сырья для выработки сахара, – это сахаристость корнеплодов. Отбор образцов на сахаристость во все годы проводился 1 октября. Полученные результаты за три года исследований представлены в табл. 4.12.

Таблица 4.12. **Сахаристость сахарной свеклы, %**

Год	Вариант опыта			
	Без орошения	Нижняя граница регулирования 60 % НВ	Нижняя граница регулирования 70 % НВ	Нижняя граница регулирования 80 % НВ
Фактор А				
2017	16,75	16,8	17,45	16,55
2018	17,45	18,2	17,45	17,95
2019	16,6	17,05	17,35	17,05
Средняя	16,93	17,35	17,42	17,18
Фактор В ($N_{120}P_{90}K_{180}$)				
2017	15,65	16,9	16,9	16,85
2018	17,6	18,2	17,85	18,2
2019	17,25	17,95	17,95	18,3
Средняя	16,8	17,7	17,6	17,8
Фактор В ($N_{150}P_{110}K_{300}$)				
2017	16,1	16,2	16,6	16,0
2018	17,8	17,35	17,8	17,9
2019	18,35	16,6	17,9	17,15
Средняя	17,4	16,7	17,4	17,0

Примечание. Для 2017 года $НСР_{05}$ = 1,23, $НСР_{05}^{A}$ = 0,71, $НСР_{05}^{B}$ = 0,62; в 2018 году $НСР_{05}$ = 1,04, $НСР_{05}^{A}$ = 0,6, $НСР_{05}^{B}$ = 0,52; в 2019 году $НСР_{05}$ = 2,11, $НСР_{05}^{A}$ = 1,22, $НСР_{05}^{B}$ = 1,05.

Приведенные в табл. 4.12 значения сахаристости корнеплодов по вариантам опыта различаются незначительно. Сахаристость изменялась по вариантам в среднем за три года исследований от 16,93 до 17,42 % (фактор А), от 16,8 до 17,8 % (на фоне удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$) и от 16,7 до 17,4 % (на фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$). Разница составляет менее 1 %. Таким образом, можно сделать вывод, что орошение дает существенную прибавку урожайности, не снижая при этом содержания сахара в корнеплодах [133, 169, 170].

Кроме урожайности и сахаристости сахарной свеклы качество корнеплода характеризуется сбором очищенного сахара. Показатели по сбору очищенного сахара, полученные за три года исследований, приведены в табл. 4.13.

Анализ табл. 4.13 показал, что в среднем за три года, наибольшее значение сбора очищенного сахара было в варианте при нижней границе регулирования 70 % НВ и составляло от 15,7 т/га до 17,8 т/га в зависимости от фона удобрений. Дальнейший анализ показал, что при повышении нижней границы регулирования до 80 % НВ сбор очищенного сахара в средних значениях по годам для фонов удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$ и $N_{150}P_{110}K_{300}$ был равен 16,0 т/га, хотя урожайности были разные (см. табл. 4.10).

Таблица 4.13. **Сбор очищенного сахара с корнеплодов сахарной свеклы за 2017–2019 годы по вариантам опыта, т/га**

Год	Вариант опыта			
	Без орошения	Нижняя граница регулирования 60 % НВ	Нижняя граница регулирования 70 % НВ	Нижняя граница регулирования 80 % НВ
Фактор А				
2017	8,0	10,6	16,0	14,1
2018	9,1	12,0	14,3	14,0
2019	10,6	10,9	16,9	14,2
Средний	9,2	11,1	15,7	14,1
Фактор В ($N_{120}P_{90}K_{180}$)				
2017	8,3	12,8	17,2	15,6
2018	10,5	13,1	16,3	14,8
2019	11,9	13,6	17,7	17,6
Средний	10,2	13,1	17,0	16,0
Фактор В ($N_{150}P_{110}K_{300}$)				
2017	10,2	12,8	17,3	15,2
2018	11,5	12,7	17,6	16,3
2019	14,0	13,1	18,6	16,6
Средний	11,9	12,9	17,8	16,0

Примечание. Для 2017 года $НСР_{05}$ = 2,0, $НСР_{05}^{A}$ = 1,16, $НСР_{05}^{B}$ = 1,0; в 2018 году $НСР_{05}$ = 2,08, $НСР_{05}^{A}$ = 1,2, $НСР_{05}^{B}$ = 1,04; в 2019 году $НСР_{05}$ = 2,8, $НСР_{05}^{A}$ = 1,62, $НСР_{05}^{B}$ = 1,4.

При нижней границе регулирования 60 % НВ наблюдалось снижение выхода сахара при увеличении дозы удобрений до $N_{150}P_{110}K_{300}$. Данный результат подтверждается и исследованиями ученых РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле», которые отмечают, что высевать сахарную свеклу на хорошо окультуренную дерново-подзолистую легкосуглинистую почву, подстилаемую моренным суглинком, целесообразно на фоне удобрений $N_{120–90}P_{90–100}K_{150–180}$ [54, 59].

Таким образом, можно сделать вывод, что снижение нижней границы регулирования до 60 % НВ и повышение нижней границы регулирования до 80 % НВ на фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$ приводят к снижению выхода сахара с гектара по сравнению с фоном удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$. Следовательно, для фонов удобрений, используемых в опытах, наиболее оптимальным является режим орошения, поддерживающий влажность почвы не ниже 70 % НВ.



5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ ОРОШЕНИИ

5.1. Зависимость экономической эффективности возделывания сахарной свеклы от режима орошения

Для расчета экономической эффективности элементов технологии возделывания сахарной свеклы были использованы нормативные технологические карты, на основании которых были рассчитаны затраты: заработная плата с начислениями, стоимость средств защиты, минеральных удобрений и прочие расходы [172–177]. При этом учитывалась средняя урожайность культуры за три года.

Для определения эффективности различных вариантов опыта с орошением была проведена их экономическая оценка по себестоимости, стоимости валовой продукции, затратам на 1 га, прибыли и уровню рентабельности.

Расчеты по результатам опыта для сравнения представлены в рублях Республики Беларусь.

Экономическая эффективность определена путем сравнения стоимости продукции (дополнительной продукции) со стоимостью всех затрат (дополнительных затрат) на ее производство. Исходя из утвержденных технологических карт и нормативов, принятых при исчислении себестоимости продукции, вначале рассчитаны затраты на оплату труда с начислениями по каждому варианту опыта.

Результаты расчетов для фактора А приведены в табл. 5.1. Как показывают полученные данные, затраты по оплате труда при возделывании сахарной свеклы колеблются от 52,78 до 72,06 руб/га в соответствии с полученной урожайностью в вариантах опыта.

Производственные затраты на возделывание сахарной свеклы для фактора А приведены в табл. 5.2.

Наибольшая средняя урожайность сахарной свеклы за три года была получена в варианте 3 – 102,6 т/га, что на 41,1 т/га больше, чем в контроле (61,5 т/га). Урожайность в варианте 2 составила 72,7 т/га, в варианте 4 – 94,1 т/га. Расчеты показали, что максимальные производственные затраты были в варианте 4, в котором составили 2 246,65 руб/га, что на 82,24 руб/га больше, чем в варианте 3 с максимальной урожайностью.

