

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

ВИННИКОВ ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

**КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ И ПРИЕМЫ
ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛУКА НА СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ
ПОЧВАХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор

С.М. Григоров

Волгоград – 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. 1. Проблемы и перспективы возделывания лука при капельном орошении (состояние вопроса)	9
1.1 Агробиологические особенности репчатого лука	9
1.2 Преимущества и перспективы возделывания репчатого лука при капельном орошении	14
1.3 Степень разработанности технологий управления водным режимом почвы при возделывании репчатого лука на орошаемых землях	18
1.4 Особенности агротехники возделывания репчатого лука. Обоснование направления исследований	23
2. Программные вопросы и методики исследований	30
2.1 Вопросы исследований и экспериментальные планы	30
2.2 Методики постановки опыта, наблюдений и исследований	36
2.3 Место проведения экспериментальных исследований и характеристика опытного участка	42
2.3.1 Почвенный покров	42
2.3.2 Агрометеорологические условия вегетационного периода	46
2.3.3 Агротехника опытной культуры	51
3. Водный режим почвы и водопотребление репчатого лука при капельном орошении	55
3.1 Особенности увлажнения почвы при поливе лука капельным способом	55
3.2 Режим капельного орошения репчатого лука в опытах	65
3.3 Водопотребление и основные статьи баланса почвенной влаги при капельном орошении репчатого лука	77
3.4 Биоклиматическое прогнозирование потребности в проведении очередного полива при капельном орошении репчатого лука	86

4.	Закономерности развития и фотосинтетическая активность посевов репчатого лука	92
4.1	Анализ результатов фенологических наблюдений	92
4.2	Фотосинтетическая активность репчатого лука при разных режимах капельного орошения и способах посева	100
4.3	Оценка вариантов опыта по накоплению органического вещества посевами репчатого лука	116
4.4	Закономерности формирования урожайности репчатого лука при капельном орошении	125
5.	Эффективность сочетания урожаеобразующих факторов при капельном орошении репчатого лука	131
5.1	Эффективность использования водных ресурсов как комплексный критерий эффективности орошения лука	131
5.2	Качество урожая как комплексный критерий оценки эффективности сочетания урожаеобразующих факторов	137
5.3	Экономическое обоснование сочетания мелиоративных режимов и приемов возделывания репчатого лука при капельном орошении	145
	Заключение.....	153
	Список литературы	157
	Приложения	176

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Репчатый лук является одной из наиболее ценных, высоковитаминизированных овощных культур. В мире его производство непрерывно растет, а современные сборы достигают 87,0 млн. тонн в год. При этом еще совсем недавно, до введения продовольственного эмбарго, в Россию завозилось около 455 тыс. тонн репчатого лука на сумму свыше 150 млн долларов. Сегодня ситуация на российском продовольственном рынке изменилась, и у отечественных сельхозтоваропроизводителей появился реальный шанс занять достойную нишу, в том числе, в сегменте лукового рынка. Следует понимать, что эта ситуация создана искусственно, в связи с чем, указанный «шанс» на освоение отечественного рынка продовольствия, в том числе, в сегменте лукового рынка, представляется в качестве определенной «форы» на разработку и внедрение конкурентоспособных технологий производства.

Современные конкурентоспособные технологии можно охарактеризовать, по крайней мере, двумя параметрами: интенсивностью, качественным показателем которой является объем продукции на единицу площади пашни, и эффективностью, характеризующейся затратами основных вовлекаемых ресурсов на производство единицы продукции. Современный уровень продуктивности лука в основных лукосеющих странах достигает 46,4-51,7 т/га. В России средняя урожайность лука составляет 22,6 т/га. Поэтому актуальной задачей современности является повышение урожайности репчатого лука, прежде всего, на высокоценных, орошаемых землях, с целевым уровнем продуктивности не менее 100 т/га и соблюдением принципов ресурсосбережения и экологической безопасности производства.

Степень разработанности темы исследований. Современные алгоритмы оптимального управления водным режимом почвы, разработке которых посвящены исследования И.П. Айдарова, А.И. Голованова, Ю.Н. Никольского (1990), С.Ф. Аверьянова (2015), И.П. Кружилина (1988, 2002) А.С. Овчинникова, В.В. Бородычева (2015), Н.А. Пронько, В.В. Корсака (2012), Г.В. Ольгаренко (2012), направлены на реализацию технологии «контролируемого полива», ориентированной на

удовлетворение биологических потребностей возделываемых культур. В тоже время анализ результатов исследований А.А. Казаковой (1970), В.М. Жидкова, И.В. Кривцова, О.В. Резниковой (2006), Н.В. Кузнецовой, Л.Н. Маковкиной (2010, 2015), М.Ю. Анишко, В.П. Зволинского (2011), Н.Н. Дубенка (2008, 2012), В.С. Казаченко (2011) и др. ученых показал отсутствие систематизированного материала, позволяющего оптимизировать горизонт промачивания почвы при орошении репчатого лука капельным способом. При постановке задач исследований учитывалась взаимосвязь параметров формируемого контура увлажнения почвы, в частности глубины промачивания и диаметра бокового растекания влаги, а также влияние приемов возделывания лука на общую продуктивность, водопотребление и формирование водного режима почвы в посевах.

Цель исследований – повышение эффективности капельного орошения репчатого лука за счет обоснования мощности расчетного слоя почвы и приемов возделывания на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья, обеспечивающих получение не менее 100 т/га товарных луковиц.

Задачи исследований:

– изучить закономерности формирования зон локального увлажнения при капельном орошении светло-каштановых среднесуглинистых почв Нижнего Поволжья и возможности применения традиционных схем раскладки поливных трубопроводов при поливе репчатого лука с различными уровнями предполивной влажности почвы;

– исследовать особенности формирования водного режима почвы и режима капельного орошения репчатого лука в зависимости от мощности расчетного слоя увлажнения;

– провести анализ динамики водопотребления и уточнить параметры биоклиматической модели для репчатого лука с учетом мощности увлажняемого слоя почвы и приемов возделывания;

– изучить закономерности развития, способы активизации фотосинтетической деятельности и накопления биомассы лука в зависимости от мощности увлажняемого слоя почвы при разных способах посева;

– оценить потенциал продуктивности и качество урожая репчатого лука при разных режимах капельного орошения и в зависимости от изучаемых приемов возделывания;

– провести экономическое обоснование глубины увлажнения почвы и сочетание приемов возделывания репчатого лука при капельном орошении.

Научная новизна. Впервые в регионе проведены исследования по обоснованию расчетной мощности увлажняемого слоя почвы с учетом особенностей локального распределения влаги при капельном орошении репчатого лука на светло-каштановых среднесуглинистых почвах Нижнего Поволжья. С учетом товарно-сбытовой стратегии предприятия обоснованы приоритеты применения различных способов посева репчатого лука, проведена оценка их влияния на суммарное водопотребление и параметры биоклиматической модели посевов этой культуры. Впервые изучены перспективы использования грядовой технологии при возделывании репчатого лука на капельном орошении.

Теоретическая и практическая значимость работы. Установлены закономерности локального распределения влаги в почве при капельном орошении в зависимости от уровня предполивной влажности почвы; изучены особенности формирования режима капельного орошения и суммарного водопотребления репчатого лука в зависимости от мощности расчетного слоя увлажнения почвы и сочетания приемов возделывания; определены ключевые параметры продукционного процесса лука и факторы, определяющие получение наибольших урожаев.

Практическая значимость работы заключается в уточнении биоклиматических коэффициентов испарения влаги посевами репчатого лука для оптимального сочетания изучаемых факторов, научном обосновании расчетной глубины увлажнения почвы при капельном орошении лука и сочетания приемов возделывания, обеспечивающих получение не менее 100 т/га товарных луковиц.

Методы исследований. В качестве методологической основы исследований принят метод полевого эксперимента. Разработка программы исследований и закладка полевого опыта осуществлялась в соответствии с требованиями общепринятых методик (Методика полевого опыта, Б.А. Доспехов, 1985, Планирование

эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов, С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин, 1980, Методы изучения водного режима почв, А.А. Роде, 1960, Методика полевого опыта в овощеводстве, С.С. Литвинов, 2011). Контроль за влажностью почвы осуществляли по комбинированной схеме на основе непрерывного тензиометрического мониторинга и систематических отборов проб почвы для определения влажности термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268-89).

Основные положения, выносимые на защиту:

– закономерности локального распределения влаги и формирования водного режима почвы при капельном орошении в зависимости от мощности увлажняемого горизонта и сочетания приемов возделывания репчатого лука;

– основные факторы активизации роста, фотосинтетической деятельности и формирования урожая высококачественной продукции при капельном орошении репчатого лука;

– научно-обоснованная глубина увлажнения почвы и сочетание приемов возделывания репчатого лука, обеспечивающие гарантированное формирование не менее 100 т/га урожая стандартного качества.

Степень достоверности исследований подтверждается разработкой программы исследований и закладкой полевого эксперимента с использованием апробированных общепринятых методик, закладкой вариантов полевого опыта в 4-х повторностях, получением достаточного объема опытных данных, позволяющих делать уверенные выводы, суть которых не противоречит общим известным положениям сельскохозяйственной науки. Рекомендации производству апробированы на практике и использовались при выращивании лука в КФХ «Кружилин К.Ю.» Городищенского района Волгоградской области на площади 6 га. Апробация подтвердила возможность повышения рентабельности производства лука до 150 % за счет использования рекомендуемой глубины увлажнения почвы при капельном орошении, а также сочетания 6-ти строчного способа посева с применением грядковых технологий возделывания, обеспечивающих формирование свыше 110 т/га товарной продукции.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертационной работы докладывались на международных научно-практических конференциях «Научные основы природообустройства России: проблемы, современное состояние, шаги в будущее» (ФГБОУ ВО ВолГАУ, 2014 г.), «Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях» (ФГБОУ ВО ВолГАУ, 2015 г.), «Проблемы рационального использования природохозяйственных комплексов засушливых территорий» (ФГБНУ ПНИИАЗ, 2015 г.), «Стратегические ориентиры инновационного развития АПК в современных экономических условиях» (ФГБОУ ВО ВолГАУ, 2016 г.), на Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы, современное состояние, инновации в области природообустройства и строительства» (ФГБОУ ВО ДальГАУ, 2015 г.), на национальной научно-практической конференции «Современное научное знание в условиях системных изменений» (Тарский филиал ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2016).

Публикации. В рамках утвержденного направления исследований опубликовано 10 работ, общим объемом 3,47 п.л., в том числе соискателем- 2,45 п.л., из них 5 опубликовано в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа включает введение, 5 глав, заключение, список использованной литературы и приложения. Работа изложена на 201 странице, включает 30 таблиц, 28 рисунков, 26 приложений. Список использованной литературы включает 166 источников, в том числе 6- на иностранных языках.

1. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛУКА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ (состояние вопроса).

1.1 Агробиологические особенности репчатого лука

Рассматриваемая культура - лук репчатый (*Allium cepa* L.), - относится к известному роду луковых (*Allium* L.), входящему в одно из самых многочисленных семейств лилейных (*Liliaceae* L.). Согласно классификации по потребляемым в пищу частям репчатый лук относится к луковичным овощам, формирующим настоящую луковицу [100]. Классификация по продолжительности жизни относит репчатый лук к двулетним культурам. По происхождению репчатый лук относят к Юго-западному Азиатскому центру, наряду с рядом других культур, таких как лук Вавилова, чеснок, лук-порей, горох, бобы, ревеня, салат и эндемичные формы капусты [145].

Двулетний цикл развития репчатого лука реализуется следующим образом:

- в первый год (сезон) развития у лука образуется настоящая луковица, которая и является хозяйственно ценной частью урожая этой культуры;
- на второй год (сезон) репчатый лук вступает в репродуктивную фазу развития, которая заканчивается образованием семян.

Следует признать, что размножение лука можно осуществлять как семенами, так и луковичками, что особенно характерно для северных форм [71]. Луковички в этом случае образуют дочерние формы, которые лишь в процессе вегетации связаны стеблем с материнской луковичкой. После созревания дочерние луковички отделяются, что позволяет их использовать для вегетативного размножения.

Результат первого года развития лука - настоящая луковица, по строению включает сухие и сочные чешуи, а также укороченную форму стебля, - донца. Сухие чешуи луковички могут приобретать различную цветовую окраску, что является одним из наиболее типичных признаков, характеризующих сортовые различия [17].

В зависимости от сорта также могут формироваться луковицы различной плотности, которая, как правило, тесно коррелирует с ее размером, вкусовыми параметрами и остротой [71].

Вегетативная часть растений лука представлена характерными, трубчатыми листьями с восковым налетом [17]. Собственно, сочные чешуи луковицы, являются специфически утолщенным основанием листьев. Основания листьев охватывают почку, а каждый новый образующийся лист формируется внутри охватывающих его оснований ранее сформированных листьев. Цикл жизни зеленой части листа охватывает только вегетативный период, по завершению которого – отмирает, ссыхаясь и образуя «шейку» луковицы. При благоприятных условиях «шейка» луковицы формируется плотной и тонкой, что позволяет предотвратить попадание внутрь болезнетворных бактерий и способствует длительному хранению урожая.

Наиважнейшей с агротехнической точки зрения особенностью репчатого лука является его слабо развитая корневая система. Однако, при слабом охвате почвенных горизонтов, корни репчатого лука способны к ветвлению, образуя корни первого и второго порядков, которые, как правило, густо покрыты корневыми волосками [100]. Большая часть массы корней репчатого лука располагается в самом верхнем, пахотном слое почвы.

Лук репчатый, как и большинство введенных в культуру из рода луковых (*Allium L.*), относится к холодостойким растениям [11]. При посеве семенами, процесс прорастания запускается уже при температуре 1-2 °С. Однако, сила роста и динамика начального развития растений репчатого лука существенно повышается при увеличении температуры. В работе [71] приводятся данные, свидетельствующие о возможности растягивания периода от посева до всходов вплоть до 1 месяца при сохранении температурного режима на уровне 1-2 °С. В тоже время отмечается, что при температуре в 14-15 °С всходы появляются через 14 дней, а при повышении температурного режима до 20-22 °С всходы могут появляться уже в течение одной недели. Вероятно, этот температурный режим и следует считать оптимальным для фазы прорастания семян и развития растений до петельковых

всходов. Формирование петельковых всходов является характерным для культуры репчатого лука. Петелька образуется еще на ранних стадиях развития растений из семени в почве. Одна часть коленообразной петельки остается в семени, а с другой стороны формируется корешок. Эта особенность диктует особые требования к посеву репчатого лука при возделывании из семян, так как при излишне глубокой заделке семян из почвы может извлекаться корешок, а не семя [125]. В фазу петельковых всходов культура репчатого лука относительно устойчива к похолоданиям, однако, не переносит заморозков ниже -2°C .

Первая почка и первый настоящий лист образуется по прошествии четырех-семи дней с момента появления петельковых всходов. После образования настоящего листа петельковые всходы отмирают, что на некоторое время придает посеву специфичный желтоватый оттенок. Настоящие листья репчатого лука могут выдерживать заморозки до -15°C , однако, наиболее благоприятные условия для их развития создаются при температуре окружающей среды от 15 до 25°C [71]. В то же время есть сведения, что лук относительно легко переносит и жару до 35°C [11].

Новообразование листьев у репчатого лука происходит с интервалом в 4-7 дней, однако, рост их в первое время сильно замедлен. Согласно опубликованным в литературе данным [143], даже после месяца развития с момента появления петельковых всходов площадь поверхности листьев лукового растения не превышает нескольких квадратных сантиметров. Первые, сформированные настоящие листья у репчатого лука очень малы и только с образованием четвертого-пятого листа начинают динамично увеличиваться в размерах. Неблагоприятные условия в период формирования новых настоящих листьев могут спровоцировать преждевременный переход к формированию луковицы. Новых листьев после этого уже не образуется, а значит и общее число сочных чешуек может существенно снижаться. Как следствие, может существенно снижаться урожайность репчатого лука.

На рост листового аппарата и формирование луковицы репчатого лука существенное влияние оказывает и длина светового дня [125]. Указывается, что лук

относится к группе длиннодневных культур, возделываемых в Российской Федерации. Это означает, что наибольшая динамика нарастания листьев и наиболее активное развитие луковицы происходит при естественно увеличивающейся продолжительности дня. Для сортов южной селекции оптимальная продолжительность светового дня, при котором продукционный процесс протекает наиболее активно, составляет не менее 13-15 часов. При более коротких световых периодах луковые растения растут хорошо, но луковица не образуется. То же самое наблюдается и при использовании сортов лука северной селекции в южных регионах России.

Большое значение для культуры репчатого лука имеет и интенсивность светового освещения. В условиях слабого освещения, например, при зарастании посевов сорняками или чрезмерном загущении посевов, фотосинтез лука существенно замедляется, снижаются темпы роста и накопления органического вещества [37, 71]. Наряду с торможением ростовых процессов замедляется и развитие репчатого лука, в результате чего луковицы могут не вызревать и их длительное хранение становится невозможным.

В силу ряда специфических агробиологических особенностей, - формирования значительной вегетативной массы при относительно слабом развитии корневой системы, - культура репчатого лука отличается особенно высокими требованиями к эффективному плодородию почвы и условиям влагообеспечения. По мнению [100] для создания благоприятных условий произрастания репчатому луку требуются хорошо аэрируемые почвы с глубоким пахотным слоем и легким механическим составом. Другие исследователи также подтверждают, что лучшие результаты обеспечиваются при возделывании лука на средних или легких суглинках, а также на супесчаных почвах [11, 17, 20, 143]. Хорошо удается лук на не заплывающих черноземах с мелкокомковатой структурой, однако, перспективно использование и слабогумусных почв при применении правильной системы удобрения.

Применение азотных удобрений обеспечивает создание благоприятных условий для новообразования и активного роста листьев, но при избыточном питании нарушается баланс между развитием вегетативной части растений и луковиц, за-

медляются темпы развития, снижается урожайность и качество луковиц [125]. В тоже время при недостатке азота снижаются темпы роста листового аппарата, сокращается общее число листьев сформированных растением, что отражается на размерах луковиц и урожайности посевов.

Применение фосфорных удобрений на малопродуктивных типах почв характеризуется повышением устойчивости посевов к грибковым болезням, ускоряет темпы развития культуры, увеличивает темпы формирования и роста луковиц, уравнивает действие азотного питания [71, 100]. Калийное питание увеличивает холодостойкость репчатого лука, активизирует фотосинтез растений, что отражается в увеличении динамики накопления органического вещества и запасании пластических веществ в луковицах растений.

Требования луковых растений к почвенной влаге, наряду с особенностями и динамикой развития корневой системы, определяется активной транспирацией воды в период наибольшего развития вегетативной части растений. Исследованиями [8] установлено, что потребность репчатого лука в воде в полтора раза выше, чем у картофеля и существенно больше, чем у таких культур, как томаты, столовая свекла или морковь. По данным, приведенным в опубликованной литературе [11], на формирование одного центнера урожая луковиц затрачивается от 5 до 7 кубометров воды.

Своевременное водообеспечение посевов лука особенно важно после посева, так как эта мелкосемянная культура остро нуждается в дополнительной влаге для инициации прорастания семени [53, 100]. Критическим по отношению к доступности почвенной влаги считаются и первые 3-4 недели развития лука после всходов, в период формирования корневой системы. В период активного нарастания вегетативной части и формирования луковицы высокая требовательность лука к наличию доступной растениям почвенной влаги сохраняется из-за активного расхода воды на транспирацию. Особенно это актуально для южных регионов страны, где среднесуточное водопотребление лука может достигать 50-60 м³/га и более [11, 26, 27, 36, 148, 149]. Относительной устойчивостью репчатого лука к дефициту почвенной влаги характеризуется только периоды активного роста и со-

зревания луковицы. При этом следует учитывать, что чрезмерно высокая влажность воздуха, особенно в совокупности с жарким климатом, способны провоцировать развитие грибковых болезней. Оптимальные значения влажности воздуха лежат в диапазоне от 60 до 70 % [71, 125].

Таким образом, репчатый лук является чрезвычайно сложной в производственном отношении культурой, предъявляющей особые требования к большинству факторов жизни. В засушливых условиях юга России, где производство репчатого лука особенно перспективно, выращивание этой культуры невозможно без орошения. При этом противоречивые требования биологии культуры к доступности почвенной влаги и влажности воздуха обуславливают особые требования к выбору способов орошения. Другим важным агробиологическим аспектом, обуславливающим эффективность выращивания лука, является его высокая требовательность к интенсивности освещения и площади питания растений. Это обуславливает особые требования к архитектонике посева, формирование которой, кроме прочего, должно учитывать и особенности применяемого способа полива. Безусловно, важной агробиологической особенностью культуры, является ее требовательность к почвенным условиям, в частности, по глубине рыхления и мощности гумусного горизонта. Следует признать, что для большинства орошаемых земель Нижневолжского региона, это условие не выполняется.

1.2 Преимущества и перспективы возделывания репчатого лука при капельном орошении

Биологические предпосылки ключевых проблем возделывания репчатого лука в промышленной культуре сводятся, преимущественно, к двум основным факторам [11, 17, 26, 27, 28, 29, 33, 55, 62, 72, 136, 149, 150, 157]:

– с одной стороны это высокая водотребовательность культуры, обуславливающая в засушливых условиях юга России необходимость интенсивного орошения;

– с другой стороны это слабая устойчивость к фитопатогенной микрофлоре, обуславливающая в условиях интенсивного водообеспечения динамичное развитие и распространение фитоболезней, существенно снижающих качество и уровень урожая.

В сочетании эти факторы обуславливают особую значимость выбора технологии и способов полива лука. К одним из наиболее перспективных способов полива репчатого лука сегодня относят капельное орошение [28, 73, 150]. Наиболее важными для промышленной культуры лука преимуществами капельного орошения являются [28, 31, 34, 62, 72, 108, 116, 117, 150, 157]:

– особые условия аэрации почвы, которые не ухудшаются даже во время проведения поливов. В ходе формирования контура увлажнения происходит дифференциация увлажняемого объема по степени насыщения влагой, причем большая часть увлажняемого объема почвы отличается оптимальным соотношением содержания влаги и воздуха [62, 119]. В результате создаются оптимальные условия для роста и функционирования корневой системы на протяжении всего вегетационного периода [60, 150, 157];

– обеспечивается активное развитие и оптимальное распределение корней в почве. Корни репчатого лука размещаются, преимущественно, в зоне водоподачи капельниц, корневая система характеризуется выраженной мочковатостью с обилием активных корневых волосков [150]. За счет этого, а также за счет возможности внесения питательных элементов с поливной водой возрастает продукционная активность корневой системы, усиливается водообмен, динамика поглощения питательных веществ [152, 154];

– формирование особого микроклимата посева. Этот фактор является и достоинством и недостатком капельного способа орошения и рассматривается с разных позиций в зависимости от возделываемой культуры. При этом отсутствие прямого увлажнения вегетационной части растений в отношении лука можно считать преимуществом капельного способа орошения [55, 136, 157]. Относительная влажность воздуха в среде посева при этом поддерживается только за счет пассивной

транспирации растений, что создает неблагоприятные условия для развития болезней и распространения вредителей;

– применение капельного способа орошения для полива лука позволяет отказаться от использования контактных ядохимикатов, заменив их на пестициды системного действия. Системные пестициды действуют «изнутри», не смываются атмосферными осадками, что позволяет существенно сократить объемы их применения и повысить экологическую безопасность производства [17, 28,];

– повышение технологичности производства. При капельном орошении оросительная вода подается непосредственно в зону размещения растений, тогда как междурядья остаются не политыми. Это позволяет выполнять агротехнические мероприятия даже во время проведения полива. Кроме того, без полива в междурядьях меньше развивается сорная растительность, а почва дольше остается рыхлой и хорошо аэрируемой, что позволяет существенно сократить число обработок [72, 108];

– сохранение мелиоративного состояния почв. Низкоинтенсивная водоподача при капельном орошении предотвращает развитие эрозионных процессов, а практическое отсутствие инфильтрационного сброса позволяет контролировать подъем уровня грунтовых воды и предупреждать развитие вторичного засоления [16, 142];

– экономию воды. За счет сокращения доли увлажняемой площади поля при капельном орошении существенно сокращается поверхность физического испарения почвенной влаги [28, 31]. Это, а также предотвращение потерь оросительной воды на инфильтрационный сброс и поверхностный сток, позволяет экономить до 25-50 % водных ресурсов [108, 160];

– экологическую безопасность. Практическое отсутствие инфильтрационного сброса и поверхностного стока оросительной воды при капельном орошении обеспечивает предотвращение и опасное перемещение токсичных соединений, а также других продуктов химизации производства до их полного разложения [16, 17, 31];

– высокотехнологичное обеспечение применения фертигации. При этом фертигация при капельном орошении обеспечивает внесение удобрений непосредственно в прикорневую зону, дозировано, что повышает коэффициент использования питательных веществ и предотвращает вымывание удобрений даже в случае выпадения обильных осадков. Применение фертигации в сравнении с другими способами внесения удобрений при капельном орошении обеспечивает возможность непрерывного поддержания требуемой концентрации питательного раствора в почве, в том числе, в почвах с низкой поглотительной способностью и низким содержанием питательных элементов. При этом отмечается существенное (на 15-35 %) повышение эффективности использования удобрений, возможности экономии труда и энергии на внесение удобрений [28, 154].

Таким образом, капельное орошение, как способ полива в наибольшей степени соответствует биологии репчатого лука, обеспечивает возможность использования энергоэкономичных, интенсивных технологий с получением гарантированных урожаев. По данным [150], полученным на основании анализа урожайности репчатого лука в пяти хозяйствах, расположенных в зоне распространения светло-каштановых, темно-каштановых почв и южных черноземов, капельное орошение гарантированно обеспечивает возможность получения свыше 70 т/га луковиц стандартного качества. Высокая эффективность возделывания репчатого лука при орошении капельным способом подтверждается также результатами исследований В.И. Филина и О.П. Казаченко [154], которыми на светло-каштановых почвах Волгоградской области на фоне внесения повышенной дозы удобрений $N_{240}P_{120}K_{120}$ было получено 93,1 т/га товарной продукции. В тоже время при орошении лука способом дождевания в условиях опытного производства [96] урожайность репчатого лука не превышала 40 т/га, что также подтверждает преимущества и характеризует перспективы использования капельного способа орошения. При этом главной задачей аграрной науки является совершенствование, как технологического цикла в целом, так и отдельных агротехнических и мелиоративных приемов возделывания лука, обеспечивающих наиболее полное и рациональное использование указанных преимуществ капельного способа орошения.

1.3 Степень разработанности технологий управления водным режимом почвы при возделывании репчатого лука на орошаемых землях

Современные модели управления водным режимом почвы в зонах орошаемого земледелия традиционно опираются на водно-балансовые расчетные схемы, в которых текущее и прогнозируемое содержание почвенной влаги определяется разностью расходуемой и поступающей в расчетный слой почвы воды [3, 6, 23, 25, 93, 132, 159]. Важной задачей таких моделей является ретроспективный расчет и прогноз водопотребления орошаемых культур.

Как уже было отмечено, при сравнительно слабо развитой корневой системе, репчатый лук отличается интенсивным водопотреблением [11, 71, 100, 125]. По данным [36], полученным в условиях засушливого климата юга Украины, интенсивность водопотребления репчатого лука возрастает с повышением порога предполивной влажности почвы и существенно изменяется в зависимости от применяемого способа орошения. Например, при орошении способом микродождевания среднесуточное водопотребление лука изменялось от 38,3-39,5 м³/га в сут., при поддержании дифференцированного, 80-70-70 % НВ, порога предполивной влажности почвы до 39,0-40,9 м³/га в сут., при поддержании предполивной влажности почвы не ниже 90-80-70 % НВ. При орошении капельным способом интенсивность водопотребления репчатого лука снижалась, составляя 35,0-36,4 м³/га в сут. на участках, где порог предполивной влажности почвы поддерживали на уровне 80-70-70 % НВ, и 35,4-37,1 м³/га в сут. при поддержании дифференцированного предполивного уровня 90-80-70 % НВ.

Исследованиями в засушливых условиях Ростовской области [14] получены данные, подтверждающие зависимость суммарного водопотребления репчатого лука от уровня предполивной влажности почвы. В опытах по водному режиму почвы к изучению были поставлены два варианта с поддержанием постоянного предполивного уровня влажности почвы не ниже 70 % НВ и не ниже 80 % НВ. В первом случае суммарное водопотребление лука составляло 4 520-4 850 м³/га, а во втором – достигало 4 920 - 5 400 м³/га. Исследованиями также отмечено суще-

ственное влияние уровня минерального питания на динамику расходования влаги посевами. Так, на фоне естественного плодородия почвы, суммарное водопотребление репчатого лука не превышало 4 520 м³/га при поддержании постоянного предполивного уровня влажности почвы 70 % НВ и 4 920 м³/га, - при проведении поливов для поддержания предполивного уровня 80 % НВ.

Исследования В.А. Кулыгина [96] в Северо-Кавказском регионе России показали возможность получения относительно невысоких урожаев лука, 35,2-40,9 т/га, при суммарном водопотреблении не более 4 680-5 240 м³/га. Исследованиями отмечено, что суммарное водопотребление репчатого лука существенно возрастает с повышением порога предполивной влажности почвы от 4 680 м³/га при поддержании постоянного предполивного уровня 70 % НВ до 5 240 м³/га, при поддержании предполивного порога не ниже 80 % НВ в течение всего вегетационного периода. Однако, наибольший урожай лука, 40,9 т/га, был получен при поддержании дифференцированного, 80-80-70 % НВ, предполивного порога с суммарным расходом воды посевами 5 150 м³/га.

Исследованиями Ю.Н. Плескачева и В.И. Чунихина [126, 127], проведенными в условиях сухостепной зоны светло-каштановых почв Нижнего Поволжья, установлено, что при формировании высокопродуктивного агроценоза репчатого лука с обеспечением до 80 т/га высококачественного урожая суммарное водопотребление достигает 5 740-6 430 м³/га. При этом с увеличением уровня продуктивности орошаемого лука величина суммарного водопотребления существенно возрастает. Например, для формирования урожайности 90 т/га товарных луковиц, посевам потребовалось израсходовать 6 480-7 130 м³/га воды, а при обеспечении урожайности не ниже 100 т/га суммарный расход влаги посевами достигал, в среднем, 6 840-7 440 м³/га. Основной приходной статьей баланса почвенной влаги являлась оросительная вода, составляющей до 74,4 % от суммарно расходуемого объема влаги. При этом восполнение дефицита почвенной влаги за счет атмосферных осадков не превышало 25 % суммарного водопотребления, а доля использования почвенной влаги оказалась в минимуме, составляя 2,5-2,6 %. На основании проведенных исследований авторы делают обоснованный вывод, что

общее количество выпадающих атмосферных осадков и запасы почвенной влаги в регионе не могут создать оптимальные условия водного режима для выращивания лука репчатого.

В опытах [110] порог предполивной влажности почвы поддерживали по вариантам на уровне 65, 75 и 85 % НВ, суммарное водопотребление лука в которых соответственно составило 5 940, 6 260 и 6 740 м³/га. Для поддержания порога предполивной влажности почвы на уровне 65 % НВ в слое 0,4 м дождевальная машина «Rainstar» проводилось от 8 до 9 поливов со средней оросительной нормой 3 440-3 870 м³/га. Показано, что для поддержания предполивного уровня 75 % НВ требуется существенно большее число поливов, до 12-15 за вегетацию со средней оросительной нормой 3 600-4 500 м³/га. Для поддержания предполивной влажности почвы не ниже 85 % НВ исследователям потребовалось провести 20-25 поливов с расходом 4 000-5 000 м³/га оросительной воды за вегетацию.

Исследованиями Н.Н. Дубенка, В.В. Выборнова, М.П. Богданенко [59] была проведена вариационная оценка режима орошения раннего рассадного лука при капельном способе орошения. Исследования проводились в засушливых условиях Волгоградского правобережья, в зоне распространения светло-каштановых почв средне и тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Порог предполивной влажности почвы по вариантам опыта поддерживали постоянным в течение вегетационного периода на уровне 70, 80 и 90 % НВ. Результаты эксперимента были обработаны стандартными статистическими методами, с определением математического ожидания, коэффициента вариации и доли дисперсии значений по исследуемым факторам. Исследованиями установлено, что средние затраты оросительной воды для полива лука в период «высадка рассады - начало формирования луковицы» составляют 330 м³/га с возможной вариацией более 50 %. Причем наибольший вклад в вариацию динамики расходования оросительной воды в этот период вносил метеорологический фактор. В фазу формирования – начала активного роста луковицы средний уровень затрат оросительной воды составил 370 м³/га, а коэффициент вариации – 21,7 %. Средние затраты оросительной воды для полива лука в фазу активного роста луковицы достигали 1 280 м³/га при коэффи-

циенте вариации 23,8 % с наибольшей долей вариации по факторам предполивной влажности почвы (45,0 %) и метеоусловий (34,1 %). Наибольший урожай репчатого лука, 82,4-95,6 т/га, при наименьшем коэффициенте водопотребления, 38,7-46,4 м³/т был получен при поддержании постоянного предполивного порога влажности почвы не ниже 80 % НВ.

В условиях юга Украины [36] при орошении способом микрождевания урожайность репчатого лука изменялась в пределах 30,3-92,0 т/га, возрастая с 30,3-88,2 т/га, при поддержании порога предполивной влажности почвы на уровне 80-70-70 % НВ до 36,6-92,0 т/га, при поддержании предполивного уровня не ниже 90-80-70 % НВ. В условиях капельного орошения урожайность репчатого лука составила 24,1-87,2 т/га на фоне поддержания предполивного уровня влажности почвы 80-70-70 % НВ и 27,8-89,3 т/га при проведении поливов для поддержания предполивного порога влажности почвы не ниже 90-80-70 % НВ.

В опытах А.Н. Бабичева, Е.А. Бабичевой [14], проведенных в засушливых условиях Ростовской области наибольшая урожайность репчатого лука, 51,9 т/га, была получена при поддержании постоянного в течение вегетационного периода предполивного порога не ниже 80 % НВ. При этом отмечено, что сокращение предполивного порога до 70 % НВ приводило к снижению уровня продуктивности до 45,3 т/га, а на богарных участках урожайность не превышала 22,5 т/га стандартных луковиц.

Опытами [158] на светло-каштановых почвах Волгоградской области доказана возможность получения до 60-63 т/га высококачественного урожая при поддержании порога предполивной влажности почвы на уровне 70 % НВ в течение вегетационного периода и до 68 т/га, при поддержании дифференцированного 70-80-70 % НВ предполивного порога с увеличением интенсивности водообеспечения в период интенсивного роста луковиц. Характерно, что такая урожайность лука была получена на фоне естественного плодородия почвы.

Исследованиями [126] показана возможность формирования урожая высококачественных луковиц до 80 т/га при поддержании постоянного порога предполивной влажности почвы не ниже 70 % НВ. При этом для обеспечения общего

уровня продуктивности лукового ценоза не ниже 100 т/га потребовалось повышение предполивного порога влажности почвы до 80 % НВ в период формирования и интенсивного роста луковиц.

В опытах [109, 110] при поддержании смешенных, 65, 75 и 85 % НВ, порогов предполивной влажности почвы урожайность репчатого лука изменялась в пределах 20,6-43,7 т/га. Наибольшую урожайность, 43,7 т/га, удалось получить при поддержании предполивного уровня влажности почвы регулярными дождевальными поливами не ниже 85 % НВ.

В опытах Н.В. Кузнецовой, Л.Н. Маковкиной [94, 95] наряду с порогами предполивной влажности почвы изучалось влияние на условия влагообеспечения и продуктивность лука мощности промачиваемого горизонта почвы. Варианты опыта включали делянки с регулированием водного режима почвы в слое 0,3 м, в слое 0,6 м и по дифференцированной схеме, - в слое 0,3-0,6 м. Показано, что наибольшая урожайность, свыше 100 т/га, обеспечивается при проведении частых поливов для поддержания дифференцированного, 80-80-70 % НВ, порога предполивной влажности почвы в слое 0,3 м. В тоже время отмечено, что такое сочетание факторов характеризуется наибольшим суммарным расходом воды посевами, который за вегетационный период достигает 8 680 м³/га. Следует признать, что поливы в опытах проводись способом дождевания.

Таким образом, основные статьи баланса почвенной влаги определялись в разных природно-климатических зонах России и за рубежом при разных способах полива. Общей закономерностью является снижение водопотребления репчатого лука при использовании капельного способа полива. В тоже время продуктивность, даже в пределах одной почвенно-климатической зоны существенно различается, что объясняется использованием разных базовых агротехнических комплексов и недостаточной обоснованностью элементов технологии орошения. В частности, особое внимание следует уделить обоснованию оптимального горизонта промачивания почвы при поливе репчатого лука капельным способом.

1.4 Особенности агротехники возделывания репчатого лука. Обоснование направления исследований

Использование современных, научно-обоснованных приемов возделывания репчатого лука является обязательным условием эффективного применения любого способа орошения, в том числе, капельного. Следует признать, что агротехника лука получила научное обоснование в самом широком ареале природно-климатических зон России [1, 11, 17, 22, 24, 29, 35, 66, 67, 97, 136]. При разных приоритетах значимости отдельных агроприемов в разных природно-климатических зонах России, репчатый лук обладает довольно устойчивым комплексом агротехнических требований и подходов оптимизации агротехнологий [71, 100, 125].

Общим мнением ученых является необходимость применения исключительно районированных в регионе сортов лука [11, 28, 100]. Существенное влияние длинны светового дня на продукционный процесс репчатого лука обуславливает существенное снижение урожайности нерайонированных, неадаптированных к световому режиму региона, сортов и гибридов. Этим же объясняются и результаты плодотворной селекционной работы, позволившей районировать в России более 100 сортов и гибридов репчатого лука [100].

В большинстве современных хозяйств России репчатый лук выращивают в составе средне- и короткопольных овощных севооборотов [101, 109]. При этом лук категорически не рекомендуется возвращать на то же место ранее, чем через 3-4 года [28, 37, 71, 143]. Учитывая биологические особенности культуры и накопленный опыт его возделывания в промышленных условиях ученые рекомендуют высаживать лук после пропашных овощных культур, таких как ранний картофель или томаты, огурцы, капуста, кабачки и патиссоны, ранние сорта дынь [11, 71, 100, 109]. При этом особенно ценными считаются предшественники, под которые вносили органические удобрения.

Исследованиями [109] в зоне распространения светло-каштановых почв Волгоградской области изучались возможности повышения хозяйственной и эконо-

мической эффективности возделывания репчатого лука при использовании различных предшественников. В качестве приоритетных предшественников были выбраны морковь, черный пар и сидеральная культура. Исследования показали, что использование сидеральной культуры в качестве предшественника требует дополнительных затрат на обработку почвы. Также увеличиваются расходы, связанные с уборкой, затариванием, перевозкой и хранением прибавки урожая. Но все дополнительные расходы окупались прибавкой урожая. Исследованиями было доказано, что выращивание лука при поддержании предполивного уровня влажности почвы не ниже 85 % НВ по предшествующей сидеральной культуре наиболее рентабельно.

Большинство ученых [11, 17, 35, 71, 72] сходятся во мнении о необходимости особенно тщательной подготовки почвы под лук. Требования к качеству обработки почвы определяются, прежде всего, чувствительностью лука к засоренности посевов, почвенным условиям, а также мелкосемянностью культуры. Указывается, что если культура – предшественник убирается рано, то обработку почвы под лук целесообразно начинать с лущения [71, 100]. Эта операция позволяет закрыть оставшуюся в почве влагу, способствует уничтожению однолетних и многолетних корнеотпрысковых сорняков. На полях, сильно засоренных корнеотпрысковыми сорняками, в дополнение к физическим методам применяют химические способы защиты растений.

При достаточном содержании влаги в почве лущение позволяет спровоцировать прорастание семян сорняков [100, 150]. Это эффект с успехом используется для борьбы с засоренностью посевов путем своевременного проведения зяблевой вспашки.

Главная задача предпосевной обработки почвы заключается в подготовке рыхлого мелкокомковатого почвенного покрова на глубину заделки семян. Сегодня для этих целей при возделывании лука с успехом используются тракторные фрезы, а также комбинированные почвообрабатывающие агрегаты с функцией фрезерной обработки [28].

В силу биологических особенностей лука, его высокой требовательности к условиям минерального питания при относительно слабо развитой корневой системе большое число научных исследований посвящены вопросам применения удобрений [2, 11, 26, 66, 72, 83, 137, 153, 154]. Из данных, приведенных в [100], видно, что доза применяемых минеральных удобрений существенно зависит от почвенных условий региона. Например, на дерново-подзолистых почвах под лук рекомендуется вносить по 100 кг д.в./га азота и калия и 80 кг д.в./га фосфора. На черноземах более эффективным оказалось применение азота, фосфора и калия в равных долях, по 60 кг д.в./га. На светло-каштановых почвах Нижневолжского региона наиболее эффективной оказалась доза $N_{100}P_{120}K_{100}$.

В тоже время, системный анализ литературных источников показывает, что эффективность минерального питания зависит не только от региональных особенностей почвенного покрова, но и от применяемых технологий, использования мелиоративных ресурсов, планируемой урожайности. Например, в опытах [83] оптимальными для получения максимального урожая товарного лука являлось применение удобрений в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$. При этом без орошения в условиях Московской области была получена урожайность товарных луковиц на уровне 43,1 т/га.

Исследованиями [112] в тех же условиях изучалась эффективность применения новых видов микроудобрений и регуляторов роста при возделывании культуры репчатого лука. Было установлено, что оптимизация режима минерального питания за счет применения микроэлементов в активной форме и использование регулятора роста Энерген-экстра обеспечивает до 27,5 % прибавки урожая товарных луковиц.

По данным [22] на светло-каштановых почвах Волгоградской области при орошении способом дождевания можно получать до 51,3 т/га репчатого лука. При этом минеральные удобрения потребовалось вносить расчетной дозой $N_{100}P_{140}K_{50}$.

В тоже время, исследования [59] показали, что использование капельного орошения в сочетании с применением фертигации и расчетной дозы минеральных удобрений, $N_{170}P_{85}K_{190}$ позволяет получать до 80 т/га стандартных луковиц в ран-

ние сроки. Возможности же получения сверхвысоких урожаев позднего лука при использовании капельного орошения в регионе Нижней Волги еще выше, и достигают 100 т/га и более, о чем свидетельствуют результаты исследований [19]. При этом, правда указывается, что использовать такую продукцию можно только без хранения из-за сниженного процентного содержания сухого вещества и сахаров в луковице. Для получения же качественных луковиц с урожайностью 80 т/га потребовалось внесение удобрений расчетной дозой $N_{150}P_{105}K_{120}$.

В опытах В.И. Филина, О.П. Казаченко [154] на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья изучалась эффективность применения разных форм минеральных удобрений. Дозы удобрений были рассчитаны на планируемые уровни урожайности 60, 80 и 100 т/га, причем в одном варианте традиционно применяли аммонийную селитру, суперфосфат и сульфат калия, а в другом система удобрений была построена на применении комплексного удобрения «Мастер специальный» с добавлением аммонийной селитры. Исследования показали возможность получения до 93,1-94,8 т/га репчатого лука при внесении минеральных удобрений дозой $N_{240}P_{120}K_{120}$, причем преимущества какой-либо из форм применяемых удобрений выявлено не было.

Несколько другие данные на светло-каштановых почвах Нижневолжского региона были получены в опытах [33, 34]. Исследования также проводились на капельном орошении и при внесении удобрений максимальной в опыте дозой $N_{165}P_{115}K_{115}$, урожайность товарных луковиц составила 65,8 т/га. Следует признать, что агротехника возделывания лука во всех указанных случаях различалась, что, по-видимому, и явилось причиной вариации урожайных данных.

Важнейшим агротехническим приемом возделывания лука, определяющим архитектуру, динамику роста и продуктивность посевов, является посев. Лук относительно холодостойкое растение, поэтому сроки посева определяются, преимущественно, длиной светового дня региона и условиями водного питания. Например, в Приамурье, без орошения, наибольший урожай лука был получен при посеве 10 апреля [65]. При задержке с посевом до конца апреля урожайность репчатого лука снижалась втрое, с 23,7 до 7,5 т/га. В условиях орошения на свет-

ло-каштановых почвах Нижневолжского региона посев поздних сортов и гибридов репчатого лука целесообразно проводить в 1-й декаде мая [28]. Это обеспечивает наилучшие показатели развития растений и формирование урожая к срокам, благоприятным для закладки на хранение.

Исследования Г.А. Кунавина [97] в условиях Тюменской области подтвердили зависимость продуктивности репчатого лука от применяемой нормы высева. Наибольшие урожаи лука в проведенных опытах обеспечивались при посеве нормой 1,0 млн. сем./га, тогда как увеличение или снижение нормы высева приводило к существенному недобору урожая. Исследования, проведенные в условиях лесостепи Новосибирского Приобья [70], показали, что урожайность лука зависит не только от нормы высева, но и от способа посева репчатого лука. Наибольшая урожайность репчатого лука, 39,7-40,2 т/га, была получена при посеве двустрочным способом 8+62 см, тогда как при посеве шестистрочным способом (50+20+20+20+20+20+20 см) и семистрочным способом (50+13+13+13+13+13+13+13 см), урожайность товарной продукции снижалась до 32,4-37,4 т/га. К сожалению, в публикации не указывается используемые в опыте средства механизации посева, от которых существенно зависит эффективность применения многострочных способов посева лука.

В опытах [73], проведенных на орошаемых землях Нижневолжского региона, для посева репчатого лука шестистрочным способом использовалась сеялка точного высева «Клен». Опыт был посвящен изучению эффективности применения разных норм высева лука на фоне разных уровней водообеспечения посевов. Пороги предполивной влажности почвы поддерживались капельными поливами на уровне 80 и 90 % НВ. Исследования подтвердили возможность получения до 94,3 т/га товарных луковиц при использовании максимальной нормы высева, 1,2 млн. сем./га на фоне поддержания предполивного уровня влажности почвы не ниже 90 % НВ. К сожалению, сравнительного анализа преимуществ и недостатков разных способов посева репчатого лука в регионе не проводилось.

Таким образом, анализ научного опыта, практики возделывания и биологических особенностей репчатого лука показывает недоиспользование возможностей современных агротехнологий для формирования интенсивного производства этой высоковитаминизированной продукции. В первую очередь, это связано с необходимостью научного обоснования ряда ключевых агротехнических и мелиоративных приемов, применяемых при возделывании лука в регионе исследований. Противоречивые требования биологии культуры к доступности почвенной влаги и влажности воздуха обуславливают особые требования к выбору способов орошения, а слаборазвитая корневая система при потенциальной возможности формирования мощнейшей вегетативной массы определяет необходимость оптимизации водного режима почвы при возделывании репчатого лука. Причем первая часть задачи исключительно удачно решается выбором капельного способа орошения, а вторая, преимущественно, связана с необходимостью поиска оптимальной глубины увлажнения почвы при капельном способе орошения. Анализ особенностей капельного орошения убедительно указывает на необходимость учета изменений закономерностей формирования водного режима почвы, при этом способе полива. Кроме того, следует понимать, что технические ресурсы, задействуемые для полива капельным способом и, например, дождеванием, – неравнозначны. Поэтому и элементы технологии орошения лука, научно обоснованные для иных способов полива, не применимы для капельного орошения. В равной мере это касается и обоснования оптимальной мощности горизонта промачивания почвы при проведении поливов. Систематизированного экспериментального материала для проведения этой работы в регионе до настоящего времени накоплено не было.

При выборе направления исследований также учитывалось, что способ орошения, как коренное мелиоративное мероприятие, требует переосмысления агротехники возделывания культуры. Научная работа в этом направлении в регионе ведется наиболее активно. Однако, до настоящего времени не было проведено сравнительного анализа применения разных способов посева, применяемых в отдельных хозяйствах региона. При капельном орошении лука это особенно важно, так как от способа посева зависит и взаимное расположение растений и капельных водо-

выпусков поливных трубопроводов. Кроме того, исследованиями учитывались особые требования культуры лука к почвенным условиям, которые оптимальны в зоне распространения черноземов с их мощным гумусовым горизонтом почвы. В регионе исследований преимущественное распространение получили светло-каштановые почвы, мощность гумусового горизонта которых невелика. При капельном орошении решение этой проблемы видится в использовании грядовой технологии возделывания лука, когда часть гумусового слоя из не увлажняемой части участка смещается непосредственно в зону размещения растений. Однако, научного обоснования для лука, возделываемого при капельном орошении, эта технология в регионе не получила. Необходимость решения указанного круга вопросов определила направление наших исследований.

2. ПРОГРАММНЫЕ ВОПРОСЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Вопросы исследований и экспериментальные планы

В качестве основной гипотезы исследований было принято положение о возможности повышения эффективности капельного орошения репчатого лука за счет обоснования мощности расчетной глубины промачивания почвы и приемов возделывания при наиболее полном учете их влияния на водный режим почвы и эффективность использования водных ресурсов при формировании урожая. При планировании исследований учитывалось, что любые затраты материальных и не материальных ресурсов, понесенные в процессе производства, окупаются не просто прибавкой урожая, а экономической прибылью, которая зависит от ряда факторов. В связи с этим для обоснования выдвинутых положений использовали не один, а целый комплекс критериев, таких как общие затраты водных ресурсов, урожайность, коэффициент водопотребления, показатели-характеристики продукционного процесса, показатели экономической эффективности производства. Анализ результатов ранее проведенных исследований показал отсутствие систематизированного материала, позволяющего оптимизировать горизонт промачивания почвы при орошении репчатого лука капельным способом. Следует учитывать, что оптимальная мощность расчетного горизонта почвы, установленная для полива дождеванием, определена не столько исходя из биологических особенностей культуры, сколько из технологических возможностей этого способа орошения. «Оптимальная мощность» в данном случае устанавливалась как компромиссное решение между необходимостью увеличения числа поливов со снижением мощности расчетного слоя для повышения продуктивности культуры и резким ростом непроизводительных затрат на орошение при снижении поливной нормы с увеличением числа поливов. Использование капельного орошения позволяет вплотную ориентироваться на биологические потребности репчатого лука.

При решении задачи установления оптимальной мощности горизонта промачивания почвы, авторы исходили из биологии роста и распространения корневой

системы лука при орошении. С другой стороны, учитывались и особенности распространения почвенной влаги при производстве поливов капельным способом. Корневая система репчатого лука при достаточно интенсивном водопотреблении развита слабо, основная масса корней располагается в пахотном слое почвы [11, 71, 100]. В начальные фазы роста и развития культуры освоенный корнями слой почвы вообще не превышает 0,1 м, что некоторыми исследователями [17, 96,] трактуется как необходимость дифференцированного подхода к установлению оптимальной глубины промачивания почвы. При капельном орошении следует учитывать взаимосвязь параметров формируемого контура увлажнения почвы, в частности глубины промачивания и диаметра бокового растекания влаги [62, 118, 119, 131]. Изменение одного из параметров сопровождается изменением и другого. Поэтому при капельном орошении подходить к освоению дифференцированных режимов орошения культур необходимо крайне осторожно. Учитывая вышеизложенное, для обоснования мощности горизонта промачивания почвы при капельном орошении репчатого лука необходимо решить следующие задачи:

- исследовать закономерности формирования водного режима почвы при капельном орошении разными поливными нормами;
- оценить основные статьи баланса почвенной влаги при капельном орошении репчатого лука и исследовать их значимость в формировании водного режима почвы и условий водообеспечения растений;
- изучить закономерности продукционного процесса, формирования урожая и качества продукции в вариантах с разной мощностью горизонта почвы с регулируемым водным режимом.

В качестве методологической основы исследований по этому направлению был принят метод полевого эксперимента, в рамках которого по фактору А изучались следующие варианты:

- вариант А1 – поддержание дифференцированного, 80-70 % НВ, порога предполивной влажности почвы в слое 0,3 м;
- вариант А2 – поддержание дифференцированного, 80-70 % НВ, порога предполивной влажности почвы в слое 0,4 м;

– вариант А3 – поддержание дифференцированного, 80-70 % НВ, порога пред-поливной влажности почвы в слое 0,5 м.

С распространением современной техники и технологий посева репчатого лука в регионе стало практиковаться сразу несколько способов размещения растений на орошаемом участке. Все они относятся к ленточному способу посева, однако количество рядков в ленте существенно отличается. В регионе сегодня нет однозначных рекомендаций по способу посева репчатого лука при капельном орошении. Комплексное обоснование эффективных способов посева лука при капельном орошении ставит необходимость решения следующих вопросов:

– исследовать возможные схемы размещения растений репчатого лука при ленточном способе посева во взаимной увязке с расположением капельных линий;

– исследовать влияние способов посева лука на суммарное водопотребление и формирование водного режима почвы при капельном орошении;

– изучить закономерности продукционного процесса, формирования урожая и качества продукции при разных способах посева репчатого лука.

Для решения всей совокупности задач в рамках наших исследований был заложен фактор В многофакторного полевого опыта, который включал следующие варианты (рисунок 2.1):

– вариант В1 – ленточный четырехстрочный с расстоянием между смежными строками $0,3 \times 0,2 \times 0,3$ м и 0,7 м между крайними растениями в ленте;

– вариант В2 - ленточный шестистрочный с расстоянием между смежными строками $0,15 \times 0,15 \times 0,2 \times 0,15 \times 0,15$ м и 0,7 м между крайними растениями в ленте;

– вариант В3 - ленточный восьмистрочный с расстоянием между смежными строками $0,07 \times 0,2 \times 0,07 \times 0,2 \times 0,07 \times 0,2 \times 0,07$ м и 0,62 м между крайними растениями в ленте.

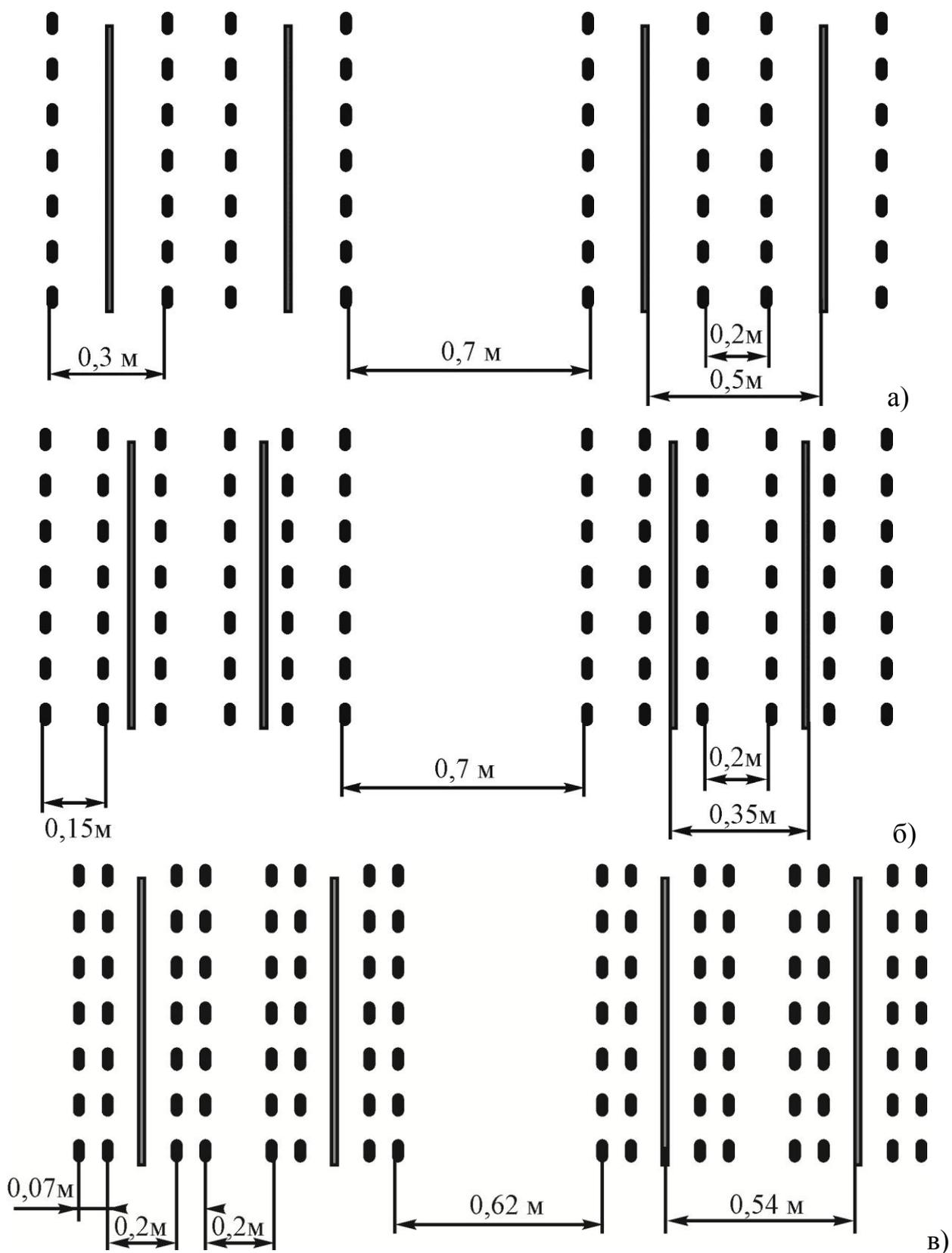


Рисунок 2.1 – Схемы взаимного размещения растений репчатого лука и поливных капельных трубопроводов при разных способах посева: а) – 4-х строчный посев, б) – 6-ти строчный посев, в) – 8-ми строчный посев

Одной из перспективных технологий возделывания овощных культур при капельном орошении является грядовая технология [118, 124]. Апробация эффективности грядового способа возделывания репчатого лука, который успешно используется, например, при возделывании моркови, также является актуальной задачей, решение которой направлено на повышение эффективности возделывания репчатого лука. При этом к изучению ставится целая совокупность вопросов, наиболее важными из которых являются:

- необходимость оценки влияния грядового профиля поверхности почвы на суммарное водопотребление и формирование водного режима почвы при капельном орошении;

- необходимость оценки влияния грядового профиля поверхности почвы на эффективность использования водных ресурсов для формирования урожая репчатого лука;

- необходимость оценки влияния грядового профиля поверхности почвы на продукционный процесс, формирование урожая и качество продукции репчатого лука.

Исследования по этому направлению реализованы нами в рамках фактора С многофакторного полевого опыта:

- вариант С1 – без профилирования поверхности почвы;

- вариант С2 – с формированием грядового профиля поверхности почвы.

Все варианты опыта были заложены в рамках общего орошаемого массива на участке, общей площадью 1,08 га (рисунок 2.2).

Опыт закладывался методом расщепленных делянок. Для исключения влияния почвенных разностей на результаты полевого эксперимента все варианты опыта по площади опытного участка размещались в четырех повторениях. Каждая повторность была организована с полным набором всех изучаемых в опыте вариантов. Площадь учетной делянки опыта, образованной сочетанием всех изучаемых в опыте факторов в 1 повторности составляет 300 м².

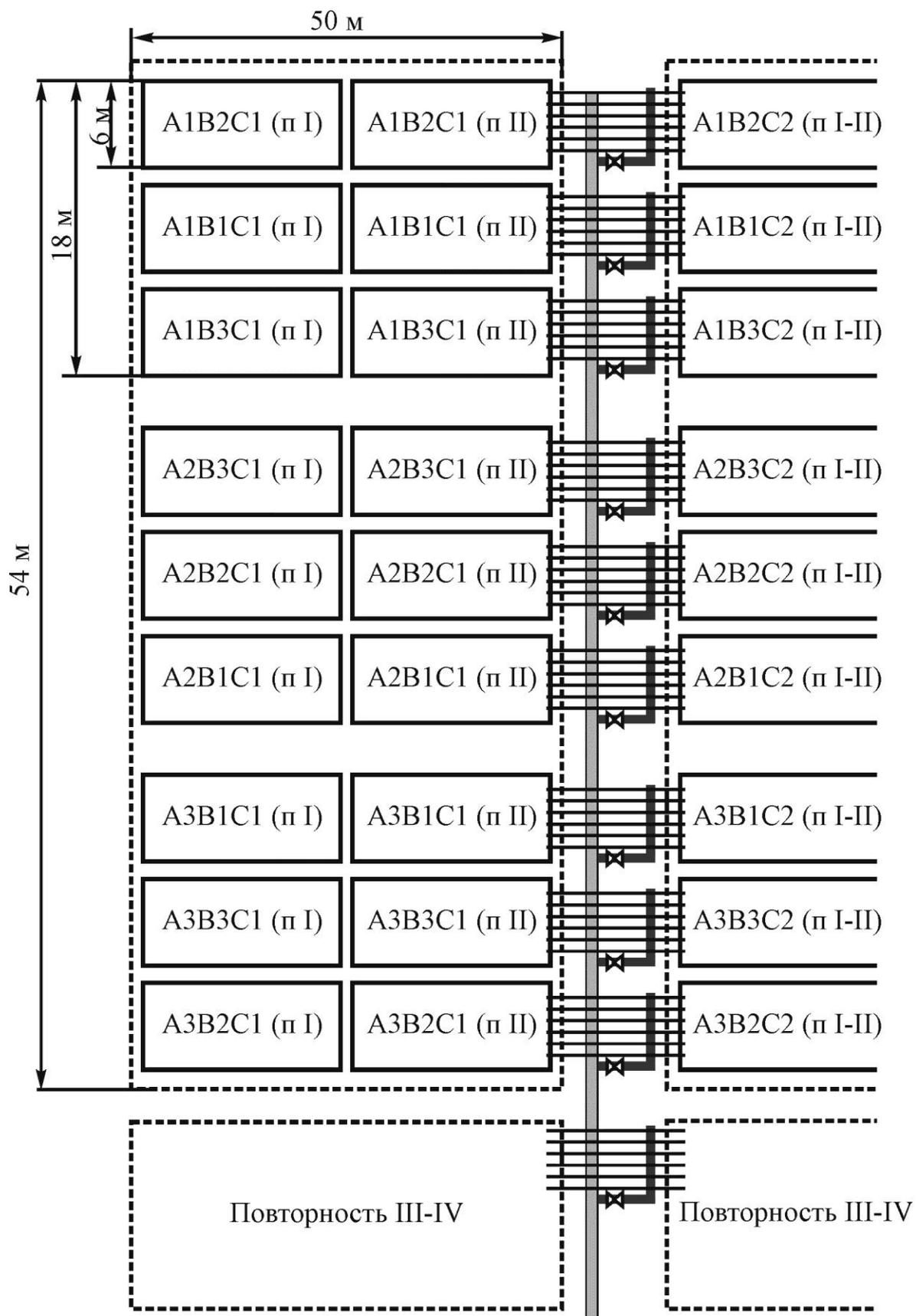


Рисунок 2.2 – Схема размещения вариантов полевого эксперимента по площади опытного участка

Почвенные условия, рельеф, направление делянок и агротехника культуры за исключением поставленных к изучению факторов, на всех вариантах опыта были одинаковы. Исследования проводили с районированным гибридом репчатого лука Блустер F1. Грунтовые воды на опытном участке залегают на глубине свыше 9 м, поэтому при проведении расчетов нами не учитывались.

2.2 Методики постановки опыта, наблюдений и исследований

Разработку плана экспериментальных исследований проводили с учетом требований «Методики полевого опыта» [57] и «Методики полевого опыта в овощеводстве» [99]. При разработке плана экспериментальных исследований учитывались требования типичности полевого опыта (в части почвенно-климатических условий и зональной агротехники культуры), принципа единства условий и единственного различия (в части вариантов изучаемых приемов), принципа целесообразности и оптимальности, требований соблюдения истории опытного участка (в части культур севооборота и агротехники их возделывания). Перед закладкой, в течение проведения опыта и после уборки опытной культуры исследования сопровождалась определениями, измерениями и учетами параметров посева, почвенных и агроклиматических условий с использованием общепринятых методик.

Выбор опытных полей для исследований ежегодно проводился с учетом агрохимического и гранулометрического состава почв опытного участка. За основу анализа гранулометрического состава почвы на опытном участке была принята методика Н.А. Качинского [75, 76]. Отбор проб с опытного участка осуществляли в пятикратной повторности. Для определения частиц почвенного скелета (более 1 мм) использовали сита, а долю фракций более мелкого состава определяли методом пипетки [75]. Модернизированный Н.А. Качинским метод пипетки основан на зависимости между скоростями осаждения частиц и их размерами. В частности, если взмутить водную суспензию почвенных частиц менее 1 мм, то в последующем взвесь постепенно осаждалась. Причем быстрее осаждаются более тяже-

лые, крупные частицы почвы. Зависимость между размером частиц и скоростью их осаждения определяли по формуле Стокса [75].

Отбор проб почвы для проведения агрохимического анализа осуществляли в соответствии с требованиями апробированных методик [7, 12]. Опытное поле одного года исследований принималось в качестве площади одного элементарного участка. Точечные проб в пределах опытного участка отбирали в 10-тикратной повторности, послойно, через 0,1 м [78]. Анализ проводили по образцам почвы из смешанной пробы.

Навеска опытного образца для определения органического вещества (условного гумуса) бралась равной 5 г [107]. Анализ проводили методом окисления органического вещества раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте с последующим определением трехвалентного хрома в соответствии с ГОСТ 26213 [78].

Определение pH проводили в водной вытяжке почвы, которую приготавливали на основе суспензии почвы в дистиллированной воде в пропорции 2,5:1 [12]. Измерения проводили pH-метром.

Для всесторонней оценки плодородия почвы проводили оценку содержания потенциально доступных питательных элементов в форме легкогидролизуемого азота, обменного калия и подвижного фосфора. Содержание легкогидролизуемого азота проводили методом Тюрина и Кононовой, основанного на гидролизе почвы раствором серной кислоты при комнатной температуре с последующим определением общего количества азота, переходящего в водную вытяжку [78]. Подвижный фосфор и обменный калий в почве определяли методом Мачигина, основанного на извлечении подвижных форм этих элементов 1%-ным раствором углекислого аммония [12].

Важнейшей характеристикой, характеризующей типичность свойств почв опытного участка и во многом определяющей эффективность тех или иных способов возделывания орошаемых культур, являются водно-физические свойства опытного участка. Для всесторонней оценки характеристик почвенного покрова в опытах определяли:

– плотность твердой фазы почвы, по определению равной отношению веса определенного объема почвы к весу воды того же объема [7]. Анализ проводили в лабораторных условиях известным пикнометрическим способом;

– плотность сложения почвы, соответствующей удельной массе образца почвы, взятого в ненарушенном состоянии [7]. Образцы почвы в ненарушенном состоянии извлекали буром Качинского. Вес образца пересчитывали на вес абсолютно-сухой почвы с учетом содержания в ней гигроскопической влаги;

– общую пористость почвы по горизонтам через каждые 0,1 м [13]. Определение проводили расчетным методом исходя из соотношения плотности сложения и плотности твердой фазы почвы, учитывая, что плотность твердой фазы определяется без учета пор почвы;

– максимальную гигроскопичность и влажность устойчивого завядания [7]. Максимальную гигроскопическую влагу определяли в лабораторных условиях с применением эксикатора в среде насыщенного сернокислого калия. Значения максимальной гигроскопичности использовали для определения влажности устойчивого завядания, увеличивая в полтора раза [7, 13];

– наименьшую влагоемкость почвы методом заливаемых площадок [133].

В течение вегетационного периода контролировали агрометеорологические условия с регистрацией явлений и численной характеристикой агрометеорологического режима [54, 99]. Для регистрации атмосферных осадков использовали комплект полевых дождемеров М-99, распределенных на открытых участках в непосредственной близости к опытному полю [122]. Для регистрации динамики и средних значений температуры воздуха, относительной влажности воздуха и атмосферного давления использовали компактную автоматизированную метеостанцию Oregon Scientific BAR218HG. Анализ агрометеорологических данных проводили стандартными статистическими методами [58].

Контроль за динамикой изменения влажности почвы осуществляли по показаниям тензиометров, устанавливаемых на отдельных водобалансовых площадках на глубину 0,2 м [77, 111, 115]. Ввиду ресурсно-организационных проблем постоянного послойного контроля влажности почвы при помощи тензиометров, а так-

же ограниченного диапазона измерения потенциала почвенной влаги их современными серийными конструкциями, тензиометрический контроль применяли только для примерного определения потребности в поливах. Назначение поливов проводили по влажности почвы, определенной стандартным, термостатно-весовым методом [39]. Организацию и размещение водобалансовых площадок, размещение скважин, частота, сроки и повторность определений, глубина и выбор послышной дифференциации проб осуществляли с учетом рекомендаций А.А. Роде [134].

Поливы проводили расчетной поливной нормой, определенной по общепринятой методике [74]:

$$m = 100 \cdot \gamma \cdot h \cdot \mu \cdot (\beta_{\text{НВ}} - \beta_{\text{НВ}} \cdot k_{\text{ППВ}}) \quad (1),$$

где m - поливная норма, м³/га, 100 – переводной коэффициент, γ - плотность сложения расчетного слоя почвы, т/м³, h - мощность расчетного слоя почвы, м, $\beta_{\text{НВ}}$ - влажность почвы в состоянии наименьшей влагоемкости, выраженная в весовых процентах, $k_{\text{ППВ}}$ – коэффициент, характеризующий нижний уровень диапазона регулирования водного режима почвы. Коэффициент μ вводится для способов полива с локальными площадями увлажнения, которыми характеризуется капельное орошение. Значения коэффициента μ - зависит от соотношения увлажненной и общей площади поля и для луковых посевов принимается равным 0,7.

Объем фактической водоподачи по вариантам опыта определялся продолжительностью полива при известных значениях производительности капельниц и контролировался по показаниям счетчика-расходомера.

Суммарное водопотребление в опыте определяли на основе упрощенного водобалансового уравнения [82]:

$$Q_{\text{ор.}} + Q_{\text{ос.}} + (W_0 - W_{\text{к}}) - E = 0 \quad (2),$$

где $Q_{\text{ор.}}$ – фактический объем оросительной воды, поданный на орошаемый участок за вегетационный период культуры, м³/га, $Q_{\text{ос.}}$ - объем эффективных осадков, м³/га, W_0 - запасы почвенной влаги на начало вегетационного периода, $W_{\text{к}}$ - запасы почвенной влаги на конец вегетационного периода, E – фактические (опытные) значения суммарного водопотребления культуры, м³/га.

Значения суммарно потребляемой влаги в опыте определялись по межфазным периодам. В качестве фазовых переходов для опытной культуры были приняты дата посева лука, даты получения массовых всходов, даты образования 5-го настоящего листа, фаза образования луковицы, начало периода активного роста луковицы, даты начала созревания луковицы, фаза технической спелости луковицы [71, 99, 100, 125].

Среднесуточное водопотребление лука определялось отношением суммарного водопотребления, определенного для культуры за расчетный период к общей продолжительности этого периода, включая первый и последний день [128].

Значения биоклиматических коэффициентов корректировались по фактическим данным суммарного водопотребления лука, определенного как в целом для вегетационного периода, так и по отдельности, - для каждого из межфазных периодов, отнесенным к сумме среднесуточных температур воздуха, накопленных за этот же период [121].

Фенологические наблюдения за ростом и развитием репчатого лука проводили в соответствии с требованиями общепринятых методик [57, 99]. Подсчеты вели на каждом варианте опыта, дифференцировано, для каждого повторения по 20 типичным растениям. Начало фазы всходов и образования луковицы, а также даты образования 5-го листа, начала активного роста и созревания луковицы регистрировались, если в фазу вступало не менее 10 % растений. При наблюдении качественных изменений у 75 % растений регистрировалось полное наступление фазы. Уборку и учет урожая лука проводили по достижению фазы технической спелости у 100 % растений лука.

Биометрические учеты в посевах проводили по фазам [99, 106]. Для этого на каждом из вариантов опыта, дифференцированного для каждого повторения отбиралось по 10 типичных растений. Анализ учетного материала заключался в измерении высоты растений, определении площади листового аппарата, определении сырой и сухой массы растений.

Площадь листьев определяли методом высечек [106]. В начальные периоды роста и развития, когда листья репчатого лука развиты слабо использовали планиметрический метод [99].

Массу сырого вещества, дифференцированно, по отдельным органам растения лука, определяли взвешиванием на электронных весах. Для определения доли содержания сухого вещества в растениях учетный материал передавали в лабораторию. По известной доле содержания сухого вещества и значениям сырой биомассы определяли значения накопленной сухой массы растений [106]:

$$M = M_{\text{зел.}} \cdot \eta / 100 \quad (3),$$

где M – вес сухой биомассы с дифференцированием по отдельным органам растений, г, $M_{\text{зел.}}$ – вес сырой биомассы с дифференцированием по отдельным органам растений, г, η – доля содержания сухого вещества в отдельных органах растений, %.

Показатели фотосинтетической активности посевов лука определяли расчетом на основе анализа полученных биометрических данных. Фотосинтетический потенциал посева вычисляли, используя пофазные значения площади листьев [151]:

$$\Phi\Pi = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot n \quad (4),$$

где $\Phi\Pi$ – значения накопленного за период фотосинтетического потенциала, тыс. м² дней/га, $\frac{S_1 + S_2}{2}$ – среднее арифметическое значение площади листового аппарата за расчетный период, тыс. м²/га, n – продолжительность периода, дней.

Продуктивность фотосинтеза определяли по известным значениям фотосинтетического потенциала и пофазным значениям накопленного растениями сухого вещества [151]:

$$\Pi\Phi = \frac{M_2 - M_1}{\Phi\Pi} \cdot 1000 \quad (5),$$

где $\Pi\Phi$ – продуктивность фотосинтеза (чистая), г/м² в сут., M_2 – масса сухого вещества, накопленная посевами к концу расчетного периода, т/га, M_1 – масса сухого вещества, накопленная посевами на начало расчетного периода, т/га, $\Phi\Pi$ – фотосинтетический потенциал посева, накопленный за расчетный период, 1000 – переводной коэффициент.

Для определения среднесуточных значений динамики накопления сухой биомассы посевами лука использовали известное отношение [106]:

$$M_{\text{сут.}} = \frac{M_2 - M_1}{n} \cdot 1000 \quad (6),$$

где $M_{\text{сут.}}$ - среднесуточный прирост сухого вещества, кг/га, n – число дней в периоде, 1000 – переводной коэффициент.

Урожайность лука учитывали при уборке урожая сплошным методом [57, 99]. Одновременно формировали выборку из 10 средних лукович с каждого учетного варианта для определения показателей качества продукции.

Все полученные в опыте данные систематизировались и подвергались математической обработке методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа [57]. В соответствии с требованиями общепринятых методик [86, 87] проводили определение затрачиваемых на производство ресурсов и расчет показателей экономической эффективности возделывания лука при разных сочетаниях изучаемых в опыте факторов.

2.3 Место проведения экспериментальных исследований и характеристика опытного участка

2.3.1 Почвенный покров

Экспериментальная часть исследований была реализована на опытном участке, территориально расположенным в границах КФХ «Пионер» Городищенского района Волгоградской области.

Анализ гранулометрического состава почвы, получившего распространение в пределах опытного участка, представлен на рисунках 2.3-2.4. Наибольшая фракция частиц, содержащихся в почвенном покрове опытного участка приходится на частицы размером 0,01-0,05 мм (36,8-37,6 %) и 0,05-0,25 мм (23,4-23,6 %). Частицы такого размера классифицированы Н.А. Качинским, как физический песок [76]. Общее содержание физической глины (частицы размером менее 0,01 мм) в почвенном покрове опытного участка составляет 38,9-39,8 %, с преобладанием размерной фракции 0,01-0,005 мм (16,1-17,5 %).

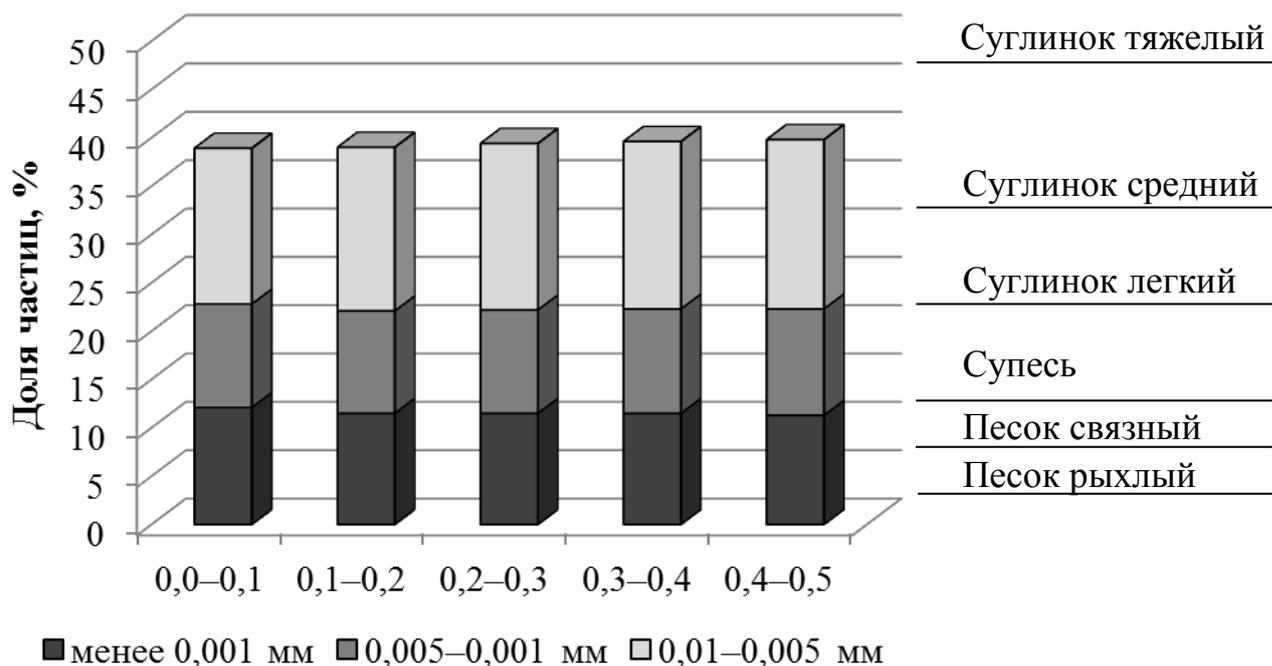


Рисунок 2.3 – Гранулометрический состав почвы опытного участка. Частицы с размером менее 0,01 мм (физическая глина)

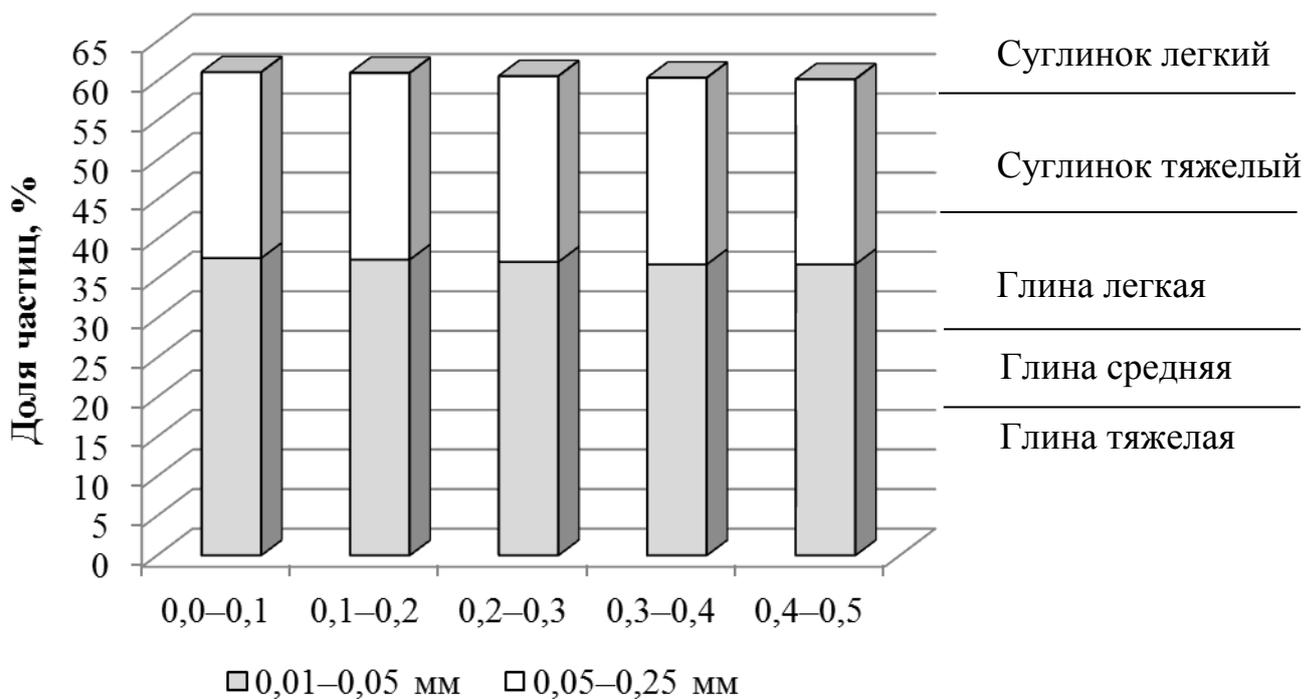


Рисунок 2.4 – Гранулометрический состав почвы опытного участка. Частицы с размером более 0,01 мм (физический песок)

Соотношение почвенных фракций с размером частиц более 0,01 мм (физический песок) и менее 0,01 мм (физическая глина) в соответствии с классификацией Н.А. Качинского [75, 76] позволяет отнести почвы опытного участка к среднесуглинистым. Такой гранулометрический состав почв преобладает в подзоне светло-каштановых почв Нижневолжского региона.

Светло-каштановые почвы, как правило, характеризуются невысоким содержанием гумуса. Среднее содержание гумуса в почвенном покрове опытного участка составляет 1,76 %, что характерно для этой почвенной зоны (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Слой почвы/ Мощность горизонта, м	Результаты анализа содержания гумуса (по Тюрину), %	Легкогидролизуемые формы азота, мг/кг	Содержание		Реакция среды (рН)	Емкость почвенного поглощающего комплекса, мг-экв.	Доля натрия в поглощающем комплексе, %
			доступных форм фосфора, мг/кг	обменных форм калия, мг/кг			
0-0,1	1,82	27,1	24,4	324	6,6	26,2	1,7
0,1-0,2	1,81	26,8	24,1	311	6,7	26,2	1,9
0,2-0,3	1,64	17,4	24,1	225	6,9	25,9	1,9
0,3-0,4	0,84	9,2	21,2	170	7,1	24,7	2,5
0,4-0,5	0,62	6,1	17,3	155	7,2	24,3	2,7
0-0,3	1,76	23,8	24,2	286,7	6,9	26,1	1,8

Легкогидролизуемых форм азота в пахотном слое почвы (0-0,3 м) содержится не более 17,4-27,1 мг/кг сухого веса почвы. Для большинства орошаемых сельскохозяйственных культур этого недостаточно, чтобы сформировать высокий урожай. Почвы опытного участка характеризуются также и невысоким содержанием доступных форм фосфора, которых в пахотных горизонтах содержится не более 24,1-24,4 мг/кг. А вот обменного калия в почве содержится достаточно много. Распределение концентрации обменных форм калия по горизонтам почвы изменяется от 225 до 324 мг/кг. Реакция почвенной среды близка к нейтральной, а в естественной среде, - слабощелочная. Однако систематическое применение «кислых» удобрений снизило рН почвенной среды в пахотном слое до 6,6-6,7.

Водно-физические свойства почвы опытного участка характеризуются типичной для данной почвенной зоны плотностью твердой фазы и сложения (таблица 2.2). Средняя плотность сложения пахотного слоя, 1,25 т/м³, несколько увеличивается для расчетного слоя 0,5 м (1,28 т/м³). Плотность твердой фазы верхних гумусовых горизонтов составляет 2,55-2,56 т/м³, возрастая с увеличением глубины взятия образцов почвы. Общая пористость верхнего, пахотного слоя, - удовлетворительная, - 50,4-51,6 %. В состоянии наименьшей влагоемкости почва опытного участка удерживает 23,1-23,7 % влаги от своего веса. С увеличением глубины взятия образцов эти значения несколько снижаются до 22,4-22,6 %. Для расчетного слоя почвы 0,3 м средневзвешенной значение наименьшей влагоемкости составляет 23,4 %, для слоя 0,4 м – 23,2 %, для слоя 0,5 м – 23,1 %.

Таблица 2.2 – Водные и физические свойства почвы опытного участка

Слой почвы / Мощность горизонта, м	Результаты послойного анализа плотности сложения почвы, т/м ³	Результаты послойного анализа плотности твердой фазы почвы, т/м ³	Общая пористость (скважность), %	Весовое содержание влаги в почве при наименьшей влагоемкости, %	Весовое содержание максимальной гигроскопической влаги, %	ВУЗ (влажность устойчивого завядания), %
0-0,1	1,24	2,56	51,6	23,7	8,0	12,0
0,1-0,2	1,24	2,55	51,4	23,5	8,0	12,0
0,2-0,3	1,28	2,58	50,4	23,1	7,8	11,7
0,3-0,4	1,31	2,61	49,8	22,6	7,7	11,6
0,4-0,5	1,33	2,63	49,4	22,4	7,7	11,6
0-0,3	1,25	2,56	51,1	23,4	7,9	11,9
0-0,4	1,27	2,58	50,8	23,2	7,9	11,9
0-0,5	1,28	2,59	50,5	23,1	7,8	11,8

Содержание максимальной гигроскопической влаги по слоям почвы было не одинаковым и изменялось от 8,0 % в пахотных горизонтах до 7,7 % на глубине 0,5

м. Условные значения влажности устойчивого завядания растений, принятые равными полуторной максимальной гигроскопичности, изменялись от 11,6 до 12,0 %. Таким образом, совокупный анализ комплекса показателей, характеризующих гранулометрический состав, агрохимические и водно-физические свойства почвы, позволяют сделать обоснованное заключение о соответствии требований типичности к выбору опытного участка.

2.3.2 Агрометеорологические условия вегетационного периода

Территориально опытный участок расположен в географической близости к г. Волгограду на правом берегу реки Волга, рельеф которой представлен, преимущественно, всхолмленной равниной, расчленённой речными долинами, оврагами и балками [5]. Климат зоны, в которой расположен опытный участок, - резко-континентальный, типичный для региона исследований. Годовой ход температуры резко выражен и характеризуется перепадом экстремальных температур до 75-85 °С. Лето, как правило, - жаркое и сухое. В отдельные жаркие летние дни температура воздуха может возрастать до 45 °С. В тоже время продолжительность безморозного периода здесь достаточно велика и достигает 160-170 суток. За этот период в регионе поступает до 2/3 годовой нормы атмосферных осадков. Однако общее количество осадков, поступающих за год, невелико и составляет в среднем 350 мм. Гидротермический коэффициент территории равен 0,6, что по классификации С.А. Сапожниковой характеризует ее как очень засушливую [88].

Полевой эксперимент на рассматриваемом опытном участке проводили в 2014-2016 годах, агрометеорологические условия в которые складывались по-разному (таблица 2.3, рисунок 2.5).

В 2014 году погодные условия складывались наиболее благоприятно для посева. В первой декаде мая прошли низкоинтенсивные дожди в объеме 24,5 мм, а начало второй декады мая охарактеризовалось увеличением теплообеспеченности (таблица 2.3). Средние декадные температуры второй и третьей декады мая составили 22,8 °С, что соответственно на 6,3 °С и 4,8 °С больше климатической нормы.

Таблица 2.3 – Агрометеорологическая характеристика условий проведения эксперимента

Месяц	Декада	2014 год				2015 год				2016 год			
		Влажность воздуха, %	Температура воздуха, °С	Осадки атмосферные, мм	Влажность воздуха, %	Температура воздуха, °С	Осадки атмосферные, мм	Влажность воздуха, %	Температура воздуха, °С	Осадки атмосферные, мм	Влажность воздуха, %	Температура воздуха, °С	Осадки атмосферные, мм
Май	I	69,8	14,0	24,5	76,4	13,8	34,4	59,2	14,5	9,3			
	II	44,7	22,8	0,0	60,7	13,7	15,5	78,4	15,0	28,1			
	III	39,0	22,8	0,0	37,5	22,5	7,4	69,7	19,5	25,1			
	Среднее	50,7	19,9	-	58,2	16,6	-	69,1	16,3	-			
	Сумма	-	617,0	24,5	-	515,8	57,3	-	489,4	62,5			
Июнь	I	28,9	24,1	1,8	46,0	20,8	8,6	60,7	15,5	9,1			
	II	50,8	19,1	6,9	27,9	25,6	0,0	50,1	23,7	1,4			
	III	49,5	19,8	12,0	52,3	25,4	22,0	50,9	25,5	0,0			
	Среднее	42,5	21,0	-	42,1	23,9	-	53,9	21,6	-			
	Сумма	-	650,2	20,7	-	739,5	30,6	-	647,6	10,5			
Июль	I	45,2	23,8	1,6	39,1	25,0	2,8	48,1	22,9	15,9			
	II	27,6	25,6	0,0	49,7	20,8	14,5	38,4	28,4	5,5			
	III	33,0	23,7	0,8	34,7	26,5	0,0	66,2	22,2	23,6			
	Среднее	35,2	24,4	-	41,2	24,1	-	50,9	24,5	-			
	Сумма	-	755,1	2,4	-	746,9	17,3	-	735,7	45,0			
Август	I	33,5	26,4	0,0	31,1	25,1	2,1	75,1	27,0	16,9			
	II	37,0	27,5	4,9	37,9	23,8	19,1	76,5	25,5	12,1			
	III	50,7	21,9	21,0	30,6	20,7	0,0	49,5	23,8	0,0			
	Среднее	40,8	25,2	-	33,2	23,0	-	67,0	25,4	-			
	Сумма	-	781,7	25,9	-	712,7	21,2	-	763,1	29,0			
Сентябрь	I	40,4	19,2	0,6	46,4	22,2	0,0	44,5	19,6	0,0			
	II	48,7	15,2	7,5	46,3	17,1	0,0	48,8	18,8	0,0			
	Среднее	46,8	18,9	-	46,4	19,9	-	46,7	19,2	-			
	Сумма	-	586,1	29,1	76,4	616,7	0,0	-	383,4	0,0			

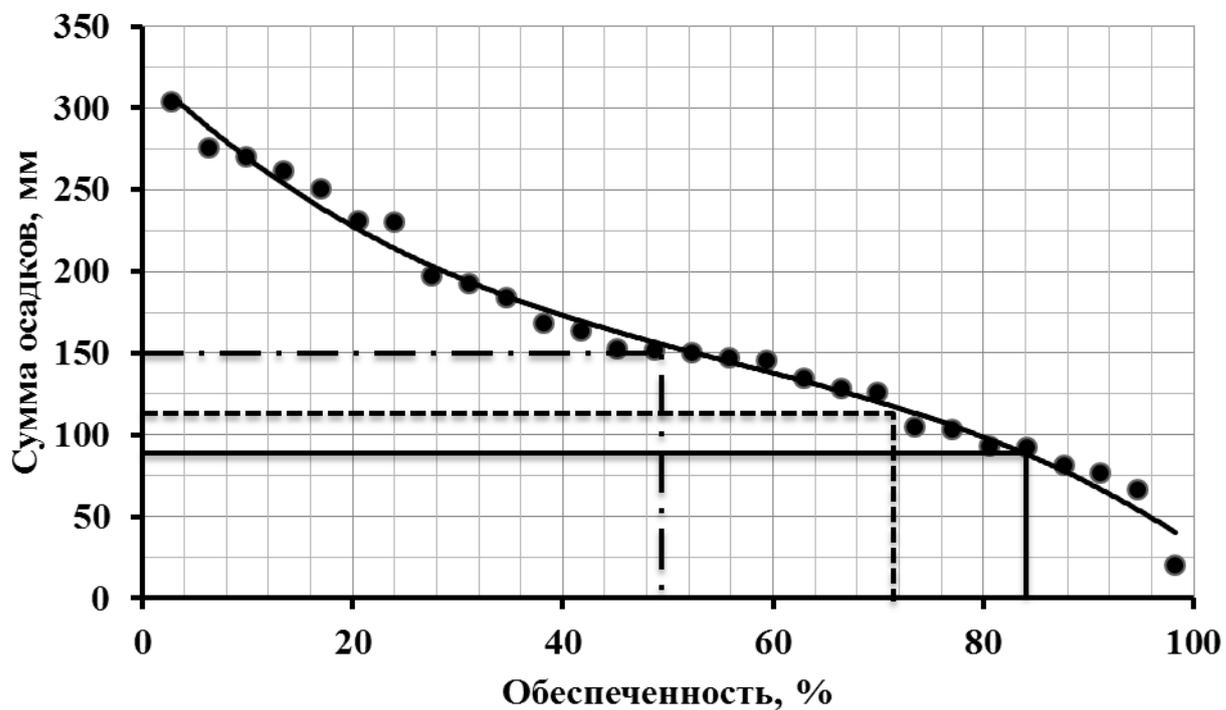
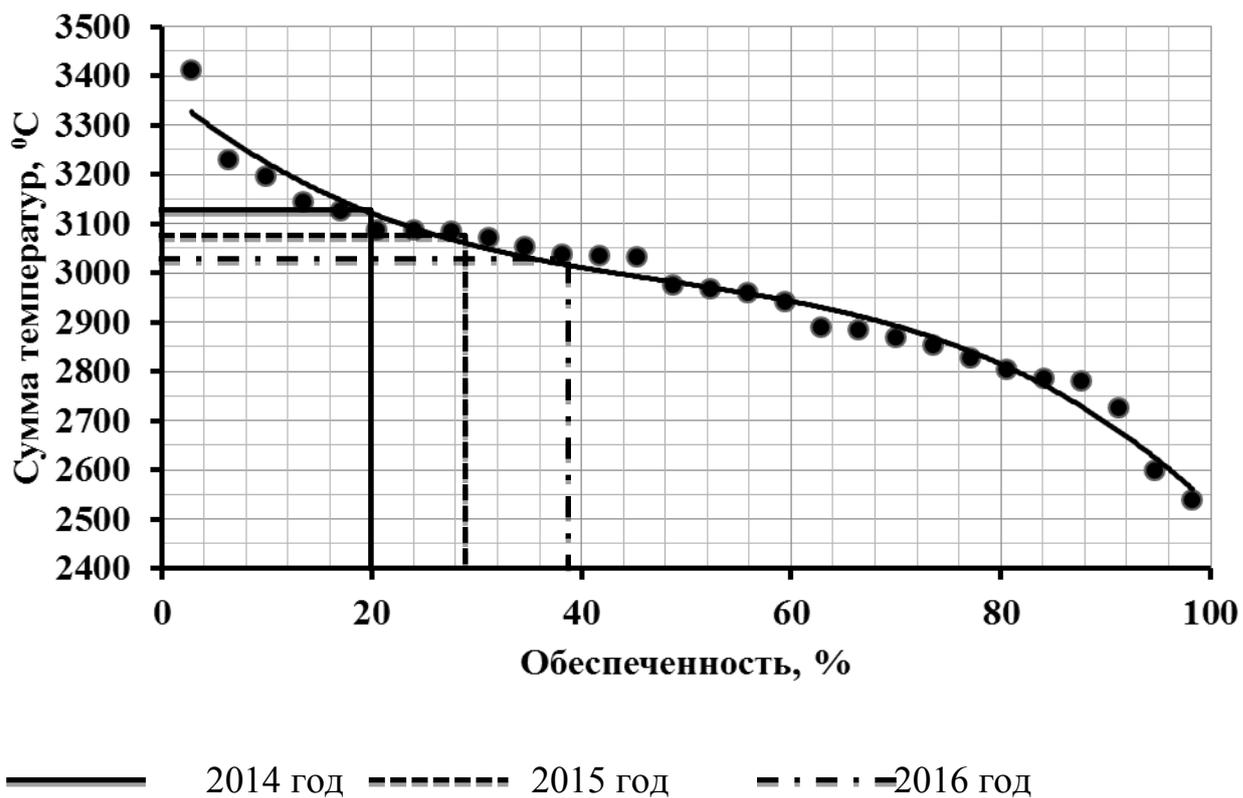


Рисунок 2.5 - Оценка обеспеченности поступивших атмосферных осадков и накопленных температур воздуха в годы проведения исследований

Относительная влажность воздуха в первой декаде мая была на уровне 69,8 %, однако уже к третьей декаде снизилась до 39,0 %.

Начало вегетационного периода лука в 2014 году было связано с наступлением такого типичного для региона явления, как воздушная засуха. Средняя за первую декаду июня относительная влажность воздуха не превышала 28,9 %. Осадки поступили к концу декады в объеме 1,8 мм и практически не повлияли на ситуацию. Средняя за первую декаду июня температура воздуха составила 24,1 °С, что на 4,6 °С больше климатической нормы. Высокая температура и низкая влажность воздуха сопровождались сильными восточными ветрами, - суховеями.

Поступление небольшого количества атмосферных осадков во второй декаде июня смягчила типичное для региона проявление засухи, относительная влажность воздуха возросла до 49,5-50,8 %. Температурная напряженность во второй и третьей декаде июня снизилась, в результате чего средняя месячная температура воздуха приблизилась к климатической норме.

В среднем многолетнем приближении июль в регионе является самым жарким месяцем в году. Средняя месячная температура июля в 2014 году составила 24,4 °С, что 0,9 °С больше среднемноголетнего уровня. Особенно жаркой была вторая декада июля, - со средним декадным уровнем среднесуточных температур воздуха не ниже 25,6 °С. Отсутствие атмосферных осадков спровоцировало повторение в этот период воздушной засухи, которая продолжалась вплоть до третьей декады августа. Средние декадные значения относительной влажности воздуха в этот период не превышали 27,6-37,0 %.

Температура воздуха в первые две декады августа продолжала аномально расти, достигая соответственно уровня 26,4 и 27,5 °С. Это на 2,4-4,5 °С больше климатической нормы. Выше климатической нормы температура воздуха оставалась и в третьей декаде июля, а также в первую декаду сентября. Однако для лука такие условия являются благоприятными, так как позволяют повысить качество продукции при созревании. Выпавшие в третьей декаде августа атмосферные осадки общим объемом 21,0 мм не повлияли на формирование урожая лука.

В целом за вегетационный период лука было накоплено 3 126 °С среднесуточных температур воздуха при поступлении не более 81,6 мм осадков. Как видно из приведенных на рисунке 2.5 данных такая сумма накопленных среднесуточных температур воздуха превышает климатическую норму, а поступление осадков существенно ниже среднемноголетнего уровня. В совокупности такое сочетание метеофакторов характеризует период как засушливый даже в условиях очень засушливого климата региона.

За вегетационный период лука в 2015 году накапливалось 3 086 °С среднесуточных температур воздуха, а атмосферные осадки поступили в объеме 126,4 мм. По совокупности показателей тепло- и влагообеспеченности вегетационный период лука в 2015 году характеризуется как средnezасушливый. В отличие от 2014 года весна 2015 года была затяжная, прохладная погода сохранялась вплоть до третьей декады мая. Средняя декадная температура воздуха в первую и вторую декады мая не превышали 13,7-13,8 °С, однако уже в третьей декаде – достигла уровня 2014 года (22,5 °С). В отличие от 2014 года вегетационный период лука характеризовался более прохладной первой декадой июня (20,8 °С) и более теплообеспеченными второй и третьей декадой июня (25,6 и 25,4 °С соответственно). В целом обеспеченность теплом июня в 2015 году (23,9 °С) была выше, чем в 2014 году (21,0 °С), однако следующие два месяца, - июль и август, - были более прохладными. Обеспеченность осадками вегетационного периода лука в 2015 году была выше, чем в 2014, преимущественно, за счет увеличения поступления осадков в мае и июне.

Сумма накопленных за вегетационный период лука среднесуточных температур воздуха в 2016 году была наименьшей в опытах (3 026 °С). При этом атмосферные осадки поступили в объеме 147 мм, что существенно выше естественной влагообеспеченности периода в 2014 и 2015 годах. Обеспеченность накопления такой суммы среднесуточных температур воздуха в регионе составляет 38 %, а поступления атмосферных осадков - 48 %. По совокупности тепловлагообеспеченности вегетационный период лука в 2016 году можно охарактеризовать как близкий к среднемноголетним значениям.

Таким образом, по совокупности гидротермических условий, вегетационный период лука в 2014 году характеризуется как сухой, в 2015 году – как среднезасушливый, в 2016 году – среднемноголетним уровнем поступления метеоресурсов.

2.3.3 Агротехника опытной культуры

При проведении экспериментальных исследований использовали получивший широкое распространение в регионе, районированный гибрид репчатого лука Блустер F1. Этот гибрид репчатого лука Испанского типа отличается очень высокой продуктивностью и рекомендуется к выращиванию на широте 40-60°. Гибрид среднепозднего срока созревания, используется в регионе преимущественно для производства лука с последующей закладкой на хранение. Созревание, в среднем, приходится на 132-115 день после посева, однако этот показатель может варьировать в зависимости от теплообеспеченности вегетационного периода. Урожай данного гибрида представлен крупными, однородными и плотными луковицами округлой формы с хорошими и плотно прилегающими покровными чешуями бронзового цвета. Плотно прилегающие покровные чешуи и их хорошая сохраняемость на луковице обеспечивают очень длительный период хранения. Другим агробιοлогическим преимуществом данного гибрида лука является высокая устойчивость к стрелкованию, которая позволяет получать гарантированные урожаи даже в условиях изменчивого, резко-континентального климата.

Предшественником опытных посевов репчатого лука во все годы исследований были ранние томаты. Последний сбор урожая предшествующей культуры проводили уже к концу августа, после чего приступали к чистке опытного поля, заключавшейся в уборке ботвы предшественника.