Таблица 5.1. **Расчет затрат на оплату труда при возделывании сахарной свеклы**

Вид затрат	Режимы орошения			
	Без орошения (вариант 1)	60 % НВ (вариант 2)	70 % НВ (вариант 3)	80 % НВ (вариант 4)
	руб/га			
1. Фонд по тарифу	8,34	9,16	11,34	10,72
2. Доплата за продукцию, 200 %	16,68	18,31	22,67	21,43
3. Доплата за сроки и качество работ, 50 %	4,17	4,58	5,67	5,36
4. Повышенная оплата на уборке, 80 %	6,67	7,33	9,07	8,57
5. Надбавка за классность и мастерство, 20 % от п. 1 и п. 4	3,00	3,30	4,08	3,86
Другие доплаты и надбавки, 12 %	1,00	1,10	1,36	1,29
Итого…	39,87	43,77	54,18	51,22
Фонд на отпуск и другие затраты, 8,72 %	0,73	1,01	1,25	1,18
Итого…	40,60	44,78	55,43	52,40
Доплата за стаж работы, 30 %	12,18	13,43	16,63	15,72
Всего затрат	52,78	58,21	72,06	68,12

Таблица 5.2. **Производственные затраты при возделывании сахарной свеклы с орошением**

Статьи затрат	Режимы орошения			
	Без орошения	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
	руб/га			
Оплата труда с начислениями	52,78	58,21	72,06	68,12
Отчисления на соцстрахование	15,83	17,46	21,62	20,44
Посадочный материал	260,08	260,08	260,08	260,08
Удобрения и средства защиты	899,35	899,35	899,35	899,35
Стоимость ГСМ	219,48	230,33	259,30	251,06
Затраты по содержанию основных средств	366,65	373,09	390,26	385,38
Затраты по организации производства	15,83	17,46	21,62	20,44
Затраты на орошение	0	161,54	320,93	422,67
Прочие прямые затраты	1,06	1,16	1,44	1,36
Итого затрат	1 831,06	2 018,68	2 246,65	2 328,89

Необходимо отметить, что во всех вариантах опыта с орошением агротехнические мероприятия были одинаковыми за исключением количества поливов и величин оросительных норм. На основании стоимости сахарной свеклы (45 руб/т) и произведенных расчетов произ-

водственных затрат определили основные показатели экономической эффективности.

Расчет экономической эффективности возделывания сахарной свеклы в зависимости от режима орошения приведен в табл. 5.3.

Таблица 5.3. **Экономическая эффективность возделывания сахарной свеклы при орошении**

Вид затрат	Режимы орошения			
	Без орошения	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
Товарная урожайность с 1 га, т	61,5	72,7	102,6	94,1
Стоимость продукции с 1 га, долл. США	1 052,28	1 243,92	1 755,51	1 610,08
Производственные затраты на 1 га, долл. США	696,22	767,56	854,24	885,51
Затраты труда на 1 т продукции, чел.-ч	4,09	3,36	3,34	2,87
Себестоимость 1 т, долл. США	11,32	10,56	8,33	9,41
Прибыль на 1 га, долл. США	356,06	476,36	901,27	724,57
Рентабельность производства, %	51,1	62,1	105,5	81,8

Полученные результаты (табл. 5.3) показывают, что максимальных значений показатели экономической эффективности достигли в варианте опыта с поддержанием влажности почвы в слое 0–40 см от 70 % НВ. В среднем за 2017–2019 годы при производственных затратах 854,24 долл. США/га урожайность корнеплодов составила 102,6 т/га, прибыль – 901,27 долл. США/га, рентабельность – 105,5 %.

Несколько ниже (94,1 т/га) была получена урожайность в варианте при нижней границе влажности почвы в слое 0–40 см 80 % НВ. При этом прибыль составила 724,57 долл. США/га, рентабельность – 81,8 %.

При снижении влажности до 60 % НВ получена урожайность корнеплодов 72,7 т/га. Прибыль от реализации составила 476,36 долл. США/га, а рентабельность – 62,1 %.

Экономическая эффективность орошения особенно наглядно видна при сопоставлении вариантов с орошением и без орошения. Наиболее низкие показатели прибыли (356,06 долл. США/га) и рентабельности (51,1 %) получены в варианте без орошения. Без орошения урожайность сахарной свеклы была ниже на 60 %. А самые высокие урожайность корнеплодов (102,6 т/га) и прибыль (901,27 долл. США/га при

рентабельности 105,5 %) получены в варианте опыта, в котором влажность почвы в слое 0–40 см в течение всей вегетации сахарной свеклы поддерживалась в пределах 70–100 % НВ [178].

5.2. Экономическая эффективность возделывания сахарной свеклы при орошении в зависимости от доз минеральных удобрений

Для расчета экономической эффективности элементов технологии возделывания сахарной свеклы в зависимости от доз минеральных удобрений были составлены технологические карты, на основании которых были рассчитаны статьи затрат (табл. 5.4–5.11).

Таблица 5.4. **Расчет затрат на оплату труда по возделыванию сахарной свеклы при дозе удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$**

Вид затрат	Режимы орошения			
	Без орошения	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
	руб/га			
1. Фонд по тарифу	9,07	10,19	12,15	11,51
2. Доплата за продукцию, 200 %	18,13	20,37	24,29	23,03
3. Доплата за сроки и качество работ, 50 %	4,53	5,09	6,07	5,76
4. Повышенная оплата на уборке, 80 %	7,25	8,15	9,72	9,21
5. Надбавка за классность и мастерство, 20 % от п. 1 и п. 4	3,26	3,67	4,37	4,14
Другие доплаты и надбавки, 12 %	1,09	1,22	1,46	1,38
Итого...	43,33	48,69	58,06	55,03
Фонд на отпуск и другие затраты, 8,72 %	0,79	1,12	1,34	1,27
Итого…	44,12	49,81	59,39	56,30
Доплата за стаж работы, 30 %	13,24	14,94	17,82	16,89
Всего	57,36	64,76	77,21	73,18

Таблица 5.5. **Производственные затраты по возделыванию сахарной свеклы при дозе удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$ с учетом орошения**

Статьи затрат	Режимы орошения			
	Без орошения	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
	руб/га			
Оплата труда с начислениями	57,36	64,76	77,21	73,18
Отчисления на соцстрахование	17,21	19,43	23,16	21,96
Посадочный материал	260,08	260,08	260,08	260,08
Удобрения и средства защиты	966,28	966,28	966,28	966,28
Стоимость ГСМ	228,59	243,51	269,57	261,14
Затраты по содержанию основных средств	375,45	384,30	399,75	394,75
Затраты по организации производства	17,21	19,43	23,16	21,96
Затраты на орошение	0	161,54	320,93	422,67
Прочие прямые затраты	1,15	1,30	1,54	1,46
Итого…	1 923,32	2 120,61	2 341,69	2 423,48

Таблица 5.6. **Расчет затрат на оплату труда по возделыванию сахарной свеклы при дозе удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$**

Вид затрат	Режимы орошения			
	Без орошения	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
	руб/га			
1. Фонд по тарифу	9,75	10,53	12,63	12,01
2. Доплата за продукцию, 100 %	19,50	21,07	25,26	24,03
3. Доплата за сроки и качество работ, 50 %	4,87	5,27	6,32	6,01
4. Повышенная оплата на уборке, 80 %	7,80	8,43	10,11	9,61
5. Надбавка за классность и мастерство, 20 % от п. 1 и п. 4	3,51	3,79	4,55	4,32
Другие доплаты и надбавки, 12 %	1,17	1,26	1,52	1,44
Итого…	46,59	50,35	60,38	57,42
Фонд на отпуск и другие затраты, 8,72 %	0,85	1,16	1,39	1,32
Итого…	47,44	51,51	61,77	58,74
Доплата за стаж работы, 30 %	14,23	15,45	18,53	17,62
Всего	61,68	66,97	80,30	76,36

Таблица 5.7. **Производственные затраты по возделыванию сахарной свеклы при дозе удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$ с учетом орошения**

Статьи затрат	Режимы орошения			
	Без орошения	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
	руб/га			
Оплата труда с начислениями	61,68	66,97	80,30	76,36
Отчисления на соцстрахование	18,50	20,09	24,09	22,91
Посадочный материал	260,08	260,08	260,08	260,08
Удобрения и средства защиты	1 049,02	1 049,02	1 049,02	1 049,02
Стоимость ГСМ	237,25	247,71	275,62	267,38
Затраты по содержанию основных средств	383,87	390,07	406,61	401,73
Затраты по организации производства	18,50	20,09	24,09	22,91
Затраты на орошение	0	161,54	320,93	422,67
Прочие прямые затраты	1,23	1,34	1,61	1,53
Итого…	2 030,13	2 216,91	2 442,35	2 524,59

Таблица 5.8. **Технические характеристики дождевальной машины Linsday-EuropeOmega «Zimmatik»**

Показатели	Значение
Расход, л/с	19,2
Напор, м	40
Площадь полива, $м^2$	2 360
Ширина захвата, м	8
Суточная производительность нормой 30 мм, га	15,8
Суточная производительность нормой 25 мм, га	17,9
Требуется машин для полива 100 га, 60 % НВ	1
Требуется машин для полива 100 га, 70 % НВ	1
Требуется машин для полива 100 га, 80 % НВ	1
Требуемый расход воды для полива, л/с: 60 % НВ 70 % НВ 80 % НВ	 19,2 19,2 19,2
Обслуживающий персонал, чел./разряд: 60 % НВ 70 % НВ 80 % НВ	 2/6 2/6 2/6
Часовая тарифная ставка, руб.	1,77
Расход топлива дождевальной установкой при норме, л/ч: 30 мм 25 мм	 2,20 2,22

Таблица 5.9. **Технические характеристики передвижной насосной станции ДНУ-200/75**

Показатель	Значение
Расход, л/с	60
Напор, м	97
Расход топлива, л/ч	16,8
Требуется насосных станций на 1 полив: 60 % НВ 70 % НВ 80 % НВ	 1 1 1
Обслуживающий персонал, чел/разряд	2/5
Часовая тарифная ставка, руб.	1,65

Таблица 5.10. **Расчет затрат на оплату труда поливальщиков при орошении сахарной свеклы**

Вид затрат	Режимы орошения		
	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
	руб/га		
1. Фонд по тарифу	9,02	17,69	23,23
2. Доплата за продукцию, 200 %	18,03	35,39	46,46
3. Доплата за сроки и качество работ, 50 %	4,51	8,85	11,61
4. Повышенная оплата на уборке, 80 %	7,21	14,16	18,58
5. Надбавка за классность и мастерство, 20 % от п. 1 и п. 4	3,25	6,37	8,36
Другие доплаты и надбавки, 12 %	1,08	2,12	2,79
Итого…	43,10	84,58	111,04
Фонд на отпуск и другие затраты, 8,72 %	0,99	1,95	2,55
Итого…	44,09	86,53	113,59
Доплата за стаж работы, 30 %	13,23	25,96	34,08
Всего	57,32	112,48	147,67

Таблица 5.11. **Расчет затрат на орошение 100 га**

Показатели	Lindsay-EuropeOmega		
	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
Поливы нормой 30 мм	1	2	–
Поливы нормой 25 мм	–	–	3
Суммарная продолжительность полива, ч	127	254	335
Стоимость топлива для насосной станции, руб.	3 840,48	7 680,96	10 130,4
Стоимость топлива для дождевальной установки, тыс. руб.	502,92	1 005,84	1 338,66
Стоимость воды, руб.	30	60	75
Стоимость ГСМ, руб.	4 343,4	8 686,8	11 469,06
Затраты на зарплату, руб.	5 731,74	11 248,36	14 766,83
Затраты по содержанию основных средств, руб.	6 049,09	12 098,17	15 956,25
Затраты на орошение, руб.	16 154,23	32 093,33	42 267,14

Наиболее высокая средняя урожайность сахарной свеклы за три года исследований была получена в варианте 3 независимо от вносимых доз удобрений и составила 110,9 т/га (при $N_{120}P_{90}K_{180}$), что на 42,3 т/га больше, чем в варианте без орошения (68,6 т/га), и 117,1 т/га (при $N_{150}P_{110}K_{300}$), что на 39,6 т/га больше, чем в контроле (77,5 т/га). Таким образом, орошение в варианте 3 дало прибавку урожайности от 60 до 66 %.

Производственные затраты на возделывание сахарной свеклы в зависимости от доз минеральных удобрений приведены в табл. 5.5, 5.7.

Экономическая эффективность применения минеральных удобрений при орошении сахарной свеклы представлена в табл. 5.12 и 5.13.

Таблица 5.12. **Экономическая эффективность возделывания сахарной свеклы на фоне минеральных удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$**

Вид затрат	Режимы орошения			
	Без орошения	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
Товарная урожайность с 1 га, т	68,6	84,0	110,9	102,2
Стоимость продукции с 1 га, долл. США	1 173,76	1 437,26	1 897,53	1 748,67
Производственные затраты на 1 га, долл. США	731,30	806,32	890,38	921,48
Затраты труда на 1 т продукции, чел.-ч	4,20	3,58	3,45	2,99
Себестоимость 1 т, долл. США	10,66	9,60	8,03	9,02
Прибыль на 1 га, долл. США	442,47	630,95	1 007,15	827,19
Рентабельность производства, %	60,5	78,3	113,1	89,8

Таблица 5.13. **Экономическая эффективность возделывания сахарной свеклы на фоне минеральных удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$**

Вид затрат	Режимы орошения			
	Без орошения	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
Товарная урожайность с 1 га, т	77,5	88,3	117,1	108,6
Стоимость продукции с 1 га, долл. США	1 326,05	1 510,84	2 003,61	1 858,17
Производственные затраты на 1 га, долл. США	771,91	842,93	928,65	959,92
Затраты труда на 1 т продукции, чел.-ч	4,41	3,66	3,55	3,09
Себестоимость 1 т, долл. США	9,96	9,55	7,93	8,84
Прибыль на 1 га, долл. США	554,13	667,91	1 074,96	898,25
Рентабельность производства, %	71,8	79,2	115,8	93,6

Данные табл. 5.12 и 5.13 показывают, что в опыте производственные затраты на возделывание сахарной свеклы с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{90}K_{180}$ находятся в интервале от 731,30 до 921,48 долл. США/га, а при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{110}K_{300}$ – в интервале от 771,91 до 959,92 долл. США/га. Обратим внимание на то, что максимальные производственные затраты были в варианте не с максимальной урожайностью.

В варианте с предполивной влажностью почвы 60 % НВ в слое 0–40 см на фоне минеральных удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$ урожайность сахарной свеклы составила 84 т/га, прибыль – 630,95 долл. США/га, рентабельность – 78,3 %, а на фоне удобрений $N_{150}P_{110}K_{300}$ прибыль составила 667,91 долл. США/га, рентабельность – 79,2 %. В варианте опыта с повышением предполивной влажности в слое 0–40 см до 80 % НВ урожайность снизилась и составила 102,2 т/га (см. табл. 5.12) и 108,6 т/га (см. табл. 5.13), а прибыль от реализации составила 827,19 и 898,25 долл. США/га, рентабельность – 89,8 и 93,6 % соответственно.

Самые низкие показатели были отмечены в варианте без орошения на фонах всех удобрений: урожайность – 68,6 и 77,5 т/га, прибыль – 442,74 и 554,13 долл. США/га, рентабельность – 60,5 и 71,8 % соответственно. Таким образом, согласно экономическим показателям целесообразно вносить удобрения в дозе $N_{150}P_{110}K_{300}$ и поддерживать влажность почвы в слое 0–40 см от 70 % НВ. При этом прибыль составляет 1 074,96 долл. США/га, рентабельность – 115,8 % [178].

Возделывание сахарной свеклы без орошения определило получение самых низких дохода (356,06 долл. США/га) и рентабельности (51,1 %). В лучшем варианте, в котором влажность почвы в слое 0–40 см в течение всей вегетации сахарной свеклы поддерживалась в пределах 70–100 % НВ, внесение минеральных удобрений в дозах $N_{150}P_{110}K_{300}$ обеспечило урожайность корнеплодов 117,1 т/га, прибыль – 1 074,96 долл. США/га, рентабельность – 115,8 % соответственно. Возделывание сахарной свеклы без орошения на фонах удобрений $N_{120}P_{90}K_{180}$, $N_{150}P_{110}K_{300}$ способствовало получению рентабельности 60,5 и 71,8 % соответственно [178].