Система обработки почвы под опытную культуру включала проведение дисковых луцений непосредственно сразу после уборки предшественника. В случае, если после этого выпадали осадки, провоцирующие прорастание сорной растительности, обработку почвы дисковыми боронами повторяли. При сухой осени

отрастания сорной растительности после первого лущения практически не наблюдалось, в связи с чем второй операцией в системе обработки почвы сразу назначалась отвальная вспашка. Отвальная вспашка проводилась под зябь и назначалась, если позволяли погодные условия, при оптимальной влажности почвы (65-70 % НВ). Операцию выполняли агрегатом из энергетического средства, - трактора МТЗ-82 и трехсекционного культурного плуга ПЛН-3-35.

Непосредственно перед проведением зяблевой вспашки вносили часть расчетной дозы минеральных удобрений. Общая доза минеральных удобрений, $N_{150}P_{105}K_{120}$, была рассчитана исходя из показателей естественного плодородия почвы и с учетом планируемой, на уровне 100 т/га, урожайности репчатого лука. Осенью перед вспашкой зяби вносили 50 % фосфорных удобрений и до 35 % – калийсодержащих форм минерального питания. Остальные удобрения вносили с поливной водой в подкормки. Вносили удобрения в форме аммиачной селитры с содержанием азота 34 %, аммофоса (50 % P_2O_5 и 10 % N), сульфата калия (51 % K_2O) и суперфосфата (21 % P_2O_5).

В весенний период по мере физического поспевания почвы проводили покровное боронование в два следа. В годы с ранним приходом весны проводилась промежуточная операция сплошной культивации опытного участка. Операция выполнялась по мере прорастания сорняков на опытном поле. Непосредственно период посевом почву на опытных делянках подвергали обработке активными тракторными фрезами с одновременным прикатыванием профрезерованных полос. Это позволило существенно улучшить водно-физические свойства почвы и обеспечить хороший контакт семян с почвой при посеве. На участках вариантов, где исследовалась эффективность применения грядовой технологии возделывания лука предпосевная обработка почвы проводилась агрегатом МТЗ-82 + фрезерный грядообразователь Coyote Valentini 1500, который позволяет комбинировать операции фрезерования и формирования заданного профиля посевной поверхности поля.

Одна из наиболее ответственных операций, - посев семян репчатого лука, - проводилась надежной сеялкой точного высева Гаспардо OLIMPIA-ORIETTA.

Помимо высоких показателей выполнения технологического процесса, эта сеялка позволяет гибко настраивать параметры посева, включая межстрочное расстояние, число строк и другие, важные для соблюдения условий, поставленных схемой опыта. Для соблюдения ключевого методологического принципа единственного различия при закладке опыта растения лука в рядке размещали через 0,04 м. В зависимости от числа рядков в посевной ленте, варьируемого в соответствии с условиями программы исследований, норма высева лука составляла 700 тыс. сем./га (4-х строчный способ посева), 1,0 млн. сем./га (6-ти строчный способ посева) и 1,3 млн. сем./га (8-ми строчный способ посева).

Для полива лука на опытном участке была смонтирована система капельного орошения конструкции «Евродрип», укомплектованная капельными трубопроводами с водовыпусками, размещенными через 0,2 м. Производительность капельниц 1,6 л/ч. Поливные трубопроводы системы капельного орошения раскладывали непосредственно следом за посевным агрегатом. Порог предполивной влажности почвы не ниже 80 % НВ поддерживали капельными поливами от посева до начала активного роста луковицы, а на уровне 70 % НВ – от начала активного роста до начала созревания луковицы. Поливную норму и продолжительность полива по вариантам опыта дифференцировали с учетом заданной глубины промачивания почвы.

Уход за посевами заключался в проведении вегетационных подкормок минеральными удобрениями, проведении мероприятий по борьбе с сорной растительностью, вредителями и болезнями. В течение вегетационного периода лука проводили 1-2 междурядные культивации агрегатом МТЗ-82+ КРН-5,6. Кроме того, по посевам работали химическими препаратами, в частности, - препаратом «Гоал 2Е» против двудольных сорняков и препаратом «Фюзилад Форте» против однодольных (злаковых) сорняков. Работу выполняли в фазе 3 настоящих листьев.

После посева обязательно обрабатывали почву против такого опасного вредителя как проволочный червяк. Обработку осуществляли препаратом «Диазол» нормой 3 л/га. Продолжительность действия препарата 21-30 дней, поэтому инсектицид вносили каждые 21-30 дней до фазы образования луковицы. Для борьбы

с луковой мухой и мухой-минером эффективным препаратом является «Конфидор». В течение вегетационного периода проводилось два полива через 40 дней с нормой 1 л/га, а также одновременно проводилось опрыскивание нормой 1 л/га. В баковую смесь также добавлялся «Гумат Калия», снимающий стресс с растений. В качестве химических средств борьбы против пероноспороза применялись фунгицид «Ридомил Голд МЦ» нормой 2,5 кг/га и через 14 дней «Абига Пик» нормой 3 л/га.

Уборка урожая на опытных делянках проводилась сплошным методом и осуществлялась вручную, в валки.

3. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ И ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ РЕПЧАТОГО ЛУКА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

3.1 Особенности увлажнения почвы при поливе лука капельным способом

Капельное орошение характеризуется локальным распределением влаги в почве при проведении вегетационных поливов. Эта особенность определяет и большинство преимуществ капельного орошения, и основные отличия от других способов полива. Главным преимуществом капельного орошения, - это возможность дозированной подачи оросительной воды непосредственно в прикорневую зону растений. Это осуществляется в процессе низкоинтенсивной подачи влаги капельным способом в местах водовыпусков капельниц. Это обуславливает точечную подачу влаги в почву. В процессе полива формируется начальный (точечный) очаг увлажнения, из которого влага в соответствии с законами влагопереноса перемещается как вертикальном, так и в боковом (горизонтальном) направлении.

Перераспределение почвенной влаги под действием почвенных сорбций и гравитации определяет формирование контура увлажнения, - зоны локального влагонасыщения почвы. Основными параметрами, характеризующими зону локального влагонасыщения почвы, являются глубина промачивания почвы (h , м) и диаметр контура увлажнения (d , м). Количественная оценка и соотношение этих параметров зависит от ряда факторов, среди которых существенное влияние оказывает объем водоподдачи и производительность капельниц, исходное (предполивное) состояние влажности почвы, гранулометрический состав и водно-физические свойства почвы, содержания гумуса или гумусоподобной органики:

$$h, d = f(m, q, \beta, \sum \rho_i) \quad (7),$$

где h, d – геометрические параметры контура увлажнения почвы, м, m - объем водоподдачи, л/капельницу или м³/га, q - производительность капельниц, л/час, β – исходная (предполивная) влажность почвы, % НВ $\sum \rho_i$ - комплекс показателей, характеризующих тип и свойства почвенного покрова.

С другой стороны, в условиях контролируемого орошения объем водоподачи является расчетной величиной и, в общем случае, приравнивается к поливной норме, которая в свою очередь является функцией основной водной характеристики почвы, - наименьшей влагоемкости ($\beta_{\text{НВ}}$), и предполивного порога влажности ($\beta_{\text{ППВ}}$):

$$m = f(\beta_{\text{НВ}} - \beta_{\text{ППВ}}) \quad (8)$$

Требования к параметрам контура увлажнения при орошении сельскохозяйственных культур тоже достаточно жесткие и определяются:

– расстановкой капельниц на поливном трубопроводе. Современные технологии капельного орошения пропашных овощных культур ориентированы на формирование сплошной полосы увлажнения почвы вдоль направления посева. В этом случае нет необходимости строгого совмещения капельного водовыпуска с зоной посадки единичных растений, что существенно облегчает выполнение технологического процесса;

– взаимным размещением поливного трубопровода с капельницами и растений возделываемой культуры. При этом корневая система растений возделываемой культуры должна находиться в зоне увлажнения при проведении капельных вегетационных поливов. Последнее обеспечивается, если выполняется условие:

$$l < d/2 \quad (9),$$

где l - расстояние от оси продольной укладки капельного поливного трубопровода до последнего ряда растений в посевной ленте, м, d - диаметр контура увлажнения, м.

Численные значения показателя l в приведенном выше выражении зависят от способа посева культуры. Способ посева репчатого лука в опытах являлся варьируемой величиной, изменяющейся в соответствии с принятой схемой опыта. Наибольшее расстояние, 0,22 м, от капельной линии до крайнего ряда растений лука в ленте в опытах было на участках с шестистрочным способом посева. При этом, в соответствии с принятой в регионе «луковой» схеме на посевную ленту из 6-ти строк растений приходилось два поливных трубопровода с капельными во-

довыпусками. При формировании восьмистрочных и четырехстрочных посевов расстояние l от оси продольной укладки капельного поливного трубопровода до крайнего ряда растений в посевной ленте не превышало соответственно 0,17 и 0,15 м. Отсюда требования к параметрам контура увлажнения при капельном орошении репчатого лука выразятся следующим: $d > l \cdot 2$, то есть диаметр контура увлажнения при заданной схеме опыта глубине промачивания должен быть не менее 0,44 м. Понятно, что это условие должно выполняться даже при поливе наименьшей в опыте поливной нормой.

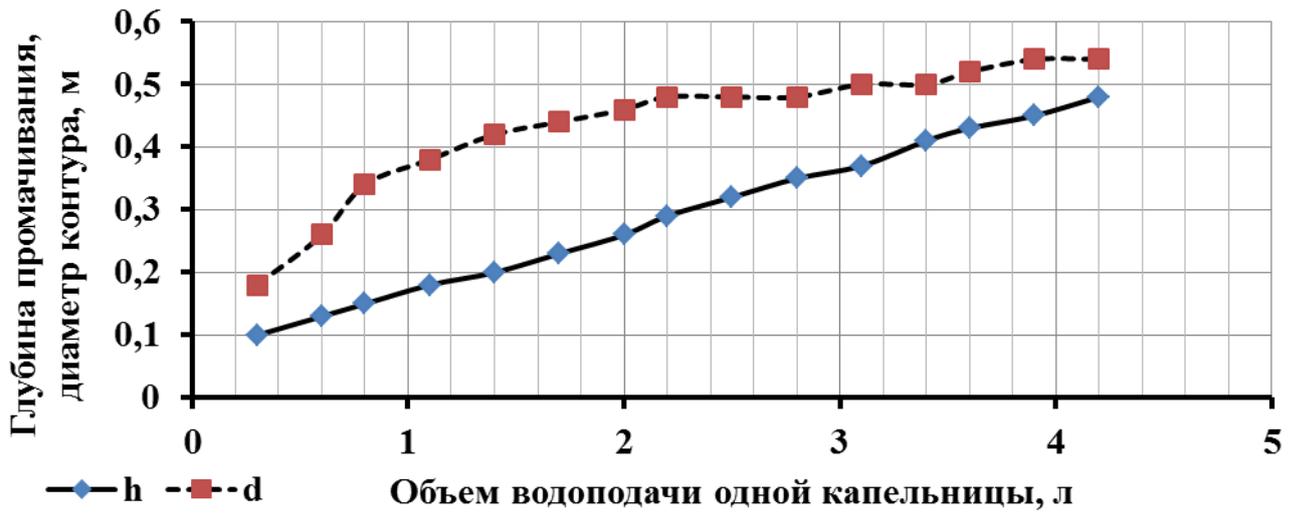
Результаты исследования закономерностей формирования контура увлажнения почвы при капельном орошении лука приведены в таблице 3.1, а также в форме графиков отражены на рисунках 3.1-3.3. Исследования показали, что закономерности формирования контура увлажнения почвы существенно зависят как от объема водоподачи, так и от уровня исходной (предполивной) влажности почвы. Общие закономерности формирования контура увлажнения для типичных малогумусных, среднесуглинистых, светло-каштановых почв региона сводятся к следующему:

– основные параметры контура увлажнения почвы, - глубина промачивания и диаметр в зоне максимального горизонтального растекания влаги, - последовательно возрастают с увеличением объема водоподачи. Например, при исходной влажности почвы 70 % НВ для промачивания почвы на глубину 0,3 м требовался подать около 2,5 л воды каждой капельницей, что соответствует поливной норме 180 м³/га. Для промачивания почвы на глубину 0,4 м при той же исходной влажности требовалось на 1 капельницу израсходовать 3,4 литра воды, а для промачивания 0,5-метрового слоя – 4,2 литра воды;

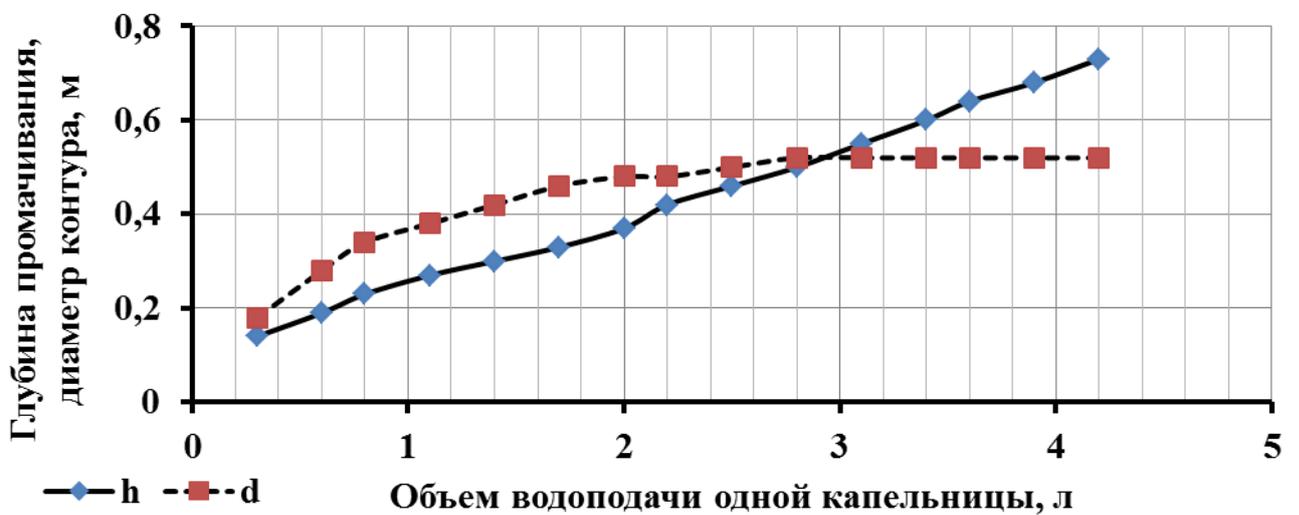
– уровень исходной (предполивной) влажности почвы оказывает существенное влияние на соотношение параметров контура увлажнения. Например, если при исходной (предполивной) влажности почвы 70 % НВ полив нормой 180 м³/га обеспечивал промачивание 0,3-метрового слоя почвы и диаметр контура увлажнения 0,48 м, то при исходной влажности почвы 80 % НВ этой же нормой промачивался слой 0,46 м.

Таблица 3.1 - Особенности формирования контура увлажнения почвы при капельном орошении репчатого лука

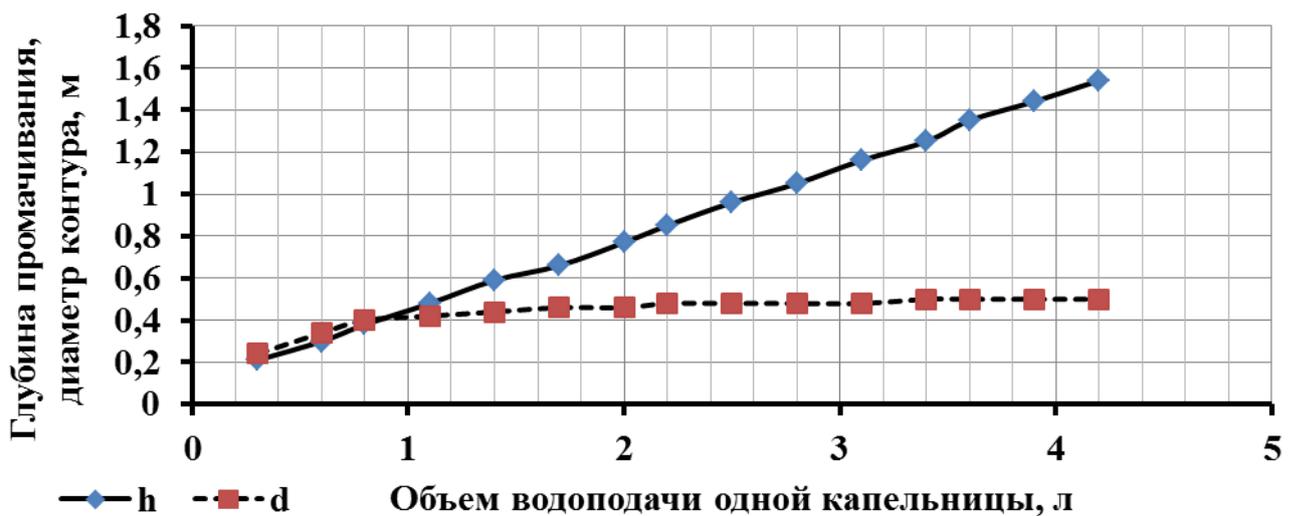
Исходная (предполивная) влажность почвы, % НВ	Объем водоподачи		Глубина промачивания почвы, м	Диаметр контура увлажнения, м
	л/капельницу	м ³ /га		
70	0,3	20	0,1	0,18
70	0,6	40	0,13	0,26
70	0,8	60	0,15	0,34
70	1,1	80	0,18	0,38
70	1,4	100	0,2	0,42
70	1,7	120	0,23	0,44
70	2	140	0,26	0,46
70	2,2	160	0,29	0,48
70	2,5	180	0,32	0,48
70	2,8	200	0,35	0,48
70	3,1	220	0,37	0,5
70	3,4	240	0,41	0,5
70	3,6	260	0,43	0,52
70	3,9	280	0,45	0,54
70	4,2	300	0,48	0,54
80	0,3	20	0,14	0,18
80	0,6	40	0,19	0,28
80	0,8	60	0,23	0,34
80	1,1	80	0,27	0,38
80	1,4	100	0,3	0,42
80	1,7	120	0,33	0,46
80	2	140	0,37	0,48
80	2,2	160	0,42	0,48
80	2,5	180	0,46	0,5
80	2,8	200	0,5	0,52
80	3,1	220	0,55	0,52
80	3,4	240	0,6	0,52
80	3,6	260	0,64	0,52
80	3,9	280	0,68	0,52
80	4,2	300	0,73	0,52
90	0,3	20	0,21	0,24
90	0,6	40	0,3	0,34
90	0,8	60	0,38	0,4
90	1,1	80	0,48	0,42
90	1,4	100	0,59	0,44
90	1,7	120	0,66	0,46
90	2	140	0,77	0,46
90	2,2	160	0,85	0,48
90	2,5	180	0,96	0,48
90	2,8	200	1,05	0,48
90	3,1	220	1,16	0,48
90	3,4	240	1,25	0,5
90	3,6	260	1,35	0,5
90	3,9	280	1,44	0,5
90	4,2	300	1,54	0,5



Исходная (предполивная) влажность 70 % НВ



Исходная (предполивная) влажность 80 % НВ



Исходная (предполивная) влажность 90 % НВ

Рисунок 3.1 – Взаимосвязь параметров формирования контура увлажнения почвы при капельном поливе (производительность капельницы 1,6 л/час, почвы средне-суглинистые, светло-каштановые, пахотные)

ПОСЕВНАЯ ЛЕНТА

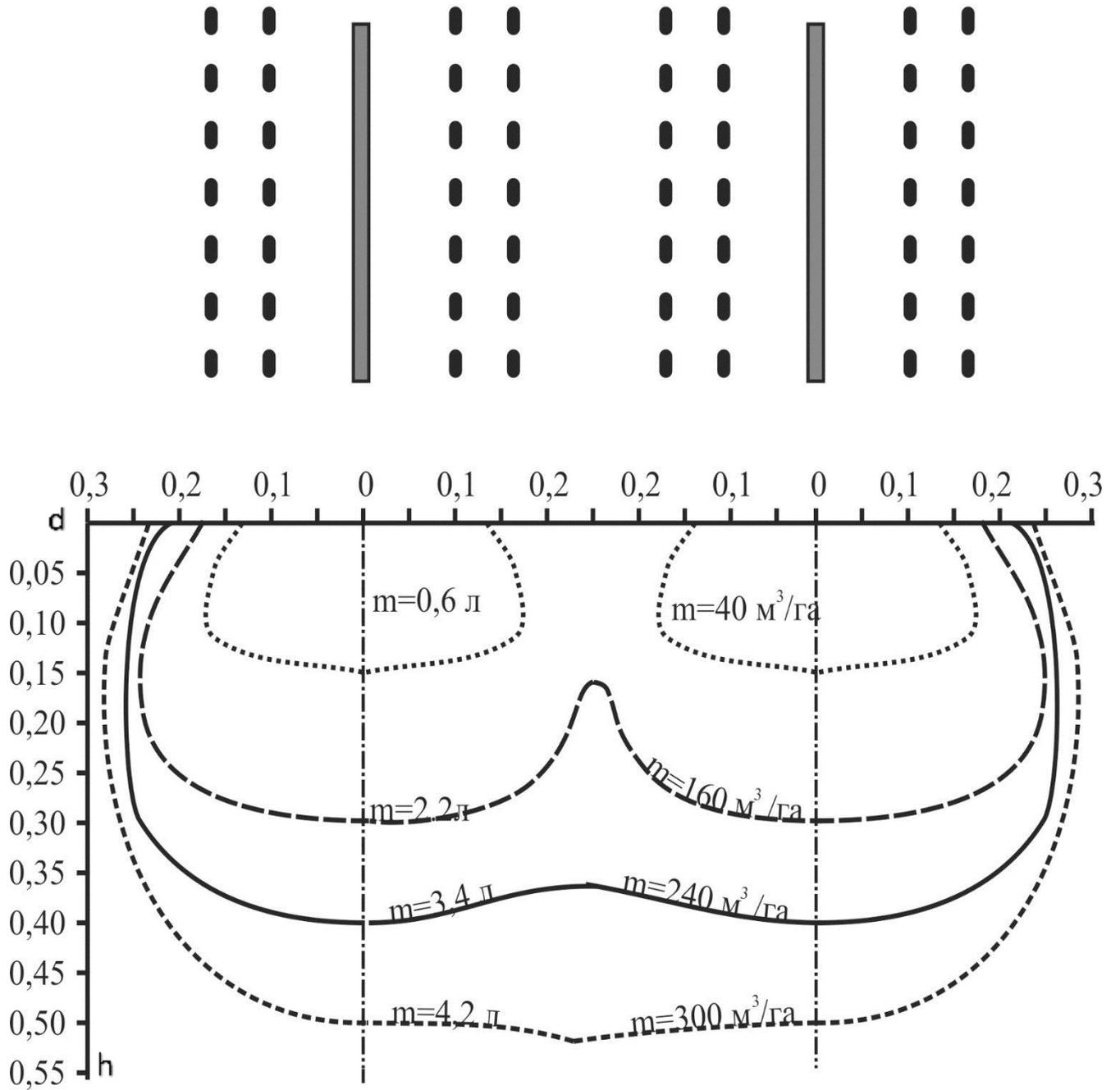


Рисунок 3.2 – Взаимосвязь параметров посевной ленты репчатого лука и геометрии зоны локального увлажнения почвы при капельном орошении (исходная влажность почвы 70 % НВ, производительность капельницы 1,6 л/час, почвы среднесуглинистые, светло-каштановые, пахотные)

ПОСЕВНАЯ ЛЕНТА

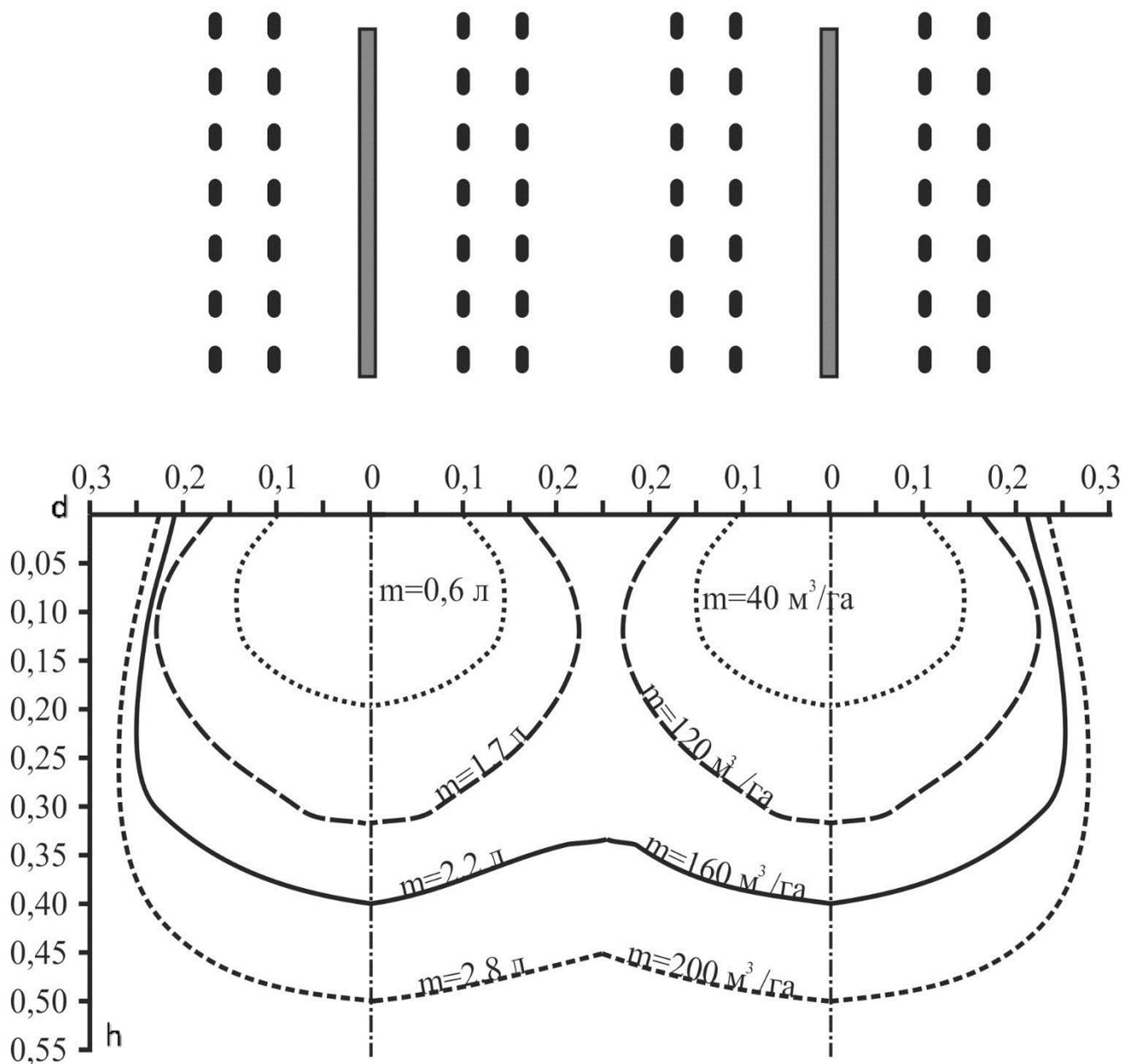


Рисунок 3.3 – Взаимосвязь параметров посевной ленты репчатого лука и геометрии зоны локального увлажнения почвы при капельном орошении (исходная влажность почвы 80 % НВ, производительность капельницы 1,6 л/час, почвы среднесуглинистые, светло-каштановые, пахотные)

Таким образом, с увеличением исходной влажности почвы вертикальный размер контура увлажнения существенно возрастает при сохранении или даже сокращении размеров пятна увлажнения.

Обработка результатов полевого эксперимента методами математической регрессии позволила получить зависимости для определения параметров контура увлажнения по известным значениям исходной (предполивной) влажности почвы и объема водоподачи. Зависимости представлены уравнениями регрессии вида:

$$h = \frac{a+b \cdot w+c \cdot w^2+d \cdot q}{1+e \cdot w+f \cdot q} \quad (10),$$

$$d = a + \frac{b}{w} + c \cdot \ln q + \frac{d}{w^2} + e \cdot \ln q^2 + f \cdot \frac{\ln q}{w} \quad (11),$$

где h, d – параметры контура увлажнения почвы при капельном орошении, соответственно глубина промачивания и диаметр, м, w – исходная (предполивная) влажность почвы, % НВ, q – объем водоподачи на одну капельницу, л, a, b, c, d, e, f – параметры уравнения, определенные методом регрессионного анализа опытных данных (таблица 3.2). Графики зависимостей приведены на рисунках 3.4-3.5.

Таблица 3.2 – Коэффициенты регрессии уравнения зависимости параметров контура увлажнения почвы при капельном орошении от уровня исходной (предполивной) влажности почвы и объема водоподачи

Функция отклика	Параметры зависимости						Коэффициент детерминации, R^2
	a	b	c	d	e	f	
Глубина промачивания почвы по контуру, h	-0,03	0,0018	$-1,47 \cdot 10^{-5}$	0,03	-0,01	-0,0014	0,95
Диаметр контура увлажнения, d	0,4	9,33	-0,035	-806	-0,02	13,1	0,97

Применимость зависимости ограничивается почвенными условиями, которые должны быть соответствовать почвенным условиям опытного участка и производительностью капельниц 1,6 л/час. Коэффициенты детерминации полученных зависимостей, 0,95-0,97, позволяет уверенно использовать их для определения параметров контура увлажнения.

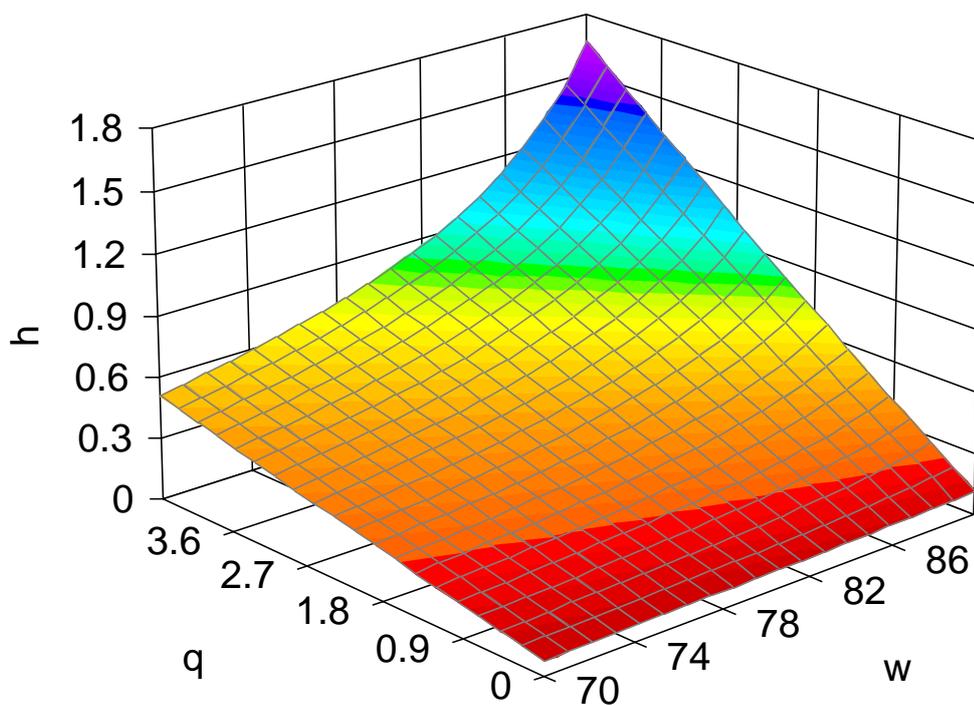


Рисунок 3.4 – График зависимости глубины промачивания почвы (h , м) от уровня исходной (предполивной) влажности (w , %НВ) и объема водоподачи (q , л/капельницу)

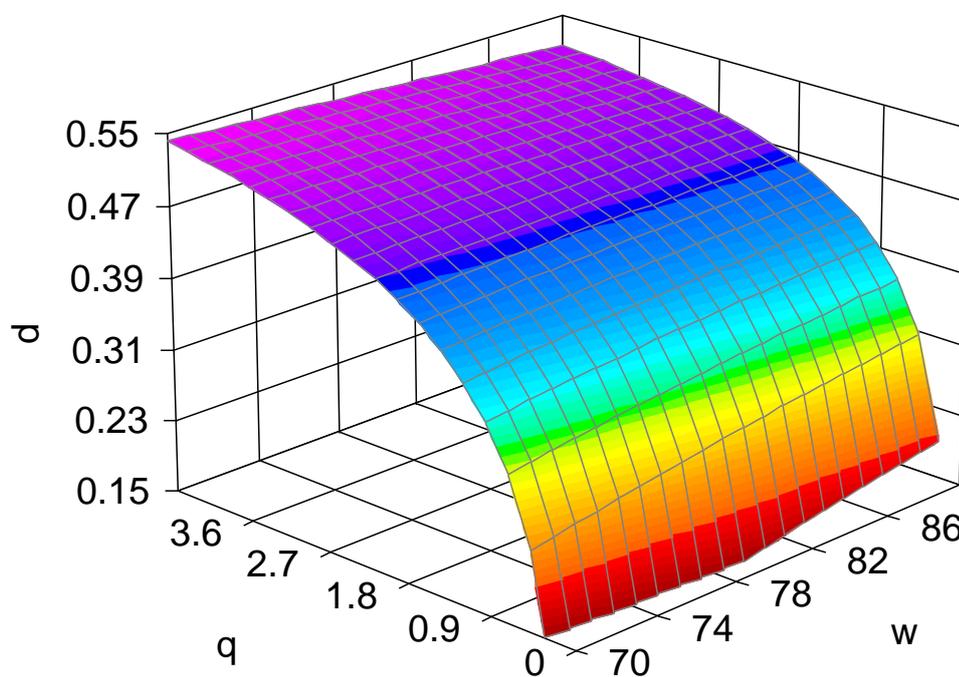


Рисунок 3.5 – График зависимости диаметра контура увлажнения (d , м) от уровня исходной (предполивной) влажности почвы (w , %НВ) и объема водоподачи (q , л/капельницу)

Анализ полученных данных и расчеты по предложенной зависимости показали, что при поддержании порога предполивной влажности почвы не ниже 80 % НВ увлажнение почвы на заданную глубину, 0,3 м, гарантированно обеспечивается при проведении поливов нормой 120 м³/га. При этом горизонтальное растекание внутрипочвенной влаги (диаметр контура) достигает 0,46 м, что позволяет гарантированно регулировать водный режим почвы в зоне размещения посевов лука. Исследованиями установлено, что для промачивания почвы на глубину 0,4 м необходимо проведение капельного полива поливной нормой 160 м³/га, а для промачивания 0,5-метрового слоя – 200 м³/га. При этом диаметр контура увлажнения с увеличением объема подаваемой поливной воды последовательно возрастал до 0,48 м.

При поддержании порога предполивной влажности почвы на уровне 70 % НВ промачивание почвы на глубину 0,3 м происходило при норме вылива одной капельницы не менее 2,5 л, что при заданной схеме раскладки поливных капельных трубопроводов соответствует поливной норме 180 м³/га. Диаметр контура увлажнения при этом составляет 0,48 м, что соответствует условию $d > l \cdot 2 > 0,44$ м. С увеличением объема водоподдачи на одну капельницу до 4,2 л диаметр контура увлажнения почвы последовательно возрастал, достигая 0,54 м. При этом для промачивания почвы на глубину 0,4 м средний вылив одной капельницы должен составлять 3,4 л, а для увлажнения 0,5-метрового слоя почвы – 4,2 л.

Исследования показали, что при исходной (предполивной) влажности почвы 90 % НВ для промачивания почвы на глубину 0,3 м достаточно объема вылива одной капельницы не более 0,6 л. Однако диаметр контура увлажнения при этом не превышает 0,34 м, что не согласуется с условием $d > l \cdot 2 > 0,44$ м.

Таким образом, принятая в опыте типизированная схема раскладки поливных трубопроводов по сдвоенной («луковой») схеме обеспечивает возможность гарантированного регулирования водного режима почвы в зоне посевных лент.

3.2 Режим капельного орошения репчатого лука в опытах

В условиях острозасушливого климата Нижнего Поволжья формирование водного режима почвы тесно связано с режимом проведения вегетационных поливов. Атмосферные осадки при возделывании таких водотребовательных культур, как репчатый лук, хоть и оказывают влияние на формирование водного режима почвы, однако, их значимость сравнительно невелика. При капельном орошении водный режим почвы регулируется не сразу на всем массиве сельскохозяйственного поля, а локально, как правило, в прикорневой зоне растений. Эта особенность формирования водного режима почвы при капельном орошении обуславливает необходимость строгого соблюдения регламента проведения поливов и планирования режимов орошения.

Формирование водного режима почвы происходит неодинаково у разных сельскохозяйственных культур, а также зависит от ряда факторов, среди которых особое значение имеют:

- тип и влагоемкость почвы, обуславливающие объем доступной растениям почвенной влаги;
- предполивной уровень влажности почвы, определяющий степень допустимого иссушения почвы в расчетном слое перед проведением очередного вегетационного полива;
- мощность увлажняемого горизонта почвы, определяющая общие запасы доступной почвенной влаги после полива и, собственно, поливную норму;
- агрометеорологические условия, складывающиеся на конкретном сельскохозяйственном поле.

В опытах порог предполивной влажности почвы поддерживали на уровне 80-70 % НВ в соответствии с рекомендациями известных в регионе исследователей [11, 26, 28, 72, 94]. Мощность увлажняемого слоя почвы в соответствии с программой исследований варьировалась от 0,3 м до 0,5 м с шагом в 0,1 м. Поливная норма рассчитывалась с учетом водно-физических свойств почвы и составила для предполивного порога влажности 80 % НВ, - 120 м³/га, - соответственно для слоя

почвы 0,3 м, 160 м³/га – для слоя почвы 0,4 м, 200 м³/га – для слоя 0,5 м. Расчетные значения поливной нормы для предполивного порога влажности почвы 70 % НВ при глубине промачивания почвы 0,3 м поливная норма составляла 180 м³/га, при глубине промачивания почвы 0,4 м – 240 м³/га, а при глубине промачивания почвы 0,5 м – 300 м³/га.

Поливы расчетными поливными нормами проводили по достижении влажности расчетного слоя почвы предполивного уровня. Во все годы исследований условие поддержания заданных порогов предполивной влажности почвы строго соблюдалось (рисунок 3.4-3.6).

Из приведенных на рисунках 3.4-3.6 данных видно, что формирование водного режима почвы тесно связано как с графиком проведения вегетационных поливов, так и с поступлением атмосферных осадков. И если при отсутствии осадков вегетационные поливы проводятся лишь по достижении влажности почвы предполивного уровня, то при поступлении атмосферных осадков закономерности формирования водного режима почвы изменяются, а содержание влаги в расчетном слое может достаточно длительное время держаться существенно выше предполивного уровня. Преимущественно поступлением атмосферных осадков в опытах объяснялись и различия в формировании водного режима почвы по годам проведения исследований.

Другой общей закономерностью, которая явно прослеживается из приведенной на рисунках динамики влажности почвы, является последовательное повышение потребности в проведении вегетационных поливов от посева к последующим периодам роста луковичных растений. Наиболее ответственным в технологическом плане проведения поливов является период от начала образования до начала активного роста луковицы. Интенсивность иссушения почвы в эту фазу достигает наибольших значений, что хорошо прослеживается по динамике снижения ее средней для расчетного слоя влажности (рисунок 3.6-3.8). Продолжительность межполивных периодов в эту фазу не превышает 2-3 суток при поддержании предполивного уровня, 80 % НВ в слое 0,3 м, 3-4 суток, - при поддержании заданного порога в слое 0,4 м, и 4-5 суток – в слое 0,5 м.

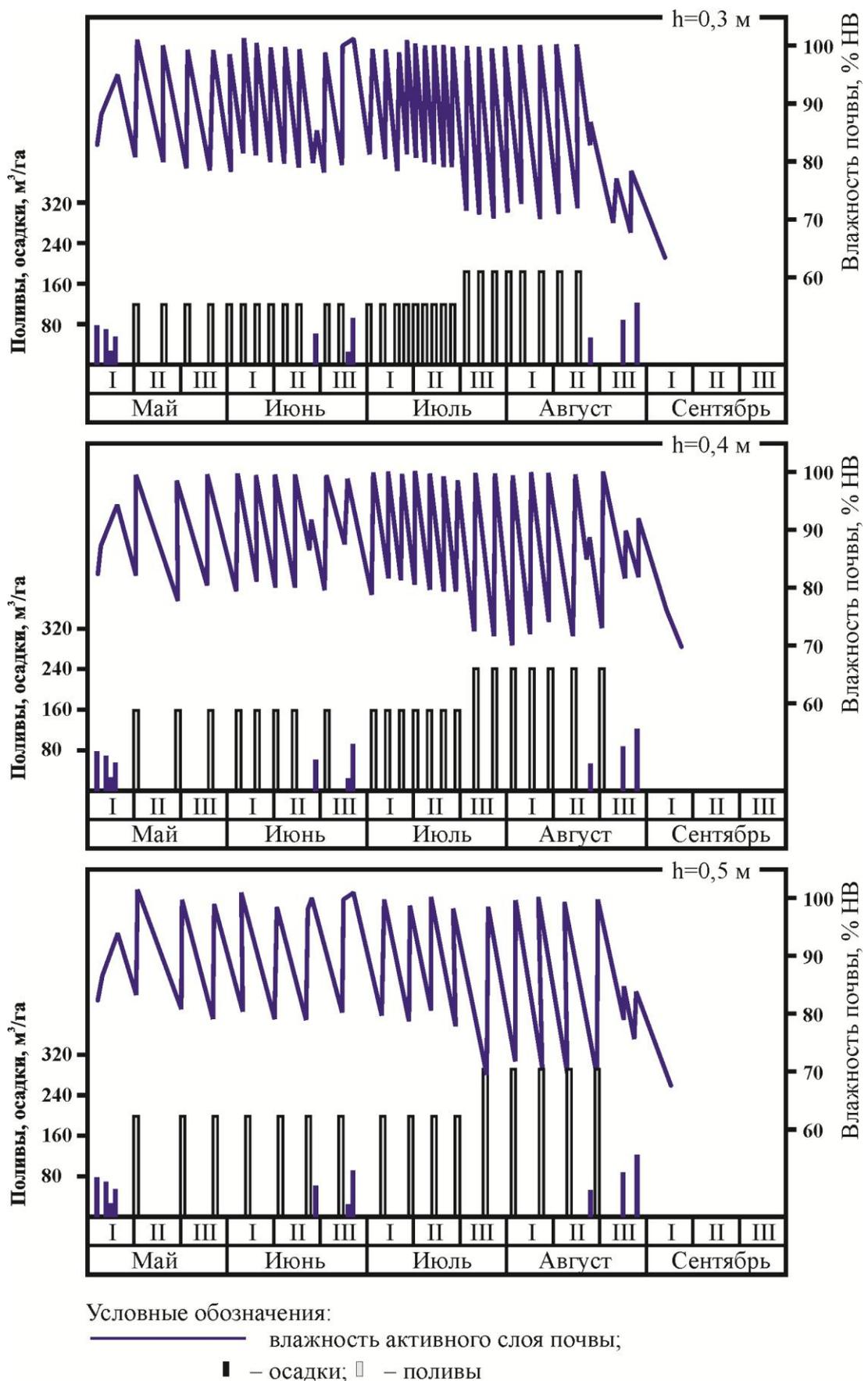


Рисунок 3.6 – Особенности формирования водного режима почвы при разной расчетной глубине увлажнения (на примере опытных посевов лука в 2014 году, посев 4-х строчным способом без гряд)

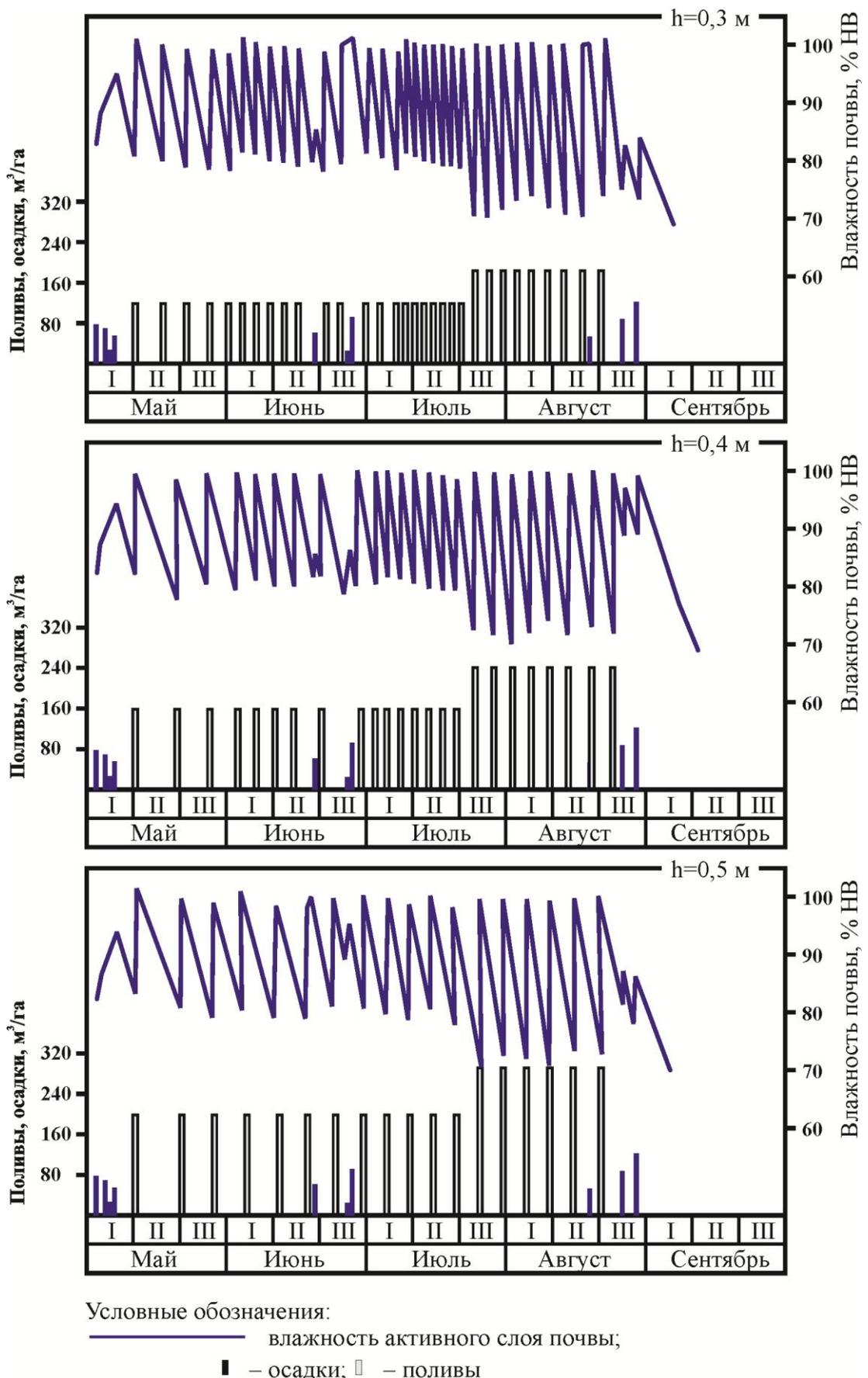


Рисунок 3.7 – Особенности формирования водного режима почвы при разной расчетной глубине увлажнения (на примере опытных посевов лука в 2014 году, посев 8-ми строчным способом на грядах)

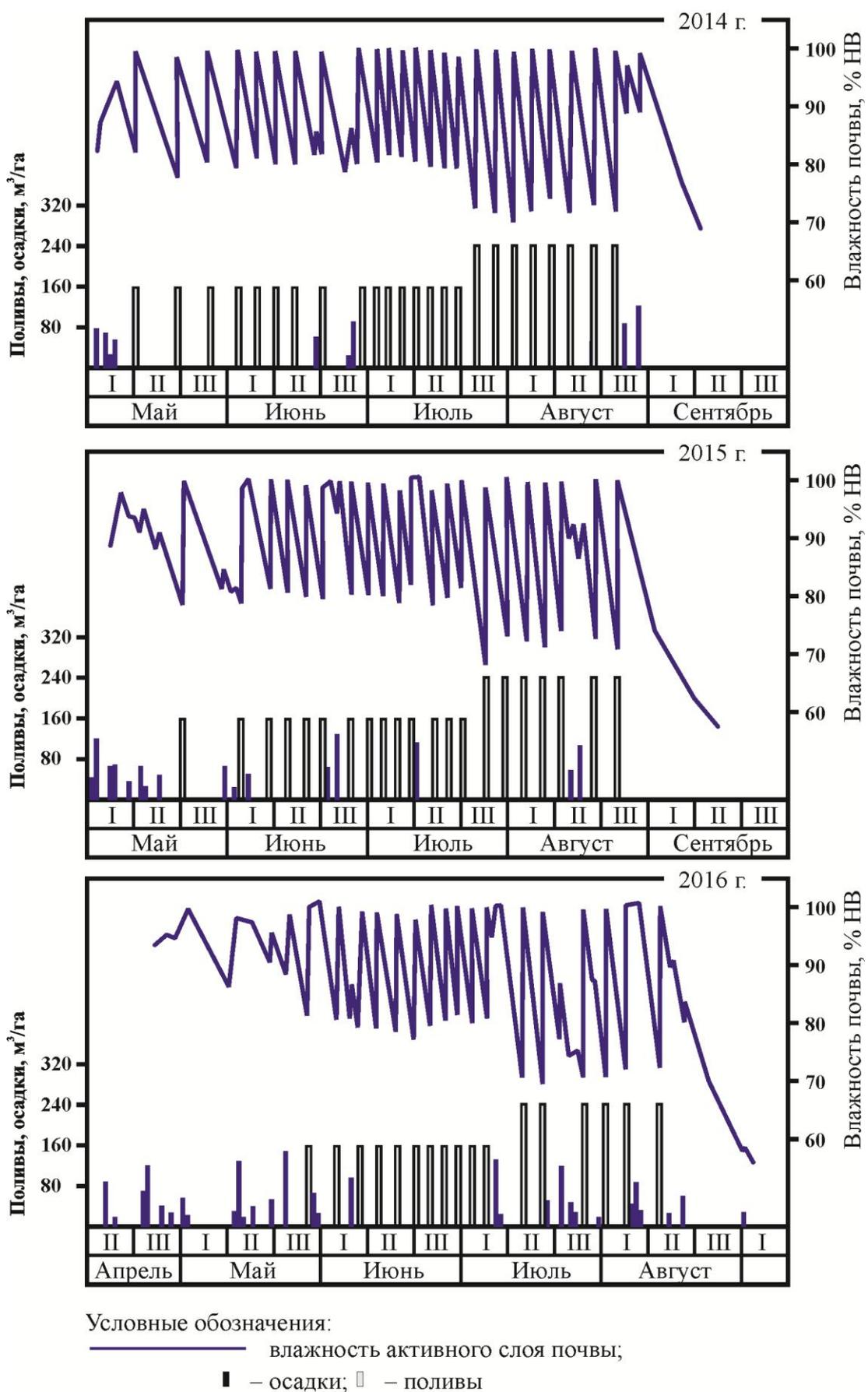


Рисунок 3.8 – Особенности формирования водного режима почвы при капельном орошении лука в годы проведения исследований (расчетная глубина увлажнения почвы 0,4 м, посев 8-ми строчным способом на грядах)

С начала периода активного роста луковицы, которая характеризуется торможением развития вегетативной части и началом активного перераспределения пластических веществ в запасающие органы (луковицу), рекомендуется снижать порог предполивной влажности почвы до 70 % НВ, что способствует формированию более качественной продукции [11, 28]. Исследования показали, что хотя высокая интенсивность иссушения активного слоя почвы в этот период сохраняется, но из-за увеличения допустимого диапазона регулирования ее влажности, потребность в количестве проводимых поливов снижается. Средняя продолжительность межполивного периода находилась в пределах 3-4 суток при поддержании заданной влажности почвы в слое 0,3 м, 4-6 суток – в слое 0,4 м и 5-8 суток – в слое 0,5 м.

Анализ накопленных за период исследований данных по параметрам формирования режима орошения показал, что потребность в поливах при капельном орошении репчатого лука существенно зависит от складывающихся агрометеорологических условий (таблица 3.1-3.4). Особенно это заметно в период «посев-всходы» и начальные фазы роста и развития лука. Например, в 2015 году за период «посев-всходы» вообще не понадобилось ни одного капельного полива, тогда как в 2014 году для поддержания порога предполивной влажности почвы на уровне 80 % НВ на участках разных вариантов проводилось от 1 до 2 поливов. В среднем на 1 полив больше понадобилось провести в 2014 году в период «всходы – образование 5-го листа». В тоже время, в фазы, характеризующиеся наибольшим развитием вегетативных органов лука и интенсивной транспирацией, наряду с общим увеличением потребности в капельных поливах влияние агрометеорологических условий на режим орошения в относительном плане существенно снижалось.

Анализ численного материала, полученного за годы исследований, подтвердил, что в течение вегетационного периода относительно реже потребность в проведении вегетационных поливов возникает в начальные периоды развития агроценоза. С начала фазы образования 5-го листа потребность в капельных поливах и, соответственно, число поливов существенно увеличивается. Интенсивный режим сохраняется до начала созревания луковицы, когда проведение поливов по агротехнологическим условиям прекращается.

Таблица 3.1 – Численная оценка режима капельного орошения репчатого лука в 2014 году

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Число капельных поливов в период					Рост - начало созревания луковицы	Вегетационный период
			Посев - всходы	Всходы - образование 5-го листа	5-й лист - образование луковицы	Образование - начало активного роста луковицы	Рост - начало созревания луковицы		
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	2	5	6	8	8	8	29
		0,4	1	4	4	6	7	7	22
		0,5	1	3	3	4	5	5	16
	Шестистрочный (В2)	0,3	2	5	6	8	9	9	30
		0,4	1	4	4	6	7	7	22
		0,5	1	3	3	4	6	6	17
Восьмистрочный (В3)	0,3	2	5	6	8	9	9	30	
	0,4	1	4	5	6	7	7	23	
	0,5	1	3	4	4	6	6	18	
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	2	5	6	8	9	9	30
		0,4	1	4	5	6	7	7	23
		0,5	1	3	3	4	5	5	16
	Шестистрочный (В2)	0,3	2	5	7	8	9	9	31
		0,4	1	4	5	6	8	8	24
		0,5	1	3	4	4	6	6	18
Восьмистрочный (В3)	0,3	2	5	7	8	9	9	31	
	0,4	1	4	5	6	8	8	24	
	0,5	1	3	4	4	6	6	18	

Таблица 3.2 – Численная оценка режима капельного орошения репчатого лука в 2015 году

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Число капельных поливов в период					Рост - начало созревания луковицы	Вегетационный период
			Посев - всходы	Всходы - образование 5-го листа	5-й лист - образование луковицы	Образование - начало активного роста луковицы	Рост - начало созревания луковицы		
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	0	4	7	7	8	26	
		0,4	0	3	5	5	6	19	
	0,5	0	2	4	4	5	15		
	Шестьстрочный (В2)	0,3	0	4	8	7	8	27	
		0,4	0	3	6	5	7	21	
	0,5	0	2	4	4	5	15		
Размещение посевов на грядах	Восьмистрочный (В3)	0,3	0	4	8	7	8	27	
		0,4	0	3	6	5	7	21	
	0,5	0	2	4	4	5	15		
	Четырехстрочный (В1)	0,3	0	3	7	7	8	25	
		0,4	0	2	6	5	6	19	
	0,5	0	2	4	4	5	15		

Таблица 3.3 – Численная оценка режима капельного орошения репчатого лука в 2016 году

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Число капельных поливов в период					Рост - начало созревания луковицы	Вегетационный период
			Посев - всходы	Всходы - образование 5-го листа	5-й лист - образование луковицы	Образование - начало активного роста луковицы	Рост - начало созревания луковицы		
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	0	0	7	7	6	20	
		0,4	0	0	5	5	5	15	
		0,5	0	0	4	4	4	12	
	Шестистрочный (В2)	0,3	0	0	7	7	7	21	
		0,4	0	0	5	5	6	16	
		0,5	0	0	4	4	4	12	
Восьмистрочный (В3)	0,3	0	0	7	7	7	21		
	0,4	0	0	6	6	5	16		
	0,5	0	0	4	4	4	12		
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	0	0	7	6	7	20	
		0,4	0	0	6	5	5	16	
		0,5	0	0	4	4	4	12	
	Шестистрочный (В2)	0,3	0	0	8	8	7	21	
		0,4	0	0	6	5	6	17	
		0,5	0	0	4	4	4	12	
Восьмистрочный (В3)	0,3	0	0	8	6	7	21		
	0,4	0	0	6	5	6	17		
	0,5	0	0	4	4	4	12		

Таблица 3.4 – Динамика затрат оросительной воды при капельном орошении лука репчатого, м³/га (среднее за 2014-2016 гг.)

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Число капельных поливов в период					Рост - начало созревания лукавицы	Вегетационный период
			Посев - всходы	Всходы - образование листа	5-й лист - образование лукавицы	Образование - начало активного роста лукавицы	Рост - начало созревания лукавицы		
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	80	360	800	880	1 320	3 440	
		0,4	50	370	750	850	1 440	3 470	
		0,5	70	330	730	800	1 400	3 330	
	Шестистрочный (В2)	0,3	80	360	840	880	1 440	3 600	
		0,4	50	370	800	850	1 600	3 680	
		0,5	70	330	730	800	1 500	3 430	
	Восьмистрочный (В3)	0,3	80	360	840	880	1 440	3 600	
		0,4	50	370	910	850	1 520	3 710	
		0,5	70	330	800	800	1 500	3 500	
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	80	320	800	840	1 440	3 480	
		0,4	50	320	910	850	1 440	3 570	
		0,5	70	330	730	800	1 400	3 330	
	Шестистрочный (В2)	0,3	80	320	920	840	1 440	3 600	
		0,4	50	320	910	910	1 680	3 870	
		0,5	70	330	870	800	1 500	3 570	
	Восьмистрочный (В3)	0,3	80	320	920	840	1 440	3 600	
		0,4	50	320	910	910	1 680	3 870	
		0,5	70	330	870	800	1 500	3 570	

Исследованиями доказано влияние на поливной режим лука факторов, определяющих способы посева и формирование архитектоники агроценоза. В опытах наименьшее число поливов при прочих равных условиях всегда требовалось провести на участках, где посев проводили 4-х строчным способом. Увеличение числа посевных строк в ленте до 6-ти или 8-ми потребовало повышения частоты проведения поливов и увеличения общего числа проведенных поливов, в среднем, на 1-2 полива.

Общее увеличение числа проведенных поливов (в среднем, на 1-2 полива) потребовалось на участках с использованием грядовой технологии возделывания в 2014 и 2016 годах. В тоже время в 2015 году однозначно выраженного характера изменения поливного режима лука не наблюдалось, в опытах при переходе на грядовую технологию наблюдалось как увеличение, так и снижение потребности в проведении капельных поливов.

Опыты показали, что частота проведения вегетационных поливов ожидаемо снижается с увеличением глубины промачивания почвы. В частности, на участках, где поливы проводили в расчете на поддержание заданного порога предполивной влажности почвы в слое 0,3 м, число поливов по годам исследований изменялось от 20 до 31. При увеличении глубины увлажняемого горизонта почвы до 0,4 м поливы стали проводиться существенно реже; в 2014 году за вегетационный период было проведено 22-24 полива, а в 2015 году – не более 19-21 полива, а в 2016 году – 15-17 поливов. Наименьшее число капельных поливов, от 12 в 2016 году до 15-16 в 2015 году, потребовалось для поддержания заданных порогов предполивной влажности почвы в слое 0,5 м.

Снижение потребности в капельных поливах при увеличении мощности увлажняемого горизонта почвы тесно коррелирует с повышением поливной нормы и увеличением запасов доступной почвенной влаги после проведения полива. Следует признать, что число проведенных поливов в этом случае никак не совпадает с динамикой расходования оросительной воды.

Динамика потребления оросительной воды в опытах существенно изменялась в вариантах с разной глубиной увлажнения почвы при капельном поливе. Иссле-

дования показали, что при увеличении мощности увлажняемого горизонта почвы с 0,3 до 0,5 м общие затраты оросительной воды на поддержание заданных порогов предполивной влажности почвы снижаются. Следует признать, что в количественном выражении снижение затрат оросительной воды довольно неустойчиво и характеризуется диапазоном от 30 до 170 м³/га. Другой особенностью динамики потребления оросительной воды в опытах является нелинейность этой зависимости. В частности при увеличении мощности увлажняемого горизонта почвы с 0,3 до 0,4 м затраты оросительной воды на поддержание заданных порогов предполивной влажности почвы, преимущественно, возрастали на 30-270 м³/га. Наибольшее повышение затрат оросительной воды при увеличении мощности увлажняемого горизонта почвы с 0,3 до 0,4 м наблюдалось на участках вариантов, где посев проводили на грядах 6-ти и 8-ми строчным способом.

Изменение способа посева лука в еще большей мере отражалось на динамике расходования ресурсов оросительной воды в опытах. Переход с 4-х строчного способа посева на 6-ти и 8-ми строчные способы всегда сопровождался ростом затрат оросительной воды, который в количественном выражении достигал 120-500 м³/га. Исследованиями выявлена тенденция к увеличению затрат оросительной воды на участках вариантов с использованием грядовой технологии возделывания лука. В 2014 и 2016 годах году затраты оросительной воды с переходом на грядовую технологию возрастали на 60-400 тыс. м²/га. В тоже время данные, полученные в 2015 году, эту закономерность не подтвердили.

В течение вегетационного периода затраты оросительной воды распределяются неравномерно. Меньше всего оросительной воды для поддержания заданных порогов предполивной влажности почвы расходовалось в периоды «посев- всходы» и «всходы – образование 5-го листа». Наибольшие затраты оросительной воды (до 1 320-1 680 м³/га) требуются для поддержания заданных порогов предполивной влажности почвы в период активного роста луковицы.

Таким образом, поддержание дифференцированного, 80-70 % НВ, порога предполивной влажности почвы в слое 0,3 м связано с необходимостью проведения до 20-31 вегетационного полива с общим расходом оросительной воды в пре-

делах 3 440-3 600 м³/га. Для поддержания такого же предполивного уровня в слое 0,4 м требуется проведение 15-24 вегетационных поливов с оросительной нормой 3 470-3 870 м³/га. Регулирование водного режима почвы по указанной схеме в слое 0,5 м обеспечивается проведением не более 12-18 вегетационных поливов, однако затраты оросительной воды при этом составляют 3 330-3 570 м³/га.

3.3 Водопотребление и основные статьи баланса почвенной влаги при капельном орошении репчатого лука

Сбалансированность основных статей баланса почвенной влаги является необходимым условием формирования оптимального водного режима почвы. В условиях естественного увлажнения главным критерием оптимальности мелиоративного режима почв является радиационный индекс сухости:

$$\bar{R} = \frac{R}{L \cdot Q_{ос}} \quad (12),$$

где - \bar{R} – величина радиационного индекса сухости, R – радиационный баланс поверхности почвы (кДж/см²·год), L – скрытая теплота парообразования (кДж/см²·год на 1 мм слоя воды). $Q_{ос}$ – атмосферные осадки.

В работах [6] отмечено, что при формировании естественного баланса влаги с радиационным индексом сухости в районе единицы образуются степные почвы с наибольшими запасами свободной энергии, аккумулированной в гумусе, при $\bar{R} > 2$ формируются почвы пустынной зоны, при $\bar{R} < 0,8$ – ухудшение свойств почвы, несмотря на их достаточно высокую биологическую продуктивность, обусловлено в значительной степени вымыванием не только минеральных, но и органических веществ. Таким образом, оптимальными с точки зрения формирования благоприятных мелиоративных режимов следует считать условия, когда $\bar{R} = 1$.

В отношении мелиорированных агроландшафтов, рассматриваемых как территориально ограниченные мелиорированные участки, следует учитывать не величину $Q_{ос}$ – объем поступивших атмосферных осадков, а все основные статьи, участвующие в формировании баланса почвенной влаги:

$$\bar{R} = \frac{R}{L \cdot \sum Q_i} \quad (13),$$

где $\sum Q_i$ – сумма основных статей баланса почвенной влаги, мм.

Тогда если принять $\frac{R}{L} \approx E$, где E – суммарное водопотребление, мм, то при выполнении условий оптимальности:

$$\bar{R} = \frac{R}{L \cdot \sum Q_i} \approx \frac{E}{\sum Q_i} = 1 \quad (14),$$

будет справедливо и следующее выражение:

$$\sum Q_i = E \text{ или } \sum Q_i - E = 0 \quad (15),$$

При этом предполагается, что в условиях оптимального увлажнения глубинный внутрипочвенный сброс и инфильтрация воды сведена к минимуму.

Капельный полив, как способ низкоинтенсивного орошения позволяет предотвратить инфильтрационные потери воды. Основными приходными статьями баланса почвенной влаги в этих условиях являются: влага атмосферных осадков, собственные запасы влаги в активном слое почвы, оросительная вода. Главной расходной статьёй водного баланса следует считать суммарное водопотребление посевов рассматриваемой культуры.

Системное обобщение и анализ опытных данных показал, что при выращивании таких водотребовательных культур, как репчатый лук, в засушливых условиях Нижнего Поволжья участие атмосферных осадков и естественных запасов почвенной влаги в формировании водного баланса минимально. Исследования показали, что из общего объема воды, поступившего на луковое поле за вегетационный период, на атмосферные осадки приходится не более 9,1-32,9 % (таблица 3.5). За счет запасов почвенной влаги потребность культуры возмещается не более, чем на 5,5-14,9 %.

Наибольшей, гарантированно обеспеченной приходной статьёй баланса почвенной влаги при выращивании репчатого лука в засушливых условиях Нижнего Поволжья является оросительная вода. В опытах доля участия оросительной воды в формировании баланса почвенной влаги достигала 77,1-83,7 % в 2014 году, 67,2-73,1 % в 2015 году и 54,8-59,9 % в 2016 году.

Таблица 3.5 – Основные статьи баланса почвенной влаги при капельном орошении репчатого лука

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Оросительная вода		Атмосферные осадки		Запасы почвенной влаги	
			м ³ /га	% к сумме приходных статей	м ³ /га	% к сумме приходных статей	м ³ /га	% к сумме приходных статей
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вегетационный период 2014 года								
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	3 960	82,5	490	10,2	350	7,3
		0,4	4 080	82,8	490	9,9	360	7,3
		0,5	3 700	78,1	490	10,3	550	11,6
	Шестистрочный (В2)	0,3	4 140	83,3	490	9,9	340	6,8
		0,4	4 080	80,3	490	9,6	510	10,0
		0,5	4 000	81,6	490	10,0	410	8,4
	Восьмистрочный (В3)	0,3	4 140	82,6	490	9,8	380	7,6
		0,4	4 240	81,9	490	9,5	450	8,7
		0,5	4 200	84,2	490	9,8	300	6,0
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	4 140	84,5	490	10,0	270	5,5
		0,4	4 240	84,1	490	9,7	310	6,2
		0,5	3 700	77,1	490	10,2	610	12,7
	Шестистрочный (В2)	0,3	4 260	82,7	490	9,5	400	7,8
		0,4	4 480	83,4	490	9,1	400	7,4
		0,5	4 200	83,2	490	9,7	360	7,1
	Восьмистрочный (В3)	0,3	4 260	82,1	490	9,4	440	8,5
		0,4	4 480	83,1	490	9,1	420	7,8
		0,5	4 200	83,7	490	9,8	330	6,6
Вегетационный период 2015 года								
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	3 600	71,9	1 096	21,9	314	6,3
		0,4	3 520	68,1	1 096	21,2	554	10,7
		0,5	3 500	69,7	1 096	21,8	424	8,4
	Шестистрочный (В2)	0,3	3 720	71,4	1 096	21,0	394	7,6
		0,4	3 920	73,1	1 096	20,4	344	6,4
		0,5	3 500	67,8	1 096	21,2	564	10,9
	Восьмистрочный (В3)	0,3	3 720	71,0	1 096	20,9	424	8,1
		0,4	3 920	72,7	1 096	20,3	374	6,9
		0,5	3 500	67,2	1 096	21,0	614	11,8

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Раз- меще- ние посе- вов на грядках	Четырех- строчный (В1)	0,3	3 480	69,2	1 096	21,8	454	9,0
		0,4	3 520	67,7	1 096	21,1	584	11,2
		0,5	3 500	70,1	1 096	22,0	394	7,9
	Ше- стистроч- ный (В2)	0,3	3 600	67,9	1 096	20,7	604	11,4
		0,4	3 920	70,8	1 096	19,8	524	9,5
		0,5	3 700	70,5	1 096	20,9	454	8,6
	Восьми- строчный (В3)	0,3	3 600	67,7	1 096	20,6	624	11,7
		0,4	3 920	70,3	1 096	19,6	564	10,1
		0,5	3 700	70,1	1 096	20,8	484	9,2
Вегетационный период 2016 года								
Без изме- нения про- филя по- верх- ности почвы	Четырех- строчный (В1)	0,3	2 760	58,0	1 551	32,6	449	9,4
		0,4	2 800	57,0	1 551	31,6	559	11,4
		0,5	2 800	59,4	1 551	32,9	359	7,6
	Ше- стистроч- ный (В2)	0,3	2 940	59,2	1 551	31,2	479	9,6
		0,4	3 040	58,3	1 551	29,8	619	11,9
		0,5	2 800	56,7	1 551	31,4	589	11,9
	Восьми- строчный (В3)	0,3	2 940	58,9	1 551	31,1	499	10,0
		0,4	2 960	57,0	1 551	29,9	679	13,1
		0,5	2 800	56,2	1 551	31,1	629	12,6
Раз- меще- ние посе- вов на грядках	Четырех- строчный (В1)	0,3	2 820	58,5	1 551	32,2	449	9,3
		0,4	2 960	59,3	1 551	31,1	479	9,6
		0,5	2 800	57,9	1 551	32,0	489	10,1
	Ше- стистроч- ный (В2)	0,3	2 940	58,6	1 551	30,9	529	10,5
		0,4	3 200	59,9	1 551	29,0	589	11,0
		0,5	2 800	55,0	1 551	30,5	739	14,5
	Восьми- строчный (В3)	0,3	2 940	58,3	1 551	30,8	549	10,9
		0,4	3 200	59,5	1 551	28,8	629	11,7
		0,5	2 800	54,8	1 551	30,4	759	14,9

Из приведенных данных видно, что по вариантам опыта доля участия оросительной воды в формировании баланса почвенной влаги изменяется слабо. Последнее свидетельствует о существовании определенных пропорций между водопотреблением культуры и динамикой расходования оросительной воды при капельном орошении.

В течение вегетационного периода вода посевами репчатого лука потребляется неравномерно (таблица 3.6, рисунок 3.9-3.10). Если за период от посева до появления массовых всходов луком расходовалось не более 190-200 м³/га воды, то уже в период «всходы – образование 5-го листа» эта цифра возрастала в 2,4- 2,9 раза, достигая 490-550 м³/га. Наибольших значений суммарное водопотребление репчатого лука достигало в период активного роста луковицы (фаза «начало активного роста – начало созревания луковицы»). В среднем за годы исследований за этот период посевами на суммарное испарение потреблялось 1 500-1 910 м³/га воды.

За вегетационный период суммарное водопотребление лука достигает 4 730-5 580 м³/га, что ставит репчатый лук в один ряд с наиболее водотребовательными овощными культурами (таблица 3.7). Исследованиями отмечена существенная вариация суммарного водопотребления по вариантам опыта. В частности, увеличение мощности горизонта почвы с регулируемым водным режимом с 0,3 до 0,4 м сопровождается существенным ростом суммарного водопотребления репчатого лука, который количественно выражается диапазоном от 150 до 270 м³/га. При этом с увеличением расчетной глубины промачивания почвы с 0,3 до 0,5 м суммарное водопотребление лука не только не возрастает, но в ряде случаев и снижается на 20-40 м³/га.

Изменение архитектуры посева в зависимости от применяемых схем высева лука сопровождается существенной вариацией суммарного водопотребления при любых сочетаниях исследуемых в опыте факторов. Переход с 4-х строчного на 6-строчный посев сопровождался увеличением суммарного водопотребления репчатого лука, в среднем, на 180-340 м³/га, причем в наибольшей степени (на 240-340 м³/га) суммарное водопотребление лука возрастало на участках с грядовой технологией возделывания.

Таблица 3.6 – Динамика суммарного водопотребления репчатого лука, м³/га
(по средним за 2014-2016 годы опытным данным)

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Период роста и развития							Период дозирования (до появления 60 % ботвы)	Вегетационный период
			Посев - всходы	Всходы - образование 5-го листа	5-й лист - образование луковицы	Образование - начало активного роста луковицы	Рост - начало созревания луковицы				
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	200	510	1 040	1 000	1 500	610	4 860		
		0,4	200	500	1 030	1 010	1 650	620	5 010		
		0,5	200	490	1 000	1 000	1 570	590	4 830		
	Шестистрочный (В2)	0,3	200	530	1 070	1 020	1 600	620	5 050		
		0,4	200	520	1 060	1 030	1 800	620	5 220		
		0,5	200	510	1 010	1 020	1 700	580	5 010		
	Восьмистрочный (В3)	0,3	200	550	1 080	1 020	1 600	620	5 080		
		0,4	200	540	1 070	1 030	1 790	630	5 260		
		0,5	200	520	1 020	1 020	1 710	600	5 080		
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	200	520	1 070	990	1 560	580	4 920		
		0,4	200	510	1 070	990	1 730	580	5 080		
		0,5	190	500	1 000	990	1 640	560	4 890		
	Шестистрочный (В2)	0,3	200	540	1 140	1 010	1 670	600	5 160		
		0,4	200	530	1 140	1 030	1 910	610	5 420		
		0,5	190	530	1 060	1 010	1 770	580	5 140		
	Восьмистрочный (В3)	0,3	200	550	1 140	1 020	1 670	600	5 180		
		0,4	200	540	1 160	1 030	1 910	610	5 450		
		0,5	190	540	1 060	1 020	1 760	580	5 150		

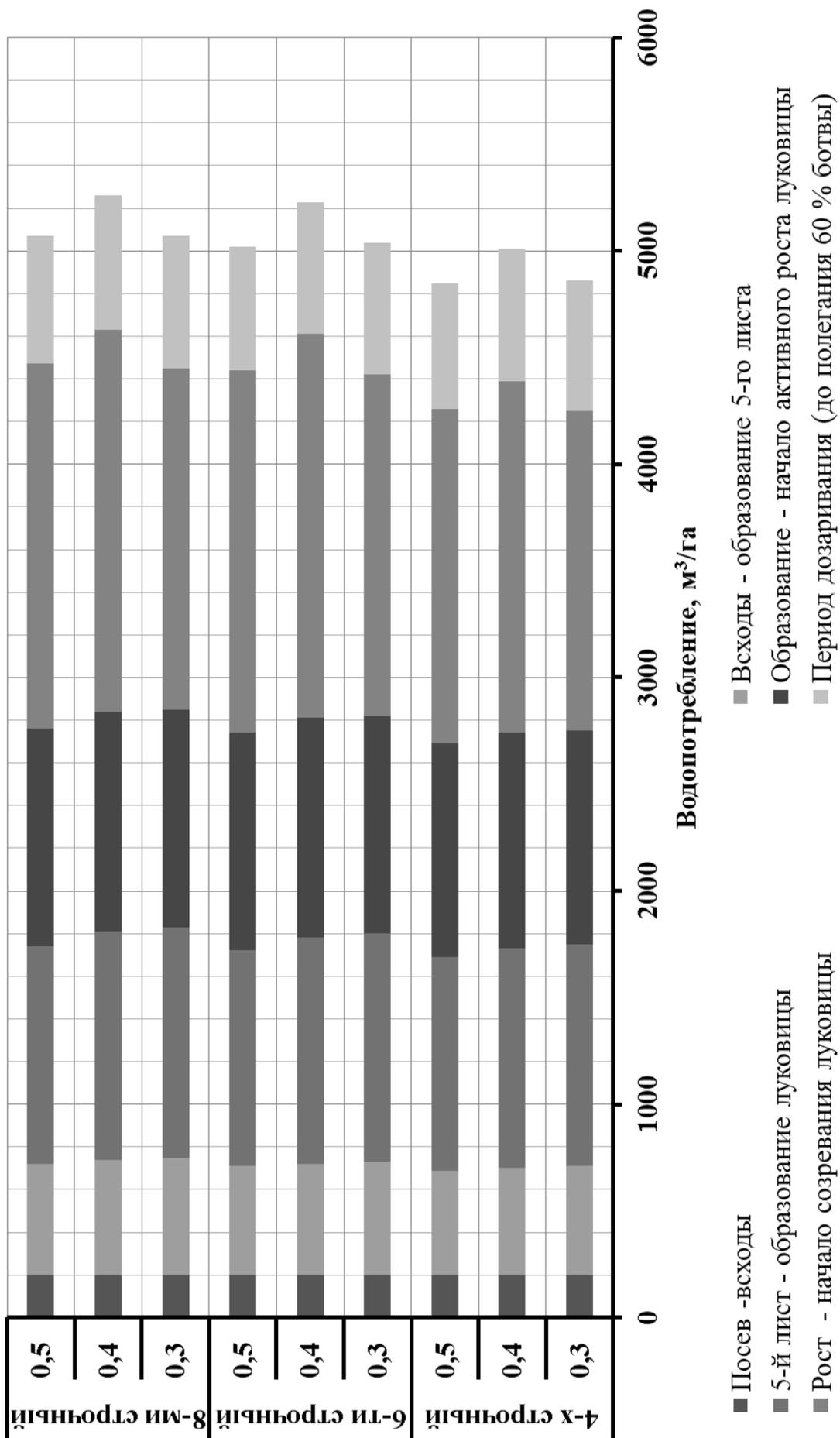


Рисунок 3.9 - Пофазная динамика формирования суммарного водопотребления репчатого лука при капельном орошении (вариант «без гряд»)

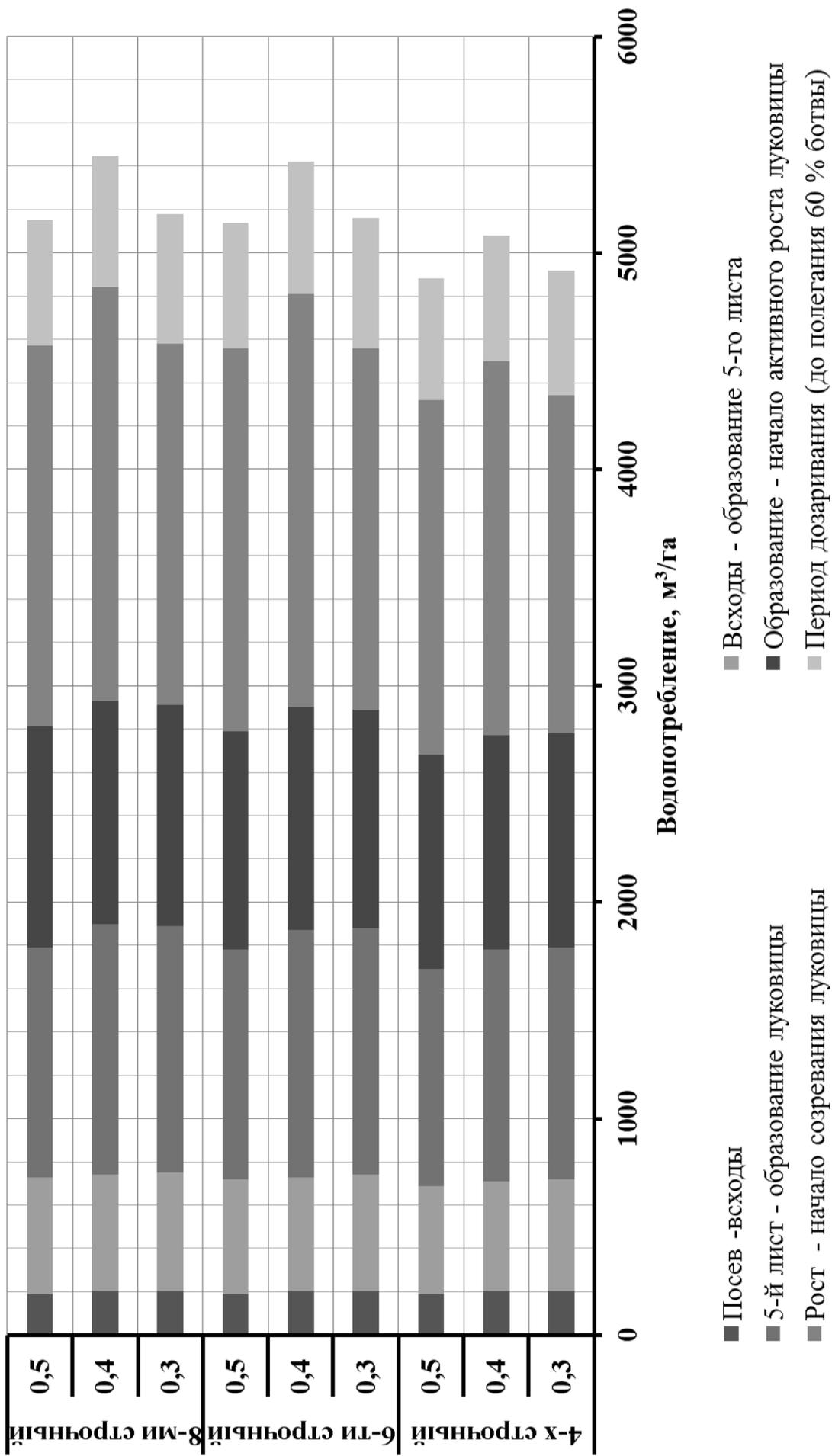


Рисунок 3.10 - Пофазная динамика формирования суммарного водопотребления репчатого лука при капельном орошении (вариант «на грядах»)

Таблица 3.7 – Суммарное водопотребление реччатого лука в зависимости от сочетания приемов возделывания и глубины промачивания почвы при капельном орошении

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажнения слоя почвы, м (фактор А)	Суммарное водопотребление, Е, м ³ /га				Δ Е в зависимости от мощности увлажнения слоя почвы		Δ Е в зависимости от способа посева		Δ Е в зависимости от профиля поверхности почвы		
			2014	2015	2016	Среднее	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /т	%	
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	4 800	5 010	4 760	4 860	-	-	-	-	-	-	
		0,4	4 930	5 170	4 920	5 010	150	3,1	-	-	-	-	
		0,5	4 740	5 030	4 730	4 830	-30	-0,6	-	-	-	-	
	Шестистрочный (В2)	0,3	4 970	5 210	4 970	5 050	-	-	190	3,9	-	-	
		0,4	5 080	5 360	5 220	5 220	170	3,4	210	4,2	-	-	
		0,5	4 900	5 170	4 970	5 010	-40	-0,8	180	3,7	-	-	
	Восьмистрочный (В3)	0,3	5 010	5 240	4 990	5 080	-	-	220	4,5	-	-	
		0,4	5 180	5 390	5 210	5 260	180	3,5	250	5,0	-	-	
		0,5	4 990	5 220	5 020	5 080	0	0,0	250	5,2	-	-	
	Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	4 900	5 030	4 820	4 920	-	-	-	-	60	1,2
			0,4	5 040	5 200	5 000	5 080	160	3,3	-	-	70	1,4
			0,5	4 800	5 000	4 860	4 890	-30	-0,6	-	-	60	1,2
		Шестистрочный (В2)	0,3	5 150	5 300	5 020	5 160	-	-	240	4,9	110	2,2
			0,4	5 370	5 540	5 350	5 420	260	5,0	340	6,7	200	3,8
			0,5	5 050	5 260	5 120	5 140	-20	-0,4	250	5,1	130	2,6
Восьмистрочный (В3)		0,3	5 190	5 320	5 040	5 180	-	-	260	5,3	100	2,0	
		0,4	5 390	5 580	5 390	5 450	270	5,2	370	7,3	190	3,6	
		0,5	5 020	5 290	5 140	5 150	-30	-0,6	260	5,3	70	1,4	

Дальнейшее увеличение число посевных строк в ленте до 8 также способствовало увеличению суммарного водопотребления лука, однако в количественном выражении этот эффект не превышал 10-70 м³/га.

Исследованиями получены данные, свидетельствующие о том, что суммарное водопотребление репчатого лука возрастает при переходе на грядовую технологию возделывания. Следует признать, что в количественном выражении эта прибавка была неодинакова по вариантам опыта и изменялась от 30-290 м³/га в 2014 году до 20-190 м³/га в 2015 и 2016 годах.

Таким образом, суммарное водопотребление репчатого лука существенно изменяется не только в вариантах, ориентированных на увлажнение разных горизонтов почвы, но и в зависимости от сочетания приемов возделывания при капельном орошении. Наибольшим водопотреблением, 5 350-5 580 м³/га, в опытах отличались 6-ти и 8-ми строчные посевы репчатого лука на грядах при проведении капельных поливов, ориентированных на увлажнение расчетного, 0,4-метрового слоя почвы. Основной статьей баланса почвенной влаги, восполняющей потери воды на суммарное испарение с поверхности почвы и транспирацию растений, во все годы исследований являлась оросительная вода.

3.4 Биоклиматическое прогнозирование потребности в проведении очередного полива при капельном орошении репчатого лука

Задачи управления водным режимом почвы при выращивании сельскохозяйственных культур в условиях орошения в полной мере сохраняют свою актуальность и традиционно опираются на различные методы прогнозирования потребности в проведении очередного вегетационного полива. Но если в недалеком прошлом для определения потребности в проведении очередного вегетационного полива использовались, преимущественно, расчетные методы, то сегодня все большее распространение получают инструментальные методы [77, 113, 114, 115]. Технический прогресс и научные инновации в этой области привели к созданию полномасштабных автоматизированных телеметрических систем кон-

троля доступности почвенной влаги, которые все чаще внедряются в практику орошаемого земледелия. Однако считать, что расчетные методы прогнозирования потребности в проведении очередного полива потеряли свою актуальность, - преждевременно.

Анализ современной практики применения инструментальных методов [23, 25, 77] в условиях орошаемого земледелия показывает, что даже при использовании самых современных телеметрических систем, сохраняется потребность в составлении кратко-, средне-, и долгосрочных прогнозов для согласования планов полива и прогнозирования потребности в поливной воде. Решение этой задачи в настоящем сводится к определению расчетных дат проведения поливов на основе наиболее полного учета биоклиматического потенциала региона и фактически складывающихся погодных условий. В большинстве случаев для этого используют метод биоклиматического прогнозирования.

Метод биоклиматического прогнозирования потребности в проведении очередного полива состоит в расчете главной расходной статьи водного баланса почвы, - суммарного водопотребления, что наряду с известной динамикой поступления атмосферных осадков позволяет отслеживать изменение запасов почвенной влаги. При этом суммарное водопотребление определяется по пропорции между скоростью физического испарения воды с поверхности почвы, динамикой транспирации растений и энергетическими ресурсами атмосферы, определяющимися складывающимися погодными условиями.

В качестве показателей, характеризующих энергетические ресурсы атмосферы, в разные годы предлагалось использовать разные метеофакторы, их комплексы и даже учет поступления космических ресурсов, таких как солнечная радиация. Наиболее известны методы определения суммарного водопотребления по сумме дефицитов влажности воздуха, сумме среднесуточных температур воздуха, комплексные зависимости, опирающиеся на показатели среднесуточных температур воздуха и ее относительную влажность одновременно [8, 9, 121, 159]. В настоящее время широкую популярность приобрела официальная методика ФАО ООН, позволяющая определять суммарное водопотребление для эталонной куль-

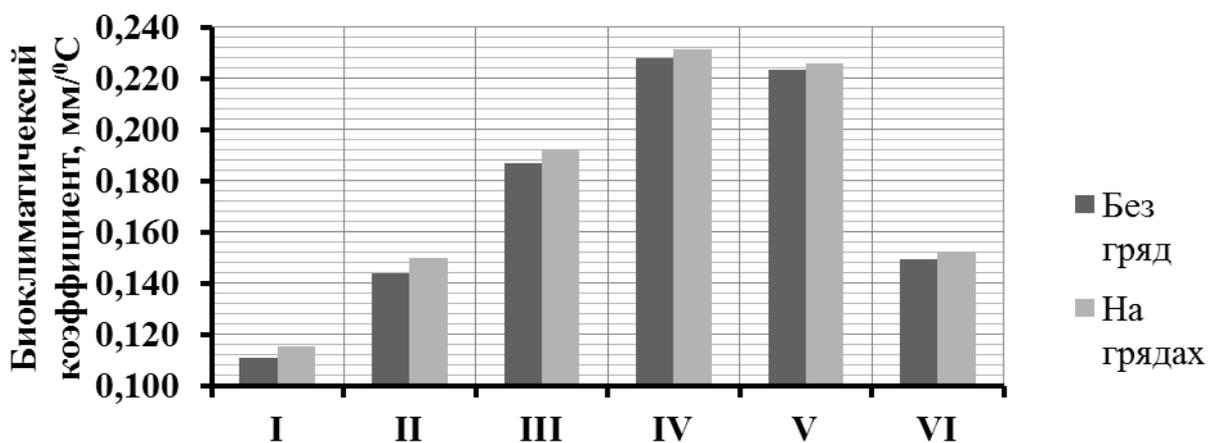
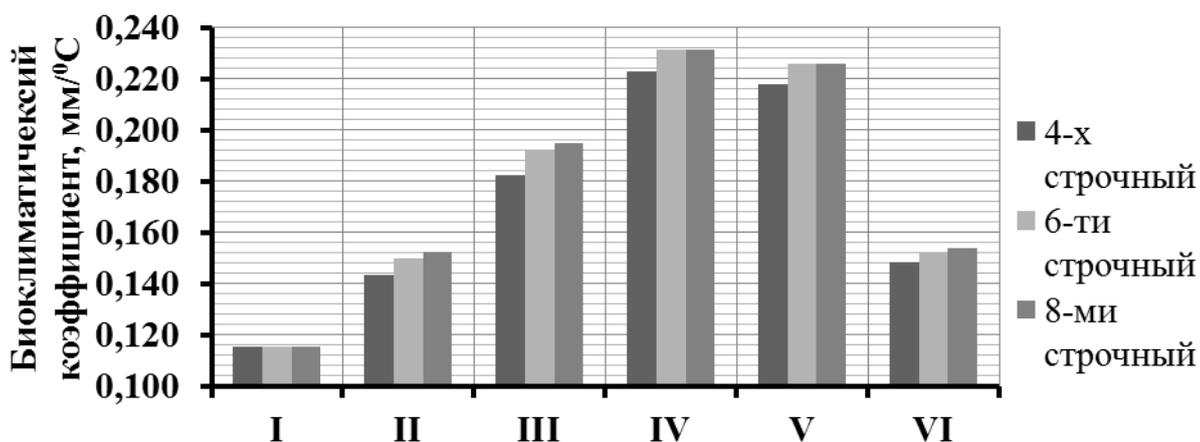
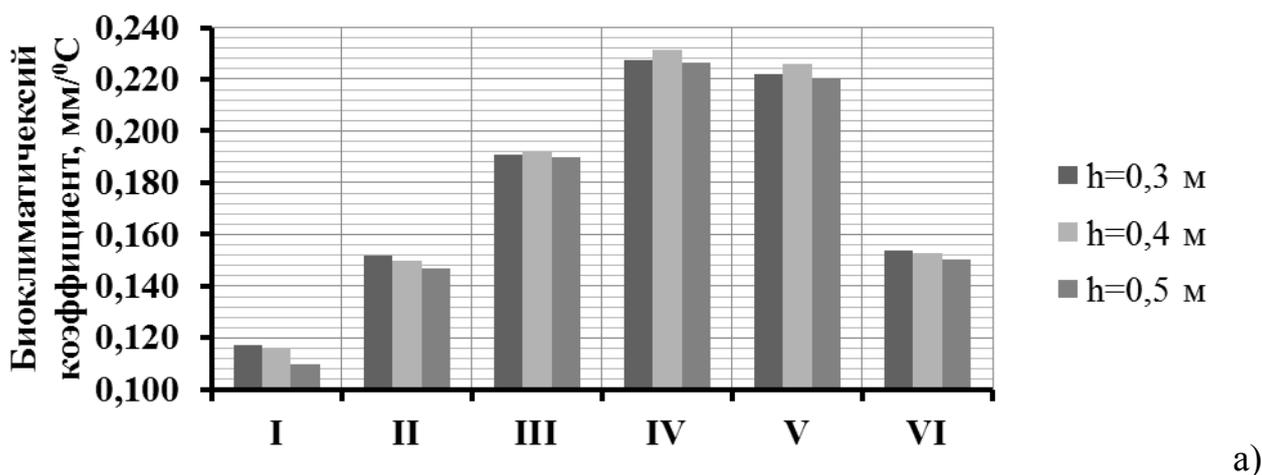
туры с четко заданными параметрами растительного покрова [161]. Однако, эта методика опирается на известные значения целого комплекса показателей, таких как чистая радиация на поверхности растений, плотность теплового потока почвы, среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м, скорость ветра на высоте 2 м, фактическое давление водяного пара, что позволяет проводить высокоточные расчеты по ретроспективным данным, но практически не применимо в случае, если возникает необходимость составления прогноза на все представленные в формуле аргументы. Последнее возвращает нас к практической целесообразности применения простых, однопараметрических методов, в которых используемый в качестве аргумента показатель имеет высокую надежность прогнозирования. Для региона исследований таким показателем является среднесуточная температура воздуха.

Проведенные нами исследования подтвердили необходимость учета агротехнического фактора при использовании биоклиматического метода для наиболее точного прогнозирования динамики суммарного водопотребления репчатого лука (таблица 3.8, рисунок 3.11). Доказано, что значения температурных коэффициентов испарения влаги посевами репчатого лука существенно зависят от используемого способа посева. При использовании 4-х строчного способа посева средневзвешенные за вегетационный период значения биоклиматических коэффициентов составляют 0,180-0,185 мм/°С. Переход на 6-ти строчный посев сопровождался увеличением средневзвешенных значений биоклиматических коэффициентов, в среднем, на 0,005-0,008 мм/°С. При использовании 8-строчных посевов значения биоклиматических коэффициентов еще увеличивались, однако в численном выражении это повышение не превышало 0,001-0,004 мм/°С.

Полученные в опытах данные свидетельствуют, что использование грядовой технологии возделывания репчатого лука также сопровождается ростом значений биоклиматических коэффициентов в пределах 0,002-0,005 мм/°С. Обращаем внимание, что, несмотря на небольшие значения прибавки, рост численных значений биоклиматических коэффициентов наблюдался при любых сочетаниях с прочими исследуемыми факторами.

Таблица 3.8 – Температурные коэффициенты испарения влаги посевами репчатого лука в зависимости от сочетания приемов возделывания и глубины промачивания почвы при капельном орошении, мм/°С (по средним за 2014-2016 годы опытным данным)

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Период роста и развития						Вегетационный период	
			Посев - всходы	Всходы - образование 5-го листа	5-й лист - образование луковицы	Образование - начало активного роста луковицы	Рост - начало созревания луковицы	Период дозирования (до появления 60 % ботвы)		
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	0,113	0,142	0,181	0,220	0,212	0,150	0,181	
		0,4	0,111	0,139	0,180	0,222	0,216	0,150	0,183	
	Шестистрочный (В2)	0,5	0,105	0,137	0,178	0,220	0,213	0,148	0,180	
		0,3	0,113	0,148	0,186	0,226	0,220	0,153	0,187	
	Восьмистрочный (В3)	0,4	0,111	0,144	0,187	0,228	0,223	0,150	0,188	
		0,5	0,105	0,140	0,183	0,225	0,220	0,149	0,185	
	Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	0,113	0,154	0,188	0,226	0,220	0,153	0,188
			0,4	0,111	0,148	0,189	0,228	0,225	0,153	0,190
		Шестистрочный (В2)	0,5	0,105	0,144	0,185	0,226	0,222	0,153	0,187
			0,3	0,117	0,146	0,182	0,222	0,214	0,151	0,184
Восьмистрочный (В3)		0,4	0,116	0,143	0,182	0,223	0,218	0,148	0,185	
		0,5	0,110	0,142	0,179	0,221	0,214	0,149	0,182	
Размещение посевов на грядах		Шестистрочный (В2)	0,3	0,117	0,152	0,191	0,227	0,222	0,154	0,190
			0,4	0,116	0,150	0,192	0,231	0,226	0,153	0,193
Восьмистрочный (В3)		Восьмистрочный (В2)	0,5	0,110	0,147	0,190	0,227	0,220	0,150	0,189
			0,3	0,117	0,156	0,192	0,228	0,222	0,154	0,191
Восьмистрочный (В3)	Восьмистрочный (В3)	0,4	0,116	0,153	0,195	0,231	0,226	0,154	0,194	
		0,5	0,110	0,150	0,190	0,227	0,221	0,150	0,189	



I – Посев – всходы, II – Всходы - образование 5-го листа, III – Образование 5-го листа – формирование луковицы, IV – Формирование – начало активного роста луковицы, V – Начало активного роста – начало созревания луковицы, VI – Период дозревания

Рисунок 3.11 - Динамика биоклиматических коэффициентов испарения влаги посевами репчатого лука в зависимости от глубины промачивания почвы (график а, посев на грядках 6-ти строчным способом), способа посева (график б, посев на грядках, увлажнение 0,4 м слоя) и профиля поверхности почвы (график в, посев в 6-ть строк, увлажнение 0,4 м слоя)

Влияние мощности увлажняемого горизонта почвы на значения температурных коэффициентов испарения влаги посевами репчатого лука нелинейно. При увеличении мощности расчетного горизонта почвы с 0,3 до 0,4 м средневзвешенные значения температурных коэффициентов либо не изменялись, либо возрастали на 0,001-0,003 мм/°С. В тоже время при увеличении мощности горизонта почвы с 0,3 до 0,5 м средневзвешенные значения биоклиматических коэффициентов гарантированно снижались на 0,001-0,002 мм/°С.

В течение вегетационного периода кривые биоклиматических коэффициентов изменяются по одновершинной кривой с минимумом в период после посева и до появления массовых всходов (0,105-0,117 мм/°С) и максимумом в период «образование – начало активного роста луковицы» (0,220-0,231 мм/°С) с последующим постепенным снижением значений до 0,148-0,154 мм/°С в период дозаривания урожая.

Сопоставление полученных данных убедительно показало, что значения температурных коэффициентов испарения влаги посевами репчатого лука по годам исследований практически не изменяются. Это позволяет использовать установленные значения биоклиматических коэффициентов в регионе при разной метеоресурсной обеспеченности.

4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОСЕВОВ РЕПЧАТОГО ЛУКА

4.1 Анализ результатов фенологических наблюдений

Динамика развития как культурных, так и диких видов растений формируется и закрепляется в течение длительного времени под влиянием совокупности условий среды, присущих ареалу их распространения. Природные условия в ходе естественного отбора определяют продолжительность вегетационного периода, продолжительность и динамику прохождения отдельных этапов органогенеза. Ответная реакция растений заключается в адаптации (приспособлении) к природным условиям ареала распространения, единственным, но самым жестким критерием которого является физиологическая реализация завершения репродуктивной функции.

Длительное приспособление растений к природным условиям ареала распространения обусловило формирование устойчивых программ развития для каждого из видов. В тоже время для каждого из видов растений, в пределах их адаптивных реакций, сформировалась возможность изменения продолжительности как отдельных периодов развития, так и вегетационного периода в целом, в ответ на изменение условий развития. Величина этих реакций с учетом адаптивного потенциала конкретного вида растений достаточно надежно характеризует оптимальность сочетания внешних факторов.

Этапы органогенеза репчатого лука охватывают два года развития растений. Однако, только в первый год формируется хозяйственно ценная часть урожая – репки лука, тогда как во второй завершаются репродукционные процессы и формируется урожай семян. Прохождение этапов вегетативного развития репчатого лука в первый год жизни также зависит от совокупного действия внешних факторов и определяется оптимальностью условий выращивания. Основными датами, характеризующими динамику развития репчатого лука в первый год жизни, являются даты посева и появления массовых всходов, дата формирования 5-го

настоящего листа, даты образования и начала активного роста луковицы, даты начала созревания и технической спелости луковицы. В опытах наступление этих дат регистрировались в соответствии с требованиями общепринятых методик. Результаты анализа продолжительности межфазных периодов и динамики развития репчатого лука в опытах приведены в таблицах 4.1-4.3 и на рисунке 4.1.

Опытами отмечено существенное влияние метеорологических условий на динамику прохождения очередных фаз роста и развития репчатого лука. Характерным примером является продолжительность периода от посева до фазы появления массовых всходов, которая изменялась от 9 суток в 2014 году до 11-12 суток в 2015 году и достигала 12-13 суток в 2016 году. Связано это, преимущественно с температурным режимом воздуха и почвы в этот период. Например, в 2014 году за 9 суток от посева до наступления фазы массовых всходов сумма среднесуточных температур воздуха составила 202 °С, а в 2015 году – за соответствующие 12 суток, - не превышала 161 °С. Такие изменения отмечены во все периоды роста и развития лука. Например, период от формирования 5-го настоящего листа до образования луковицы был наиболее продолжительным, 27-29 суток, в 2016 году, и наименее продолжительным, 25-27 суток, в 2014 году. Продолжительность периода от образования до начала активного роста луковицы в 2016 году была, напротив, наименьшей (17-18 суток), тогда как в 2015 году достигала 20 суток. От начала активного роста до начала фазы созревания луковицы в 2014 году проходило 28-32 суток, в 2015 году – 29-34 суток, а в 2016 году разброс значений по вариантам опыта составил 26-34 суток.