Таким образом, экономические расчеты показали, что самые высокие урожайность корнеплодов сахарной свеклы (102,6 т/га) и прибыль (901,27 долл. США/га при рентабельности 105,5 %) получены в варианте опыта с экономически обоснованным (оптимальным) режимом орошения, в котором предполивная влажность почвы в слое 0–40 см в течение всей вегетации сахарной свеклы составляла в пределах 70–100 % НВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Естественная тепло- и влагообеспеченность вегетационного периода на территории северо-восточной части Беларуси не обеспечивает на дерново-подзолистых суглинистых почвах оптимальный для возделывания сахарной свеклы водный режим. Дефицит водного баланса составляет в среднем около 600 $м^3$/га, что не способствует получению высокой и устойчивой урожайности.

Орошение повышает водопотребление сахарной свеклы. На фоне естественного увлажнения из слоя почвы 0–40 см водопотребление за период вегетации в среднем за 3 года составило 3 379 $м^3$/га, при предполивной влажности 60 % НВ – 3 521 $м^3$/га, при предполивной влажности 70 % НВ – 3 535 $м^3$/га и при предполивной влажности 80 % НВ – 3 594 $м^3$/га. Полученные опытным путем биоклиматические коэффициенты рекомендуется использовать при расчете водопотребления сахарной свеклы по формулам А. И. Михальцевича и ТКП при проектировании оросительных систем. При управлении поливом на оросительных системах с сахарной свеклой для расчета водопотребления предпочтительнее использовать биотермические коэффициенты, установленные по максимальным температурам воздуха.

Алгоритм расчета водопотребления сахарной свеклы, учитывающий коэффициенты увлажнения почвы, исключает зависимость результатов вычислений от применяемых режимов орошения и доз вносимых удобрений. При повышении доз NPK от 300 до 560 кг д. в/га и соответственном увеличении урожайности сахарной свеклы от 55 до 120 т/га осредненные за год биотермические коэффициенты различаются весьма несущественно, изменяясь в диапазоне 0,110–0,115 мм/^{o}С.

При нижней границе регулирования влажности почвы 70 % НВ создаются более благоприятные условия для выращивания сахарной свеклы с внесением минеральных удобрений дозой $N_{120}P_{90}K_{180}$ кг/га д. в., что позволяет получить урожайность 110 т/га. Сахаристость сахарной свеклы в вариантах опыта изменялась в пределах 16,7–17,8 %, а выход сахара – от 15,7 т/га до 17,0 т/га. Установлено, что повышение дозы удобрений до $N_{150}P_{110}K_{300}$ не привело к увеличению сбора очищенного сахара.

Экономически выгодным является орошение сахарной свеклы при поддержании влажности почвы в слое 0–40 см от 70 % НВ [178].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 1 февр. 2021 г. № 59 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by (дата обращения: 10.02.2021).

2. О мелиорации земель: Закон Респ. Беларусь от 23 июля 2008 г. № 423-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by (дата обращения: 17.07.2020).

3. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Мн., 2020. – 179 с.

4. Голченко, М. Г. Совершенствование научно-практических основ оросительных мелиораций на минеральных почвах Республики Беларусь / М. Г. Голченко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 2. – С. 123–129.

5. Справочник по орошению дождеванием / М. Г. Голченко [и др.]; под ред. М. Г. Голченко, А. И. Михальцевича. – Мн.: Ураджай, 1993. – 247 с.

6. Грузинов, В. П. Экономика предприятия / В. П. Грузинов, В. Д. Грибов. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 375 с.

7. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Мн., 2017. – 233 с.

8. Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2017 г. – URL: https://www.belstat.gov.by (дата обращения: 26.05.2017).

9. Сахарная свекла / Инвестиционная компания ЮНИТЕР. – Мн., 2015. – 18 с.

10. Набздоров, С. В. Опыт возделывания сахарной свеклы при орошении в условиях Республики Беларусь / С. В. Набздоров // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Рязань: Изд-во Рязан. агротехнол. ун-та; редкол.: Н. В. Бышов [и др.]. – 2019. – С. 584–590.

11. О государственной программе развития сахарной промышленности на 2011–2015 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 24 марта 2011 г. № 359. – URL: https://normativka.by (дата обращения: 12.01.2017).

12. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Мн., 2019. – 233 с.

13. О государственной программе развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы и внесении изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 11 марта 2016 г. № 196. – URL: https://pravo.by (дата обращения: 14.11.2017).

14. Татур, И. С. Развитие и перспективы производства сахарной свеклы в Республике Беларусь / И. С. Татур, С. В. Набздоров // Научное обеспечение отрасли свекловодства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле»; редкол.: М. И. Гуляка [и др.]. – Мн.: Бел. навука, 2018. – С. 263–268.

15. Набздоров, С. В. Положение Республики Беларусь на рынке по возделыванию сахарной свеклы / С. В. Набздоров // Мелиорация и сельское строительство. Поиск молодежи : сб. науч. тр. студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей / Бел. гос. с.-х. акад.; редкол.: Р. А. Другомилов [и др.]. – Горки, 2019. – С. 124–129

16. Набздоров, С. В. Анализ производства сахарной свеклы в Республике Беларусь по сравнению со странами СНГ и Европы / С. В. Набздоров // Пути повышения

эффективности орошаемого земледелия: материалы науч.-практ. конф. / ФГБНУ «РосНИИПМ»; редкол.: В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2018. – № 1 (69). – С. 196–201.

17. Свекольная динамика. Экспертный анализ применения СЗР на сахарной свекле // Агротехника и технологии. – 2020. – № 3 (май – июнь). – С. 48–49.

18. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Мн., 2019. – 212 с.

19. Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2020 г. – URL: http://www.belstat.gov.by (дата обращения: 06.07.2020).

20. Набздоров, С. В. Возделывание сахарной свеклы в Могилевской области / С. В. Набздоров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1. – С. 200–204.

21. Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2019 г. – URL: http://www.belstat.gov.by (дата обращения: 21.04.2019).

22. Алисов, Н. В. Экономическая и социальная география мира / Н. В. Алисов. – М.: Гардарики, 2004. – 704 с.

23. Набздоров, С. В. Условия и особенности возделывания сахарной свеклы в Республике Беларусь / С. В. Набздоров // Мелиорация и сельское строительство. Поиск молодежи : сб. науч. тр. студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей / Бел. гос. с.-х. акад.; редкол.: В. И. Желязко [и др.]. – Горки, 2018. – С. 89–93.

24. Грамматикати, О. Г. Международный круглый стол по проблеме эвапотранспирации / О. Г. Грамматикати, Е. А. Нестеров // Гидротехника и мелиорация. – 1980. – № 6. – С. 84–89.

25. Константинов, А. Р. Нормирование орошения: методы, их оценка, пути уточнения / А. Р. Константинов, Э. А. Струнников // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 1. – С. 19–28.

26. Костяков, А. Н. Основы мелиораций / А. Н. Костяков. – 6-е изд. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 622 с.

27. Никульников, И. М. О выборе оптимального режима полива / И. М. Никульников // Сахарная свекла. – 1981. – № 7. – С. 25–26.

28. Багров, М. Н. Орошение сахарной свеклы в полупустынных районах Юга-Востока / М. Н. Багров // Сахарная свекла. – 1981. – № 11. – С. 9.

29. Лымарь, А. О. Эффективность удобрений, орошения, предшественников / А. О. Лымарь, А. А. Федоровский // Сахарная свекла. – 1987. – № 2. – С. 26–28.

30. Кружилин, И. П. Урожайность свеклы в зависимости от режимов орошения и доз удобрения / И. П. Кружилин, А. С. Мушинский // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 6. – С. 34–36.

31. Пискунова, А. С. Удобрение сахарной свеклы / А. С. Пискунова // Агротехника сахарной свеклы на Кубани. – Краснодар, 1998. – 255 с.

32. Иванова, Т. Е. Орошение сахарной свеклы дождеванием в Хакасии: автореф. дис. … канд. с.-х. наук : 06.01.02 / Иванова Татьяна Екимовна. – Барнаул, 2004. – 15 с.

33. Яковенко, Е. А. Режим орошения и водопотребление сахарной свеклы в Ростовской области : автореф. дис. … канд. с-х. наук : 06.01.02 / Яковенко Елена Александровна. – Новочеркасск, 2007. – 23 с.

34. Возделывание сахарной свеклы при орошении в условиях зоны неустойчивого увлажнения / Л. В. Трубачева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – URL: https://science-education.ru (дата обращения: 24.06.2018).

35. Ененко, И. И. Свекла на орошаемых землях Заволжья / И. И. Ененко, И. А. Мокальчук // Сахарная свекла. – 1981. – № 6. – С. 34–36.

36. Ененко, И. И. Продуктивность свеклы на орошении / И. И. Ененко, И. А. Мокальчук // Сахарная свекла. – 1983. – № 3. – С. 24–25.

37. Коломиец, А. П. Возделывание свеклы на поливе / А. П. Коломиец // Сахарная свекла. – 1985. – № 5. – С. 16–18.

38. Коломиец, А. П. Определение сроков и норм поливов / А. П. Коломиец, А. А. Фоменко, Н. И. Бузанов // Сахарная свекла. – 1986. – № 1. – С. 6.

39. Абугашев, И. А. Орошаемое поле Казахстана / И. А. Абугашев // Сахарная свекла. – 1985. – № 5. – С. 16–18.

40. Лысогоров, С. Д. Прогнозирование урожайности на орошаемых землях Украины / С. Д. Лысогоров, В. П. Кириченко // Сахарная свекла. – 1987. – № 12. – С. 18–22.

41. Привалов, Ф. И. Состояние и пути развития производства сахарной свеклы в Республике Беларусь / Ф. И. Привалов, И. С. Татур, Ю. М. Чечёткин // Сахар. – 2017. – № 7. – С. 42–46.

42. Вострухин, Н. П. Календарь свекловода / Н. П. Вострухин. – Мн.: Бел. навука, 2015. – 183 с.

43. Научные системы ведения сельского хозяйства Республики Беларусь / В. Г. Гусаков [и др.]; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Мн.: Бел. навука, 2020. – 683 с.

44. Вострухин, Н. П. Сахарная свекла / Н. П. Вострухин. – Мн.: МФЦП, 2005. – 392 с.

45. Карипова, И. В. Зависимость урожая и качества сахарной свеклы от удобрений и регуляторов роста на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Карипова Ирина Владимировна. – Мн., 1992. – 26 с.

46. Разработка, производство и применение комплексных удобрений в сельском хозяйстве Республики Беларусь / Г. В. Пироговская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1 (60). – С. 87–107.

47. Врублевская, Н. Н. Применение азотных удобрений под сахарную свеклу с учетом наличия доступных форм азота в почве / Н. Н. Врублевская, В. П. Курганский // Пути повышения интенсификации свеклосахарного производства в Республике Беларусь: материалы междунар. науч.-произв. конф., посвящ. 70-летию Бел. зон. опытной станции по сахарной свекле, Несвиж, 3–4 дек. 1998 г. / Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Опыт. ст. по сахар. свекле; редкол.: И. С. Татур [и др.] – Мн.: Юнипак, 2002. – 184 с.

48. Врублевская, Н. Н. Эффективное применение КАС / Н. Н. Врублевская, В. П. Курганский // Сахарная свекла. – 2006. – № 2. – 138 с.

49. Рыбак, А. Р. Влияние азотных удобрений на урожай и качество корнеплодов сахарной свеклы / А. Р. Рыбак, А. И. Щетко // Состояние и пути развития производства сахарной свеклы в Республике Беларусь : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Опытной станции по сахарной свекле НАН Беларуси, Несвиж, 10–11 июля 2003 г. / Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Опыт. ст. по сахар. свекле; редкол.: И. С. Татур [и др.]. – Мн.: Юнипак, 2003. – 212 с.

50. Курганский, В. П. Итоги работы и направления исследований по минеральному питанию сахарной свеклы / В. П. Курганский, Н. Н. Врублевская // Состояние и пути развития производства сахарной свеклы в Республике Беларусь: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Опытной станции по сахарной свекле НАН Беларуси, Несвиж, 10–11 июля 2003 г. / Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Опыт. ст. по сахар. свекле; редкол.: И. С. Татур [и др.] – Мн.: Юнипак, 2003. – 212 с.

51. Меркес, Р. Технология возделывания сахарной свеклы в Германии / Р. Меркес // Сахарная свекла. – 2000. – № 10 – С. 18–21.

52. Дрейкотт, А. П. Удобрение сахарной свеклы / А. П. Дрейкотт. – М.: Колос, 1997. – 317 с.

53. Вострухин, Н. П. Сахарная свекла на Несвижчине / Н. П. Вострухин. – Мн.: МФЦП, 2007. – 197 с.

54. Вострухин, Н. П. Сахарная свекла / Н. П. Вострухин. – Мн.: МФЦП, 2011. – 364 с.

55. Свекла сахарная. Генетические ресурсы растений в Беларуси: мобилизация, сохранение, изучение и использование // Д. В. Лужинский [и др.] / РУП «Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию»; редкол.: Ф. И. Привалов (гл. ред.) [и др.]. – Мн.: Четыре четверти, 2019. – С. 76–81.

56. Лужинский, Д. В. Как сохранить селекцию и семеноводство? / Д. В. Лужинский // Белорусское сельское хозяйство. – 2019. – № 11. – С. 80–82.

57. Рынки продуктов и сельскохозяйственного сырья / под ред. З. М. Ильиной. – Мн.: Ин-т аграр. экономики НАН Беларуси, 2004. – 320 с.

58. Пироговская, Г. В. Поступление, потери элементов питания растений в системе «атмосферные осадки – почва – удобрение – растение» / Г. В. Пироговская. – Мн.: Бел. наука, 2018. – 227 с.

59. Вострухин, Н. П. Мониторинг динамики формирования урожайности и качества сахарной свеклы в Беларуси за 1966–2011 годы / Н. П. Вострухин, М. И. Гуляка; НПЦ НАН Беларуси по земледелию, РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле». – Несвиж: Тип. им. С. Будного, 2013. – 68 с.

60. Вострухин, Н. П. Эффективность минеральных удобрений под сахарную свеклу при различных способах внесения / Н. П. Вострухин, В. А. Третьяк // Пути повышения урожайности полевых культур. – Мн.: Ураджай, 1981. – Вып. 12. – 69 с.

61. Дубенок, Н. Н. Интенсивные технологии при возделывании сельскохозяйственных культур / Н. Н. Дубенок, Н. Н. Третьяков. – М.: ТСХА, 1988. – 54 с.

62. Дубенок, Н. Н. Орошение на местном стоке / Н. Н. Дубенок, П. А. Волковский, З. Я. Светличная. – М.: ТСХА, 1989. – 48 с.

63. Климат Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Мн.: Ин-т геолог. наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.

64. Стратегия адаптации сельского хозяйства Республики Беларусь к изменению климата: проект / под ред. Н. Денисова. – Мн., 2017. – 48 с.

65. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата / В. Мельник [и др.]. – Мн., 2017. – 84 с.

66. Агрогидрологические свойства почв Белорусской ССР: материалы агрометеорологических наблюдений / Н. И. Смеян [и др.]. – Мн.: [Б. и.], 1977. – 333 с.

67. Справочник по климату Беларуси. – Мн., 2017. – 64 с.

68. Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР: материалы агрометеорологических наблюдений / под ред. М. А. Гольдберга и В. И. Мельника. – Мн., 1985. – 452 с.

69. Шульгин, В. К. Агрометеорология и агроклиматология / В. К. Шульгин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 41 с.

70. Тихонов, В. А. Способы формирования урожая фабричной сахарной свеклы в условиях орошения северного Казахстана: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Тихонов Виктор Александрович. – Новосибирск, 1993. – 19 с.

71. Мысливец, Д. Г. Влияние комплексных удобрений с микроэлементами и орошения на урожайность и качество моркови на дерново-подзолистой супесчаной почве: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Мысливец Дмитрий Генрихович. – Мн., 2015. – 21 с.

72. Иванова, Т. Е. Орошение сахарной свеклы дождеванием в Хакасии: дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Иванова Татьяна Екимовна. – Барнаул, 2004. – 141 с.