Исследования показали, что продолжительность вегетационного периода репчатого лука, как один из важнейших критериев реализации потенциала продуктивности используемого гибрида, существенно изменяется в вариантах с разным сочетанием исследуемых в опыте факторов. Наибольшее влияние на продолжительность вегетационного периода лука в опытах оказывали условия, формирующиеся при изменении мощности увлажняемого слоя почвы и характеризующие особенности водного режима почвы на протяжении всей совокупности фаз роста и развития культуры.

Таблица 4.1 – Динамика прохождения межфазных периодов роста и развития лука в 2014 году

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Период роста и развития						Вегетационный период
			Посев - всходы	Всходы - образование 5-го листа	5-й лист - образование луковицы	Образование - начало активного роста луковицы	Рост - начало созревания луковицы	Период дозаривания (до полегания 60 % ботвы)	
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	9	18	25	19	28	15	105
		0,4	9	18	25	19	30	16	108
		0,5	9	18	24	19	29	15	105
	Шестистрочный (В2)	0,3	9	18	25	19	28	15	105
		0,4	9	18	25	19	31	16	109
		0,5	9	18	24	19	30	15	106
	Восьмистрочный (В3)	0,3	9	18	25	19	28	15	105
		0,4	9	18	25	19	31	16	109
		0,5	9	18	24	19	30	15	106
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	9	18	26	19	28	15	106
		0,4	9	18	26	19	30	16	109
		0,5	9	18	24	19	29	15	105
	Шестистрочный (В2)	0,3	9	18	26	19	29	16	108
		0,4	9	18	26	19	32	17	112
		0,5	9	18	24	19	31	15	107
	Восьмистрочный (В3)	0,3	9	18	26	19	29	16	108
		0,4	9	18	26	19	32	17	112
		0,5	9	18	24	19	30	15	106

Таблица 4.2 – Динамика прохождения межфазных периодов роста и развития лука в 2015 году

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Период роста и развития						Вегетационный период
			Посев - всходы	Всходы - образование 5-го листа	5-й лист - образование луковицы	Образование - начало активного роста луковицы	Рост - начало созревания луковицы	Период дозирования (до полегания 60 % ботвы)	
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	12	19	26	20	29	18	112
		0,4	12	19	26	20	32	18	115
		0,5	12	19	26	20	31	17	113
	Шестистрочный (В2)	0,3	12	19	26	20	30	18	113
		0,4	12	19	26	20	33	18	116
		0,5	12	19	25	20	32	17	113
	Восьмистрочный (В3)	0,3	12	19	26	20	30	18	113
		0,4	12	19	26	20	33	18	116
		0,5	12	19	25	20	32	17	113
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	11	19	26	20	29	18	112
		0,4	11	19	26	20	32	18	115
		0,5	11	19	25	20	31	17	112
	Шестистрочный (В2)	0,3	11	19	27	20	30	18	114
		0,4	11	19	27	20	34	19	119
		0,5	11	19	25	20	32	18	114
	Восьмистрочный (В3)	0,3	11	19	27	20	30	18	114
		0,4	11	19	27	20	34	19	119
		0,5	11	19	25	20	32	18	114

Таблица 4.3 – Динамика прохождения межфазных периодов роста и развития лука в 2016 году

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Период роста и развития						Вегетационный период
			Посев - всходы	Всходы - образование 5-го листа	5-й лист - образование луковицы	Образование - начало активного роста луковицы	Рост - начало созревания луковицы	Период дозирования (до появления 60 % ботвы)	
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	13	18	28	18	26	20	110
		0,4	13	18	28	18	28	20	112
		0,5	13	18	27	18	27	19	109
	Шестистрочный (В2)	0,3	13	18	28	18	27	20	111
		0,4	13	18	28	18	31	20	115
		0,5	13	18	27	18	29	19	111
	Восьмистрочный (В3)	0,3	13	18	28	18	27	20	111
		0,4	13	18	28	18	30	20	114
		0,5	13	18	27	18	29	19	111
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	12	18	29	17	28	18	110
		0,4	12	18	29	17	31	18	113
		0,5	12	18	28	17	30	18	111
	Шестистрочный (В2)	0,3	12	18	29	17	29	18	111
		0,4	12	18	29	17	34	18	116
		0,5	12	18	28	17	32	18	113
	Восьмистрочный (В3)	0,3	12	18	29	17	29	18	111
		0,4	12	18	29	17	34	18	116
		0,5	12	18	28	17	32	18	113

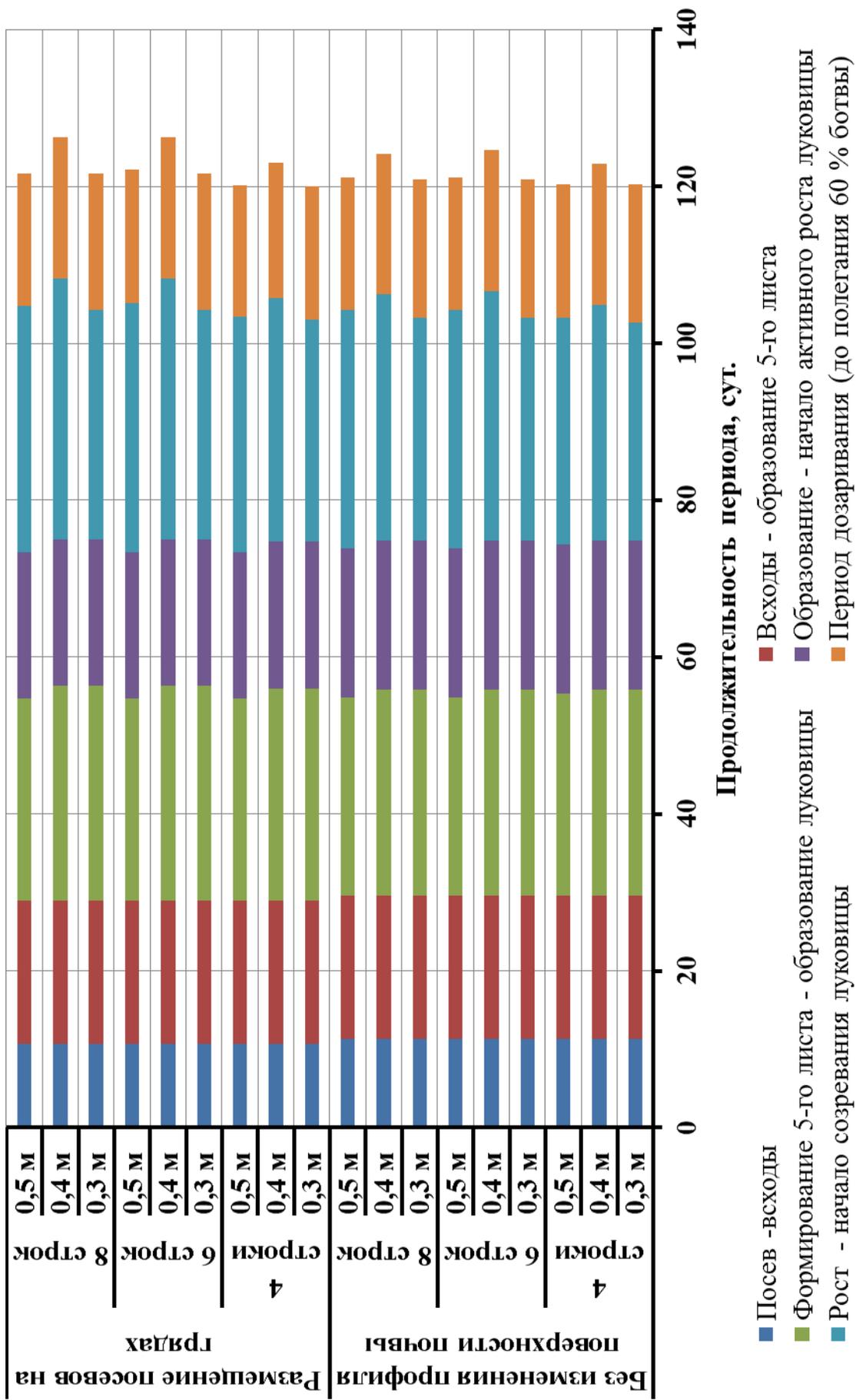


Рисунок 4.1 – Оценка влияния сочетания изучаемых факторов на динамику развития репчатого лука при капельном орошении (среднее за 2014-2016 гг.)

Увеличение мощности увлажняемого слоя почвы с 0,3 м до 0,4 м при капельном орошении репчатого лука сопровождалось ростом продолжительности вегетационного периода, в среднем, на 2-5 суток. При этом наибольший рост продолжительности вегетационного периода (на 4-5 суток) лука отмечен на участках, где посев проводили на грядах 6-ти или 8-ми строчным способом. В вариантах, где посев лука проводили 4-х строчным способом, продолжительность вегетационного периода лука возрастала не более, чем на 3 суток.

Сравнение вариантов опыта с мощностью увлажняемого горизонта почвы 0,3 м и 0,5 м не выявило каких-либо явно повторяющихся событий, которые могли бы характеризовать закономерность. Например, в 2014 году при посеве лука на грядах продолжительность вегетационного периода была выше на 1-2 суток в вариантах, где влажность почвы посредством капельных поливов регулировали в слое 0,3 м. В тоже время при посеве лука без гряд продолжительность вегетационного периода была, в среднем, на сутки больше на участках, где поливы проводили в расчете на увлажнение 0,5-метрового слоя почвы. В 2015 году вообще никаких значимых изменений в продолжительности вегетационного периода лука с увеличением мощности увлажняемого слоя почвы с 0,3 м до 0,5 м не наблюдалось. В 2016 году на участках, где лук выращивали без формирования грядовой поверхности поля, продолжительность вегетационного периода была, в среднем, на сутки меньше в вариантах с увлажнением 0,5-метрового слоя почвы. В тоже время при выращивании лука на грядах в вариантах с увлажнением 0,5-метрового слоя почвы продолжительность вегетационного периода возрастала на 1-2 суток в сравнении с вариантами, где поливы проводили в расчете на промачивание 0,3-метрового слоя.

Переход на грядовую технологию возделывания репчатого лука сопровождался ростом продолжительности вегетационного периода лука, в среднем, на 1-3 суток. В наибольшей степени, до 2-3 суток, продолжительность вегетационного периода лука возрастала в вариантах, где посев проводили 6-ти или 8-ми строчным способом, а поливы назначали исходя из мощности горизонта с регулируемым водным режимом почвы 0,4 м.

Рост продолжительности вегетационного периода лука также отмечен при изменении способа посева, в частности, с увеличением числа посевных строк в ленте. При переходе с 4-х строчного посева на 6-ти строчный продолжительность вегетационного периода лука, в среднем, возрастала на 1-4 суток. Характерно, что в наибольшей степени, на 2-4 суток продолжительность вегетационного периода лука увеличивалась на участках с грядовой технологией возделывания. На участках, где при посеве формирование гряд не предусматривалось, переход с 4-х строчного посева на 6-ти строчный сопровождался увеличением продолжительности вегетационного периода на 1-3 суток.

Различные сочетания исследуемых в опыте факторов не одинаково влияют на продолжительность отдельных межфазных периодов роста и развития. Например, увеличение мощности увлажняемого слоя почвы с 0,3 м до 0,4 м сопровождалось, преимущественно, ростом продолжительности периода «начало активного роста – начало созревания луковицы», в среднем на 2-4 суток. При увеличении мощности увлажняемого слоя почвы с 0,3 м до 0,5 м, продолжительность периода «начало активного роста – начало созревания луковицы» возрастала, в среднем, на 1-2 суток, с одновременным сокращением продолжительности периода до начала формирования луковицы также на 1-2 суток. В результате, в ряде вариантов опыта при одинаковой продолжительности вегетационного периода даты регистрации наступления фенологических фаз роста и развития лука существенно сдвигались. Также на 1-2 суток возрастала продолжительность периода «начало активного роста – начало созревания луковицы» при переходе с 4-х строчного способа посева на 6-ти и 8-ми строчные. Переход на грядовую технологию возделывания репчатого лука сопровождался ростом продолжительности периода «начало активного роста – начало созревания луковицы», в среднем, на 1 сутки, только в вариантах с 6-ти и 8-ми строчным посевом. На участках этих же вариантов отмечено и увеличение продолжительности периода «образование 5-го листа – начало формирования луковицы», также, в среднем, на 1 сутки.

Таким образом, динамика прохождения фаз роста и развития лука по отдельности и в совокупности существенно изменяется в зависимости от сочетания ис-

следуемых в опыте факторов. Действие этих факторов на продолжительность отдельных периодов роста и развития неодинаково. Например, переход на грядовую технологию возделывания лука, в среднем, на сутки сокращал продолжительность периода от посева до даты регистрации массовых всходов, и существенно, на 1-4 суток увеличивал продолжительность периода «начало активного роста- начало созревания луковицы». В совокупности, наибольшей продолжительностью вегетационного периода, 112-119 суток, отличались варианты, где посев лука проводили 6-ти или 8-ми строчным способом на грядах при проведении поливов, рассчитанных на увлажнение 0,4-метрового слоя почвы.

4.2 Фотосинтетическая активность репчатого лука при разных режимах капельного орошения и способах посева

Фотосинтез является одной из основных физиологических функций растений. Все формы жизни на нашей планете нуждаются в энергии для роста, развития и реализации всех физиологических процессов, их сопровождающих. И только одна из физиологических функций, - фотосинтез зеленых растений, - является источником этой энергии [151].

Относительно растительных организмов фотосинтез является процессом синтеза углеводов за счет энергии солнечной радиации. Синтезируемые углеводы служат как источником энергии, необходимой для реализации всех жизненных функций, так и строительным материалом, используемом для формирования и роста отдельных органов растений и всего растительного организма в целом. Собственно, урожай культурных растений можно представить как итог накопления синтезированного растением органического вещества в хозяйственно-ценных органах растений. Для репчатого лука таким органом является репка. В тоже время необходимо учитывать и важность своевременного развития и роста корневой системы и листового аппарата растений, как основной «производственной площади» фотосинтеза.

Рассматривая внутренний механизм фотосинтеза зеленых растений, нельзя ограничиваться исключительно процессом синтеза углеводов. Для эффективного фотосинтеза важен целый комплекс физиологических функций, таких как функции транспорта синтезированного вещества, газовая проницаемость устьиц и др. Весь этот механизм определяется на генетическом уровне и специфичен для каждого из видов растений. Наряду с этим, большинством исследователей отмечена зависимость фотосинтетической активности сельскохозяйственных растений от комплекса факторов, определяемых совокупностью приемов возделывания [17, 29, 71, 100, 145, 151].

Исследование фотосинтетической активности, как основного критерия оптимальности комплекса внешних условий, их соответствия биологическим особенностям культуры, определяющего формирование урожая репчатого лука, в опытах проводили по ряду показателей, характеризующих динамику развития ассимиляционного аппарата (площадь листьев, фотосинтетический потенциал), интенсивность и эффективность процесса фотосинтеза (чистая продуктивность фотосинтеза).

Исследования показали, что максимальные за вегетационный период значения площади листьев формировались к началу фазы активного роста луковицы, которая, собственно, и характеризуется перераспределением синтезированных ассимилянтов, преимущественно в формируемую луковицу. В опытах наблюдался существенный разброс максимальных за вегетационный период значений площади листьев лука, обусловленный изменением условий выращивания, при разных сочетаниях исследуемых в опыте факторов.

Существенное повышение максимальных значений площади листьев лука обеспечивается при увеличении мощности слоя почвы с регулируемым водным режимом с 0,3 м до 0,4 м (таблица 4.4). Максимальная площадь листьев посевов лука при этом стабильно возрастала на 2,4-4,7 тыс. м²/га или 6,3-16,3 %. При поддержании заданного, 80-70 % НВ, порога предполивной влажности почвы в слое 0,5 м площадь листьев была всегда ниже, чем при регулировании водного режима почвы в слое 0,4 м, но в ряде случаев выше, чем при мощности расчетного горизонта 0,3 м. Однако доказать убедительного преимущества поддержания порога

Таблица 4.4- Формирование максимальной площади листьев в посевах репчатого лука при разных сочетаниях исследуемых факторов, тыс. м²/га

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Максимальная площадь листьев, S _{max} , тыс. м ² /га				ΔS _{max} в зависимости от глубины промачивания		ΔS _{max} в зависимости от способа посева		ΔS _{max} в зависимости от профили поверхности почвы	
			2014 г.	2015 г.	2016 г.	Средняя	физ.ед	%	физ.ед	%	физ.ед	%
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	28,5	26,3	29,3	28,0	-	-	-	-	-	-
		0,4	33,4	29,5	33,9	32,3	4,3	15,4	-	-	-	-
		0,5	29,2	26,9	32,1	29,4	1,4	5,0	-	-	-	-
	Шестьстрочный (В2)	0,3	38,4	36,4	38,5	37,8	-	-	9,8	35	-	-
		0,4	41,7	39,7	39,2	40,2	2,4	6,3	7,9	24,5	-	-
		0,5	41,0	37,6	39,1	39,2	1,4	3,7	9,8	33,3	-	-
	Восьмистрочный (В3)	0,3	41,7	36,8	40,3	39,6	-	-	11,6	41,4	-	-
		0,4	44,2	39,6	42,3	42,0	2,4	6,1	9,7	30	-	-
		0,5	41,5	38,1	41,2	40,3	0,7	1,8	10,9	37,1	-	-
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	29,2	27,1	30,4	28,9	-	-	-	-	0,9	3,21
		0,4	34,2	31,1	35,4	33,6	4,7	16,3	-	-	1,3	4,02
		0,5	30,4	27,0	34,5	30,6	1,7	5,9	-	-	1,2	4,08
	Шестьстрочный (В2)	0,3	39,0	37,4	40,1	38,8	-	-	9,9	34,3	1,0	2,65
		0,4	44,2	42,4	42,4	43,0	4,2	10,8	9,4	28	2,8	6,97
		0,5	42,3	38,6	40,9	40,6	1,8	4,6	10,0	32,7	1,4	3,57
	Восьмистрочный (В3)	0,3	42,5	37,8	42,4	40,9	-	-	12,0	41,5	1,3	3,28
		0,4	44,8	44,7	43,7	44,4	3,5	8,6	10,8	32,1	2,4	5,71
		0,5	42,4	38,5	41,2	40,7	-0,2	-0,5	10,1	33	0,4	0,99
НСР ₀₅	Фактор А	3,00	1,30	1,27								
	Фактор В	3,00	1,30	1,27								
	Фактор С	2,45	1,06	1,04								
	Взаимодействие АВС	7,34	3,19	3,11								

предполивной влажности почвы в слое 0,5 м по отношению к мощности расчетного горизонта 0,3 м по критерию максимальной площади листьев не удалось: в опытах наблюдалось как увеличение максимальных значений площади листьев на 0,7-1,7 тыс. м²/га, так и их снижение на 0,2-0,5 тыс. м²/га.

Переход на грядовую технологию выращивания лука сопровождался устойчивым ростом площади листового аппарата, однако в количественном выражении максимальная за вегетационный период площадь деятельной поверхности листьев лука возрастала не более, чем на 0,4-2,8 тыс. м²/га или 1,0-7,0 %.

Наибольшие изменения максимальных значений площади листового аппарата лука наблюдались по фактору способа посева. На участках с реализацией 4-строчного способа посева максимальные за вегетационный период значения площади листового аппарата лука была наименьшей и не превышала, в среднем, 28,0-33,6 тыс. м²/га. Переход на 6-строчный способ посева сопровождался увеличением максимальных значений площади листового аппарата на 7,9-10,0 тыс. м²/га или 24,5-34,3 %. Увеличение числа строк в ленте до 8-ми сопровождалось дальнейшим ростом максимальных значений площади листьев лука, однако, численно эта прибавка, преимущественно, варьировалась в диапазоне от 0,1 до 2,1 тыс. м²/га.

В течение вегетационного периода динамика формирования листового аппарата лука характеризуется одновершинной кривой с начальными значениями площади листьев в период всходов от 1,3 до 2,8 тыс. м²/га, максимальными значениями от 28,0 до 44,4 тыс. м²/га и конечными значениями в фазу технической спелости лука – не более 11,5 - 15,0 тыс. м²/га (таблица 4.5, рисунок 4.2).

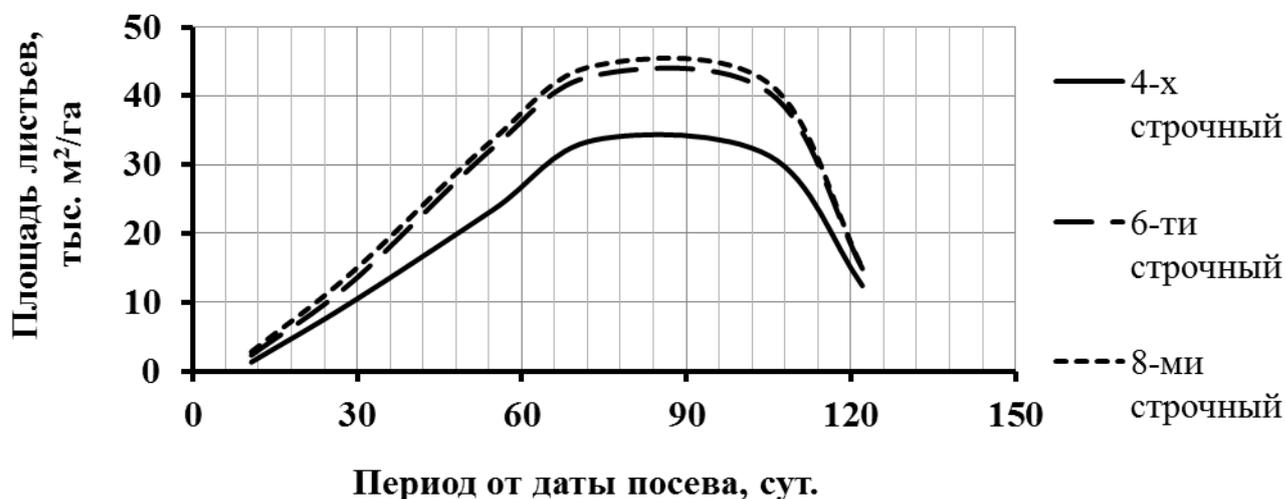
Различия по площади листового аппарата в посевах репчатого лука на участках вариантов с различными сочетаниями изучаемых в опыте факторов наблюдаются уже в фазу всходов. На участках с 4-х строчным способом посева площадь листьев лука в фазу всходов, в среднем, составила 1,3 тыс. м²/га, при посеве 6-ти строчным способом – возрастала до 2,3 тыс. м²/га, а при формировании 8-ми строчного посева – достигала 2,8 тыс. м²/га. В целом площадь листьев лука в фазу всходов не превышала 3,8-7,1 % от максимальных за вегетационный период значений.

Таблица 4.5- Результаты исследования динамики роста и развития листового аппарата репчатого лука в зависимости от условий возделывания, тыс. м²/га (среднее за 2014-2016 гг.)

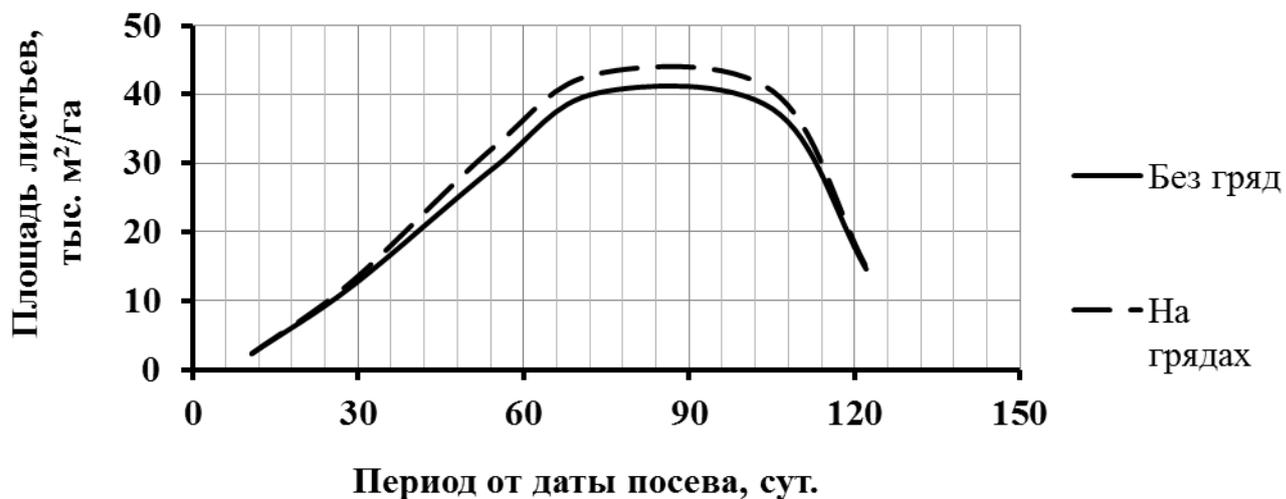
Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Площадь листьев, тыс. м ² /га				Техническая спелость луковицы		
			Всходы	Образование 5-го листа	Образование луковицы	Начало активного роста луковицы		Начало созревания луковицы	
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	1,3	9,6	22,5	28,0	26,5	11,5	
		0,4	1,3	9,3	22,3	32,3	30,5	12,5	
		0,5	1,3	8,8	20,5	29,4	28,3	12,1	
	Шестистрочный (В2)	0,3	2,3	12,4	28,4	37,8	34,9	14,5	
		0,4	2,3	12,2	29,4	40,2	37,9	14,6	
		0,5	2,3	11,6	28,1	39,2	37,0	14,2	
	Восьмистрочный (В3)	0,3	2,8	14,2	31,5	39,6	34,6	14,7	
		0,4	2,8	13,9	31,6	42,0	37,5	15,0	
		0,5	2,8	13,4	30,3	40,3	36,2	14,6	
	Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	1,3	10,2	23,4	28,9	27,0	11,4
			0,4	1,3	10,0	23,4	33,6	31,3	12,4
			0,5	1,3	9,4	21,9	30,6	28,8	12,1
Шестистрочный (В2)		0,3	2,3	13,0	29,7	38,8	35,9	14,2	
		0,4	2,3	12,9	32,4	43,0	40,5	14,9	
		0,5	2,3	12,4	29,6	40,6	37,7	14,0	
Восьмистрочный (В3)	0,3	2,8	14,6	32,1	40,9	35,2	14,4		
	0,4	2,8	14,3	33,6	44,4	41,8	15,0		
	0,5	2,8	13,9	31,9	40,7	37,3	14,4		



а)



б)



в)

Рисунок 4.2 - Динамика роста листового аппарата лука в зависимости от глубины промачивания почвы (график а, посев на грядах 6-ти строчным способом), способа посева (график б, посев на грядах, увлажнение 0,4 м слоя) и профиля поверхности почвы (график в, посев в 6-ть строк, увлажнение 0,4 м слоя)

К фазе образования 5-го листа площадь листового аппарата лука достигает 8,8-14,6 тыс. м²/га, а изменения в динамике роста листьев наблюдаются уже по всем вариантам опыта. Наибольшее влияние на рост листового аппарата лука в этот период сохраняется по вариантам с различными способами посева. Например, с переходом от 4-х строчного к 6-ти строчному посеву площадь листьев лука возрасла с 8,8-10,2 тыс. м²/га до 11,6-13,0 тыс. м²/га, а при формировании 8-строчного посева, - до 13,4-14,6 тыс. м²/га. Характерно, что наибольшие значения площади листьев в этот период формировались на участках, где поливы проводили в расчете на увлажнение 0,3-метрового слоя почвы.

Начиная с фазы 5-го листа рост листового аппарата лука существенно активизируется, в результате чего к началу формирования луковицы площадь листьев в посевах по вариантам уже изменяется от 20,5 до 33,6 тыс. м²/га, составляя 69,0-80,9 % от максимальных за вегетационный период значений. Наибольшие значения площади листьев, 32,4-33,6 тыс. м²/га, формировались при поддержании заданного порога предполивной влажности почвы в слое 0,4 м на участках, где использовали грядковую технологию выращивания лука, а посев проводили 8-ми строчным способом.

К началу фазы созревания процессы некроза в листовом аппарате репчатого лука начинают преобладать над ростом, а новообразования листьев не наблюдаются. В связи с этим в этот период площадь листьев сокращается на 3,7-13,9 % от максимальных за вегетационный период значений. К фазе созревания луковицы, в которую регистрируется техническая спелость продукции, отмирает 58,8-66,2 % ботвы.

Важным показателем, дающим количественное представление об особенностях и динамике роста листового аппарата лука, как оптической, фотосинтезирующей системы посева, является фотосинтетический потенциал. Наблюдения за динамикой роста листьев лука в посевах позволили нам вычислить значения фотосинтетического потенциала как для основных межфазных периодов роста и развития, так и в целом, для вегетационного периода. Численные данные, характеризующие динамику накопления фотосинтетического потенциала репчатого лука, приведены в таблицах 4.6-4.7.

Таблица 4.6 – Фотосинтетический потенциал репчатого лука и динамика его накопления в течение вегетационного периода, тыс. м² дней/га (среднее за 2014-2016 гг.)

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Фаза роста и развития						
			Входы - образование 5-го листа	5-й лист - образование луковичи	Образование - начало активного роста луковичи	Рост - начало созревания луковичи	Период дозревания (до полегания 60 % ботвы)	Вегетационный период	
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	100	422	480	753	337	2 092	
		0,4	97	415	518	938	387	2 356	
		0,5	93	376	474	833	345	2 121	
	Шестистрочный (В2)	0,3	135	537	629	1 028	437	2 766	
		0,4	132	547	662	1 237	473	3 051	
		0,5	127	502	640	1 156	436	2 861	
	Восьмистрочный (В3)	0,3	156	600	675	1 048	436	2 915	
		0,4	153	599	700	1 244	474	3 170	
		0,5	148	551	670	1 159	434	2 963	
	Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	106	452	488	792	327	2 163
			0,4	104	450	531	1 005	378	2 469
			0,5	99	401	489	891	342	2 221
Шестистрочный (В2)		0,3	140	583	639	1 095	434	2 891	
		0,4	139	617	705	1 391	499	3 351	
		0,5	135	537	655	1 239	439	3 005	
Восьмистрочный (В3)	0,3	159	637	681	1 115	430	3 022		
	0,4	157	653	729	1 437	511	3 487		
	0,5	153	586	678	1 221	440	3 079		

Таблица 4.7 - Фотосинтетический потенциал репчатого лука при разных сочетаниях исследуемых факторов, тыс. м²дней/га

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Фотосинтетический потенциал, Фр, тыс. м ² дн./га				ΔФр в зависимости от глубины промачивания		ΔФр в зависимости от способа посева		ΔФр в зависимости от профиля поверхности почвы	
			2014 г.	2015 г.	2016 г.	Среднее	физ.ед	%	физ.ед	%	физ.ед	%
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	2 035	2 130	2 111	2 092	-	-	-	-	-	-
		0,4	2 322	2 349	2 396	2 356	264	12,6	-	-	-	-
		0,5	2 070	2 126	2 167	2 121	29	1,4	-	-	-	-
	Шестьстрочный (В2)	0,3	2 669	2 837	2 793	2 766	-	-	674	32,2	-	-
		0,4	3 026	3 135	2 991	3 051	285	10,3	695	29,5	-	-
		0,5	2 850	2 908	2 825	2 861	95	3,4	740	34,9	-	-
	Восьмистрочный (В3)	0,3	2 939	2 863	2 943	2 915	-	-	823	39,3	-	-
		0,4	3 153	3 186	3 170	3 170	255	8,7	814	34,6	-	-
		0,5	2 957	2 985	2 946	2 963	48	1,6	842	39,7	-	-
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	2 124	2 190	2 176	2 163	-	-	-	-	71	3,4
		0,4	2 414	2 478	2 515	2 469	306	14,1	-	-	113	4,8
		0,5	2 135	2 167	2 362	2 221	58	2,7	-	-	100	4,7
	Шестьстрочный (В2)	0,3	2 820	2 932	2 922	2 891	-	-	728	33,7	125	4,5
		0,4	3 371	3 448	3 234	3 351	460	15,9	882	35,7	300	9,8
		0,5	3 009	3 026	2 981	3 005	114	3,9	784	35,3	144	5,0
	Восьмистрочный (В3)	0,3	3 083	2 934	3 049	3 022	-	-	859	39,7	107	3,7
		0,4	3 503	3 587	3 371	3 487	465	15,4	1 018	41,2	317	10,0
		0,5	3 046	3 093	3 098	3 079	57	1,9	858	38,6	116	3,9

Расчеты подтвердили, что накопление фотосинтетического потенциала лука тесно связано с динамикой роста и потенциалом сохранения листового аппарата, как фотосинтезирующей оптической системы посева. Наибольшую значимость по накоплению фотосинтетического потенциала лука имеют фазы «образование 5-го листа – формирование луковицы», «образование – начало активного роста луковицы» и «начало активного роста – начало созревания луковицы». Суммарно за эти фазы накапливалось 79,0-82,5 % фотосинтетического потенциала, формируемого посевами репчатого лука за вегетационный период.

Вариация фотосинтетического потенциала посевов лука, накопленного за вегетационный период, характеризуется диапазоном от 2 092 тыс. м²дней/га при посеве 4-х строчным способом без гряд и проведении капельных поливов, ориентированных на регулирование водного режима почвы в слое 0,3 м, до 3 487 тыс. м²дней/га при посеве 8-ми строчным способом на грядах и проведении капельных поливов, ориентированных на регулирование водного режима почвы в слое 0,4 м. Существенные изменения фотосинтетического потенциала, обусловленные динамикой роста и развития листового аппарата лука, были отмечены по всем изучаемым в опыте факторам.

Исследования показали, что переход на прогрессивные способы посева лука с 6-ти и 8-ми строчными посевными лентами сопровождался увеличением фотосинтетического потенциала посева, накопленного за вегетационный период, в среднем, на 674-1 018 тыс. м²дней/га. Это составляет 29,5-41,2 % от величины накопленного фотосинтетического потенциала в вариантах с использованием 4-х строчного способа посева. При этом увеличение число строк в посевной ленте с 6-ти до 8-ми позволяло повысить фотосинтетический потенциал посева не более, чем на 74,-149 тыс. м²дней/га.

Увеличение мощности увлажняемого слоя почвы до 0,4 м (с 0,3 м на контроле) сопровождалось ростом фотосинтетического потенциала посева на 265-465 тыс. м²дней/га. При этом наибольший рост фотосинтетического потенциала лука, 460-665 тыс. м² дней/га, наблюдался на участках, где посев проводили на грядах 6-ти и 8-ми строчным способом. Фотосинтетический потенциал посевов лука в вари-

антах, где поливы проводили с расчетом регулирования водного режима почвы в слое 0,5 м, находился в пределах 2 121-3 079 тыс. м²дней/га, что практически не отличается от значений фотосинтетического потенциала, накопленного при поддержании заданного предполивного уровня в слое 0,3 м.

При прочих равных условиях наибольший фотосинтетический потенциал лука накапливался на участках, где использовали грядовую технологию. Рост фотосинтетического потенциала посевов лука на грядах количественно характеризуется диапазоном 71-317 тыс. м²дней/га, однако наибольший эффект был получен при сочетании грядовой технологии возделывания с проведением капельных поливов для поддержания заданного порога предполивной влажности почвы в слое 0,4 м и использованием 6-ти и 8-ми строчных способов посева.

Фотосинтетическая активность посева характеризуется не только динамикой развития листового аппарата, как оптической, фотосинтезирующей системы, но и продуктивностью его работы. Продуктивность работы ассимиляционного аппарата сельскохозяйственных культур целесообразно оценивать по значению специального показателя – чистой продуктивности фотосинтеза, и динамики его изменения в основные фазы роста и развития растений в посевах. Чистая продуктивность фотосинтеза, де-факто, является разницей количественной оценки продуктивности фотосинтеза (то есть количества органического вещества, синтезированного единицей площади ассимиляционного аппарата) и дыхания (количества углеводов, расходуемых на дыхание растений, отнесенное к единице площади ассимиляционного аппарата). Численные значения чистой продуктивности фотосинтеза лука по основным фазам роста и развития, а также средневзвешенные значения за вегетационный период, приведены в таблицах 4.8-4.9.

Расчеты показали, что средневзвешенные за вегетационный период значения продуктивности фотосинтеза репчатого лука находятся в пределах от 3,81 до 4,10 г/м² в сут.. В целом диапазон изменения значений чистой продуктивности фотосинтеза существенно меньше, чем изменение значений максимальной площади листьев или фотосинтетического потенциала.

Таблица 4.8 - Динамика фотосинтетической активности посевов лука при разных сочетаниях исследуемых факторов, г/м² в сут. (среднее за 2014-2016 гг.)

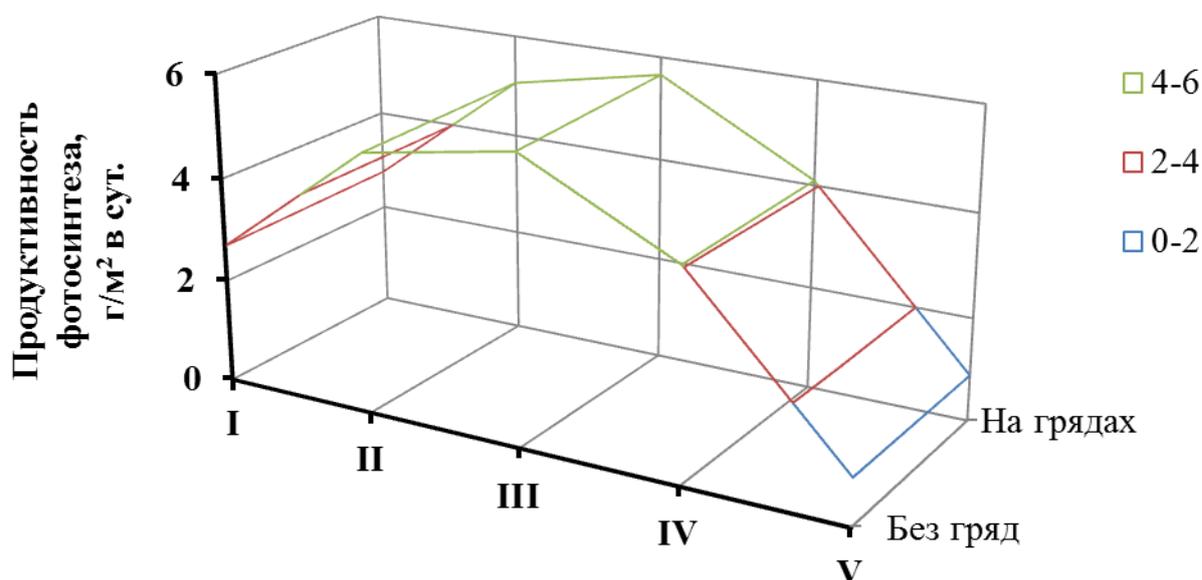
Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² в сут., в период					
			Всходы - образование 5-го листа	5-й лист - образование луковичи	Образование - начало активного роста луковичи	Рост - начало созревания луковичи	Период дозаривания (до полегания 60 % ботвы)	Вегетационный период
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	2,55	4,58	5,16	3,90	0,84	3,81
		0,4	2,48	4,66	5,41	4,11	0,89	3,93
		0,5	2,40	4,51	5,27	4,07	0,85	3,86
	Шестистрочный (В2)	0,3	2,73	4,90	5,34	3,95	0,89	3,95
		0,4	2,69	5,00	5,51	4,04	0,91	4,03
		0,5	2,59	4,86	5,45	4,01	0,89	3,99
	Восьмистрочный (В3)	0,3	2,80	4,99	5,07	3,67	0,76	3,83
		0,4	2,75	5,06	5,16	3,68	0,80	3,84
		0,5	2,67	4,98	5,13	3,71	0,82	3,85
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	2,59	4,63	5,20	3,94	0,82	3,86
		0,4	2,56	4,67	5,45	4,15	0,88	3,99
		0,5	2,50	4,57	5,33	4,06	0,84	3,91
	Шестистрочный (В2)	0,3	2,79	4,96	5,43	3,96	0,88	4,00
		0,4	2,76	5,07	5,66	4,09	0,89	4,10
		0,5	2,67	4,97	5,51	4,02	0,86	4,03
	Восьмистрочный (В3)	0,3	2,86	5,15	5,17	3,67	0,79	3,91
		0,4	2,83	5,25	5,39	3,74	0,79	3,94
		0,5	2,75	5,12	5,27	3,69	0,78	3,89

Таблица 4.9- Средневзвешенные значения чистой продуктивности фотосинтеза репчатого лука при разных сочетаниях исследуемых факторов, г/м² в сут.

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Продуктивность фотосинтеза, РФ, г/м ² в сут.				ΔРФ в зависимости от глубины промачивания		ΔРФ в зависимости от способа посева		ΔРФ в зависимости от профиля поверхности почвы	
			2014 г.	2015 г.	2016 г.	Среднее	физ.ед	%	физ.ед	%	физ.ед	%
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	3,84	3,84	3,76	3,81	-	-	-	-	-	-
		0,4	3,93	4,00	3,87	3,93	0,12	3,1	-	-	-	-
		0,5	3,87	3,91	3,80	3,86	0,05	1,3	-	-	-	-
	Шестьстрочный (В2)	0,3	4,02	3,97	3,87	3,95	-	-	0,14	3,7	-	-
		0,4	4,04	4,04	4,00	4,03	0,08	2,0	0,10	2,5	-	-
		0,5	3,98	4,03	3,96	3,99	0,04	1,0	0,13	3,4	-	-
	Восьмистрочный (В3)	0,3	3,93	3,89	3,67	3,83	-	-	0,02	0,5	-	-
		0,4	3,86	3,93	3,73	3,84	0,01	0,3	-0,09	-2,3	-	-
		0,5	3,86	3,93	3,75	3,85	0,02	0,5	-0,01	-0,3	-	-
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	3,88	3,89	3,82	3,86	-	-	-	-	0,05	1,3
		0,4	3,97	4,08	3,92	3,99	0,13	3,4	-	-	0,06	1,5
		0,5	3,93	3,99	3,80	3,91	0,05	1,3	-	-	0,05	1,3
	Шестьстрочный (В2)	0,3	4,02	4,05	3,94	4,00	-	-	0,14	3,6	0,05	1,3
		0,4	4,06	4,14	4,10	4,10	0,10	2,5	0,11	2,8	0,07	1,7
		0,5	3,99	4,02	4,07	4,03	0,03	0,8	0,12	3,1	0,04	1,0
	Восьмистрочный (В3)	0,3	3,85	4,01	3,87	3,91	-	-	0,05	1,3	0,08	2,1
		0,4	3,89	4,02	3,90	3,94	0,03	0,8	-0,05	-1,3	0,10	2,6
		0,5	3,86	3,95	3,87	3,89	-0,02	-0,5	-0,02	-0,5	0,04	1,0

Это позволяет сделать обоснованное предположение о большей устойчивости этого показателя, преимущественно определяемого биологическим видом, а также сортовыми особенностями культуры, и в меньшей степени, - условиями внешней среды. В тоже время исследованиями выявлены ряд устойчивых закономерностей в динамике значений чистой продуктивности фотосинтеза по вариантам опыта.

Переход на грядовую технологию возделывания репчатого лука в целом сопровождался ростом чистой продуктивности фотосинтеза (рисунок 4.3). Однако увеличение фотосинтетической активности посева на этих вариантах не превышало 0,04-0,10 г/м² в сут.

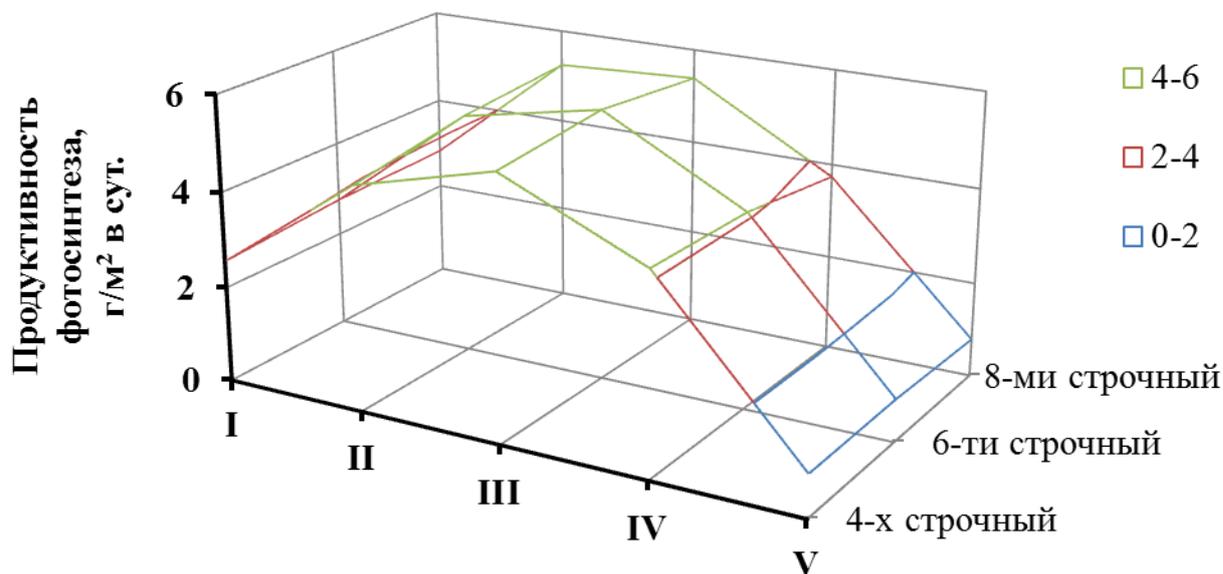


I – Всходы - образование 5-го листа, II – Образование 5-го листа – формирование луковицы, III – Формирование – начало активного роста луковицы, IV – Начало активного роста – начало созревания луковицы, V – Период дозревания

Рисунок 4.3 - Область влияния способов подготовки профиля поверхности почвы на величину чистой продуктивности фотосинтеза репчатого лука

Достаточно ясно прослеживается общая закономерность повышения продуктивности фотосинтеза репчатого лука при увеличении мощности с регулируемым водным режимом почвы с 0,3 до 0,4 м (рисунок 4.4). Средневзвешенные за вегетационный период значения чистой продуктивности фотосинтеза при этом возрастали на 0,01-0,13 г/м² в сут. При переходе на режим орошения лука, преду-

смаатривающий повышение мощности горизонта промачивания почвы с 0,3 до 0,5 м в равной степени наблюдалось как увеличение, так и снижение фотосинтетической активности посевов.



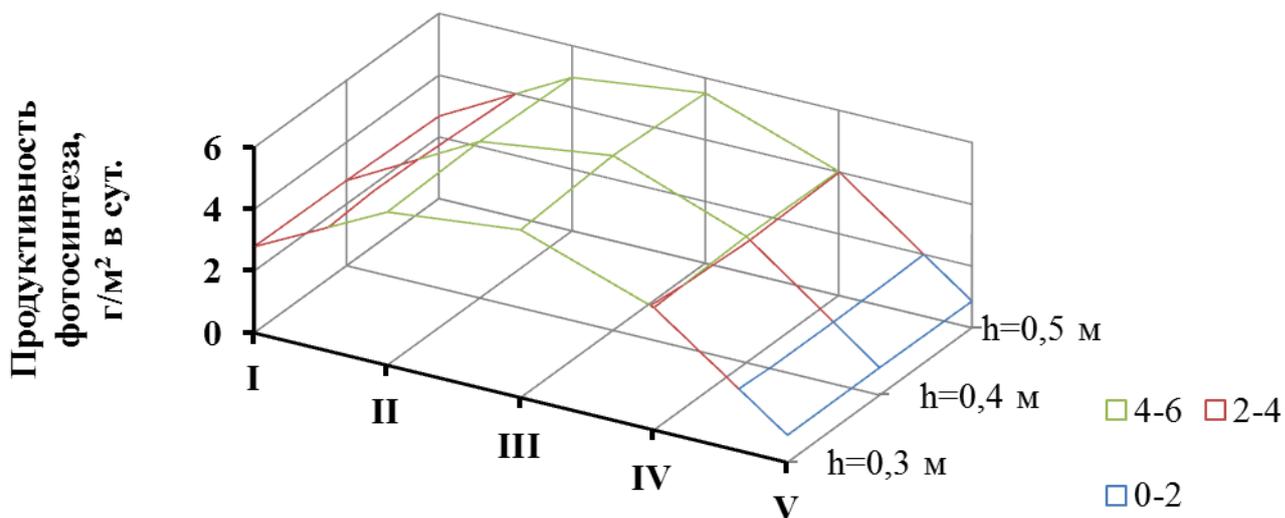
I – Всходы - образование 5-го листа, II – Образование 5-го листа – формирование луковицы, III – Формирование – начало активного роста луковицы, IV – Начало активного роста – начало созревания луковицы, V – период дозаривания

Рисунок 4.4 - Область влияния способов посева на величину чистой продуктивности фотосинтеза репчатого лука

Переход с 4-х строчного на 6-ти строчные способы посева лука в опытах сопровождался ростом чистой продуктивности фотосинтеза, который в численном выражении достигал 0,10-0,14 г/м² в сут. При этом с переходом на 8-ми строчный посев средневзвешенная продуктивность фотосинтеза посевов репчатого лука составила 3,84-3,94 г/м² в сут., что на 0,5-2,3 % меньше, чем при посеве 4-х строчным способом (рисунок 4.5).

В течение вегетационного периода максимальные значения чистой продуктивности фотосинтеза, 5,06-5,67 г/м² в сут., были отмечены с начала фазы образования и до начала фазы активного роста луковицы. В фазу роста и до начала созревания луковицы, характеризуемым наибольшим фотосинтетическим потенциа-

лом посевов, численные значения чистой продуктивности фотосинтеза лука изменялись в пределах 3,67-4,15 г/м² в сут.



I – Всходы - образование 5-го листа, II – Образование 5-го листа – формирование луковички, III – Формирование – начало активного роста луковички, IV – Начало активного роста – начало созревания луковички, V – период дозаривания

Рисунок 4.5 - Область влияния горизонта промачивания почвы при капельном орошении на величину чистой продуктивности фотосинтеза репчатого лука

Таким образом, условия, регулируемые по вариантам опыта в соответствии с утвержденной программой исследований, оказывали существенное влияние на все показатели фотосинтетической активности посевов репчатого лука. При этом отмечена высокая пластичность таких критериев фотосинтетической активности посева, как площадь листового аппарата и фотосинтетический потенциал и относительная устойчивость величины чистой продуктивности фотосинтеза по отношению ко всем сочетаниям исследуемых в опыте факторов. В совокупности, наилучшими показателями фотосинтетической активности отличались посевы репчатого лука на участках, где посев проводили на грядах 6-ти строчным способом, а поливы проводили для увлажнения 0,4-м слоя почвы. Максимальная площадь листьев лука при этом составила, в среднем, 43,0 тыс. м²/га, фотосинтетический потенциал посева достигал 3 351 тыс. м²дней/га, а чистая продуктивность фотосинтеза – 4,10 г/м² в сут. Посев репчатого лука 8-ми строчным способом при прочих равных условиях сопровождался увеличением фотосинтетического потен-

циала, в среднем, до 3 487 тыс. м²дней/га и снижением чистой продуктивности фотосинтеза до 3,94 г/м² в сут.

4.3 Оценка вариантов опыта по накоплению органического вещества посевами репчатого лука

Накопление органического вещества посевами репчатого лука является результатом фотосинтетической деятельности растений в посевах. Для большинства сельскохозяйственных культур установлены тесные корреляционные связи между величиной накопленной органической массы посева и хозяйственной продуктивности растений [20, 100, 145]. В связи с этим показатели, характеризующие накопленную массу органического вещества посева в абсолютно сухом состоянии и динамику ее накопления в течение вегетационного периода, являются ключевыми критериями для оценки эффективности сочетаний исследуемых в опыте факторов.

Результаты наблюдений за динамикой накопления биомассы посевов репчатого лука (гибрид Блустер F1) по всем сочетаниям исследуемых в опыте факторов приведены в таблицах 4.10-4.12 и на рисунках 4.6-4.7. Исследования показали, что динамика накопления органического вещества посевами репчатого лука носит ярко выраженный сезонный ход, характеризующийся одновершинной кривой с максимумом в период «образование – начало активного роста луковицы». Однако, уже с самого начала вегетационного периода наблюдались ростовые различия, которые определили разницу в динамике процесса накопления органического вещества. Характерно, что величина среднесуточных приростов сухой биомассы в период «всходы – образование 5-го настоящего листа» последовательно снижалась с шагом в 1 кг/га в сут. при увеличении глубины промачивания почвы с 0,3 м до 0,4 м, и далее, - до 0,5 м. Увеличение строк в посевной ленте закономерно увеличивало среднесуточные приросты биомассы лука, которые в среднем за период «всходы – образование 5-го настоящего листа» изменялись от 12 до 14 кг/га в сут. на участках с посевом по 4-х строчной схеме, от 18 до 20 кг/га в сут. – на участках с посевом по 6-ти строчной схеме и от 22 до 24 т/га на участках с посевом по 8-ти строчной схеме.

Таблица 4.10 - Динамика суточных приростов сухой биомассы лука при разных сочетаниях исследуемых факторов, кг/га (среднее за 2014-2016 гг.)

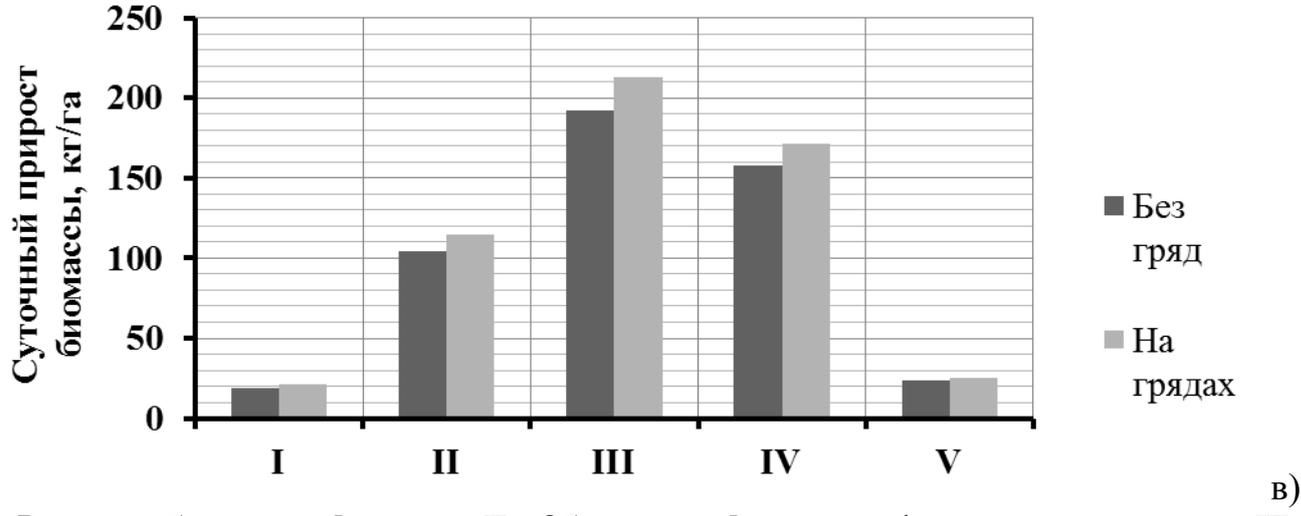
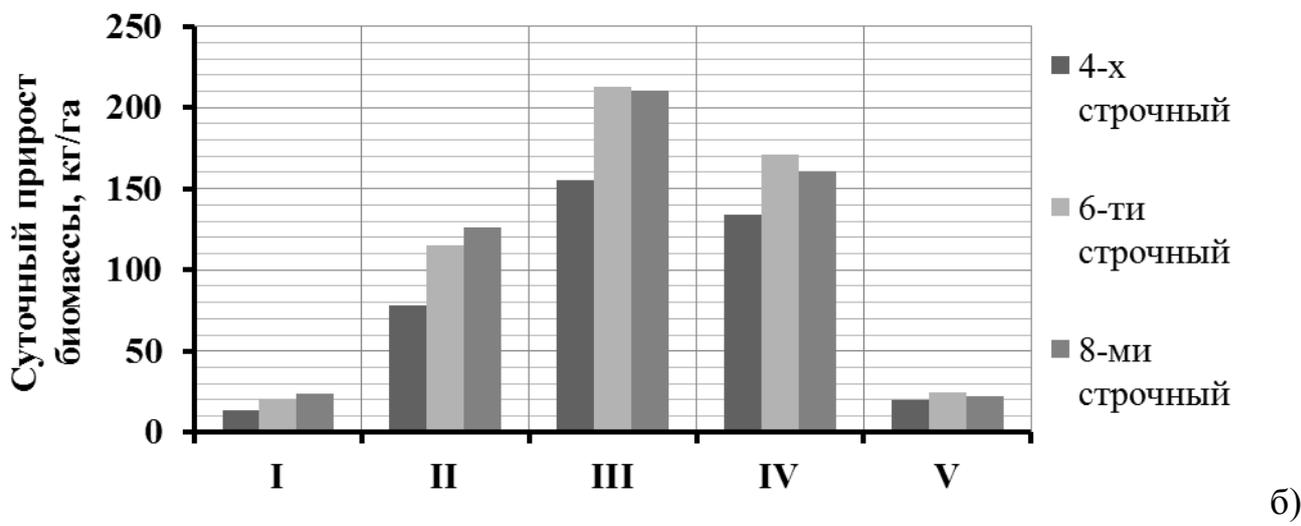
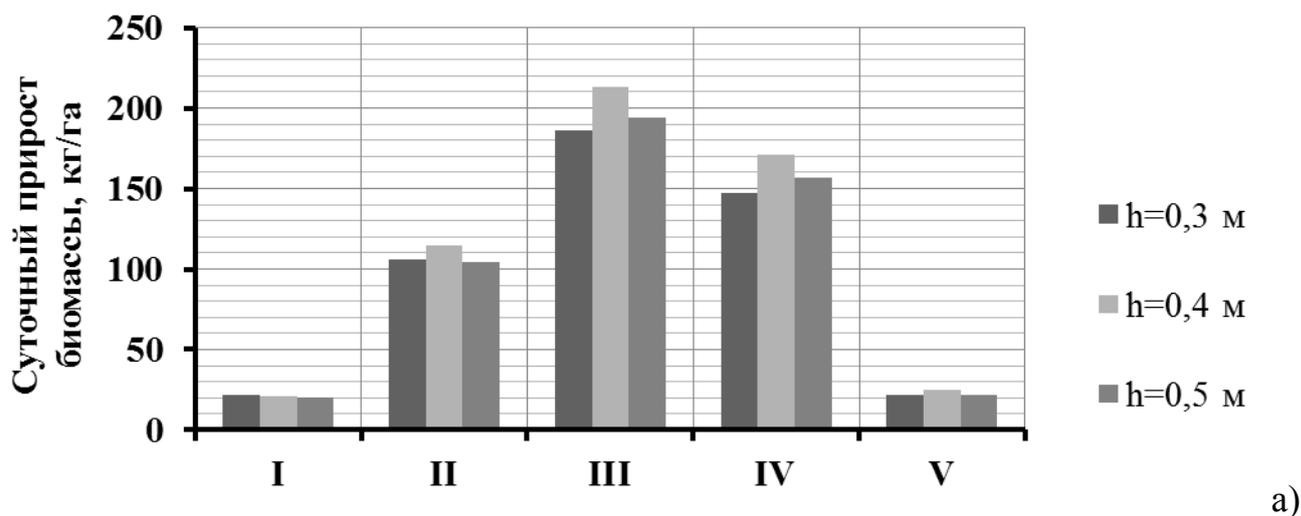
Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Суточный прирост биомассы, кг/га					
			Всходы - образование 5-го листа	5-й лист - образование луковичи	Образование - начало активного роста луковичи	Рост - начало созревания луковичи	Период дозаривания (до полегания 60 % ботвы)	Вегетационный период
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	14	73	130	106	16	72
		0,4	13	73	148	128	19	82
		0,5	12	66	132	117	18	74
	Шестистрочный (В2)	0,3	20	100	177	143	22	99
		0,4	19	104	192	158	24	107
		0,5	18	97	183	153	23	103
	Восьмистрочный (В3)	0,3	24	114	180	135	19	101
		0,4	23	116	190	146	21	106
		0,5	22	109	181	142	21	102
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	15	78	136	110	16	76
		0,4	14	78	155	134	20	87
		0,5	13	72	140	120	17	79
	Шестистрочный (В2)	0,3	22	106	186	147	22	103
		0,4	21	115	213	171	25	118
		0,5	20	104	194	157	22	108
	Восьмистрочный (В3)	0,3	25	120	189	139	20	105
		0,4	24	126	210	161	22	117
		0,5	23	118	191	144	21	107

Таблица 4.11 - Динамика накопления органического вещества посевами репчатого лука в зависимости от условий возделывания, т/га (среднее за 2014-2016 гг.)

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Масса сухого органического вещества, т/га					Техническая спелость луковицы	
			Всходы	Образование 5-го листа	Образование луковицы	Начало активного роста луковицы	Начало созревания луковицы		
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	0,09	0,34	2,27	4,74	7,68	7,97	
		0,4	0,09	0,32	2,26	5,06	8,91	9,26	
		0,5	0,09	0,31	2,00	4,50	7,88	8,19	
	Шестьстрочный (В2)	0,3	0,12	0,49	3,12	6,47	10,53	10,93	
		0,4	0,12	0,47	3,20	6,85	11,85	12,29	
		0,5	0,12	0,45	2,89	6,37	11,01	11,41	
	Восьмистрочный (В3)	0,3	0,15	0,59	3,58	6,99	10,83	11,16	
		0,4	0,15	0,57	3,61	7,21	11,79	12,17	
		0,5	0,15	0,55	3,30	6,73	11,03	11,40	
	Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	0,09	0,36	2,45	4,98	8,09	8,36
			0,4	0,09	0,35	2,45	5,35	9,51	9,85
			0,5	0,09	0,33	2,16	4,77	8,38	8,67
Шестьстрочный (В2)		0,3	0,12	0,51	3,40	6,87	11,20	11,58	
		0,4	0,12	0,50	3,63	7,60	13,30	13,74	
		0,5	0,12	0,48	3,14	6,75	11,73	12,11	
Восьмистрочный (В3)		0,3	0,15	0,61	3,89	7,40	11,47	11,82	
		0,4	0,15	0,59	4,03	7,95	13,33	13,74	
		0,5	0,15	0,57	3,58	7,14	11,65	12,00	

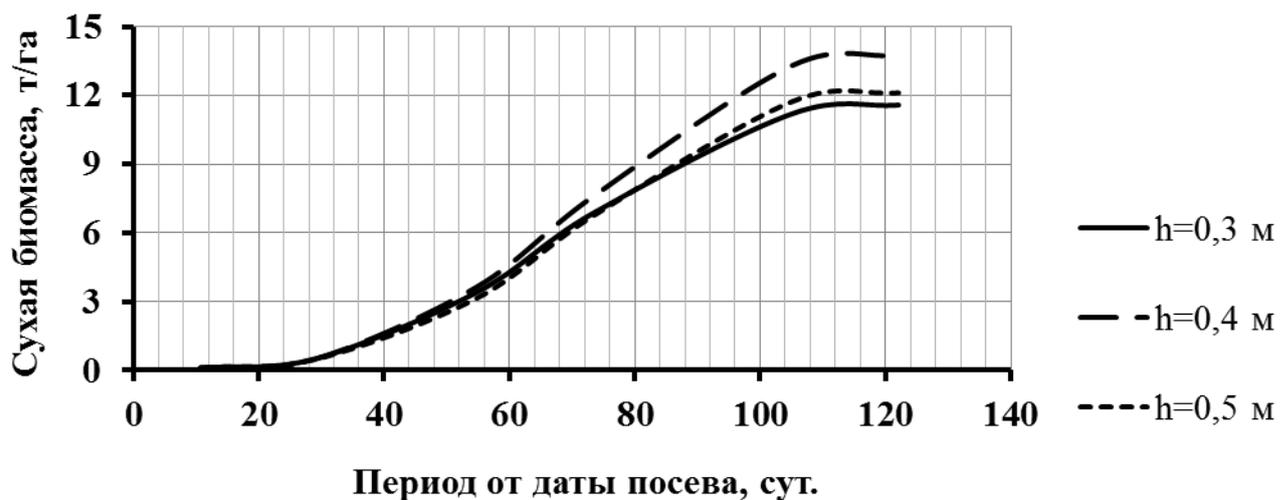
Таблица 4.12- Накопленная посевами масса сухого органического вещества лука в зависимости от условий возделывания, т/га

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Сухая биомасса, М, т/га				ΔМ в зависимости от глубины промачивания		ΔМ в зависимости от способа посева		ΔМ в зависимости от профиля поверхности почвы	
			2014 г.	2015 г.	2016 г.	Среднее	физ.ед	%	физ.ед	%	физ.ед	%
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	7,81	8,18	7,93	7,97	-	-	-	-	-	-
		0,4	9,12	9,39	9,27	9,26	1,29	16,2	-	-	-	-
		0,5	8,01	8,32	8,23	8,19	0,22	2,8	-	-	-	-
	Шестистрочный (В2)	0,3	10,7	11,3	10,8	10,9	-	-	2,96	37,1	-	-
		0,4	12,2	12,7	12,0	12,3	1,36	12,4	3,03	32,7	-	-
		0,5	11,3	11,7	11,2	11,4	0,48	4,4	3,22	39,3	-	-
	Восьмистрочный (В3)	0,3	11,6	11,1	10,8	11,2	-	-	3,19	40,0	-	-
		0,4	12,2	12,5	11,8	12,2	1,01	9,1	2,91	31,4	-	-
		0,5	11,4	11,7	11,1	11,4	0,24	2,2	3,21	39,2	-	-
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	8,25	8,51	8,32	8,36	-	-	-	-	0,39	4,9
		0,4	9,58	10,1	9,87	9,85	1,49	17,8	-	-	0,59	6,4
		0,5	8,39	8,65	8,97	8,67	0,31	3,7	-	-	0,48	5,9
	Шестистрочный (В2)	0,3	11,4	11,9	11,5	11,6	-	-	3,22	38,5	0,65	5,9
		0,4	13,7	14,3	13,3	13,7	2,16	18,7	3,89	39,5	1,45	11,8
		0,5	12,0	12,2	12,1	12,1	0,53	4,6	3,44	39,7	0,70	6,1
	Восьмистрочный (В3)	0,3	11,9	11,8	11,8	11,8	-	-	3,46	41,4	0,66	5,9
		0,4	13,6	14,4	13,2	13,7	1,92	16,2	3,89	39,5	1,57	12,9
		0,5	11,8	12,2	12,0	12,0	0,18	1,5	3,33	38,4	0,60	5,3
НСР ₀₅	Фактор А		0,41	0,40	0,38							
	Фактор В		0,41	0,40	0,38							
	Фактор С		0,34	0,33	0,31							
	Для частных средних		1,01	0,99	0,93							

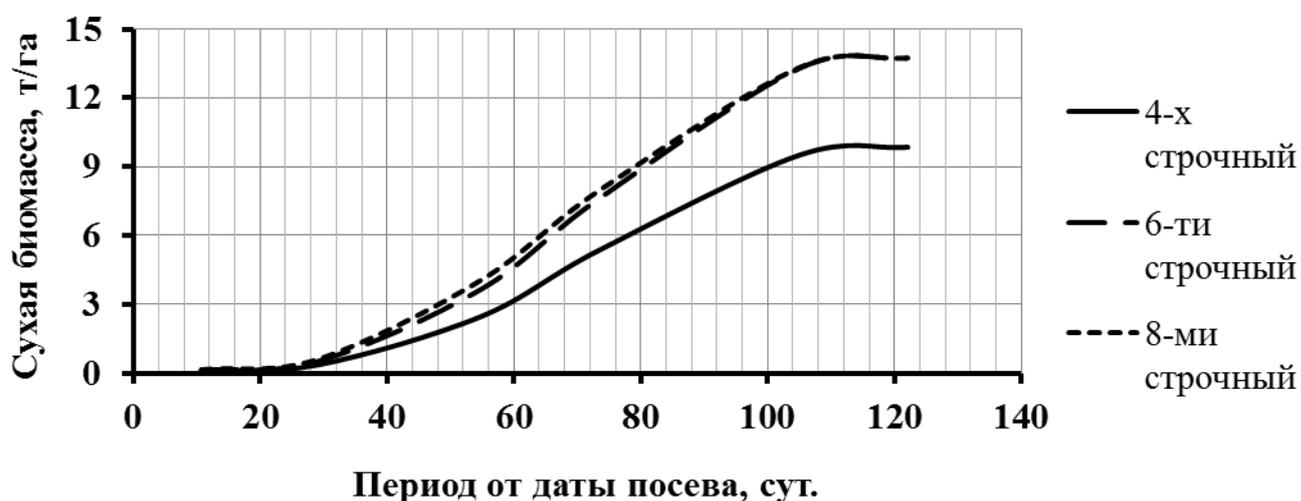


I – Всходы - образование 5-го листа, II – Образование 5-го листа – формирование луковицы, III – Формирование – начало активного роста луковицы, IV – Начало активного роста – начало созревания луковицы, V – Период дозаривания

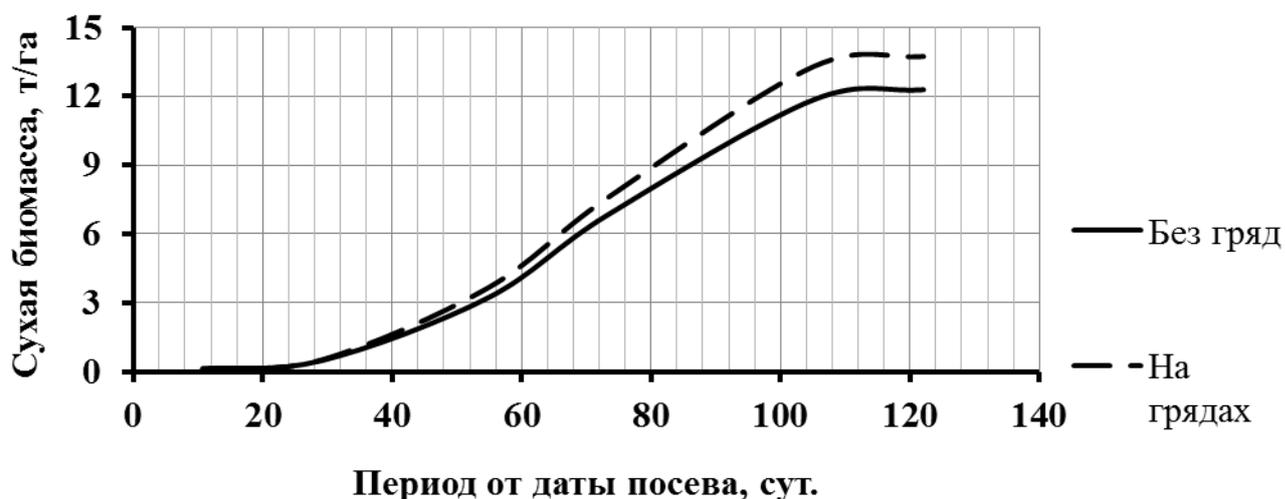
Рисунок 4.6 - Динамика суточных приростов биомассы в зависимости от глубины промачивания почвы (график а, посев на грядах 6-ти строчным способом), способа посева (график б, посев на грядах, увлажнение 0,4 м слоя) и профиля поверхности почвы (график в, посев в 6-ть строк, увлажнение 0,4 м слоя)



а)



б)



в)

Рисунок 4.7 - Накопление сухой биомассы лука в зависимости от глубины промачивания почвы (график а, посев на грядах 6-ти строчным способом), способа посева (график б, посев на грядах, увлажнение 0,4 м слоя) и профиля поверхности почвы (график в, посев в 6-ть строк, увлажнение 0,4 м слоя)

Различия в значениях уже сформированной биомассы по вариантам опыта наблюдались с фазы массовых всходов и определялись густотой посева лука. Как и ожидалось, различия наблюдались в вариантах, где посев проводили 4-х, 6-ти и 8-ми строчным способом. При посеве 4-х строчным способом общая биомасса посева в период массовых всходов не превышала 0,09 т/га. В 6-ти и 8-ми строчных посевах общая масса органического вещества, содержащаяся в растениях лука, возрастала 0,12 и 0,15 т/га.

Опыты подтвердили общую закономерность, состоящую в том, что в начальные фазы роста и развития лука прирост биомассы происходит медленно. К началу фазы образования 5-го листа посевами накапливается 0,31-0,61 т/га сухой биомассы, что составляет не более 3,5-5,9 % от массы органического вещества, накопленного за вегетационный период.

С начала фазы образования 5-го листа у лука активизируется рост и развитие вегетативной части растения и, связанное с этим, накопление вегетативной биомассы. Среднесуточные приросты сухой биомассы в этот период достигали 66-126 кг/га в сут., существенно варьируя по вариантам опыта. Динамика накопления органического вещества, сохраняя тенденцию, закономерно возрастала в вариантах, где посев лука проводили 6-ти и 8-ми строчным способом, однако, зависимость среднесуточных приростов биомассы от мощности увлажняемого слоя почвы изменялась. Например, на фоне 4-х строчного способа посева увеличение глубины промачивания почвы с 0,3 до 0,4 м проходило без изменения динамики накопления органического вещества, а при проведении поливов нормой, рассчитанной на увлажнение 0,5 м слоя почвы, - среднесуточные приросты биомассы снижались на 6-7 кг/га в сут. На фоне 6-ти и 8-ми строчных посевов среднесуточные приросты органического вещества возрастали на 2-9 кг/га в сут. при увеличении глубины промачивания почвы с 0,3 до 0,4 м и снижались на 7-11 кг/га в сут., - при дальнейшем наращивании мощности горизонта увлажнения до 0,5 м. При прочих равных условиях на участках, где применяли грядовую технологию, среднесуточные приросты органического вещества лука возрастали на 5-11 кг/га в сут.

За период с начала фазы образования 5-го листа и до формирования луковички общая биомасса посевов лука в опытах увеличивалась в 5,7-7,3 раза, достигая 2,0-4,03 т/га. Это составляет около трети массы сухого органического вещества, накопленного за вегетационный период лука.

С формированием луковички активный рост вегетативной части луковичных растений какое-то время еще сохраняется наряду с одновременным наращиванием динамики накопления органического вещества в репке. В эту фазу посеvy репчатого лука отличаются наибольшими среднесуточными приростами сухой биомассы, которые в опытах достигали 130-213 кг/га в сут. Наибольшая интенсивность накопления органического вещества в этот период тесно коррелирует с уже хорошо развитой листовой поверхностью посева, которая представлена, в основном молодыми зелеными листьями с наибольшей фотосинтетической активностью. Наибольшие приросты сухого вещества, 210-213 кг/га в сут., в этот период наблюдались на участках, где посев лука проводили 6-ти и 8-ми строчным способом на грядах, а поливы проводили для увлажнения 0,4 м слоя почвы. За период, включающий фазу формирования луковички и до начала ее активного роста биомасса посева, учитываемая в сухом веществе, увеличивается еще в 1,9-2,3 раза, достигая значений 4,5-7,95 т/га.

С началом активного роста луковички рост листьев лука практически прекращается, а все синтезированные вещества поступают в луковичку. Среднесуточные приросты сухого вещества в этот период сохраняются на близком к максимальному уровню, 106-171 кг/га в сут., что обеспечивается максимальным развитием листового аппарата и формированием высоких значений фотосинтетического потенциала. За период с начала фазы активного роста луковички и до начала фазы ее созревания синтезируется и накапливается в растениях до 2,94-5,70 т/га органического вещества.

С началом фазы созревания луковички синтез органического вещества в растениях резко замедляется. Среднесуточные приросты сухой биомассы в опытах в этот период снижались до 16-24 кг/га в сут., что по интенсивности накопления органического вещества сопоставимо с периодом «всходы – образование 5-го ли-

ста». В опытах за период от начала созревания до начала технической спелости луковицы посевами накапливалось не более 0,27-0,44 т/га сухого вещества. В то же время в эти фазы происходит активное перераспределение накопленного органического вещества из ботвы растений в луковицы, в связи с чем активное формирование урожая продолжается.

Таким образом, различия в динамике накопления органического вещества, замеченные еще в фазу всходов, продолжают углубляться в течение всего вегетационного периода. Интегральные значения накопленной за вегетационный период сухой биомассы посева по вариантам опыта изменялись, в среднем, от 7,97-13,70 т/га. Увеличение глубины горизонта почвы с регулируемым водным режимом с 0,3 м до 0,4 м сопровождалось активизацией процесса накопления органического вещества, в результате чего за вегетационный период посевами лука было сформировано на 1,01-2,16 т/га сухой биомассы больше. Увеличение глубины горизонта почвы с 0,3 до 0,5 м, как правило, увеличивало массу накопленного органического вещества, в среднем, на 0,18-0,48 т/га, однако в отдельные годы были получены и отрицательные результаты. Существенный прирост накопленной за вегетационный период лука сухой биомассы в опытах обеспечивался при переходе с 4-х строчного способа посева на 6-ти или 8-ми строчный. В среднем интегральные значения накопленной массы сухого вещества возрастали на 2,96-3,89 т/га. В то же время эффективность 8-ми строчного способа посева к 6-ти строчному по рассматриваемому показателю доказана не была. Использование грядовой технологии возделывания репчатого лука обеспечило гарантированное повышение массы накопленного посевами сухого вещества, в среднем, на 0,39-1,57 т/га. Наибольшие приросты накопленной биомассы посева были получены при сочетании грядовой технологии возделывания с использованием 6-ти или 8-ми строчных посевов и регулировании водного режима почвы посредством проведения капельных поливов в слое 0,4 м. Прибавка массы накопленного сухого вещества посева на участках этих вариантов в сравнении с вариантами, где гряды не использовались, достигала 1,45-1,57 т/га.

4.4 Закономерности формирования урожайности репчатого лука при капельном орошении

Урожайность, как результирующий показатель продукционного процесса сельскохозяйственных культур, является главным критерием оценки эффективности тех или иных сочетаний факторов, мелиоративных или агротехнических приемов возделывания. Контроль роста и развития растений, оптимизация факторов для повышения фотосинтетической активности посева, активизация накопления органического вещества и формирования сырой биомассы важны ровно настолько, насколько они оказывают влияние на выход хозяйственно ценной части продукции. Поэтому и анализ закономерностей изменения этих показателей под влиянием всей совокупности изучаемых факторов необходимо проводить в взаимосвязи с изучением закономерностей формирования урожайности репчатого лука.

Осредненные результаты учета урожайности репчатого лука на опытном поле приведены в таблице 4.13. Из приведенных в таблице данных видно, что динамика полученных результатов характеризуется устойчивым трендом общей повторяемости численных распределений во все годы исследований. Это позволяет установить регрессионные зависимости между полученными в опытах урожайными данными и варьируемыми значениями изучаемых факторов. Регрессионный анализ опытных данных проводили дифференцированно для вариантов, размещенных на грядах и на участках без профиля поверхности почвы. В качестве численных аргументов анализа использовали значения мощности увлажняемого при капельном поливе слоя почвы и число строк в посевной ленте. Учитывая нелинейность связей между этими показателями и урожайностью репчатого лука, была выбрана полиномиальная форма регрессионного уравнения. Полученная в результате проведенного анализа зависимость для вариантов, размещенных на участках без создания профиля поверхности почвы, имеет вид:

Таблица 4.13- Динамика продуктивности посевов репчатого лука в зависимости от условий возделывания, т/га

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Урожайность, У, т/га				ΔУ в зависимости от глубины промачивания		ΔУ в зависимости от способа посева		ΔУ в зависимости от профиля поверхности почвы	
			2014 г.	2015 г.	2016 г.	Средняя	физ.ед	%	физ.ед	%	физ.ед	%
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	63,4	66,5	64,2	64,7	-	-	-	-	-	-
		0,4	74,5	78,0	75,3	75,9	11,2	17,3	-	-	-	-
		0,5	65,5	69,0	66,7	67,1	2,4	3,7	-	-	-	-
	Шестьстрочный (В2)	0,3	87,8	90,8	87,4	88,7	-	-	24,0	37,1	-	-
		0,4	99,3	103,1	96,2	99,5	10,8	12,2	23,6	31,1	-	-
		0,5	92,3	95,5	91,1	93,0	4,3	4,8	25,9	38,6	-	-
	Восьмистрочный (В3)	0,3	86,2	89,2	87,1	87,5	-	-	22,8	35,2	-	-
		0,4	98,7	102,5	95,7	99,0	11,5	13,1	23,1	30,4	-	-
		0,5	92,0	95,3	90,2	92,5	5,0	5,7	25,4	37,9	-	-
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	65,7	68,7	67,3	67,2	-	-	-	-	2,5	3,9
		0,4	77,0	81,0	78,8	78,9	11,7	17,4	-	-	3,0	4,0
		0,5	67,1	70,3	72,2	69,9	2,7	4,0	-	-	2,8	4,2
	Шестьстрочный (В2)	0,3	92,5	95,0	94,1	93,9	-	-	26,7	39,7	5,2	5,9
		0,4	112,6	116,8	106,9	112,1	18,2	19,4	33,2	42,1	12,6	12,7
		0,5	95,4	98,6	99,2	97,7	3,8	4,0	27,8	39,8	4,7	5,1
	Восьмистрочный (В3)	0,3	89,9	93,0	94,4	92,4	-	-	25,2	37,5	4,9	5,6
		0,4	113,4	117,1	106,1	112,2	19,8	21,4	33,3	42,2	13,2	13,3
		0,5	94,2	97,4	98,3	96,6	4,2	4,5	26,7	38,2	4,1	4,4
НСР ₀₅	Фактор А	3,01	3,21	3,06								
	Фактор В	3,01	3,21	3,06								
	Фактор С	2,46	2,62	2,50								
	Для частных средних	7,38	7,87	7,51								

$$Y = 42,5 \cdot n + 737,3 \cdot h - 3,15 \cdot n^2 - 921,6 \cdot h^2 + 3,25 \cdot n \cdot h - 196,8 \quad (16),$$

где Y – урожайность репчатого лука, т/га, n – параметр, характеризующий способ посева репчатого лука и численно равный числу строк в посевной ленте, h – расчетная глубина промачивания почвы при капельном поливе, м. Множественный коэффициент детерминации зависимости $R^2 = 0,96$. Расчетный уровень значимости коэффициента при заданной мощности выборки (число пар данных для анализа $N=27$), $-p < 1,0 \cdot 10^{-6}$.

При выращивании лука на грядах зависимость урожайности репки от глубины промачивания почвы при капельном поливе и числа строк в посевной ленте наилучшим образом описывается уравнением:

$$Y_{гр} = 51,4 \cdot n + 1189,2 \cdot h - 3,76 \cdot n^2 - 1478,3 \cdot h^2 + 1,78 \cdot n \cdot h - 306,0 \quad (17),$$

где Y – урожайность репчатого лука, т/га, n – параметр, характеризующий способ посева репчатого лука и численно равный числу строк в посевной ленте, h – расчетная глубина промачивания почвы при капельном поливе, м. Множественный коэффициент детерминации зависимости $R^2 = 0,98$. Расчетный уровень значимости коэффициента при заданной мощности выборки (число пар данных для анализа $N=27$), $-p < 1,0 \cdot 10^{-6}$.

Графики приведенных зависимостей показаны на рисунках 4.8-4.9.

Из графиков видно, что зависимость урожайности репчатого лука от сочетания изучаемых в опыте факторов имеет форму выпуклой поверхности параболоидного типа. В границах варьирования уровней изучаемых факторов поверхность имеет одну, четко выраженную область оптимума. Частные сечения зависимости урожайности лука от мощности горизонта промачивания почвы и от числа строк растений в посевной ленте имеют вид одновершинной кривой и представлены различными участками параболической кривой. Общей закономерностью представленных графиков является увеличение урожайности репчатого лука с повышением глубины промачивания почвы до 0,4 м и последующим спадом уровня продуктивности при увеличении мощности увлажняемого горизонта до 0,5 м.

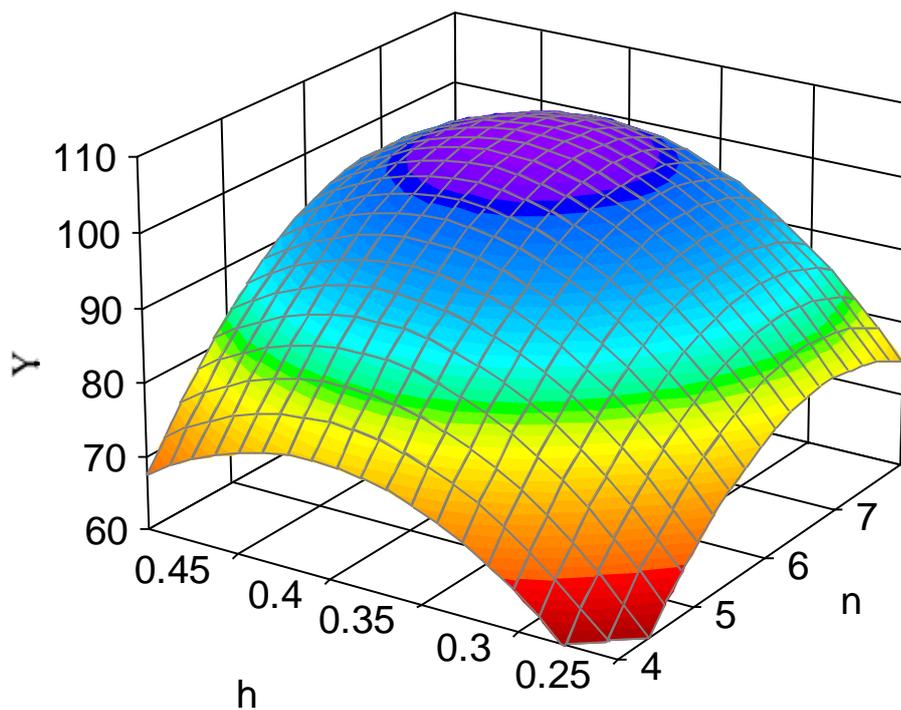


Рисунок 4.8 - График зависимости урожайности репчатого лука от глубины промачивания почвы при разных способах посева (вариант С1 - без формирования профиля поверхности почвы)

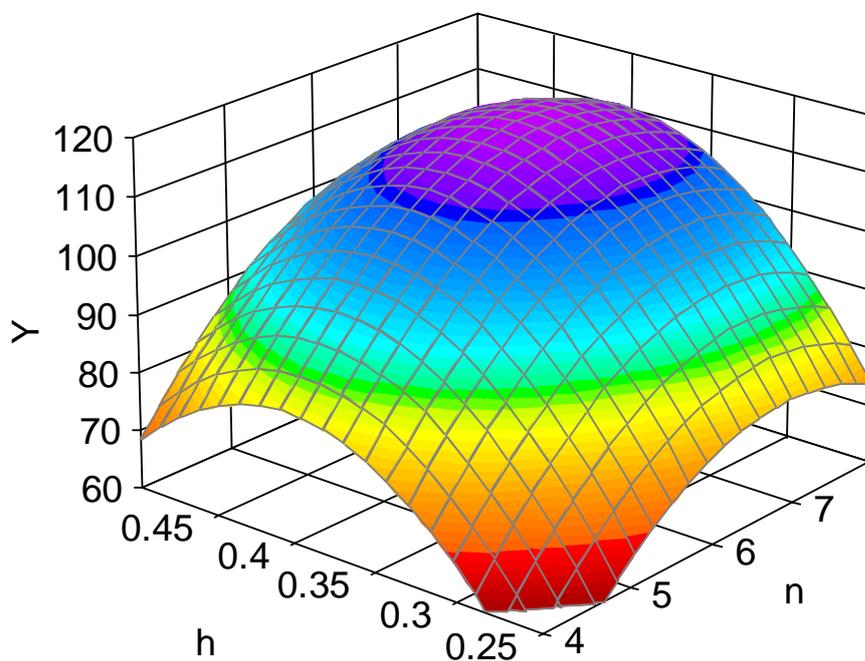


Рисунок 4.9 - График зависимости урожайности репчатого лука от глубины промачивания почвы при разных способах посева (вариант С2 – возделывание на грядах)

Различия в графиках, приведенных для вариантов, размещенных на грядах и на участках, где формирование профиля поверхности почвы не предусматривалось заключается в изменении вертикального размера объемной фигуры, очерчиваемой поверхностью отклика. Учитывая, что значения приведенных поверхностей отклика при граничных значениях уровней варьируемых факторов практически не отличаются, это свидетельствует о повышении роли совокупной оптимизации изучаемых факторов при возделывании лука на грядах.

Численный анализ общих закономерностей изменения урожайности репчатого лука по вариантам опыта подтвердил существенное влияние режима капельного орошения, определяемого расчетной глубиной промачивания почвы (таблица 4.13). Исследования показали, что увеличение глубины промачивания почвы с 0,3 до 0,4 м способствовало повышению урожайности репчатого лука на 10,8-19,8 т/га или 12,2-21,4 %. Причем на участках, где лук выращивали без гряд, урожайность репки с увеличением глубины промачивания почвы возрастала на 12,2-17,3 %, а на фоне применения грядовой технологии, - на 17,4-21,4 %.

Дальнейшее увеличение мощности увлажняемого горизонта почвы до 0,5 м, сопровождалось некоторым снижением урожайности. Однако в сравнении с вариантами, где капельный полив проводили нормой, рассчитанной на увлажнение слоя почвы 0,3 м, прибавка урожая сохранялась на уровне 2,4-5,0 т/га.

При прочих равных условиях наименьшие урожаи лука обеспечивались при посеве ленточным 4-х строчным способом. В среднем за годы исследований урожайность репчатого лука на участках этих вариантов не превышала 64,7-78,9 т/га. Переход на 6-ти строчный способ посева позволил повысить урожайность репчатого лука до 88,7-112,1 т/га или на 31,1-42,1 %. Последнее свидетельствует о неоправданности применения 4-х строчных способов посева при возделывании репчатого лука. Дальнейшее загущение посевов репчатого лука в вариантах с 8-ми строчными посевными лентами не привело к существенному изменению уровня продуктивности посева. Урожайность репки лука колебалась в пределах 87,5-112,5 т/га, что на 22,8-33,3 т/га больше, чем при посеве 4-х строчным способом и на 0,5-1,5 т/га меньше, чем при посеве 6-ти строчным способом.

Использование грядовой технологии при определенном сочетании изучаемых в опыте факторов позволяет существенно повысить эффективность возделывания репчатого лука за счет увеличения уровня продуктивности посевов. В тоже время нужно учитывать, что при использовании, например, 4-х строчного посева переход на грядовую технологию возделывания лука обеспечил прибавку урожая не более, чем на 2,5-3,0 т/га. При использовании 6-ти и 8-ми строчных посевов переход на грядовую технологию возделывания лука позволил увеличить продуктивность посевов на 4,7-13,2 т/га или 5,1-13,3 %. Формирование наибольшей урожайности репчатого лука, в среднем, 112,1-112,2 т/га, в опытах обеспечивалось при посеве лука 6-ти и 8-ми строчным способом на грядах и поддержании дифференцированного, 80-70 % НВ, порога предполивной влажности почвы в расчетном слое почвы 0,4 м.

Таким образом, комплексная оптимизация приемов возделывания и параметров капельного орошения репчатого лука позволяет увеличить его продуктивность почти на 50 т/га и формировать урожайность на уровне 110 т/га и выше. Независимо от приемов возделывания лука наибольшая продуктивность посевов при капельном орошении обеспечивается, если водный режим почвы регулировать в слое 0,4 м.

5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЧЕТАНИЯ УРОЖАЕОБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ РЕПЧАТОГО ЛУКА

5.1 Эффективность использования водных ресурсов как комплексный критерий эффективности орошения лука

Возрастающий дефицит и, как следствие, стоимость основных ресурсов сельскохозяйственного производства, определяют рациональное использование доступной ресурсной базы как главный критерий эффективности возделывания сельскохозяйственных культур. Орошение в условиях острого дефицита влаги южных регионов России характеризуется высокими затратами ресурсов на обеспечение возможности проведения регулярных вегетационных поливов для формирования оптимального водного режима почвы. Учеными и практиками [36, 41, 60, 126] доказано, что расходование всех видов ресурсов на орошение прямо пропорционально затратам воды на проведение поливов. При этом рациональное использование воды подтверждается значениями ее удельных затрат на формирование биологического урожая или хозяйственно ценной части продукции. Учитывая, что затраты оросительной воды в засушливых условиях Нижневолжского региона являются главной, безусловно преобладающей статьей водного баланса, восполняющей дефицит оптимального водопотребления, оценка эффективности использования воды на формирование урожая репчатого лука проводилась нами по значениям коэффициента водопотребления, которые были определены для каждого сочетания исследуемых в опыте факторов. Вычисленные значения коэффициента водопотребления лука приведены в таблице 5.1. Из приведенных в таблице данных видно, что динамика значений коэффициента водопотребления характеризуется устойчивым трендом общей повторяемости численных распределений во все годы исследований. Это позволяет установить регрессионные зависимости между вычисленными значениями коэффициента водопотребления и варьируемыми значениями изучаемых факторов, в частности, - глубины промачивания почвы и числа строк в посевной ленте.

Таблица 5.1 – Коэффициент водопотребления реччатого лука в зависимости от сочетания приемов возделывания и глубины промачивания почвы при капельном орошении

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажнения слоя почвы, м (фактор А)	Коэффициент водопотребления, К _Е , м ³ /т				Δ К _Е в зависимости от мощности увлажненияемого слоя почвы		Δ Е в зависимости от способа посева		Δ К _Е в зависимости от профиля поверхности почвы	
			2014	2015	2016	Среднее	м ³ /т	%	м ³ /т	%	м ³ /т	%
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	75,7	75,3	74,1	75,0	-	-	-	-	-	-
		0,4	66,2	66,3	65,3	65,9	-9,1	-12,1	-	-	-	-
		0,5	72,4	72,8	70,9	72,0	-3,0	-4,0	-	-	-	-
	Шестистрочный (В2)	0,3	56,6	57,4	56,9	57,0	-	-	-18,0	-24,0	-	-
		0,4	51,2	52,0	54,3	52,5	-4,5	-7,9	-13,4	-20,3	-	-
		0,5	53,1	54,0	54,6	53,9	-3,1	-5,4	-18,1	-25,1	-	-
	Восьмистрочный (В3)	0,3	58,1	58,7	57,3	58,0	-	-	-17,0	-22,7	-	-
		0,4	52,5	52,6	54,4	53,2	-4,8	-8,3	-12,7	-19,3	-	-
		0,5	54,2	54,7	55,7	54,9	-3,1	-5,3	-17,1	-23,8	-	-
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	74,6	73,2	71,6	73,1	-	-	-	-	-1,9	-2,5
		0,4	65,5	64,2	63,5	64,4	-8,7	-11,9	-	-	-1,5	-2,3
		0,5	71,5	71,0	67,3	69,9	-3,2	-4,4	-	-	-2,1	-2,9
	Шестистрочный (В2)	0,3	55,7	55,8	53,3	54,9	-	-	-18,2	-24,9	-2,1	-3,7
		0,4	47,7	47,4	50,0	48,4	-6,5	-11,8	-16,0	-24,8	-4,1	-7,8
		0,5	52,9	53,2	51,6	52,6	-2,3	-4,2	-17,3	-24,7	-1,3	-2,4
	Восьмистрочный (В3)	0,3	57,7	57,2	53,4	56,1	-	-	-17,0	-23,3	-1,9	-3,3
		0,4	47,5	47,7	50,8	48,7	-7,4	-13,2	-15,7	-24,4	-4,5	-8,5
		0,5	53,3	54,2	52,3	53,3	-2,8	-5,0	-16,6	-23,7	-1,6	-2,9

Регрессионный анализ данных проводили дифференцированно для вариантов, размещенных на грядах и на участках без профиля поверхности почвы. Учитывая нелинейность связи между значениями мощности увлажняемого слоя почвы и числом строк в посевной ленте с одной стороны и коэффициентом водопотребления репчатого лука с другой стороны, была выбрана полиномиальная форма регрессионного уравнения. Полученная в результате проведенного анализа зависимость для вариантов, размещенных на участках без создания профиля поверхности почвы, имеет вид:

$$Ke = 232,5 - 29,9 \cdot n - 382,6 \cdot h + 2,17 \cdot n^2 + 460 \cdot h^2 - 0,125 \cdot n \cdot h \quad (18),$$

где Ke – коэффициент водопотребления репчатого лука, м³/т, n – параметр, характеризующий способ посева репчатого лука и численно равный числу строк в посевной ленте, h – расчетная глубина промачивания почвы при капельном поливе, м. Множественный коэффициент детерминации зависимости $R^2 = 0,98$. Расчетный уровень значимости коэффициента детерминации при заданной мощности выборки (число пар данных для анализа $N=27$), $-p < 1,0 \cdot 10^{-6}$.

При выращивании лука на грядах зависимость коэффициента водопотребления лука от глубины промачивания почвы при капельном поливе и числа строк в посевной ленте наилучшим образом описывается уравнением:

$$Ke = 258,2 - 31,1 \cdot n - 508,8 \cdot h + 2,23 \cdot n^2 + 615 \cdot h^2 + 0,5 \cdot n \cdot h \quad (19),$$

где Ke – коэффициент водопотребления репчатого лука, м³/т, n – параметр, характеризующий способ посева репчатого лука и численно равный числу строк в посевной ленте, h – расчетная глубина промачивания почвы при капельном поливе, м. Множественный коэффициент детерминации зависимости $R^2 = 0,97$. Расчетный уровень значимости коэффициента при заданной мощности выборки (число пар данных для анализа $N=27$), $-p < 1,0 \cdot 10^{-6}$.

Графики приведенных зависимостей показаны на рисунках 5.1-5.2.

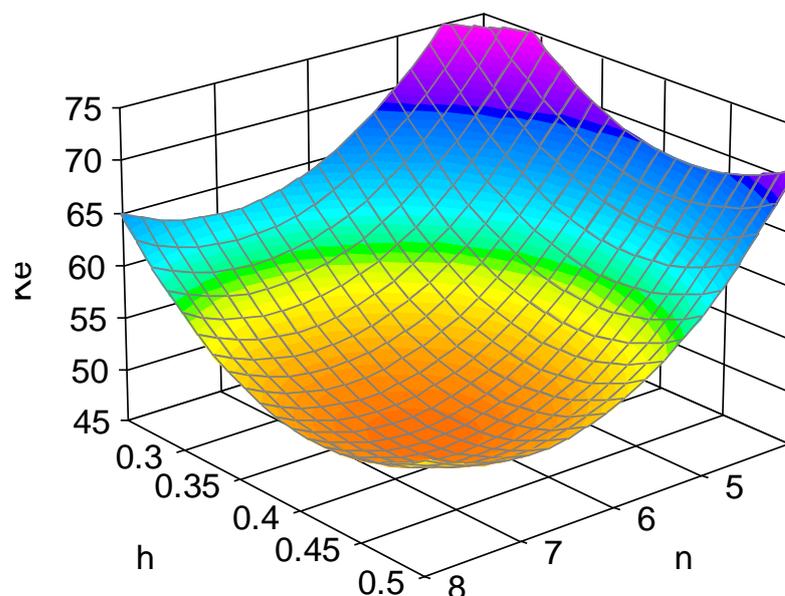


Рисунок 5.1 – График зависимости коэффициента водопотребления (K_e) репчатого лука от числа строк в посевной ленте (n) и глубины увлажняемого слоя почвы (h) при капельном орошении (вариант «без гряд»)

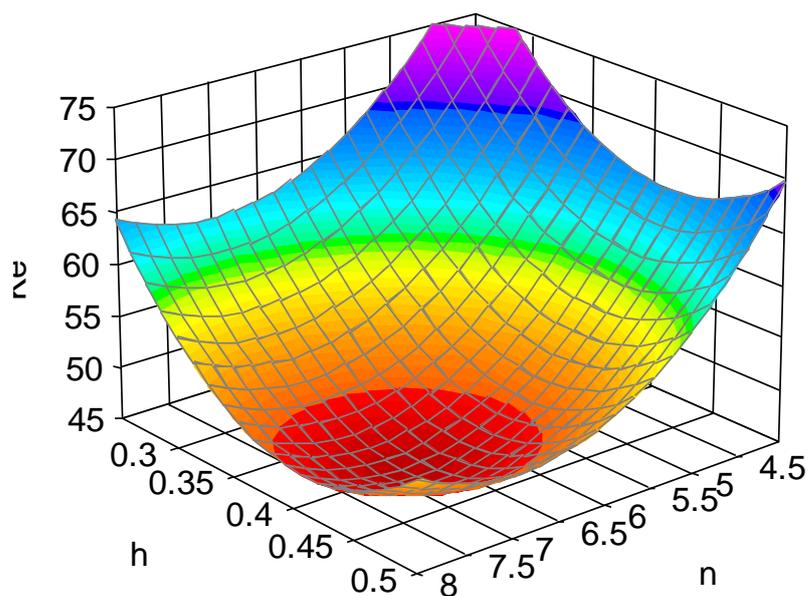


Рисунок 5.2 – График зависимости коэффициента водопотребления (K_e) репчатого лука от числа строк в посевной ленте (n) и глубины увлажняемого слоя почвы (h) при капельном орошении (вариант «на грядах»)

Из графиков видно, что зависимость коэффициента водопотребления репчатого лука от сочетания изучаемых в опыте факторов имеет типичную форму параболоида с четко определенной областью оптимума. Частные сечения зависимости коэффициента водопотребления лука от мощности горизонта промачивания поч-

вы и от числа строк растений в посевной ленте представлены различными участками параболической кривой. Общей закономерностью представленных графиков является снижение значений коэффициента водопотребления репчатого лука с повышением глубины промачивания почвы до 0,4 м и последующим ростом затрат воды на формирование урожая при увеличении мощности увлажняемого горизонта до 0,5 м. Различия в графиках, приведенных для вариантов, размещенных на грядах, в отличие от вариантов без гряд заключаются в совокупном снижении области оптимума при сохранении координат ее горизонтальной проекции.