73. Любченко, А. Ю. Продуктивность сахарной свеклы в зависимости от приемов выращивания на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья: дис. … с.-х. наук: 06.01.01 / Любченко Алексей Юрьевич. – Краснодар, 2011. – 213 с.

74. Костяков, А. Н. Основы мелиораций / А. Н. Костяков. – 5-е изд., перераб. – М.: Сельхозиздат, 1951. – 751 с.

75. Кулаковская, Т. Н. О модели плодородия дерново-подзолистых почв Белорусской ССР / Т. Н. Кулаковская, И. М. Богдевич // Модели плодородия почв и методы их разработки. – М., 1992. – С. 25–35.

76. Богдевич, И. М. Концепция повышения плодородия почв Республики Беларусь / И. М. Богдевич, Н. И. Смеян, В. В. Лапа // Ахова раслін. – 2002. – № 1. – С. 8–11.

77. Смеян, Н. И. Почвенно-географическое районирование территории Белорусской ССР / Н. И. Смеян, И. Н. Соловей // Почвы Белорусской ССР. – Мн., 1974. – С. 233–262.

78. Бишоф, Э. А. Методические указания по статической обработке экспериментальных данных в мелиорации и почвоведении / Э. А. Бишоф, Г. С. Калмыков. – Л.: Тип. № 6, 1977. – 270 с.

79. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 352 с.

80. Бирюков, Н. С. Методическое пособие по определению физико-механических свойств грунтов / Н. С. Бирюков, В. Д. Казарновский, Ю. Л. Мотылев. – М.: Недра, 1975. – 176 с.

81. Афанасик, Г. И. Методические указания по определению водно-физических свойств почвогрунтов мелиорируемых земель / Г. И. Афанасик, К. П. Лундин; БелНИИМиВХ. – Мн., 1973. – 83 с.

82. Гилев, В. Ю. Физика почв: учеб.-метод. указания по полевой практике / В. Ю. Гилев. – Пермь: Перм. гос. с.-х. акад. им. акад. Д. Н. Прянишникова, 2012. – 37 с.

83. Терпелец, В. И. Учебно-методическое пособие по изучению агрофизических и агрохимических методов исследования почв: учеб.-метод. пособие / В. И. Терпелец, В. Н. Слюсарев. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 65 с.

84. Агроклиматический справочник / сост. М. А. Малышевская. – Мн.: Ураджай, 1970. – 148 с.

85. Лосев, А. П. Практикум по обеспечению растениеводства / А. П. Лосев. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. – 238 с.

86. Мажайский, Ю. А. Нейтрализация загрязненных почв: монография / Ю. А. Мажайский. – Рязань: Мещерский ф-л ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. – 528 с.

87. Лихацевич, А. П. Исследования режима дождевания и мелкодисперсного увлажнения многолетних трав на торфяно-болотных почвах Белорусского Полесья: дис. … канд. техн. наук: 06.01.02 / Лихацевич Анатолий Павлович. – Мн.: БелНИИМиВХ, 1982. – 196 с.

88. Голченко, М. Г. Интенсификация орошаемого овощеводства / М. Г. Голченко, О. А. Шавлинский, В. Г. Казеко. – Мн.: Ураджай, 1987. – 184 с.

89. Желязко, В. И. Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов в условиях техногенного загрязнения агроландшафта: дис. … д-ра с.-х. наук : 06.01.02 / Желязко Владимир Иосифович. – Горки, 2005. – 321 с.

90. Лагун, Т. Д. Исследования по обоснованию режима и техники орошения садов в условиях Беларуси: дис. … канд. техн. наук : 06.01.02 / Лагун Тихон Данилович. – Горки, 1979. – 246 с.

91. Анженков, А. С. Повышение качества искусственного дождя при орошении животноводческими стоками: дис. … канд. техн. наук: 06.01.02 / Анженков Александр Сергеевич. – Горки, 2008. – 157 с.

92. Невдах, В. И. Повышение качества дождевания культурных пастбищ на минеральных почвах Белоруссии: дис. … канд. техн. наук: 06.01.02 / Невдах Василий Иванович. – Горки, 1986. – 226 с.

93. Костяков, А. Н. Основные методы орошения в современном ирригационном строительстве / А. Н. Костяков // Избр. тр. – М.: Сельхозиздат, 1961. – Т. 1, ч. 1, гл. 4. – С. 271–300.

94. Ерхов, Н. С. О допустимой интенсивности искусственного дождя в различных почвенных условиях / Н. С. Ерхов // Гидротехника и мелиорация. – 1974. – № 8. – С. 45–51.

95. Преображенская, М. В. Впитывание воды в почву при поливе дождеванием в условиях Центрально-Черноземных областей / М. В. Преображенская // Гидротехника и мелиорация. – 1950. – № 6. – С. 24–33.

96. Ильин, С. П. Методические указания по расчету мелиоративных и энергетических показателей разбрызгивающих устройств: метод. указания / С. П. Ильин, И. С. Сильченков. – М.: Моск. гос. ун-т природообустройства, 2006. – 24 с.

97. Константинов, А. Р. Испарение в природе / А. Р. Константинов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 532 с.

98. Кравченко, Л. В. Моделирование и оптимизация процесса дождевания сельскохозяйственных культур машинами фронтального действия: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Кравченко Людмила Владимировна. – Зерноград, 2003. – 125 с.

99. Снипич, Ю. Ф. Совершенствование технических средств орошения дождеванием / Ю. Ф. Снипич. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2007. – 110 с.

100. Фокин, Б. П. Возможности рационального использования современной дождевальной техники / Б. П. Фокин, И. А. Мельникова // Вестник АПК Ставрополья. – 2013. – № 1 (9). – С. 68–72.

101. Городничев, В. И. Полнота и достоверность оценки качества полива дождеванием / В. И. Городничев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 4. – С. 36–38.

102. Дементьев, В. Г. Орошение: учеб. пособие / В. Г. Дементьев. – М.: Колос, 1979. – 303 с.

103. Корнеев, И. В. Влияние водопроницаемости иллювиального горизонта на водный режим дренируемых дерново-подзолистых почв: автореф. дис. … канд. техн. наук: 06.01.02 / Корнеев Илья Викторович; ФГОУ ВПО «Моск. гос. ун-т природообустройства». – М., 2007. – 24 с.

104. Дубенок, Н. Н. Рекомендации по разработке ресурсосберегающих технологий на мелиорированных склоновых землях / Н. Н. Дубенок. – М.: ТСХА, 1991. – 24 с.

105. Дубенок, Н. Н. Орошение дождеванием склоновых участков в условиях Нечерноземной зоны РСФСР / Н. Н. Дубенок // Известия ТСХА. – 1984. – № 2. – С. 22–26.

106. Дубенок, Н. Н. Режимы орошения многолетних трав на склоновых землях Нечерноземной зоны РСФСР: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Николай Николаевич Дубенок. – Волгоград, 1984. – 24 с.

107. Ягудин, Н. В. Оперативное планирование эксплуатационных режимов орошения при использовании широкозахватных дождевальных машин: автореф. дис. … канд. техн. наук: 06.01.02 / Ягудин Николай Васильевич. – М., 1987. – 20 с.

108. Лихацевич, А. П. Обоснование расчетной модели режима орошения многолетних трав и овощных культур в условиях Беларуси: дис. … д-ра техн. наук: 06.01.02 / Лихацевич Анатолий Павлович. – Мн., 1993. – 513 с.

109. Латушкина, Г. В. Совершенствование орошения капусты и моркови в условиях Беларуси: автореф. дис. … канд. техн. наук: 06.01.02 / Латушкина Галина Викторовна. – Мн.: БелНИИМиВХ, 1992. – 19 с.

110. Латушкина, Г. В. Орошение капусты уменьшенными нормами на торфяных почвах центральной зоны БССР / Г. В. Латушкина // НТИ по мелиорации и водному хозяйству. – Мн., 1988. – Вып. 6. – С. 24–26.