Численный анализ общих закономерностей изменения коэффициента водопотребления репчатого лука по вариантам опыта подтвердил существенное влияние режима капельного орошения, определяемого расчетной глубиной промачивания почвы (таблица 5.1). Исследования показали, что более эффективно на формирование урожая вода расходуется при регулировании водного режима почвы в слое 0,4 м или 0,5 м. Установлено, что при увеличении мощности расчетного горизонта увлажнения почвы с 0,3 до 0,4 м значения коэффициента водопотребления лука снижаются, в среднем, на 7,9-13,2 %. При увеличении мощности расчетного горизонта увлажнения почвы с 0,3 до 0,5 м значения коэффициента водопотребления лука снижались на 2,3-3,2 %. Таким образом, с точки зрения экономии водных ресурсов вариант с регулированием водного режима почвы в слое 0,5 м более эффективен, чем вариант с увлажнением 0,3-метрового слоя, но существенно менее эффективен, чем при глубине расчетного горизонта 0,4 м. При проведении капельных поливов для поддержания заданного порога предполивной влажности почвы в расчетном слое 0,4 м коэффициент водопотребления репчатого лука не превышал 48,4-65,9 м³/т. Для сравнения, - при поддержании заданного предполивного уровня влажности почвы в слое 0,3 м на формирование одной тонны урожая репчатого лука расходовалось 54,9-75,0 кубометров воды и немногим ниже, - 52,6-72,0 м³/т, - при увлажнении 0,5-метрового слоя почвы.

Обращает внимание диапазон варьирования значений коэффициента водопотребления репчатого лука при поддержании любого из исследуемых вариантов по глубине увлажнения почвы при проведении капельных поливов. Величина этого

диапазона характеризует области влияния агротехнических приемов возделывания репчатого лука на эффективность использования водных ресурсов. Расчеты показали, что существенный прирост эффективности использования воды на формирование урожая репчатого лука обеспечивается при использовании 6-ти и 8-ми строчных посевов. Коэффициент водопотребления лука с переходом на эти способы посева снижался на 19,3-25,1 %. При прочих равных условиях наименьший расход воды на формирование урожая репчатого лука, 48,4-52,5 м³/т, обеспечивался при сочетании режима капельного орошения, ориентированного на увлажнение расчетного, 0,4- метрового слоя почвы, с применением 6-ти строчного способа посева.

Использование грядовой технологии возделывания репчатого лука наряду с общим ростом суммарного водопотребления позволяет снизить затраты воды на формирование единицы урожая за счет более рационального использования водных ресурсов. В опытах с переходом на грядовую технологию возделывания коэффициент водопотребления снижался на 1,3-4,5 м³/т, достигая минимума, 48,4 м³/т, в области оптимума.

Таким образом, эффективное использование водных ресурсов при возделывании репчатого лука определяется не только способом и технологией орошения, но и совокупностью приемов возделывания, составляющих уровень агротехники культуры. Для обеспечения наиболее эффективного использования воды на формирование урожая репчатого лука, 48,4-48,7 м³/т, целесообразно посевы размещать на грядах, посевную ленту формировать в 6-ть или 8-мь строк, а заданный порог предполивной влажности почвы, 80-70 % НВ, поддерживать в расчетном слое почвы 0,4 м.

5.2 Качество урожая как комплексный критерий оценки эффективности сочетания урожаеобразующих факторов

Последним общемировым трендом в области развития сельскохозяйственного производства стала разработка концепции органического земледелия. Концепция предусматривает полный отказ от генетически модифицированной продукции, от применения стимуляторов роста и средств химизации сельскохозяйственного производства. И хотя не все положения концепции являются бездискуссионными (например, в части применения минеральных удобрений, как компенсационного механизма безвозвратного отчуждения значительной части минеральных элементов с урожаем), главное преимущество, - создание качественной, экологически чистой продукции, - является главной популяризирующей идеей разрабатываемых стратегий.

В последние годы качество продукции становится и все более значимым экономическим критерием, определяющим цену производимых продуктов. Максимальный валовой урожай уже не может гарантировать прибыльность производства, тогда как корреляции экономического эффекта и качества продукции становятся все более тесными. Это является одним из главных критериев жизнеспособности концепции органического земледелия, определяя экономические стимулы реализации такого рода стратегий.

Качество производимой сельскохозяйственной продукции важно рассматривать как комплексный критерий, включающий совокупную оценку целого ряда показателей. При оценке качества урожая лука-репки в опытах особое внимание уделялось биохимическому составу луковиц, - динамике показателей, характеризующих пищевую ценность и экологическую безопасность продукции. Другим важным критерием качества урожая стали размерные (калибровочные) характеристики луковиц. Для оценки размерных характеристик опытного урожая луковицы сортировали с формированием калибровочных фракций размером менее 40 мм (мелкая фракция, нестандарт), от 40 до 60 мм (средняя фракция), от 60 до 80 мм (крупная фракция) и от 80 мм и более (очень крупная фракция). При разделении

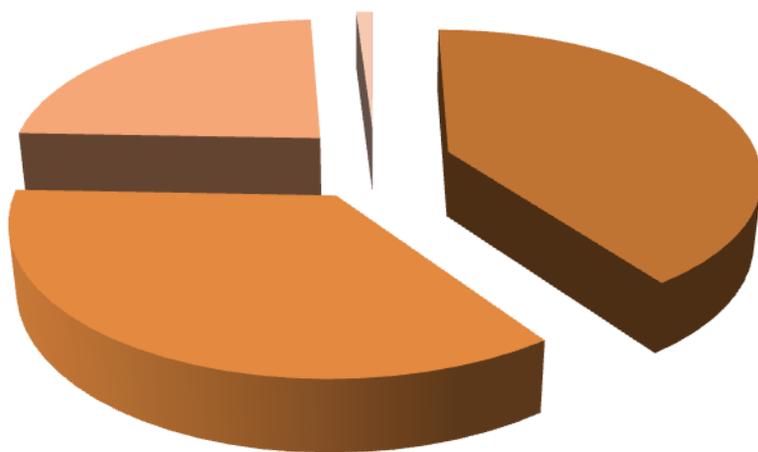
калибровочных фракций исходили из товарно-сбытовых приоритетов, сформировавшихся на рынке репчатого лука. Например, луковицы с диаметром более 80 мм выгодно можно реализовать практически только в сфере переработки овощной продукции; крупную фракцию кроме как для отрасли переработки, можно реализовать для потребления в свежем виде или закладки на хранение, хотя и по сниженной цене в сравнении с урожаем средней фракции. Средняя калибровочная фракция урожая репчатого лука является наиболее востребованной на рынке, а, следовательно, позволяет формировать и наиболее выгодные сбытовые стратегии. Мелкая фракция практически не используется для переработки, а также отличается сниженными потребительскими характеристиками для закладки на хранение или потребление в свежем виде. Соотношение калибровочных фракций в общем урожае лука определяет целевую направленность применяемого комплекса агротехнологий (таблица 5.2, рисунок 5.3).

Исследования показали, что выход урожая репчатого лука той или иной размерной фракции существенно зависит от сочетания применяемых агротехнических и агромелиоративных приемов. Однако, влияние этих приемов на соотношение калибровочных фракций было не одинаковым. Например, увеличение глубины увлажнения почвы при проведении капельных поливов с 0,3 до 0,4 м снижало долю выхода урожая очень крупной фракции (с диаметром луковиц более 80 мм) на 0,6-2,9 %, на 0,7-1,9 % увеличивало выход луковиц с диаметром луковицы от 60 до 80 мм и практически не оказывало влияние на выход луковиц средней (от 40 до 60 мм) и мелкой (менее 40 мм) калибровочной фракции. Увеличение глубины увлажнения почвы с 0,3 м до 0,5 м сопровождалось ростом доли выхода луковиц крупной (на 1,1-2,8 %) и средней (на 0,6-1,6 %) калибровочной фракции за счет существенного снижения (на 1,7-5,0 %) доли выхода луковиц с диаметром более 80 мм.

Использование грядовой технологии при возделывании репчатого лука на 0,2-1,9 % увеличивало выход очень крупной фракции урожая (с диаметром луковиц более 80 мм) за счет снижения на 0,9-2,1 % выхода луковиц средней размерной фракции (от 40 до 60 мм).

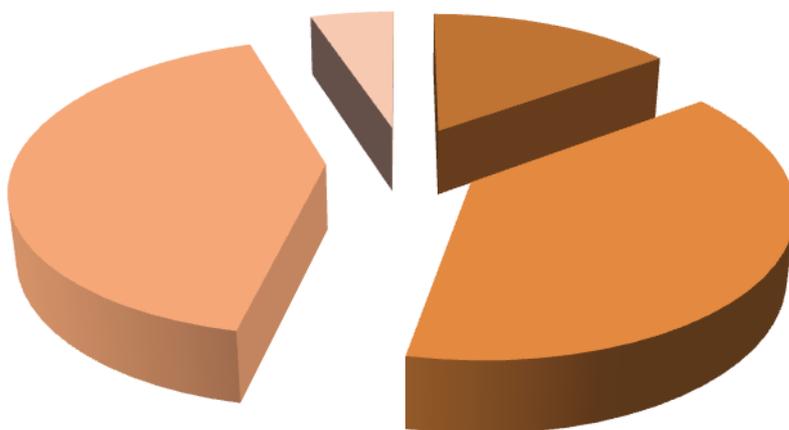
Таблица 5.2 - Размерная (калибровочная) характеристика урожая луковиц в зависимости от сочетания изучаемых факторов (среднее за 2014-2016 гг.)

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажнения-емого слоя почвы, м (фактор А)	Содержание в урожае, % от общей массы				Товарно-сбытовое направление		
			Луковиц с диаметром более 80 мм	Луковиц с диаметром от 60 до 80 мм	Луковиц с диаметром от 40 до 60 мм	Луковиц с диаметром менее 40 мм			
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	41,2	33,4	24,6	0,8	Преимущественно для переработки		
		0,4	39,8	35,2	24,8	0,2			
		0,5	37,7	36,2	25,2	0,9			
	Шестистрочный (В2)	0,3	15,2	37,4	42,2	5,2		Для переработки и хранения (с необходимостью калибровки)	
		0,4	14,3	38,2	42,4	5,1			
		0,5	13,5	38,5	43,1	4,9			
	Восьмистрочный (В3)	0,3	3,8	27,4	58,9	9,9			Преимущественно для хранения (с возможностью использования для переработки)
		0,4	3,2	27,4	59,2	10,2			
		0,5	2,8	26,9	59,8	10,5			
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	43,1	33,5	22,5	0,9	Преимущественно для переработки		
		0,4	40,2	35,4	23,4	1,0			
		0,5	38,1	36,3	24,1	1,5			
	Шестистрочный (В2)	0,3	16,1	37,6	41,4	4,9		Для переработки и хранения (с необходимостью калибровки)	
		0,4	15,0	38,3	41,6	5,1			
		0,5	14,3	38,7	42,2	4,8			
	Восьмистрочный (В3)	0,3	4,0	27,7	59,5	8,8			Преимущественно для хранения (с возможностью использования для переработки)
		0,4	3,4	27,6	60,1	8,9			
		0,5	2,9	27,2	61,0	8,9			



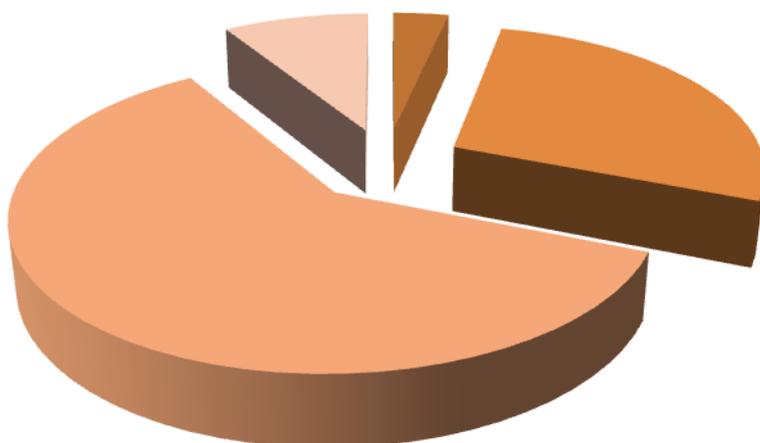
- Более 80 мм
- От 60 до 80 мм
- От 40 до 60 мм
- Менее 40 мм

а) Четырехстрочный посев



- Более 80 мм
- От 60 до 80 мм
- От 40 до 60 мм
- Менее 40 мм

б) Шестистрочный посев



- Более 80 мм
- От 60 до 80 мм
- От 40 до 60 мм
- Менее 40 мм

в) Восемистрочный посев

Рисунок 5.3 - Состав и соотношение размерных фракций урожая лука-репки при разных способах посева (грядовая технология + поливы для регулирования водного режима почвы в слое 0,4 м)

При этом значимого изменения доли выхода луковиц крупной размерной фракции (от 60 до 80 мм в диаметре) в опытах не наблюдалось.

Исследованиями выявлено взаимодействие факторов в области влияния на соотношение выхода урожая луковиц различного диаметра. Например, с переходом на грядовую технологию возделывания, доля луковиц с диаметром от 40 до 60 мм, снижалась на 0,9-2,1 % только при посеве 4-х и 6-ти строчным способом, тогда как при посеве 8-ми строчным способом доля урожая этой размерной фракции возрастала на 0,6-1,2 %. Следует признать, что количественно, влияние способов посева лука на соотношение выхода калибровочных фракций, на порядок превосходило оценочный уровень значимости других, изучаемых в опыте факторов.

При прочих равных условиях при посеве лука 4-х строчным способом в урожае преобладали луковицы с диаметром более 60 мм, то есть крупной и очень крупной калибровочной фракции. Доля луковиц с диаметром более 80 мм составляла 37,7-43,2 % от общего веса урожая луковиц. Выход луковиц с диаметром от 60 до 80 мм (крупная калибровочная фракция) составлял 33,4-36,3 %, тогда как доля лука средней калибровочной фракции (с диаметром от 40 до 60 мм) не превышала 22,5-25,2 %. В совокупности это определяет товарно-сбытовое направление производства продукции преимущественно для переработки.

При посеве лука 6-ти строчным способом существенно, до 13,5-16,1 %, снижалась доля выхода луковиц очень крупной калибровочной фракции (с диаметром более 80 мм) при одновременном росте выхода луковиц размером от 40 до 60 мм (до 41,4-43,1 %). Это определяет целесообразность использования части урожая для хранения и оптово-розничной реализации с необходимостью отбора (калибровки) фракций с диаметром луковиц от 60 до 80 мм и более 80 мм, которые реализуются, преимущественно, в перерабатывающие отрасли.

Посев 8-ми строчным способом характеризуется резким снижением (до 2,8-4,0 %) выхода луковиц очень крупной калибровочной фракции (более 80 мм). Доля выхода луковиц крупной размерной фракции (с диаметром от 60 до 80 мм) снижалась на 5,8-9,3 % в сравнении с участками полевого опыта, где посев проводили 4-х строчным способом, и на 9,9-11,6 % в сравнении с вариантами 6-ти

строчного посева лука. При этом в опытах наблюдался максимальный прирост доли луковиц с размером от 40 до 60 мм (средняя калибровочная фракция), которая достигала 58,9-61,0 %, и частичное увеличение доли луковиц с диаметром менее 40 мм (до 8,8-10,5 %). В совокупности это определило возможность использования 8-ми строчных посевов лука с целью производства продукции преимущественно для хранения и оптово-розничной реализации.

Возможности хранения и прочие товарно-сбытовые стратегии производства определяются не только размерно-калибровочными характеристиками урожая, но и биохимическим составом самих луковиц. Исследования показали, что биохимический состав луковиц из опытного урожая существенно изменялся по вариантам с различным сочетанием изучаемых факторов (таблица 5.3).

Содержание сухого вещества в луковицах, выращенных на опытном поле, изменялось, в среднем, от 10,7 до 12,7 %. Этого достаточно для обеспечения высокой сохранности урожая и использования его во внесезонный период. Наряду с этим, отмечено, что содержание сухого вещества в луковицах существенно изменяется в зависимости от режима капельного орошения, определяемого глубиной промачивания почвы. С увеличением глубины расчетного слоя почвы в пределах 0,3-0,4 м содержание сухого вещества в луковицах возрастало, в среднем, на 0,6-1,1 %. При увеличении глубины промачивания почвы при капельном поливе с 0,3 до 0,5 м содержание сухого вещества в луковицах возрастало на 0,9-1,3 %. Наибольшим содержанием сухого вещества в луковицах, 12,5-12,7 %, отличались варианты, где посев проводили 8-ми строчным способом, а капельные поливы проводили для увлажнения расчетного 0,5-м слоя почвы. При прочих равных условиях, на участках, где поливы проводили для увлажнения слоя почвы мощностью 0,4 м, содержание сухого вещества в луковицах снижалось до 12,3-12,5 %.

Сумма сахаров, определяющая вкусовые качества луковицы и существенно влияющая на сохранность луковиц, в опытном урожае изменялась от 6,5 до 8,6 %. Опыты показали, что режим орошения лука, определяющийся в опытах глубиной промачивания почвы, оказал наибольшее влияние на совокупное содержание сахаров в опытных образцах урожая.

Таблица 5.3 – Биохимическая характеристика состава лукович в зависимости от сочетания изучаемых факторов (среднее за 2014-2016 гг.)

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Показатель				ΔNO ₃ в зависимости от глубины промачивания		ΔNO ₃ в зависимости от способа посева		ΔNO ₃ в зависимости от поверхности почвы	
			Сухое вещество, %	Суммаров, %	Витамины С, мг/%	Нитраты, NO ₃ , мг/кг	физ.ед	%	физ.ед	%	физ.ед	%
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	10,7	6,5	8,2	72	-	-	-	-	-	-
		0,4	11,3	6,9	8,5	67	-5	-6,9	-	-	-	-
		0,5	11,7	7,4	8,9	69	-3	-4,2	-	-	-	-
	Шестистрочный (В2)	0,3	10,9	6,8	8,1	65	-	-	-7	-9,7	-	-
		0,4	11,7	7,5	9,0	53	-12	-18,5	-14	-20,9	-	-
		0,5	12,2	8,1	9,3	59	-6	-9,2	-10	-14,5	-	-
	Восьмистрочный (В3)	0,3	11,3	7,1	8,7	62	-	-	-10	-13,9	-	-
		0,4	12,3	8,4	9,5	48	-14	-22,6	-19	-28,4	-	-
		0,5	12,5	8,5	9,8	52	-10	-16,1	-17	-24,6	-	-
		0,3	10,8	6,6	8,3	69	-	-	-	-	-3	-4,2
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,4	11,4	7,1	8,6	65	-4	-5,8	-	-	-2	-3,0
		0,5	11,7	7,5	9,0	68	-1	-1,4	-	-	-1	-1,4
		0,3	11,0	6,9	8,2	62	-	-	-7	-10,1	-3	-4,6
	Шестистрочный (В2)	0,4	11,7	7,6	9,2	49	-13	-21,0	-16	-24,6	-4	-7,5
		0,5	12,3	8,1	9,3	54	-8	-12,9	-14	-20,6	-5	-8,5
		0,3	11,4	7,2	8,7	58	-	-	-11	-15,9	-4	-6,5
	Восьмистрочный (В3)	0,4	12,5	8,5	9,8	49	-9	-15,5	-16	-24,6	1	2,1
		0,5	12,7	8,6	9,9	50	-8	-13,8	-18	-26,5	-2	-3,8
		Фактор А	0,23	0,15	0,19	1,07						
		Фактор В	0,23	0,15	0,19	1,07						
НСР ₀₅	Фактор С	0,18	0,12	0,16	0,88							
	Для частных средних	0,55	0,37	0,47	2,63							

Луковицы с наибольшим содержанием сахаров, 8,5-8,6 %, были получены на участках, где посев проводили на грядах 8-ми строчным способом, а поливы проводили исходя из задания на увлажнение расчетного 0,4 м или 0,5 метрового слоя почвы.

Содержание витамина С характеризует особую пищевую ценность репчатого лука. В опытах содержание витамина С в луковицах изменялось по вариантам от 8,2 до 9,9 мг%. Опытами получены убедительные данные по влиянию способа посева лука на содержание витамина С в луковицах. Переход с 4-х строчного на 6-ти строчный посев обеспечил повышение содержания витамина С в луковицах на 0,4-0,6 мг%. При переходе с 4-х строчного на 8-ми строчный посев содержание витамина С в луковицах возрастало на 0,4-1,2 мг%.

Одним из ключевых показателей, характеризующих экологическую безопасность овощной продукции, является содержание нитратов в урожае. Нитраты являются естественной компонентой биохимического состава овощной продукции. Однако, переход на интенсивные технологии возделывания, применение высоких доз минеральных удобрений, сопровождается многократным увеличением содержания нитратов в производимой продукции и, зачастую, - превышением его допустимых для пищевой безопасности порогов. Предельно допустимая концентрация нитратов в урожае репчатого лука составляет 80 мг на кг сырого веса. Исследования показали, что содержание нитратов в луковице в наибольшей степени изменялось в зависимости от глубины промачивания почвы и способа посева в опытах. Увеличение расчетной глубины промачивания почвы при капельном орошении с 0,3 до 0,4 м обеспечило снижение содержания нитратов в луковице на 4-14 мг/кг или 5,8-22,6 %. Дальнейшее увеличение мощности промачиваемого горизонта почвы до 0,5 м несколько увеличивало содержание нитратов в луковице, однако в сравнении с вариантами, где полив был рассчитан на увлажнение слоя почвы 0,3 м, их концентрация снижалась на 1-10 мг/кг или 1,4-16,1 %.

Переход с 4-х строчного способа посева лука на 6-ти строчный позволял получить луковицы со сниженным на 9,7-24,6 % содержанием нитратов. При исполь-

зовании для посева лука 8-ми строчного способа содержание нитратов снижалось в еще большей степени, на 10-19 мг/кг или 13,9-28,4 %.

Совокупное действие всех изучаемых в опыте факторов обеспечивало возможность снижения содержания нитратов в луковицах более чем на треть, в сравнении с продукцией, полученной по обычной технологии. Общее содержание нитратов в урожае не превышало 48-72 мг/кг, что находится в пределах, установленных современными требованиями к безопасности овощной продукции.

5.3 Экономическое обоснование сочетания мелиоративных режимов и приемов возделывания репчатого лука при капельном орошении

Показатели экономического состояния производства являются одним из ключевых критериев оценки эффективности применения инновационных технологий и оптимизации факторов при возделывании сельскохозяйственных культур. Высокая ресурсоемкость такого агромелиоративного приема, как орошение, обуславливает необходимость обязательного проведения экономического анализа при ведении той или иной инновационной деятельности.

На практике исключительно экономическая результативность производства определяет жизнеспособность и перспективы использования инноваций. Поэтому важно, чтобы внедряемые инновации наряду с решением поставленных, узкоспециальных задач, обеспечивали повышение экономической эффективности производства. При относительной сопоставимости прочих критериев эффективности производства выбор наиболее эффективного варианта осуществляется на основании экономических показателей. В условиях, когда инновации нацелены на решение сразу нескольких задач, ранжирование которых по важности вызывает затруднение, экономические показатели, как правило, служат комплексными критерием эффективности.

В наших исследованиях анализ экономической эффективности сочетания изучаемых приемов возделывания репчатого лука при капельном орошении проводи-

ли на основании сопоставления разновременных затрат, понесенных на протяжении всего цикла производства, и выручки от реализации выращенной продукции.

Совокупные затраты на возделывание лука складывались из прямых затрат на производство всего комплекса работ, предусмотренных технологией с учетом обеспеченности изучаемых факторов, финансово-операционных расходов, отчислений на организацию производственно-хозяйственной деятельности, затрат на логистику и сбытовую деятельность хозяйства. Прямые затраты на возделывание лука складывались из расходов на используемые в производстве материалы и оборотные средства, включая удобрения, посевной материал, приобретение однолетней капельной трубки и т.д., расходов на горюче-смазочные материалы, на ремонт и техническое обслуживание, расходов на амортизацию или лизинговые платежи по сельскохозяйственной технике. Нормы выработки и расход горюче-смазочных материалов по операционной деятельности возделывания лука в опытах брались из нормативных таблиц и справочников. Все расчеты проведены в ценах на 01.09.2016 г. Результаты расчетов сведены в таблицы 5.4-5.6.

Анализ сложившейся практики возделывания овощных культур в регионе и результаты собственных расчетов убедительно доказывают необходимость вложения значительных ресурсов для достижения гарантированных, стабильных результатов. Совокупные затраты на возделывание репчатого лука в опытах достигали 255 520-373 890 руб./га, причем приоритетными статьями расходов традиционно являлись затраты на посевной материал (68 600-127 400 руб./га) и уборку (45 290-78 540 руб./га). Расчеты показывают, что при капельном орошении существенные затраты также требуются на приобретение капельной трубки, которые в ценах 2016 года составили 42 600 руб./га.

Из приведенных в таблице 5.4 данных видно, что потребность в материально-денежных ресурсах и энергии на производство работ существенно зависит от уровня обеспеченности факторов, изучаемых в опыте. Численная вариация материальных затрат по фактору, определяемого мощностью горизонта промачивания почвы, в опытах была наименьшей.

Таблица 5.4 - Совокупные затраты на возделывание лука при капельном орошении

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Затраты, руб./га				Урожайность, т/га	Себестоимость продукции, руб./т
			Всего	В том числе:				
				на капельную трубку	на полевой материал	на уборку		
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	256 590	42 600	68 600	45 290	64,7	3 966
		0,4	264 080	42 600	68 600	53 130	75,9	3 479
		0,5	255 520	42 600	68 600	46 970	67,1	3 808
	Шестьстрочный (В2)	0,3	306 790	42 600	98 000	62 090	88,7	3 459
		0,4	314 000	42 600	98 000	69 650	99,5	3 156
		0,5	307 050	42 600	98 000	65 100	93,0	3 302
	Восьмистрочный (В3)	0,3	341 550	42 600	127 400	61 250	87,5	3 903
		0,4	349 250	42 600	127 400	69 300	99,0	3 528
		0,5	342 300	42 600	127 400	64 750	92,5	3 701
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	273 740	42 600	68 600	47 040	67,2	4 074
		0,4	281 580	42 600	68 600	55 230	78,9	3 569
		0,5	272 880	42 600	68 600	48 930	69,9	3 904
	Шестьстрочный (В2)	0,3	325 830	42 600	98 000	65 730	93,9	3 470
		0,4	338 220	42 600	98 000	78 470	112,1	3 017
		0,5	325 740	42 600	98 000	68 390	97,7	3 334
	Восьмистрочный (В3)	0,3	360 380	42 600	127 400	64 680	92,4	3 900
		0,4	373 890	42 600	127 400	78 540	112,2	3 332
		0,5	360 570	42 600	127 400	67 620	96,6	3 733

Таблица 5.5 - Выручка от реализации лука с учетом деления урожая на размерные фракции

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняющего слоя почвы, м (фактор А)	Выход урожая размерной фракции, т/га				Выручка с учетом деления урожая на размерные фракции, тыс. руб./га					
			Луко-вицы с диаметром метром более 80 мм	Луко-вицы с диаметром метром от 60 до 80 мм	Луко-вицы с диаметром метром от 40 до 60 мм	Луко-вицы с диаметром метром менее 40 мм	Более 80 мм (5,3 руб./кг)	От 60 до 80 мм (7,22 руб./кг)	От 40 до 60 мм (9,4 руб./кг)	Менее 40 мм (3,25 руб./кг)	Всего	
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	26,7	21,6	15,9	0,5	141,3	156,0	149,6	1,7		448,6
		0,4	30,2	26,7	18,8	0,2	160,1	192,9	176,9	0,5	530,4	
		0,5	25,3	24,3	16,9	0,6	134,1	175,4	158,9	2,0	470,4	
	Шестистрочный (В2)	0,3	13,5	33,2	37,4	4,6	71,5	239,5	351,9	15,0	677,8	
		0,4	14,2	38,0	42,2	5,1	75,4	274,4	396,6	16,5	762,9	
		0,5	12,6	35,8	40,1	4,6	66,5	258,5	376,8	14,8	716,6	
	Восьмистрочный (В3)	0,3	3,3	24,0	51,5	8,7	17,6	173,1	484,5	28,2	703,3	
		0,4	3,2	27,1	58,6	10,1	16,8	195,9	550,9	32,8	796,4	
		0,5	2,6	24,9	55,3	9,7	13,7	179,7	520,0	31,6	744,9	
	Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	29,0	22,5	15,1	0,6	153,5	162,5	142,1	2,0	460,1
			0,4	31,7	27,9	18,5	0,8	168,1	201,7	173,5	2,6	545,9
			0,5	26,6	25,4	16,8	1,0	141,1	183,2	158,4	3,4	486,1
Шестистрочный (В2)		0,3	15,1	35,3	38,9	4,6	80,1	254,9	365,4	15,0	715,4	
		0,4	16,8	42,9	46,6	5,7	89,1	310,0	438,4	18,6	856,0	
		0,5	14,0	37,8	41,2	4,7	74,0	273,0	387,6	15,2	749,8	
Восьмистрочный (В3)	0,3	3,7	25,6	55,0	8,1	19,6	184,8	516,8	26,4	747,6		
	0,4	3,8	31,0	67,4	10,0	20,2	223,6	633,9	32,5	910,1		
	0,5	2,8	26,3	58,9	8,6	14,8	189,7	553,9	27,9	786,4		

Однако и здесь достаточно четко прослеживалась закономерность, заключающаяся в росте затрат на производство лука при увеличении горизонта промачивания почвы с 0,3 до 0,4 м и последующем снижении до минимума при увеличении глубины увлажнения до 0,5 м. Такая нелинейность в зависимости совокупных затрат на возделывание лука от мощности горизонта увлажнения почвы объясняется особенностями формирования расходов в ходе уборочной кампании и существенным ростом продуктивности посева на участках, где поливы проводили на расчетный слой 0,4 м. Собственно, на орошение, затраты были минимальными в вариантах с мощностью увлажняемого слоя почвы 0,5 м и наибольшими, - при увлажнении почвы в слое 0,3 м.

Существенное увеличение материально-денежных затрат на возделывание лука потребовалось в вариантах, где посев проводили 6-ти и 8-ми строчным способом. Переход с 4-х строчного способа посева на 6-ти строчный способ увеличивал общую потребность в материально-денежных затратах на 50 200-56 640 руб./га. При возделывании лука на 8-ми строчных посевных лентах затраты возрастали на 84 960-92 310 руб./га в сравнении с вариантами, где посев проводили 4-х строчным способом. Основной статьей роста производственных затрат по вариантам способа посева репчатого лука явились расходы на закупку посевного материала, потребность в котором возрастала пропорционально увеличению густоты посева.

От 17 150 до 24 640 руб./га прироста совокупных затрат было отмечено при переходе на грядовую технологию возделывания репчатого лука. Характерна вариация этих значений, которая свидетельствует, что затраты возрастают не только за счет расходов на, собственно, поделку гряд, но и по другим статьям, - например, - расходов на уборку.

Расчеты показали, что себестоимость продукции не всегда возрастает пропорционально росту совокупных затрат. Например, при росте совокупных затрат с 256 590 руб./га на участках, где посев проводили 4-х строчным способом, без гряд, а поливы рассчитывались на увлажнение слоя почвы 0,3 м, до 360 380 руб./га на участках, где посев проводили на грядах 8-ми строчным способом, уровень себестоимости оставался сопоставимым, - 3 966 и 3 900 руб./га соответ-

ственно. Продукция наименьшей себестоимости, 3 014 руб./т, была получена на участках, где капельные поливы лука проводили из расчета увлажнения 0,4-м слоя почвы, посев осуществляли на грядах 6-ти строчным способом. При прочих равных условиях переход на 8-ми строчный посев сопровождался ростом себестоимости репчатого лука до 3 332 руб./т.

Таким образом, рост совокупных затрат на возделывание лука окупается увеличением общей продуктивности посевов. Анализ доходов от реализации выращенной продукции показал, что размер выручки существенно зависит от состава урожая, определяемого, в частности, выходом урожая по размерным фракциям. Рыночный тренд в этом отношении довольно устойчив и всегда наибольшей ценой отличаются луковицы с диаметром от 40 до 60 мм. Крупные луковицы, с диаметром от 60 до 80 мм, стоят как правило, меньше урожая средней фракции (от 40 до 60 мм), однако, еще в большей степени цена падает на очень крупные луковицы с диаметром более 80 мм. Наименьшей ценой во все годы исследований характеризовались луковицы менее 40 мм. В ценах на 2016 год соотношение цены на различные размерные фракции урожая лука составляли: для луковиц менее 40 мм – 3 250 руб./т, для луковиц от 40 до 60 мм – 9 400 руб./т, для луковиц от 60 до 80 мм – 7 220 руб./т, а для луковиц более 80 мм – 5 300 руб./т. С учетом этого, а также фактического соотношения фракций по вариантам опыта, формировалась общая выручка урожая. Нетрудно заметить, что наибольшая выручка обеспечивалась на участках, где формировался наибольший выход урожая луковиц средней размерной фракции. В частности, на участках, где лук выращивали на грядах при посеве 8-ми строчным способом, а поливы проводили исходя из расчетной глубины промачивания почвы 0,4 м, общая выручка с урожая в пересчете на гектар достигала 910,1 тыс. руб., причем 633,9 тыс. руб./га было получено с реализации урожая средней размерной фракции (от 40 до 60 мм). При прочих равных условиях на участках с 6-ти строчным способом посева доля выручки с реализации средней размерной фракции снижалась до 438,4 тыс. руб./га, а с реализации очень крупной размерной фракции (более 80 мм), - возросла до 89,1 тыс. руб./га. Это

обусловило снижение общего объема выручки от реализации равновеликих урожаев до 856,0 тыс. руб./га.

Таким образом, выручка от реализации продукции репчатого лука позволяет гарантированно окупать затраты на возделывание при капельном орошении. Чистый доход с учетом всех статей производственных расходов на всех вариантах опыта формировался в положительном балансе и изменялся от 186 396 до 536 228 руб./га (таблица 5.6).

Таблица 5.6 - Интегральные показатели экономической эффективности производства репчатого лука по вариантам опыта

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Затраты, руб./га	Выручка, руб./га	Чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	256 590	448 596	192 006	74,8
		0,4	264 080	530 429	266 349	100,9
		0,5	255 520	470 357	214 837	84,1
	Шестистрочный (В2)	0,3	306 790	677 817	371 027	120,9
		0,4	314 000	762 895	448 895	143,0
		0,5	307 050	716 644	409 594	133,4
	Восьмистрочный (В3)	0,3	341 550	703 329	361 779	105,9
		0,4	349 250	796 374	447 124	128,0
		0,5	342 300	744 906	402 606	117,6
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	273 740	460 136	186 396	68,1
		0,4	281 580	545 875	264 295	93,9
		0,5	272 880	486 106	213 226	78,1
	Шестистрочный (В2)	0,3	325 830	715 412	389 582	119,6
		0,4	338 220	856 043	517 823	153,1
		0,5	325 740	749 831	424 091	130,2
	Восьмистрочный (В3)	0,3	360 380	747 602	387 222	107,4
		0,4	373 890	910 118	536 228	143,4
		0,5	360 570	786 400	425 830	118,1

Расчеты показали, что получение наибольшего чистого дохода, 536 228 руб./га, обеспечивается при проведении капельных поливов для поддержания, дифференцированного 80-70 % НВ порога предполивной влажности почвы в слое

0,4 м в совокупности с применением 8-ми строчного способа посева на грядках. Использование 6-ти строчных посевов без изменения обеспеченности прочих изучаемых факторов приводило к сокращению полученного чистого дохода до 517 823 руб./га. В тоже время рентабельность производства, характеризующая отдачу денежных средств на каждый вложенный в производство рубль, на участках этого варианта была наибольшей, 153,1 %, тогда как при использовании 8-ми строчных посевов, - снижалась до 143,4 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При использовании капельного орошения для восполнения дефицита почвенной влаги в посевах репчатого лука необходимо учитывать особенности локального распределения влаги при проведении вегетационных поливов. Исследованиями установлена взаимосвязь между глубиной промачивания почвы и диаметром контура увлажнения и закономерности ее трансформации в зависимости от принятого порога предполивной влажности. Установлено, что на светло-каштановых среднесуглинистых почвах Нижнего Поволжья при исходной (предполивной) влажности почвы 70 % НВ увлажнение почвы на глубину 0,3 м соответствует диаметру пятна горизонтального растекания контура 0,48 м, при исходной влажности 80 % НВ – 0,46 м, а при исходной влажности 90 % НВ – 0,34 м. Типизированная схема раскладки поливных трубопроводов по сдвоенной («луковой») схеме с наибольшим расстоянием от капельной линии до крайнего ряда растений лука в посевной ленте 0,22 м, обеспечивает возможность гарантированного регулирования водного режима почвы в зоне размещения растений при поддержании порога предполивной влажности почвы 70 и 80 % НВ.

Поддержание дифференцированного, 80-70 % НВ, порога предполивной влажности почвы в слое 0,3 м связано с необходимостью проведения до 20-31 вегетационных поливов с общим расходом оросительной воды в пределах 3 440-3 600 м³/га. Для поддержания такого же предполивного уровня в слое 0,4 м требуется проведение 15-24 вегетационных поливов с оросительной нормой 3 470-3 870 м³/га. Регулирование водного режима почвы по указанной схеме в слое 0,5 м обеспечивается проведением не более 12-18 вегетационных поливов, однако, затраты оросительной воды при этом составляют 3 330-3 570 м³/га.

Опыты подтвердили, что в засушливых условиях Нижневолжского региона оросительная вода является основной, 54,8-83,7 %, приходной статье баланса почвенной влаги. Установлено, что суммарное водопотребление репчатого лука существенно изменяется не только в зависимости от режима орошения, определяе-

мого мощностью расчетного слоя почвы, но и в зависимости от сочетания приемов возделывания лука при капельном орошении.

Наибольшим водопотреблением, 5 350-5 580 м³/га, посеvy репчатого лука характеризуются при возделывании на грядах в 6-ти и 8-ми строчных посевных лентах и проведении капельных поливов, ориентированных на увлажнение расчетного, 0,4-метрового слоя почвы. При этом в течение вегетационного периода биоклиматические кривые репчатого лука изменяются по одновершинной кривой с минимумом в период после посева и до появления массовых всходов (0,105-0,117 мм/°С) и максимумом в период «образование – начало активного роста луковицы» (0,220-0,231 мм/°С) с последующим постепенным снижением значений до 0,148-0,154 мм/°С в период дозаривания урожая.

Наиболее эффективно на формирование урожая репчатого лука вода расходуется при регулировании водного режима почвы в слое 0,4 м. В сочетании с применением грядовой технологии и посева лука 6-ти и 8-ми строчным способом это обеспечивает расход воды на формирование 1 тонны урожая в пределах 48,4-48,7 м³.

Особенности формирования водного режима при разной мощности расчетного слоя почвы и приемы возделывания при капельном орошении оказывают существенное влияние на динамику развития и роста репчатого лука. Наилучшими показателями фотосинтетической активности отличаются посеvy репчатого лука при регулировании водного режима почвы в слое 0,4 м и проведении посева на грядах 6-ти строчным способом. Максимальная площадь листьев лука при этом достигает 43,0 тыс. м²/га, фотосинтетический потенциал – 3 351 тыс. м²дней/га, а чистая продуктивность фотосинтеза – 4,10 г/м² в сут. Посев репчатого лука 8-ми строчным способом при прочих равных условиях сопровождается увеличением фотосинтетического потенциала, в среднем, до 3 487 тыс. м²дней/га и снижением чистой продуктивности фотосинтеза до 3,94 г/м² в сут.

Почвенно-климатические ресурсы Нижнего Поволжья в границах зоны распространения светло-каштановых почв при использовании научно-обоснованных методов управления водным режимом почвы и приемов возделывания репчатого

лука в сочетании с внесением расчетных доз удобрений обеспечивает гарантированное формирование урожайности товарной продукции на уровне 100 т/га и выше. Исследованиями доказано, что наибольшая продуктивность репчатого лука при капельном орошении обеспечивается при поддержании дифференцированного, 80-70 % НВ, порога предполивной влажности почвы в слое 0,4 м. При соблюдении такого режима водообеспечения лука в сочетании с применением 6-ти и 8-ми строчных способов посева и грядовой технологии урожайность репчатого лука достигает 112 т/га.

Установлено, что режим орошения, определяемый мощностью расчетного слоя почвы, и приемы возделывания лука при капельном орошении оказывают существенное влияние на биохимический состав и калибровочный состав урожая лукович. Результаты биохимического анализа лукович по содержанию сухого вещества, 10,7-12,7 %, сахаров, 6,5-8,6 %, нитратов, 48-72 мг/кг, подтверждают высокую питательную ценность продукции и возможность ее использования для закладки на хранение. По содержанию калибровочных фракций выделены сочетания факторов, обеспечивающих формирование урожая преимущественно для переработки (преобладание крупных лукович при посеве 4-х строчным способом), для переработки и хранения (с необходимостью калибровки, при посеве 6-ти строчным способом) и преимущественно для хранения (преобладание средней размерной фракции при посеве 8-ми строчным способом).

Капельное орошение репчатого лука при использовании научно-обоснованных методов управления водным режимом почвы и приемов возделывания экономически выгодно. Наибольшая рентабельность производства (153,1 %), обеспечивается при проведении капельных поливов для поддержания, дифференцированного 80-70 % НВ порога предполивной влажности почвы в слое 0,4 м в совокупности с применением 6-ти строчного способа посева на грядах.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для создания благоприятных условий роста, фотосинтетической деятельности и формирования гарантированных урожаев лука гибрида Блустер F1 на уровне

106-117 т/га с соблюдением требований водосбережения и обеспечения наибольшей экономической эффективности капельного орошения соблюдать следующие условия:

– режим капельного орошения формировать исходя из необходимости поддержания дифференцированного порога предполивной влажности почвы, 80-70 % НВ, в слое 0,4 м. Для составления оперативных планов и корректировки режимов орошения в связи с фактически складывающимися погодными условиями использовать уточненные значения биоклиматических коэффициентов;

– посев проводить ленточным способом с формированием 6-ти посевных строк в ленте;

– почву под посев подготавливать по грядовой технологии с последующим размещением посевных лент на грядах.

Перспективы дальнейшей разработки выбранного направления исследований видятся в сравнительном изучении эффективности различных методик прогнозирования эвапотранспирации репчатого лука, исследовании особенностей водопотребления расширенного состава районированных сортов этой культуры, оценке эффективности различных конструкций капельных водовыпусков для полива лука, адаптации элементов точного земледелия при возделывании репчатого лука на орошаемых землях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Авдеенко С.В. Комплекс агроприемов повышает урожай и качество репчатого лука / С.В. Авдеенко, И.И. Бондарев // Картофель и овощи. – 2013. – № 1. – С. 7-8.
2. Авдеенко С.С. Эффективность использования влаги посевами лука репчатого в зависимости от орошения, удобрения и сидератов / С.С. Авдеенко // Успехи современной науки. – 2015. – № 3. – С. 24-27.
3. Аверьянов С.Ф. Управление водным режимом мелиорируемых сельскохозяйственных земель / С.Ф. Аверьянов. – М.:РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. – 542 с.
4. Агафонов А.Ф. Влияние сроков и схем посева, густоты стояния растений на урожайность и семенную продуктивность лука порея / А.Ф. Агафонов, Ю.И. Солдатов // Гавриш. – 2009. – № 1. – С. 41-43.
5. Агроклиматический справочник по Волгоградской области. - Л.: Гидрометеиздат, 1967.- 143 с.
6. Айдаров И.П. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель: рекомендации /И.П. Айдаров, А.И. Голованов, Ю.Н. Никольский. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 60 с.
7. Александрова Л.Н. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. /Л.Н. Александрова, О.А. Найденова. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1957. – 214 с.
8. Алпатьев А.М. Влагооборот культурных растений / А.М. Алпатьев. - Л.: Гидрометеиздат, 1954. - 248 с.
9. Алпатьев С.М. Методические указания по расчету режима орошения сельскохозяйственных культур на основе биоклиматического метода / С.М. Алпатьев. - Киев, 1967.- 30 с.
10. Алпатьев С.М. Поливные режимы при капельном и капельно-инъекционном орошении / С.М. Алпатьев // Гидротехника и мелиорация. – 1981. - № 2. – С. 40-44.

11. Анишко М.Ю. Выращивание лука репчатого на Нижней Волге: монография / М.Ю. Анишко, В.П. Зволинский, М.Ю. Пучков, В.Г. Головин. – Астрахань: изд. Сорокина Р.В., 2011. - 227 с.
12. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. - М.: МГУ, 1970.- 386 с.
13. Астапов С.В. Мелиоративное почвоведение (практикум) / С.В. Астапов. - М.: Сельхозиздат, 1968. - 412 с.
14. Бабичев А.Н. Особенности возделывания лука репчатого на орошаемых землях ростовской области / А.Н. Бабичев, Е.А. Бабичева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 65. – С. 282-291.
15. Багров М.Н. Прогрессивная технология орошения сельскохозяйственных культур / М.Н. Багров, И.П. Кружилин. – М.: Колос, 1980. - 208 с.
16. Балакай Г.Т. Безопасные системы и технологии капельного орошения: научный обзор ФГНУ «РосНИИПМ» / Г. Т. Балакай, Л. А. Воеводина, Ю. Ф. Снопич, А. Н. Бабичев, В. А. Кулыгин и др. - М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2010. - 52 с.
17. Балакай Г.Т. Современные технологические приемы возделывания овощных культур / Г.Т. Балакай, Л.А. Воеводина, А.Н. Бабичев и др. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2011. – 102 с.
18. Болахоненков В.Е. Применяйте грядковую ресурсосберегающую технологию / В.Е. Болахоненков, Ю.А. Повелко // Картофель и овощи. – 2010. – № 1. – С. 4-5.
19. Болкунов А.И. Продуктивность лука при капельном орошении: сб. научных трудов / А.И. Болкунов, В.В. Выборнов // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий. – Рязань: Мещерский филиал ВНИИГиМ, 2008. – С. 258-261.
20. Борисов В.А. Качество и лежкость овощей / В.А. Борисов, С.С. Литвинов, А.В. Романова. – М.: ВНИИО, 2003. - 625 с.

21. Борисов В.А. Технология возделывания и хранения новых сортов и гибридов овощных культур: рекомендации / В.А. Борисов. – М.: ВНИИО, 2004. - 44 с.
22. Боровой Е.П. Адаптивная технология возделывания репчатого лука на светло-каштановых почвах волгоградской области / Е.П. Боровой, О.А. Матвеева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2010. – № 4. – С. 31-35.
23. Бородычев В.В. Алгоритм решения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур / В.В. Бородычев, М.Н. Лытов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 8-11.
24. Бородычев В.В. Качество рассады и продуктивность репчатого лука / В.В. Бородычев, В.В. Афиногенов, Е.В. Шенцева, В.М. Гуренко, М.В. Шишлянникова // Плодородие. – 2008. – № 3. – С. 23-24.
25. Бородычев В.В. Оптимальное управление поливами на основе современных вычислительных алгоритмов / В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, А.С. Овчинников, В.С. Бочарников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 4 (40). – С. 21-28.
26. Бородычев В.В. Орошение и удобрение репчатого лука / В.В. Бородычев, В.В. Выборнов, А.И. Болкунов // Труды Кубанского государственного аграрного университета: серия агроинженерия. – 2008. - №2 – С. 17-21.
27. Бородычев В.В. Режим орошения и продуктивность репчатого лука / В.В. Бородычев, В.С. Казаченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 2. – С. 31-33.
28. Бородычев В.В. Современные технологии капельного орошения овощных культур: научное издание / В.В. Бородычев. – Волгоград: Радуга, 2010. - 241 с.
29. Васюта В.В. Влияние предполивных уровней влажности почвы и густоты растений на ростовые процессы лука (*Allium Сера L.*) при капельном ороше-

нии в южной степи Украины / В.В. Васюта, А.П. Шатковский, А.В. Журавлев // Проблемы современной науки и образования. – 2015.– № 9 (39). – С. 71-77.

30. Вовна А.В. Математическая модель компьютеризированной системы измерительного контроля влажности почвы / А.В. Вовна, И.С. Лактионов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2013. – № 2 (25). – С. 197-206.

31. Воеводина Л.А. Тенденции развития и перспективы применения капельного орошения / Л.А. Воеводина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 3. – С. 90-102.

32. Воробьев С.А. Практикум по земледелию / С.А. Воробьев, В.Е. Егоров. - М.: Колос, 1967. - 318 с.

33. Выборнов В. В. Режимы капельного орошения и удобрение репчатого лука.// В. В. Выборнов, Ю. Д. Губаюк/ Плодородие.- №4.-2007.- С. 50-51.

34. Выборнов В.В. Продуктивность репчатого лука при капельном орошении в Заволжье/В.В. Выборнов//Новые технологии и экологическая безопасность в мелиорации: сб. научных докладов международной (4-й Всероссийской) конференции молодых ученых и специалистов. – Коломна, 2007. – С. 62-68.

35. Галеев Р.Р. Эффективность агротехнических приёмов возделывания лука репчатого в однолетней культуре в лесостепи Западной Сибири / Р.Р. Галеев, Я.Ф. Зизина // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2014. – № 2 (35). – С. 84-88.

36. Гамаюнова В.В. Влияние орошения и режима питания на водопотребление и урожайность лука репчатого / В.В. Гамаюнова, Ю.В. Задорожний // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 3 (19). – С. 40-50.

37. Ганичкина О.А. Лук и чеснок / О.А. Ганичкина, – М.: Славянский дом книги, 2000. - 32 с.

38. ГОСТ 1723-86. Лук репчатый свежий заготавливаемый и поставляемый. Технические условия. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. - 8 с.

39. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – М.: Стандартиформ, 2006. – 8 с.
40. Григоров М.С., Григоров С.М., Винников Д.С. Управление водным режимом почвы при капельном орошении лука / М.С. Григоров, С.М. Григоров, Д.С. Винников // Современное научное знание в условиях системных изменений: материалы Первой национальной научно-практической конференции. – Омский ГАУ имени П.А. Столыпина, 2016. – С. 16-19.
41. Григоров М.С. Оросительные мелиорации / М.С. Григоров, С.М. Григоров. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградская ГСХА, 2011. – 350 с.
42. Григоров М.С. Перспективы применения капельного орошения в Волгоградской области / М.С. Григоров // Мелиорация и водное хозяйство. - 2003.- № 4.- С. 2-5.
43. Григоров М.С. Режим орошения основных культур в волгоградской области / М.С. Григоров, С.М. Григоров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2013. – Т. 1. – № 1-1 (29). – С. 150-154.
44. Григоров С.М. Водопотребление репчатого лука и приемы повышения эффективности использования водных ресурсов при капельном орошении / С.М. Григоров, Д.С. Винников // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 3 (23). – С. 19-35.
45. Григоров С.М. К вопросу об оптимальных способах посева лука при капельном орошении / С.М. Григоров, Д.С. Винников // Проблемы рационального использования природохозяйственных комплексов засушливых территорий: материалы международной научно-практической конференции. – Соленое Займище: ПНИИАЗ, 2015. –С. 212-214.
46. Григоров С.М. Методика расчета эффективности увлажнения мелиорированных земель / С.М. Григоров, К.К. Жибуртович, Ю.А. Мажайский, А.Л. Сальников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2011. – № 3. – С. 180-186.