111. Михальцевич, А. И. Расчет испарения с орошаемых сенокосов на торфяных почвах Белорусского Полесья / А. И. Михальцевич, А. П. Лихацевич // Регулирование водного режима торфяных и минеральных почв. – Мн.: БелНИИМиВХ, 1981. – С. 100–107.

112. Рекомендации по определению влажности почвы, сроков и норм полива сельскохозяйственных культур. – Мн., 1984. – 47 с.

113. Авраменко, Н. М. К вопросу расчета эксплуатационного режима орошения культурных пастбищ на мелкозалежных торфяниках Полесья / Н. М. Авраменко // НТИ по мелиорации и водному хозяйству. – Мн., 1990. – № 2. – С. 25–30.

114. Шавлинский, О. А. Нормирование орошения моркови и столовой свеклы на дерново-подзолистых почвах Белоруссии: дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Шавлинский Олег Александрович. – Горки, 1985. – 216 с.

115. Голченко, М. Г. Теоретические кривые обеспеченности норм орошения многолетних трав в Беларуси / М. Г. Голченко, В. И. Вихров // НТИ по мелиорации и водному хозяйству. – Мн., 1985. – № 12. – С. 14–17.

116. Голченко, М. Г. Методические рекомендации по оперативному планированию режимов дождевания сельскохозяйственных культур на минеральных почвах Белорусской ССР / М. Г. Голченко, В. И. Вихров, О. А. Шавлинский. – Горки, 1986. – 43 с.

117. Голченко, М. Г. Рекомендации по проектному режиму орошения и прибавкам урожая от дождевания в условиях Могилевской области / М. Г. Голченко, В. И. Вихров, О. А. Шавлинский; под ред. М. Г. Голченко. – Горки, 1991. – 28 с.

118. Желязко, В. И. Дождевание многолетних трав стоками свиноводческих комплексов: дис. … канд. техн. наук: 06.01.02 / Желязко Владимир Иосифович. – Горки, 1987. – 138 с.

119. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов – Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. – М.: Альянс, 2011. – 350 с.

120. Агрофизические и агрохимические методы исследования почв: учеб.-метод. пособие / сост. В. И. Терпелец, В. Н. Слюсарев. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 65 с.

121. Ганжара, Н. Ф. Практикум по почвоведению / Н. Ф. Ганжара, Б. А. Борисов, Р. Ф. Байбеков; под ред. д-ра биол. наук, проф. Н. Ф. Ганжары. – М.: Агроконсалт, 2002. – 280 с.

122. Вадюнина, А. Ф. Методы определения физических свойств почв и грунтов: учеб. пособие / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М., 1961. – 345 с.

123. Афанасик, Г. И. Методические указания по определению водно-физических свойств почвогрунтов мелиорируемых земель / Г. И. Афанасик, К. П. Лундин; БелНИИМиВХ. – Мн., 1973. – 83 с.

124. Астапов, А. С. Мелиоративное почвоведение (практикум) / А. С. Астапов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М., 1958. – 368 с.

125. Методические указания по проведению наблюдений за мелиоративным состоянием осушенных земель. – Л.: СевНИИГиМ, 1972. – 153 с.

126. Опытное дело в полеводстве. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 190 с.

127. Алпатьев, С. М. Водопотребление культурных растений и климат. Режим орошения сельскохозяйственных культур / С. М. Алпатьев; под ред. Б. А. Шумакова. – М.: Колос, 1965. – 231 с.

128. Оросительные системы. Правила проектирования = Арашальныя сістэмы. Правілы праектавання: ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). Введ. 29.12.2009. – Минск, 2010. – 76 с.

129. Панников, В. Д. Почва, климат, удобрения и урожай / В. Д. Панников, В. Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.

130. Сикан, А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. «Гидрология» направления подготовки «Гидрометеорология» / А. В. Сикан. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007. – 279 с.

131. Аргучинцева, А. В. Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений: учеб. пособие / А. В. Аргучинцева. – Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2007. – 105 с.

132. Владимиров, А. М. Гидрологические расчеты: учебник для вузов по специальности «Гидрология суши» / А. М. Владимиров. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 366 с.

133. Набздоров, С. В. Влияние орошения на рост, развитие и урожайность сахарной свеклы / С. В. Набздоров // Мелиорация. – 2019. – № 4 (90). – С. 66–73.

134. Набздоров, С. В. Динамика роста и урожай сахарной свеклы, возделываемой при разных режимах влагообеспеченности на суглинистых почвах в условиях востока Беларуси / С. В. Набздоров // Вестник БГСХА. – 2020. – № 1. – С. 140–144.

135. Набздоров, С. В. Влияние удобрений и орошения на динамику роста и урожайность сахарной свеклы / С. В. Набздоров // Мелиорация. – 2020. – № 2 (92). – С. 48–57.

136. Набздоров, С. В. Влияние пищевого режима, влаго- и теплообеспеченности вегетационных периодов на водопотребление сахарной свеклы / С. В. Набздоров // Вестник БГСХА. – 2020. – № 4. – С. 135–142.

137. Лихацевич, А. П. Оценка факторов, формирующих неустойчивую влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в гумидной зоне (на примере Беларуси, Центрального и Волго-Вятского районов Российской Федерации) / А. П. Лихацевич, Е. А. Стельмах. – Мн.: ООО «Полирек», 2002. – 212 с.

138. Окулик, Н. В. Водный режим и продуктивность почв / Н. В. Окулик. – Мн.: Ураджай, 1989. – 191 с.

139. Методические рекомендации по определению зависимости урожайность – влагообеспеченность на основе полевого опыта в условиях орошения / Д. Б. Циприс [и др.]. – Л.: СевНИИГиМ, 1988. – 50 с.

140. Лихацевич, А. П. Модель влияния регулируемых факторов окружающей среды на урожай сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич // Мелиорация переувлажненных земель. – 2004. – № 2 (52). – С. 123–143.

141. Алпатьев, А. М. Биофизические основы водопотребления орошаемых культур / А. М. Алпатьев // Орошаемое земледелие в Европейской части СССР: Респ. межвед. темат. науч. сб. – Киев, 1965. – Вып. 2. – С. 15–17.

142. Алпатьев, А. М. Водопотребление культурных растений и климат / А. М. Алпатьев // Режим орошения сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1965. – С. 55–68.

143. Михальцевич, А. И. О совершенствовании биоклиматического метода расчета испарения с орошаемых полей / А. И. Михальцевич // Мелиорация переувлажненных земель: науч. тр. БелНИИМиВХ. – Мн.: Ураджай, 1979. – Т. XXVII. – С. 42–46.

144. Голченко, М. Г. Расчет суточного водопотребления многолетних трав / М. Г. Голченко, В. И. Вихров // Гидротехника и мелиорация. – 1985. – № 7. – С. 32–38.

145. Набздоров, С. В. Оценка точности расчета водопотребления сахарной свеклы с использованием биоклиматического метода / С. В. Набздоров, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина // Мелиорация. – 2022. – № 1 (99). – С. 22–28.

146. Исаев, И. Л. Дождевание овощных культур на суглинистых почвах в условиях Белорусской ССР (на примере Горецкого района Могилевской области): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / И. Л. Исаев. – Горки, 1967. – 21 с.

147. Голченко, М. Г. Влагообеспеченность и орошение земель в Белоруссии / М. Г. Голченко. – Мн.: Ураджай, 1976. – 190 с.

148. Маковский, М. В. Результаты исследований по дождеванию овощей на супесчаных почвах / М. В. Маковский, А. И. Михальцевич, А. Ф. Жданкин // Мелиорация переувлажненных земель. – Мн.: Ураджай, 1983. – Вып. 31. – С. 115–123.

149. Усовершенствованный алгоритм управления орошением в производственных условиях / А. П. Лихацевич [и др.] // Мелиорация: современные методики, инновации и опыт практического применения: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 окт. 2017 г. / РУП «Институт мелиорации»; редкол.: Н. К. Вахонин [и др.]. – Мн.: Бел. навука, 2017. – С. 30–40.

150. Рекомендации по управлению дождеванием в производственных условиях / А. С. Анженков [и др.]; РУП «Ин-т мелиорации». – Мн., 2020. – 40 с.

151. Михальцевич, А. И. Режим орошения культурных пастбищ на торфяноглеевых почвах Полесья / А. И. Михальцевич, К. С. Пантелей, Н. Я. Гриневич // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. тр. Бел. НИИ мелиорации и вод. хозяйства / БелНИИМиВХ – Мн.: Ураджай, 1976. – С. 98–110.

152. Алехин, А. В. Влияние орошения и числа скашиваний на продуктивность бобово-злаковых травосмесей в условиях северо-востока Республики Беларусь: дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Алехин Аркадий Викторович. – Горки, 1999. – 136 с.

153. Усовершенствованный алгоритм управления орошением в производственных условиях / А. П. Лихацевич [и др.] // Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т мелиорации; редкол.: Н. К. Вахонин [и др.]. – Мн.: Бел. навука, 2017. – С. 30–40.

154. Управление орошением сельскохозяйственных культур на основе расчета динамики почвенных влагозапасов / А. П. Лихацевич [и др.] // Эффективное использование мелиорированных земель: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Твер. гос. ун-т; редкол.: О. Н. Анциферова [и др.]. – Тверь, 2018. – С. 270–276.

155. Нормирование водопотребления сельскохозяйственных культур с учетом изменчивости гидрометеорологических условий / В. И. Ольгаренко [и др.] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 2 (30). – С. 22–40.

156. Лихацевич, А. П. Зависимость водопотребления сельскохозяйственных культур от урожайности / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, С. В. Набздоров // Мелиорация. – 2018. – № 3 (85). – С. 17–23.

157. Лихацевич, А. П. Оценка влияния урожая сельскохозяйственных культур на их водопотребление / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, С. В. Набздоров // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия : материалы науч.-практ. конф. / ФГБНУ «РосНИИПМ»; редкол.: В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2018. – № 4 (72). – С. 114–123.

158. Лихацевич, А. П. Зависимость водопотребления сельскохозяйственных культур от урожайности / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина // Мелиорация. – 2018. – № 3 (85). – С. 17–23.

159. Дятлов, В. В. Обоснование орошения однолетних кормовых культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах в условиях северо-восточной зоны Республики Беларусь: дис. … канд. техн. наук: 06.01.02 / Дятлов Владимир Владимирович. – Горки, 1994. – 132 с.

160. Прошляков, И. В. Испарение / И. В. Прошляков // Мелиоративная энциклопедия. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – Т. 1 (А-К). – С. 577.

161. Брилёв, М. С. Сравнительная эффективность различных форм и приемов внесения азотных удобрений под сахарную свеклу / М. С. Брилёв, Ж. В. Карипова // Приемы повышения плодородия почв, эффективности удобрений и средств защиты растений: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Горки, 2003. – Ч. 2. – С. 25–28.

162. Бражник, А. П. Влияние органических и минеральных удобрений на продуктивность сахарной свеклы в условиях недостаточного увлажнения Западного Предкавказья: дис. … канд. с-х. наук: 06.01.09 / Бражник Александр Петрович. – Рамонь, 2009. – 178 с.

163. Рекомендации по применению серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры / Г. В. Пироговская [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн., 2020. – 75 с.

164. Пироговская, Г. В. Комплексные минеральные удобрения: разработка, применение, эффективность // Г. В. Пироговская, В. В. Лапа. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2021. – 336 с.

165. Уваров, Г. И. Влияние агротехнологии на сахаристость и элементный состав корнеплодов / Г. И. Уваров, Я. Ю. Боровская // Сахарная свекла. – 2011. – № 8. – С. 23–25.

166. Филимонов, И. Н. Элементы агротехники и продуктивность сахарной свеклы / И. Н. Филимонов // Земледелие. – 2011. – № 3. – С. 38.

167. Шпаар, Д. Регулирование производства сахарной свеклы и сахара в Германии / Д. Шпаар, Д. Шпихер // Сахарная свекла. – 1997. – № 6. – С. 20.

168. Шпаар, Д. Сахарная свекла / Д. Шпаар, Д. Дрегер, А. Захаренко. – Мн., 2000. – 163 с.

169. Бусел, И. П. Экономика сельского хозяйства: учеб. пособие / И. П. Бусел, П. И. Малихтарович. – Мн.: РИПО, 2014. – 447 с.

170. Набздоров, С. В. Влияние режимов орошения и удобрений на урожай и содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы / С. В. Набздоров // Земледелие и растениеводство. – 2021. – № 3 (136). – С. 14–17.

171. Набздоров, С. В. Исследования режима орошения сахарной свеклы / С. В. Набздоров // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. / под общ. ред. Ю. А. Мажайского, В. И. Желязко. – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2020. – Вып. 8. – С. 127–129.

172. Бусел, И. П. Экономика сельского хозяйства: учеб. пособие / И. П. Бусел, П. И. Малихтарович. – Мн.: РИПО, 2014. – 447 с.

173. Составление технологических карт в растениеводстве: метод. указания / сост. А. С. Тихоненко. – Горки: [б. и.], 2009. – 51 с.

174. Ольгаренко, И. В. Оценка экономической, энергетической и экологической эффективности режимов орошения сельскохозяйственных культур / И. В. Ольгаренко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2010. – Вып. 43. – С. 181–185.

175. Васильев, С. М. Пути повышения экономической эффективности использования орошаемых земель / С. М. Васильев, Н. И. Сафарова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2010. – Вып. 43. – С. 199–204.

176. Лихацевич, А. П. Выбор способа орошения сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, А. А. Левкевич // Мелиорация. – 2015. – № 2 (74). – С. 34–48.

177. Лихацевич, А. П. Зависимость оросительных норм от режима орошения культур / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, И. В. Ополько // Мелиорация. – 2015. – № 1 (73). – С. 44–53.

178. Набздоров, С. В. Эффективность орошения сахарной свеклы при разных дозах внесения минеральных удобрений в условиях восточной части Беларуси / С. В. Набздоров // Вестник БГСХА. – 2021. – № 4. – С. 124–128.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1. ВОЗДЕЛЫВАНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ 4
1.1. Интенсификация свекловодства – основа повышения конкурентоспособности сахарной промышленности Беларуси 4
1.2. Особенности режима орошения и водопотребления сахарной свеклы 8
1.3. Основные направления повышения эффективности возделывания сахарной свеклы в условиях Беларуси 12
1.4. Влияние влагообеспеченности вегетационного периода на урожайность сахарной свеклы в Беларуси 17
2. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ 22
2.1. Агроклиматическая характеристика северо-восточного региона Республики Беларусь 22
2.2. Характеристика опытного участка 26
2.3. Схема опыта и методика проведения исследований 28
2.4. Метеорологические условия в годы проведения исследований, оценка необходимости дополнительного увлажнения сахарной свеклы 34
3. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ 41
3.1. Динамика влагозапасов почвы по вариантам опыта 41
3.2. Увлажненность вегетационных периодов и режимы орошения сахарной свеклы 47
3.3. Определение водопотребления сахарной свеклы 52
3.4. Оценка точности биоклиматического метода расчета водопотребления сахарной свеклы 57
3.5. Зависимость водопотребления от погодных условий и урожайности сахарной свеклы 67
4. ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ И УДОБРЕНИЙ НА ДИНАМИКУ РОСТА И УРОЖАЙНОСТЬ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ 81
4.1. Влияние удобрений и орошения на рост корнеплодов сахарной свеклы 81
4.2. Зависимость урожайности сахарной свеклы от удобрений и орошения 92
5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ ОРОШЕНИИ 97
5.1. Зависимость экономической эффективности возделывания сахарной свеклы от режима орошения 97
5.2. Экономическая эффективность возделывания сахарной свеклы при орошении в зависимости от доз минеральных удобрений 100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 106
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 107

Научное издание

Набздоров Сергей Васильевич

ВОЗДЕЛЫВАНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ
В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

Монография

Редактор *С. Н. Кириленко*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 04.09.2026. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 6,97. Уч.-изд. л. 6,23.
Тираж 100 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.