47. Григоров С.М. Особенности орошения репчатого лука при капельном поливе / С.М. Григоров, Д.С. Винников // Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях: материалы международной научно-практической конференции. – Волгоград: ВолГАУ, 2015. – С. 126-130.
48. Григоров С.М. Приемы возделывания и продуктивность репчатого лука при капельном орошении / С.М. Григоров, Д.С. Винников, Ю.Н. Черкашин // Актуальные проблемы, современное состояние, инновации в области природообустройства и строительства: материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора, заслуженного мелиоратора РФ И.С. Алексейко. 2015. – С. 86-90.
49. Григоров С.М. Приемы повышения эффективности интенсивной технологии возделывания репчатого лука при капельном орошении / С.М. Григоров, Д.С. Винников // Научное обозрение. – 2015. – № 5. – С. 15-19.
50. Григоров С.М. Совершенствование агроприемов как фактор водосбережения при орошении лука / С.М. Григоров, Д.С. Винников, Ю.В. Бондаренко // Научная жизнь. – 2016. – № 3. – С. 52-60.
51. Григоров С.М. Фотосинтетическая активность и продуктивность репчатого лука при разных способах посева / С.М. Григоров, Д.С. Винников // Научная жизнь. – 2015. – № 6. – С. 93-101.
52. Григоров С.М. Эффективность капельного орошения репчатого лука при разных способах посева / С.М. Григоров, Д.С. Винников, Ю.Н. Черкашин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 4 (40). – С. 28-33.
53. Гринберг Е.Г. Корнеплоды, лук репчатый / Е.Г. Гринберг. – Новосибирск: Кн. изд-во, 1992. – 157 с.
54. Грингоф И.Г. Основы сельскохозяйственной метеорологии. / И.Г. Грингоф, А.Д. Клещенко. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. – 808 с.

55. Гричаная Т.С. Технология капельного орошения при возделывании лука репчатого на юге Казахстана / Т.С. Гричаная // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 3 (59). – С. 164-168.
56. Дегтярева Е. Т. Почвы Волгоградской области / Е. Т. Дегтярева, А. Н. Жулидова. – Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1970. – С. 184–189.
57. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. - М.: Колос, 1979. - 416 с.
58. Дружинин В.С. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / В.С. Дружинин, А.В. Сикан. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2001. – 169 с.
59. Дубенок Н.Н. Вариационная оценка поливного режима раннего рассадного лука при капельном орошении / Н.Н. Дубенок, В.В. Выборнов, М.П. Богданенко // Природообустройство. – 2012. – № 1. – С. 33-35.
60. Дубенок Н.Н. Капельное орошение и удобрение репчатого лука / Н.Н. Дубенок, А.И. Болкунов, В.В. Бородычев, В.В. Афиногенов, В.В. Выборнов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 6. – С. 34-38.
61. Дубенок Н.Н. Капельное орошение огурца / Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, О.М. Дмитриенко // Вестник российской сельскохозяйственной науки.– 2007. – № 1. – С. 75-78.
62. Дубенок Н.Н. Особенности водного режима почвы при капельном орошении сельскохозяйственных культур / Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, О.А. Белик // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 4. – С. 22-2422.
63. Дубенок Н.Н. Урожайность и качество лука при капельном орошении в ранней культуре / Н.Н. Дубенок, М.П. Богданенко, В.В. Выборнов// Картофель и овощи. – 2011. – №5. – С. 12
64. Дубенок Н.Н. Условия эффективного использования воды на формирование урожая рассадного лука / Н.Н. Дубенок, М.П. Богданенко, Е.А. Стрижакова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – №4. – С. 40-42

65. Епифанцев В.В. Влияние срока посева на урожайность и качество лука севка в условиях Приамурья / В.В. Епифанцев // Вестник ИрГСХА. – 2012. – № 50. – С. 13-18.
66. Жидков В.М. Совершенствование режима орошения, систем минерального удобрения и гербицидов при возделывании лука репчатого / В.М. Жидков, И.В. Кривцов, О.В. Резникова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2006. – № 3. – С. 25-27.
67. Зволинский В.П. Зависимость урожайности лука репчатого от элементов технологии возделывания / В.П. Зволинский, А.А. Шершнева // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2012. – № 3. – С. 28-30.
68. Зволинский В.П. Перспективы выращивания лука репчатого на юге России при различных режимах орошения / В.П. Зволинский, В.Н. Павленко, В.И. Пындак // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 2 (34). – С. 5-9.
69. Зволинский В.П. Производство овощебахчевых культур в условиях Астраханской области: монография / В.П. Зволинский, Н.В. Тютюма, Е.С. Таранова.– Волгоград: В ГСХА, 2011. - 291 с.
70. Зизина Я.Ф. Урожайность и качество лука репчатого в однолетней культуре в зависимости от площади питания в лесостепи новосибирского Приобья / Я.Ф. Зизина, Р.Р. Галеев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3 (113). – С. 19-22.
71. Казакова А.А. Лук. / А.А. Казакова. – Л.: Колос, 1970. – 360 с.
72. Казаченко В.С. Технология выращивания репчатого лука на капельном орошении / В.С. Казаченко, В.В. Бородычев, С. Казаченко // Картофель и овощи. – 2011. – № 2. – С. 8.
73. Казаченко В.С. Совершенствование технологии возделывания репчатого лука при капельном орошении на каштановых почвах Нижнего Поволжья / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. – Волгоград.: ФГУП ИПК «Царицын», 2011. – 24 с.

74. Капельное орошение: пособие к СНиП 2.06.03–85 «Мелиоративные системы и сооружения». – М.: Союзводпроект, 1986. – 149 с.
75. Кауричев И.С. Практикум по почвоведению / И.С. Кауричев. - М., 1968. - 264 с.
76. Качинский Н.А. Физика почв / Н.А. Качинский. - М.: Высшая школа, 1970. - 340 с.
77. Клепиков А.А. Тензиометрический метод контроля влажности почвы при проведении полива / А.А. Клепиков // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2012. – № 2. – С. 43-44.
78. Ковальчук В.П. Сборник методов исследования почв и растений / В.П. Ковальчук, Васильев, Л.В. Бойко, В.Д. Зосимов. – Киев: Труд-ГриПол XXI вік, 2010. – 252 с.
79. Колесник С.Н. Об автоматизации измерений влажности почвы на орошаемом участке с ручной регистрацией данных / С.Н. Колесник // Актуальные вопросы мелиораций земель сборник статей аспирантов, магистрантов, студентов. – Новочеркасск: ФГБОУ ВПО НГМА, 2012. – С. 66-70.
80. Корсак В.В. Определение суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур в аридных зонах / В.В. Корсак, Р.В. Прокопец, А.Н. Никишанов, Е.В. Аржанухина, М.Р. Юдина // Научная жизнь. – 2016. – № 1. – С. 41-51.
81. Корсак В.В. Применение ГИС-анализа для оценки природных условий поливного земледелия / В.В. Корсак, Н.А. Пронько, Н.Н. Насыров // Научная жизнь. – 2014. – № 2. – С. 18-24.
82. Костяков А.Н. Избранные труды / А.Н. Костяков. - М.: Сельхозгиз, 1961. - Т. 1. - 743 с.
83. Кошеваров А.А. Семенная и овощная продуктивность лука репчатого при оптимизации минерального питания / А.А. Кошеваров, С.М. Надежкин, А.Ф. Агафонов // Овощи России. – 2011. – № 2. – С. 21-25.
84. Кравчук А.В. Оперативное определение поливной нормы для каштановых и тёмно-каштановых почв Заволжья / А.В. Кравчук // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 2. – С. 42.

85. Кравчук А.В. Процесс послойного потребления почвенной влаги корневой системой растений / А.В. Кравчук, Д.В. Васильченко // Научная жизнь. – 2013. – № 6. – С. 23-27.
86. Краснощеков В.Н. Методические рекомендации по оценке эколого-экономической эффективности инвестиционных проектов мелиорации земель сельскохозяйственного назначения / В. Н. Краснощеков, Г. В. Ольгаренко, Д. Г. Ольгаренко. – Коломна: ИП Воробьев О. М., 2016. - 97 с.
87. Краснощеков В.Н. Оценка экономической эффективности природообустройства агроландшафтов : монография / В. Н. Краснощеков, В. А. Семендуев. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2013. - 171 с.
88. Кружилин И. П. Агромелиоративная оценка влагообеспеченности территории Нижнего Поволжья / И. П. Кружилин. – Волгоград, 1976. С. 36–39.
89. Кружилин И.П. Комплексная мелиорация земель обеспечит устойчивое развитие сельского хозяйства Поволжья / И.П. Кружилин// Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2011. – № 1. – С. 14-16.
90. Кружилин И.П. Механизмы нейтрализации рисков и использования ресурсов обеспечения продовольственной безопасности регионов России / И.П. Кружилин, К.Н. Кулик, И.П. Свинцов, В.В. Мелихов // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2010. – № 5. – С. 24-28.
91. Кружилин И.П. Оптимизация водного режима почвы при программировании урожаев/ И.П. Кружилин // Программирование урожаев в интенсивных технологиях возделывания с.-х. культур. – Волгоград, 1988. - С. 6-11
92. Кружилин И.П. Орошение земель в обеспечении продовольственной безопасности России / И.П. Кружилин. – Волгоград: ВНИИОЗ, 2007. - 200 с.
93. Кружилин И.П. Управление водным режимом почвы орошаемых агроландшафтов / И.П. Кружилин, Н.В. Кузнецова, Л.И. Лобойко // Вопросы мелиорации. – 2002. – № 2. – С. 8-11.
94. Кузнецова Н.В. Водосберегающие технологии орошения высокоинтенсивных современных гибридов лука зарубежной селекции / Н.В. Кузнецова, Л.Н. Маковкина, Е.В. Ушакова // Стратегическое развитие АПК и сельских территорий

РФ в современных международных условиях: материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 70-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг. – Волгоград: ВолГАУ, 2015. – С. 27-30.

95. Кузнецова Н.В. Эффективность орошения лука репчатого на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья / Н.В. Кузнецова, Л.Н. Маковкина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2010. – № 3. – С. 76-83.

96. Кулыгин В.А. Влияние разных режимов орошения на эффективность использования оросительной воды при возделывании овощных культур и картофеля / В.А. Кулыгин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 65. – С.339-348.

97. Кунавин Г.А. Элементы технологии выращивания лука репчатого в Тюменской области / Г.А. Кунавин, И.И. Козлов, Н.Н. Кузнецов // Агропродовольственная политика России. – 2014. – № 3 (15). – С. 39-42.

98. Лисичкин В.Г. Сравнительный анализ моделей диэлектрических свойств почвы при автогенераторных измерениях влажности / В.Г. Лисичкин, С.Н. Шведов // Измерительная техника. – 2008. – № 2. – С. 64-67.

99. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве / С. С. Литвинов. – М.: ВНИИО, 2011. - 648 с.

100. Литвинов С.С. Научные основы современного овощеводства / С. С. Литвинов. – М.: ВНИИО, 2008. - 771 с.

101. Литвинов С.С. Эффективность овощеводства России (анализ, стратегия, прогноз) / С. С. Литвинов, М. В. Шатилов. – М.: ВНИИО, 2015. - 140 с.

102. Лукьянова Л.М. Эколого-физиологические аспекты в изучении фотосинтеза растений / Л.М. Лукьянова. – Апатиты, 1987. - 45 с.

103. Максименко В.П. Об инженерно-техническом решении экологических проблем водопользования в сельском хозяйстве / В.П. Максименко, Е.Б. Стрельбицкая, С.А. Зайцев // Экология и промышленность России. – 2015. – № 1. – С. 11-13.

104. Мартыненко Т.А. Агромелиоративная эффективность применения фосфогипса в условиях капельного орошения минерализованными водами при выращивании лука репчатого / Т.А. Мартыненко // Мелиорация. – 2014. – № 2 (72). – С. 24-29.
105. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. - Л.: Колос, 1980. - 168 с.
106. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. - М.: Колос, 1971. - 122 с.
107. Методы контроля качества почвы: учебно-методическое пособие для ВУЗов / Д.Л. Котова, Т.А. Девятова, Т.А. Крысанова, Н.К. Бабенко, В.А. Крысанов. – Воронеж, 2007. – 106 с.
108. Мещеряков М.П. Преимущества и недостатки систем капельного и внутрипочвенного орошения / М.П. Мещеряков // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2009. – № 1. – С. 49-50.
109. Минченко Л.А., Семененко С.Я., Степанов А.М. Роль предшественника при оценке экономической эффективности орошения лука репчатого/ Л.А. Минченко, С.Я. Семененко, А.М. Степанов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2011. – № 4. – С. 98-102.
110. Минченко Л.А. Динамика водопотребления и его влияние на урожайность лука репчатого / Л.А. Минченко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2010. – № 3. – С. 89-96.
111. Муромцев Н.А. Тензиометры как почвенные влагомеры и индикаторы полива растений / Н.А. Муромцев. – Методические рекомендации. - М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1981. – 31 с.
112. Надежкин С.М. Эффективность новых видов микроудобрений и регулятора роста на луке репчатом / С.М. Надежкин, В.П. Никульшин // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 5 (59). – С. 60-62.

113. Назаров Л.Е. Нейросетевые алгоритмы оценки влажности почвы по данным СВЧ-радиометрических измерений / Л.Е. Назаров, А.А. Чухланцев, А.М. Шутко // Исследование Земли из космоса. – 2004. – № 6. – С. 21-29.
114. Нугманов С.С. Методика и результаты лабораторных исследований по измерению влажности почвы электрическим методом / С.С. Нугманов, А.В. Иваськевич // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2007. – № 3. – С. 11-13.
115. Обумахов Д.Л. О методах измерения влажности почвы / Д.Л. Обумахов // Актуальные вопросы мелиораций земель: сборник статей аспирантов, магистрантов, студентов. – Новочеркасск: ФГБОУ ВПО НГМА, 2012. – С. 74-77.
116. Овчинников А.С. Конструктивные особенности систем капельного и внутрипочвенного орошения / А.С. Овчинников, М.П. Мещеряков, В.С. Бочарников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2007. – № 1. – С. 54-56.
117. Овчинников А.С. Новые технические решения повышения эффективности ресурсосберегающих способов полива / А.С. Овчинников, В.С. Бочарников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 1. – С. 119-124.
118. Овчинников А.С. Особенности распространения влаги в контуре увлажнения при капельном орошении / А.С. Овчинников, И.И. Азарьева // Плодородие. – 2010. – № 1. – С. 29-30.
119. Овчинников А.С. Зона увлажнения почвы как фактор управления ростом корневой системы томатов при капельном орошении / А.С. Овчинников, И.И. Азарьева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2009. – № 4. – С. 43-47.
120. Ольгаренко Г.В., Цекоева Ф.К. Нормирование орошения с использованием комплексной агрометеорологической информации / Г.В. Ольгаренко, Ф.К. Цекоева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 4. – С. 10-19.

121. Остапчик В.Н. Биоклиматический метод расчета испарения с орошаемых земель / В.Н. Остапчик, П.А. Филипенко, Р.М. Гайдаров // Гидротехника и мелиорация. - 1980.- № 1.- С. 39-41.
122. Павлова М.С. Практикум по агрометеорологии / М.С. Павлова. - М., 1974. - 214 с.
123. Петров Н.Ю. Элементы повышения урожайности репчатого лука на светло-каштановых почвах / Н.Ю. Петров, В.Н. Павленко, В.И. Чунихин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2010. – № 2. – С. 51-55.
124. Петров Ю.Н. Разработка грядовой (энергосберегающей) технологии возделывания овощных культур в условиях республики Адыгея / Ю.Н. Петров // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 20 с.
125. Пивоваров В.Ф. Луковые культуры / В.Ф. Пивоваров, И.И. Ершов, А.Ф. Агафонов. – М., 2001. - 500 с.
126. Плескачев Ю.Н. Изменения водопотребления лука репчатого при различных режимах орошения в условиях Волгоградской области / Ю.Н. Плескачев, В.И. Чунихин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. - №2. – С. 21-25.
127. Плескачев Ю.Н. Водопотребление лука репчатого в условиях Волгоградской области / Ю.Н. Плескачев, В.И. Чунихин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 2 (40). – С. 65-69.
128. Плешаков В.Н. Методика полевого опыта в условиях орошения / В.Н. Плешаков. - Волгоград: ВНИИОЗ, 1983.- 148 с.
129. Полтавченко И.В. Водный и пищевой режимы почвы при возделывании лука в Молдове на капельном орошении / И.В. Полтавченко, А.В. Гуманюк, Л.Г. Майка, В.И. Коровай // Элементы технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях орошения: сборник трудов Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 150-154.

130. Пронько Н.А. Геоинформационная система поддержки управления орошаемым земледелием / Н.А. Пронько, В.В. Корсак // Научная жизнь. – 2015. – № 6. – С. 24-34.
131. Пронько Н.А. Контур увлажнения при капельном орошении на почвах Заволжья / Н.А. Пронько, В.В. Корсак, А.Н. Ломовцева // Научная жизнь. – 2015. – № 1. – С. 74-81.
132. Пронько Н.А. Управление орошаемым земледелием на основе использования информационных технологий / Н.А. Пронько, В.В. Корсак // Научная жизнь. – 2012. – № 2. – С. 80.
133. Процко М.Т. Лабораторно-практические занятия по агрономическому и мелиоративному почвоведению / М.Т. Процко, А.И. Цуканова. - Волгоград: ВГСХИ, 1979. - 40 с.
134. Роде А.А. Методы изучения водного режима почв / А.А. Роде. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1960. - 249 с.
135. Роде А.А. Почвенная влага / А.А. Роде. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1952. - 456 с.
136. Сазанов М.А. Технология выращивания лука репчатого при капельном орошении в полупустынной зоне/ М.А. Сазанов, Р.М. Файзиев // Актуальные вопросы развития аграрной науки в современных экономических условиях: материалы IV-ой Международной научно-практической конференции молодых учёных. – Солёное Займище: ПНИИАЗ, 2015. – С. 192-194.
137. Сатункин И.В. Влияние расчётных норм минеральных удобрений на эффективное плодородие чернозёма южного при капельном орошении лука репчатого / И.В. Сатункин, И.В. Васильев, М.О. Ванькова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (58). – С. 34-36.
138. Седых Т.В. Энергосберегающая технология возделывания лука репчатого в условиях южной лесостепи Западной Сибири: монография /Т.В. Седых, Н.К. Трубина. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П. А. Столыпина, 2014. - 118 с.

139. Семененко С.Я. Повышение эксплуатационной надежности элементов систем капельного орошения / С.Я. Семененко, В.Г. Абезин // Научная жизнь. – 2012. – № 3. – С. 119-125.
140. Семененко С.Я. Эффективность возделывания томата на светло-каштановых почвах при капельном орошении с использованием электрохимически активированной воды / С.Я. Семененко, М.Н. Лытов, Е.И. Чушкина, А.Н. Чушкин // Плодородие. – 2014. – № 3 (78). – С. 38-39.
141. Сергеев К. Преимущества капельного орошения сельхозкультур/ К. Сергеев // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 7 (169). – С. 15-17.
142. Скобельцин Ю.А. Система капельного орошения / Ю.А. Скобельцин, А.Д. Гумбаров // Учебное пособие. – Краснодар, 1999. – 112 с.
143. Скоблина В.И. Лук репчатый (*Allium* *sepa*) / В.И. Скоблина. – М.: Армада-пресс, 2001. - 31 с.
144. Сычев В.Г. Методология оценки эколого-экономической эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения / В. Г. Сычев, В. А. Черников, О. А. Соколов. – Москва: ВНИИА, 2009. - 148 с.
145. Тараканов Г.И. Овощеводство / Г. И. Тараканов, В. Д. Мухин, К. А. Шуин и др. – М.: Колосс, 2003. – 472 с.
146. Ташлинцев А.П. Влияние способа посева и норм высева семян лука на урожайность и его структуру / А.П. Ташлинцев // Агрономическая наука в начале XXI века: материалы 40-й научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов агрономического факультета, посвященной 50-летию Пензенской государственной сельскохозяйственной академии и 200-летию Пензенской губернии. – Пенза: Пензенская ГСХА, 2001. – С. 161-163.
147. Тащилина А.В. Нечеткая модель оперативного планирования поливов для автоматизированных систем капельного орошения / А.В. Тащилина // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2015. – № 1 (182). – С. 38-41.

148. Туманян А.Ф. Зависимость товарности лука репчатого от способов орошения / А.Ф. Туманян, Н.В. Тютюма, А.А. Шершнева // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2011. – № 6. – С. 26-28.

149. Тютюма Н.В., Болкунов А.И., Щербакова Н.А. Особенности технологии производства лука репчатого на капельном орошении в условиях Нижнего Поволжья / Н.В. Тютюма, А.И. Болкунов, Н.А. Щербакова // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: материалы I международной научно-практической интернет-конференции, посвященной 25-летию ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия». – Солёное Займище: ПНИИ-А3, 2016. – С. 2384-2394.

150. Удовенко А.И. Технология возделывания лука репчатого при капельном орошении / А.И. Удовенко // Вестник овощевода. – 2009. – № 3. – С. 30-33.

151. Федоров Н.И. Фотосинтез и урожай растений: учебное пособие для студентов агрономических специальностей / Н.И. Федоров. – Саратов, 1987. – 97 с.

152. Филин В.И. Малозатратная система удобрения лука репчатого при капельном орошении / В.И. Филин, О.П. Казаченко // Аграрная наука - основа успешного развития АПК и сохранения экосистем: материалы Международной научно-практической конференции. – Волгоград: ВолГАУ, 2012. – С. 65-69.

153. Филин В.И. Рассадная культура и расчетные дозы удобрений позволят получить ранний и высокий урожай лука / В.И. Филин, А.П. Сидорин // Картофель и овощи. – 2009. – № 4. – С. 13.

154. Филин В.И. Эффективность разных систем применения удобрений при капельном орошении лука репчатого / В.И. Филин, О.П. Казаченко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 1. – С. 42-47.

155. Ходяков Е.А. Совершенствование технологий основных способов полива овощных культур в условиях юга России / Е.А. Ходяков, А.В. Русаков, И.А. Коваленко, В.В. Осинкин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 10-1. – С. 135-137.

156. Чижова М.С. Влияние удобрений и орошения на урожайность лука репчатого / М.С. Чижова // Аграрная наука - сельскому хозяйству. – ФГБОУ ВО "Алтайский государственный аграрный университет", 2016. – С. 266-267.
157. Шатковский А.П. Режимы капельного орошения, водопотребление и урожайность раннего лука в зоне степи Украины / А.П. Шатковский, В.В. Васюта, А.В. Журавлев, Ю.А.Черевичный // Овощи России. – 2015. – № 2 (27). – С. 16-20.
158. Шершнёв А.А. Режимы орошения для получения запланированного урожая лука репчатого в условиях волгоградской области / А.А. Шершнёв // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 6 (38). – С. 71-72.
159. Штойко Д.А. Методические указания по применению биофизического метода для определения эффективных запасов влаги в почве и сроков полива сельскохозяйственных культур / Д.А. Штойко. - Херсон, 1975.- 76 с.
160. Ясониди О.Е. Проектирование систем капельного орошения / О.Е. Ясониди. – Новочеркасск: НИМИ, 1984. – 100 с.
161. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage / Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. – 326 с.
162. Golisova A. Content of Flavonoids in Onion (*Allium cepa* L.) under Various Fertilization / A. Golisova, P. Slamka, J. Kona // Acta hort. regiotecturae. – 2008. –N 2. - С. 54-56
163. Guvenc I. Relations between boiling water test, standard germination test and field emergence of leek (*Allium porrum* L.) and onion (*Allium cepa* L.) Seeds / I. Guvenc; H.C. Kaymak; S. Duman // Acta agrobotanica. Soc. botanicorum poloniae. – Lublin, 2009. – Vol. 62(2). - P. 173-178
164. Mesic A. Biologija vrste *Phytomyza* (*Napomyza*) *gymnostoma* Loew (*Agromyzidae*: *Diptera*) u sredisnjoj Hrvatskoj / A. Mesic, M. Dupor, J.I. Barcic // Entomologia croatica. - Zagreb, 2009. – Vol. 13. - P. 45-54

165. Munos de Con L. Técnica de producción de semilla de cebolla / Munos de Con L., Prats Perez A., Brito Iglesias G. – La Habana, 1991. - 15 c.

166. Sakata T. Initial Water Absorption Characteristics and Volume Changes at Different Deterioration Levels in Welsh Onion Seed (*Allium fistulosum* L.) / T. Sakata, K. Shiratsuchi, S. Kawabata, A. Tagawa // Environment Control in Biology. – 2009. – Vol. 47. - P. 167-177

Результаты учета максимальной площади листьев репчатого лука
по вариантам опыта в 2014 году, тыс. м²/га

Профиль поверхно- сти почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняе- мого слоя почвы, м (фактор А)	Повторность			
			I	II	III	IV
Без изме- нения профиля поверхно- сти почвы	Четырех- строчный (В1)	0,3	28,6	28,6	29,6	27,2
		0,4	31,7	32,5	37,7	31,7
		0,5	25,9	29,8	29,0	32,1
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	35,9	38,6	40,4	38,8
		0,4	37,5	41,8	47,0	40,6
		0,5	41,2	40,3	46,3	36,2
	Восьми- строчный (В3)	0,3	36,4	40,0	45,9	44,4
		0,4	41,6	44,8	49,4	41,0
		0,5	37,4	41,9	43,8	42,9
Размеще- ние посе- вов на грядках	Четырех- строчный (В1)	0,3	26,6	29,9	31,2	29,0
		0,4	30,5	34,7	35,2	36,3
		0,5	29,3	30,3	33,9	28,1
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	38,3	40,2	43,0	34,5
		0,4	40,2	42,5	47,9	46,2
		0,5	40,9	43,4	45,1	39,8
	Восьми- строчный (В3)	0,3	38,8	42,4	42,2	46,7
		0,4	41,1	43,9	47,6	46,6
		0,5	39,9	40,0	43,3	46,3

Результаты дисперсионного анализа максимальной площади листьев,
учтенной по вариантам полевого опыта в 2014 году

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	18 034,54	71			
Способ посева (фактор В)	514,1	1	514,14	13,15	4,01
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	11 956,6	2	5 978,29	152,95	3,17
Взаимодействие С×В	2 956,0	2	1 478,00	37,81	3,17
Взаимодействие А×С	92,9	2	46,44	1,19	3,17
Взаимодействие В×А	214,1	2	107,05	2,74	3,17
Взаимодействие С×В×А	96,7	4	24,17	0,62	2,54
Остаток (ошибка)	93,5	4	23,38	0,60	2,54

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, тыс. м ² /га, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	1,47	1,66	2,45
Способ посева (фактор В)	1,80	1,66	3,00
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	1,80	1,66	3,00
Взаимодействие С×В	2,55	1,66	4,24
Взаимодействие А×С	2,55	1,66	4,24
Взаимодействие В×А	3,13	1,66	5,19
Для частных средних	4,42	1,66	7,34

Результаты учета максимальной площади листьев репчатого лука
по вариантам опыта в 2015 году, тыс. м²/га

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Повторность			
			I	II	III	IV
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	24,8	24,8	26,7	28,8
		0,4	27,8	28,8	33,7	27,7
		0,5	27,1	27,0	29,8	23,6
	Шестистрочный (В2)	0,3	36,3	35,0	41,1	33,2
		0,4	38,6	39,9	39,8	40,5
		0,5	33,0	38,3	41,1	38,0
	Восьмистрочный (В3)	0,3	33,2	38,1	36,4	39,5
		0,4	39,0	37,3	42,1	40,0
		0,5	35,0	37,0	43,4	37,0
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	25,9	25,5	27,0	29,9
		0,4	28,8	30,7	32,4	32,4
		0,5	26,4	25,7	28,5	27,4
	Шестистрочный (В2)	0,3	36,7	35,7	40,9	36,3
		0,4	40,0	40,7	46,1	42,8
		0,5	36,0	37,8	43,2	37,5
	Восьмистрочный (В3)	0,3	33,2	37,3	42,1	38,7
		0,4	44,3	42,9	45,7	45,9
		0,5	33,8	36,8	39,0	44,4

Результаты дисперсионного анализа максимальной площади листьев,
учтенной по вариантам полевого опыта в 2015 году

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	2 655,7	71			
Способ посева (фактор В)	41,71	1	41,71	5,63	4,01
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	1 933,99	2	967,00	130,60	3,17
Взаимодействие С×В	238,03	2	119,02	16,07	3,17
Взаимодействие А×С	5,35	2	2,68	0,36	3,17
Взаимодействие В×А	23,92	2	11,96	1,62	3,17
Взаимодействие С×В×А	4,52	4	1,13	0,15	2,54
Остаток (ошибка)	8,36	4	2,09	0,28	2,54

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, тыс. м ² /га, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	0,64	1,66	1,06
Способ посева (фактор В)	0,79	1,66	1,30
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	0,79	1,66	1,30
Взаимодействие С×В	1,11	1,66	1,84
Взаимодействие А×С	1,11	1,66	1,84
Взаимодействие В×А	1,36	1,66	2,26
Для частных средних	1,92	1,66	3,19

Результаты учета максимальной площади листьев репчатого лука
по вариантам опыта в 2016 году, тыс. м²/га

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	Повторность				
			I	II	III	IV	
Без изменения профиля поверхности почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	28,0	28,7	31,0	29,4	
		0,4	32,9	31,8	38,3	32,6	
		0,5	32,4	29,9	33,3	32,7	
	Шестистрочный (В2)	0,3	38,6	38,2	41,4	35,8	
		0,4	37,8	39,1	39,0	40,9	
		0,5	38,9	38,0	44,8	34,7	
	Восьмистрочный (В3)	0,3	39,7	39,6	41,2	40,7	
		0,4	38,0	39,9	48,1	43,1	
		0,5	37,6	40,0	41,6	45,6	
	Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,3	27,1	30,1	30,9	33,5
			0,4	35,1	35,2	36,9	34,5
			0,5	33,8	34,1	34,6	35,4
Шестистрочный (В2)		0,3	40,1	37,3	43,9	39,1	
		0,4	39,1	44,1	43,0	43,5	
		0,5	40,0	40,7	44,8	38,1	
Восьмистрочный (В3)		0,3	38,9	40,1	44,7	45,9	
		0,4	40,8	41,9	46,8	45,3	
		0,5	39,9	38,7	40,7	45,4	

Результаты дисперсионного анализа максимальной площади листьев,
учтенной по вариантам полевого опыта в 2016 году

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	1 718,15	71			
Способ посева (фактор В)	50,7	1	50,67	7,22	4,01
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	1 152,9	2	576,47	82,15	3,17
Взаимодействие С×В	84,3	2	42,14	6,00	3,17
Взаимодействие А×С	3,2	2	1,60	0,23	3,17
Взаимодействие В×А	1,3	2	0,63	0,09	3,17
Взаимодействие С×В×А	38,7	4	9,69	1,38	2,54
Остаток (ошибка)	8,1	4	2,03	0,29	2,54

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, тыс. м ² /га, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	0,62	1,66	1,04
Способ посева (фактор В)	0,76	1,66	1,27
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	0,76	1,66	1,27
Взаимодействие С×В	1,08	1,66	1,80
Взаимодействие А×С	1,08	1,66	1,80
Взаимодействие В×А	1,32	1,66	2,20
Для частных средних	1,87	1,66	3,11

Результаты учета наибольшей накопленной массы сухого вещества
посевов репчатого лука по вариантам опыта в 2014 году, т/га

Профиль поверхно- сти почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняе- мого слоя почвы, м (фактор А)	Повторность			
			I	II	III	IV
Без изме- нения профиля поверхно- сти почвы	Четырех- строчный (В1)	0,3	6,96	7,82	8,42	8,04
		0,4	8,91	8,69	9,36	9,52
		0,5	7,50	7,46	9,06	8,02
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	10,00	11,09	10,68	11,03
		0,4	11,81	12,60	12,25	12,15
		0,5	10,27	11,22	12,87	10,84
	Восьми- строчный (В3)	0,3	11,48	11,55	12,75	10,61
		0,4	11,91	12,31	13,90	10,68
		0,5	10,74	10,72	11,98	12,16
Размеще- ние посе- вов на грядках	Четырех- строчный (В1)	0,3	7,91	8,15	9,24	7,71
		0,4	9,02	9,60	10,89	8,81
		0,5	8,47	8,40	9,49	7,20
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	10,92	10,79	12,76	11,13
		0,4	12,32	14,20	15,03	13,25
		0,5	10,65	12,09	13,69	11,57
	Восьми- строчный (В3)	0,3	11,83	11,42	11,77	12,59
		0,4	12,81	12,77	15,00	13,83
		0,5	11,22	12,21	11,82	11,95

Результаты дисперсионного анализа учтенной биомассы репчатого лука
по вариантам полевого опыта в 2014 году

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	275,30	71			
Способ посева (фактор В)	8,764	1	8,76	11,77	4,01
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	191,657	2	95,83	128,65	3,17
Взаимодействие С×В	29,817	2	14,91	20,01	3,17
Взаимодействие А×С	0,875	2	0,44	0,59	3,17
Взаимодействие В×А	1,605	2	0,80	1,08	3,17
Взаимодействие С×В×А	1,620	4	0,41	0,54	2,54
Остаток (ошибка)	0,735	4	0,18	0,25	2,54

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, т/га, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	0,20	1,66	0,34
Способ посева (фактор В)	0,25	1,66	0,41
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	0,25	1,66	0,41
Взаимодействие С×В	0,35	1,66	0,58
Взаимодействие А×С	0,35	1,66	0,58
Взаимодействие В×А	0,43	1,66	0,72
Для частных средних	0,61	1,66	1,01

Результаты учета наибольшей накопленной массы сухого вещества
посевов репчатого лука по вариантам опыта в 2015 году, т/га

Профиль поверхно- сти почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняе- мого слоя почвы, м (фактор А)	Повторность			
			I	II	III	IV
Без изме- нения профиля поверхно- сти почвы	Четырех- строчный (В1)	0,3	7,89	7,90	8,29	8,64
		0,4	8,37	8,86	9,40	10,93
		0,5	7,34	8,25	8,82	8,87
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	10,84	11,21	12,74	10,41
		0,4	11,50	12,69	13,26	13,35
		0,5	10,64	11,90	13,17	11,09
	Восьми- строчный (В3)	0,3	10,81	10,80	11,59	11,21
		0,4	12,45	11,69	12,97	12,89
		0,5	10,77	11,53	13,24	11,26
Размеще- ние посе- вов на грядках	Четырех- строчный (В1)	0,3	8,40	7,94	8,46	9,24
		0,4	9,72	9,48	10,01	11,19
		0,5	7,88	8,93	9,44	8,35
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	11,61	11,39	11,94	12,66
		0,4	13,41	13,64	15,77	14,37
		0,5	11,39	12,07	12,67	12,67
	Восьми- строчный (В3)	0,3	11,00	11,77	12,13	12,30
		0,4	12,77	13,75	15,04	16,04
		0,5	11,66	11,49	13,49	12,16

Результаты дисперсионного анализа учетной биомассы репчатого лука
по вариантам полевого опыта в 2015 году

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	289,60	71			
Способ посева (фактор В)	11,424	1	11,42	16,03	4,01
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	191,414	2	95,71	134,27	3,17
Взаимодействие С×В	42,352	2	21,18	29,71	3,17
Взаимодействие А×С	1,094	2	0,55	0,77	3,17
Взаимодействие В×А	3,342	2	1,67	2,34	3,17
Взаимодействие С×В×А	0,854	4	0,21	0,30	2,54
Остаток (ошибка)	0,623	4	0,16	0,22	2,54

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, т/га, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	0,20	1,66	0,33
Способ посева (фактор В)	0,24	1,66	0,40
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	0,24	1,66	0,40
Взаимодействие С×В	0,34	1,66	0,57
Взаимодействие А×С	0,34	1,66	0,57
Взаимодействие В×А	0,42	1,66	0,70
Для частных средних	0,60	1,66	0,99

Результаты учета наибольшей накопленной массы сухого вещества
посевов репчатого лука по вариантам опыта в 2016 году, т/га

Профиль поверхно- сти почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняе- мого слоя почвы, м (фактор А)	Повторность			
			I	II	III	IV
Без изме- нения профиля поверхно- сти почвы	Четырех- строчный (В1)	0,3	7,76	7,44	8,51	8,01
		0,4	9,15	9,41	10,39	8,14
		0,5	8,12	7,83	8,32	8,65
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	9,85	10,30	11,39	11,65
		0,4	11,97	11,70	12,36	11,97
		0,5	10,32	11,29	12,13	11,06
	Восьми- строчный (В3)	0,3	10,62	10,71	11,58	10,29
		0,4	11,39	11,16	12,84	11,81
		0,5	11,03	11,10	12,49	9,78
Размеще- ние посе- вов на грядках	Четырех- строчный (В1)	0,3	8,12	8,01	9,40	7,75
		0,4	8,87	9,66	9,87	11,07
		0,5	7,98	9,21	9,25	9,44
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	10,79	11,16	12,74	11,31
		0,4	11,95	13,41	14,70	13,14
		0,5	11,37	11,69	13,31	12,03
	Восьми- строчный (В3)	0,3	11,32	11,07	13,17	11,64
		0,4	12,80	13,08	12,98	13,93
		0,5	10,83	12,43	13,10	11,65

Результаты дисперсионного анализа учетной биомассы репчатого лука
по вариантам полевого опыта в 2016 году

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	221,29	71			
Способ посева (фактор В)	13,974	1	13,97	22,31	4,01
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	147,393	2	73,70	117,63	3,17
Взаимодействие С×В	24,185	2	12,09	19,30	3,17
Взаимодействие А×С	0,888	2	0,44	0,71	3,17
Взаимодействие В×А	0,499	2	0,25	0,40	3,17
Взаимодействие С×В×А	0,241	4	0,06	0,10	2,54
Остаток (ошибка)	0,279	4	0,07	0,11	2,54

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, т/га, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	0,19	1,66	0,31
Способ посева (фактор В)	0,23	1,66	0,38
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	0,23	1,66	0,38
Взаимодействие С×В	0,32	1,66	0,54
Взаимодействие А×С	0,32	1,66	0,54
Взаимодействие В×А	0,40	1,66	0,66
Для частных средних	0,56	1,66	0,93

Результаты учета урожайности репчатого лука
по вариантам опыта в 2014 году, т/га

Профиль поверхно- сти почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняе- мого слоя почвы, м (фактор А)	Повторность			
			I	II	III	IV
Без изме- нения профиля поверхно- сти почвы	Четырех- строчный (В1)	0,3	61,7	62,7	64,6	64,6
		0,4	71,4	73,5	77,3	75,8
		0,5	66,6	64,6	73,0	57,8
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	87,2	90,1	102,2	71,7
		0,4	92,4	98,6	103,1	103,1
		0,5	93,1	91,3	98,6	86,2
	Восьми- строчный (В3)	0,3	84,2	86,3	97,6	76,7
		0,4	95,0	99,5	95,8	104,5
		0,5	86,5	90,7	89,9	100,9
Размеще- ние посе- вов на грядках	Четырех- строчный (В1)	0,3	61,2	64,4	68,7	68,5
		0,4	72,9	78,4	80,1	76,6
		0,5	64,0	68,5	71,7	64,2
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	90,6	92,1	96,9	90,4
		0,4	111,2	116,4	116,1	106,7
		0,5	92,2	94,0	106,1	89,3
	Восьми- строчный (В3)	0,3	89,0	89,2	88,8	92,6
		0,4	115,5	111,9	129,0	97,2
		0,5	94,6	94,8	99,0	88,4

Результаты дисперсионного анализа урожайности репчатого лука
по вариантам полевого опыта в 2014 году

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	18 034,54	71			
Способ посева (фактор В)	514,1	1	514,14	13,15	4,01
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	11 956,6	2	5 978,29	152,95	3,17
Взаимодействие С×В	2 956,0	2	1 478,00	37,81	3,17
Взаимодействие А×С	92,9	2	46,44	1,19	3,17
Взаимодействие В×А	214,1	2	107,05	2,74	3,17
Взаимодействие С×В×А	96,7	4	24,17	0,62	2,54
Остаток (ошибка)	93,5	4	23,38	0,60	2,54

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, т/га, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	1,47	1,66	2,46
Способ посева (фактор В)	1,80	1,66	3,01
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	1,80	1,66	3,01
Взаимодействие С×В	2,55	1,66	4,26
Взаимодействие А×С	2,55	1,66	4,26
Взаимодействие В×А	3,13	1,66	5,22
Для частных средних	4,42	1,66	7,38

Результаты учета урожайности репчатого лука
по вариантам опыта в 2015 году, т/га

Профиль поверхно- сти почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняе- мого слоя почвы, м (фактор А)	Повторность			
			I	II	III	IV
Без изме- нения профиля поверхно- сти почвы	Четырех- строчный (В1)	0,3	65,6	66,6	71,4	62,4
		0,4	75,5	79,8	75,7	81,0
		0,5	68,5	67,9	77,8	61,8
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	87,9	93,2	87,3	94,8
		0,4	95,8	106,4	107,5	102,7
		0,5	95,2	98,9	99,1	88,8
	Восьми- строчный (В3)	0,3	87,2	91,9	89,2	88,5
		0,4	104,2	105,5	119,4	80,9
		0,5	90,3	98,9	89,5	102,5
Размеще- ние посе- вов на грядках	Четырех- строчный (В1)	0,3	67,2	71,6	72,7	63,3
		0,4	77,4	80,2	77,1	89,3
		0,5	67,9	72,4	76,1	64,8
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	88,8	94,3	89,7	107,2
		0,4	110,2	119,6	109,5	127,9
		0,5	95,6	99,6	99,0	100,2
	Восьми- строчный (В3)	0,3	89,6	93,7	90,7	98,0
		0,4	118,1	116,8	129,2	104,3
		0,5	90,2	100,3	99,3	99,8

Результаты дисперсионного анализа урожайности репчатого лука
по вариантам полевого опыта в 2015 году

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	18 636,42	71			
Способ посева (фактор В)	512,0	1	512,00	11,53	4,01
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	11 912,2	2	5 956,09	134,10	3,17
Взаимодействие С×В	3 299,6	2	1 649,81	37,15	3,17
Взаимодействие А×С	90,3	2	45,17	1,02	3,17
Взаимодействие В×А	238,7	2	119,33	2,69	3,17
Взаимодействие С×В×А	101,3	4	25,31	0,57	2,54
Остаток (ошибка)	84,0	4	20,99	0,47	2,54

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, т/га, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	1,57	1,66	2,62
Способ посева (фактор В)	1,92	1,66	3,21
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	1,92	1,66	3,21
Взаимодействие С×В	2,72	1,66	4,54
Взаимодействие А×С	2,72	1,66	4,54
Взаимодействие В×А	3,33	1,66	5,56
Для частных средних	4,71	1,66	7,87

Результаты учета урожайности репчатого лука
по вариантам опыта в 2016 году, т/га

Профиль поверхно- сти почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняе- мого слоя почвы, м (фактор А)	Повторность			
			I	II	III	IV
Без изме- нения профиля поверхно- сти почвы	Четырех- строчный (В1)	0,3	62,3	65,0	71,7	57,8
		0,4	69,8	77,7	71,3	82,4
		0,5	62,8	66,7	67,5	69,8
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	85,9	90,2	101,1	72,4
		0,4	91,6	100,4	106,2	86,6
		0,5	84,7	92,1	85,6	102,0
	Восьми- строчный (В3)	0,3	87,7	86,5	87,0	87,2
		0,4	89,3	97,0	93,7	102,8
		0,5	90,8	91,9	95,2	82,9
Размеще- ние посе- вов на грядках	Четырех- строчный (В1)	0,3	62,9	66,8	73,2	66,3
		0,4	77,4	80,7	79,6	77,5
		0,5	70,0	71,2	78,0	69,6
	Ше- стистроч ный (В2)	0,3	88,5	95,4	98,0	94,5
		0,4	100,5	105,7	114,2	107,2
		0,5	96,4	101,3	109,0	90,1
	Восьми- строчный (В3)	0,3	92,4	96,0	96,8	92,4
		0,4	103,4	109,4	116,6	95,0
		0,5	94,7	99,6	109,4	89,5

Результаты дисперсионного анализа урожайности репчатого лука
по вариантам полевого опыта в 2016 году

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	14 468,59	71			
Способ посева (фактор В)	893,2	1	893,24	22,11	4,01
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	9 850,5	2	4 925,23	121,91	3,17
Взаимодействие С×В	1 423,2	2	711,58	17,61	3,17
Взаимодействие А×С	81,6	2	40,82	1,01	3,17
Взаимодействие В×А	19,1	2	9,54	0,24	3,17
Взаимодействие С×В×А	5,1	4	1,28	0,03	2,54
Остаток (ошибка)	14,4	4	3,60	0,09	2,54

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, т/га, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	1,50	1,66	2,50
Способ посева (фактор В)	1,83	1,66	3,06
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	1,83	1,66	3,06
Взаимодействие С×В	2,59	1,66	4,33
Взаимодействие А×С	2,59	1,66	4,33
Взаимодействие В×А	3,18	1,66	5,31
Для частных средних	4,49	1,66	7,51

Результаты биохимического анализа урожая. Содержание сухого вещества в луковичах, %

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняемого слоя почвы, м (фактор А)	2014 год				2015 год				2016 год			
			Повторность											
			I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Без изменения профиля верхней части почвы	Четырехстрочный (В1)	0,3	10,7	10,4	10,7	11,4	9,7	11,7	10,8	10,1	9,3	10,9	11,0	11,7
		0,4	11,3	11,4	12,4	11,1	10,8	11,6	12,4	11,6	11,2	11,3	12,4	8,1
		0,5	11,3	12,0	12,6	11,2	11,1	12,3	11,9	11,1	11,4	11,6	11,5	12,4
	Шестистрочный (В2)	0,3	9,7	11,2	11,8	10,6	10,7	11,7	11,0	10,2	10,1	10,6	12,0	11,1
		0,4	10,2	12,0	13,0	12,5	10,7	13,1	12,3	11,2	11,6	11,1	12,0	10,7
Восьмистрочный (В3)	Четырехстрочный (В1)	0,5	12,0	12,6	12,5	12,5	11,5	13,1	12,4	12,1	11,4	12,3	13,6	10,4
		0,3	11,0	11,6	11,6	11,5	10,7	12,3	12,1	10,8	10,1	11,4	12,1	10,5
		0,4	11,1	12,7	12,8	11,7	10,9	13,0	13,7	12,5	10,9	11,9	12,3	14,2
	Шестистрочный (В2)	0,5	10,9	11,9	13,3	13,7	12,3	12,4	12,9	11,9	11,7	11,8	12,4	14,7
		0,3	9,8	10,4	11,5	10,6	10,5	11,2	11,9	10,3	10,4	11,1	11,9	10,0
Размещение посевов на грядах	Четырехстрочный (В1)	0,4	11,1	11,7	12,3	11,0	10,5	11,8	12,5	11,4	10,2	10,8	11,9	11,7
		0,5	11,3	11,6	11,7	12,2	11,0	12,3	11,5	10,9	11,4	10,9	11,6	14,0
		0,3	10,6	10,6	12,2	12,0	10,7	11,8	10,9	10,5	9,8	10,3	12,0	10,5
	Шестистрочный (В2)	0,4	10,7	11,4	12,8	11,7	11,4	12,3	11,8	11,1	10,6	12,0	11,5	13,0
		0,5	12,3	12,2	13,6	12,3	11,6	13,1	13,2	11,5	11,3	12,0	13,0	11,5
Восьмистрочный (В3)	0,3	11,3	11,8	12,1	11,0	11,3	12,5	11,9	11,2	11,2	10,9	11,6	10,0	
	0,4	11,0	12,0	13,5	13,0	12,3	12,5	12,3	12,3	12,3	12,3	12,1	13,4	
	0,5	12,8	12,4	13,1	13,2	11,4	13,9	13,9	13,1	11,2	13,0	13,3	11,0	

Результаты дисперсионного анализа данных биохимического состава урожая.
Содержание сухого вещества в луковицах.

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	214,50	215			
Способ посева (фактор В)	0,54	1	0,54	0,80	3,89
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	26,17	2	13,09	19,28	3,04
Взаимодействие С×В	51,25	2	25,63	37,76	3,04
Взаимодействие А×С	0,12	2	0,06	0,09	3,04
Взаимодействие В×А	0,00	2	0,00	0,00	3,04
Взаимодействие С×В×А	1,91	4	0,48	0,70	2,42
Остаток (ошибка)	0,12	4	0,03	0,04	2,42

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, %, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	0,11	1,65	0,18
Способ посева (фактор В)	0,14	1,65	0,23
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	0,14	1,65	0,23
Взаимодействие С×В	0,19	1,65	0,32
Взаимодействие А×С	0,19	1,65	0,32
Взаимодействие В×А	0,24	1,65	0,39
Для частных средних	0,34	1,65	0,55

Результаты биохимического анализа урожая. Сумма сахаров, %

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняе- мого слоя почвы, м (фактор А)	2014 год				2015 год				2016 год						
			Повторность														
			I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV			
Без из- менения профи- ля по- верхно- сти почвы	Четырех- строчный (В1)	0,3	6,5	6,3	7,2	6,4	6,0	6,5	6,3	6,5	6,5	6,3	5,9	6,1	7,1	7,1	
		0,4	7,0	7,1	7,7	6,7	6,5	6,8	7,0	6,9	6,9	7,0	6,3	7,2	7,0	6,5	
		0,5	6,9	7,2	7,3	8,0	7,3	7,4	7,0	7,8	7,4	7,0	6,6	6,6	7,6	7,6	8,1
	Ше- стистроч- ный (В2)	0,3	6,0	6,4	7,5	6,9	6,6	7,2	7,5	6,8	7,2	7,5	6,4	6,9	7,5	5,8	
		0,4	7,1	7,2	8,3	7,6	6,8	8,0	8,3	7,8	8,0	8,3	6,9	7,8	7,8	6,7	
		0,5	7,1	7,7	9,0	7,8	7,6	9,1	8,3	8,3	9,1	8,3	7,5	8,0	8,0	8,2	
	Восьми- строчный (В3)	0,3	6,3	7,1	7,6	7,0	6,8	7,6	7,3	7,0	7,6	7,3	6,7	7,2	7,3	7,3	
		0,4	7,7	8,1	8,9	9,2	8,5	8,9	8,9	8,6	8,9	8,9	8,0	8,3	8,9	6,8	
		0,5	8,0	8,0	9,7	8,8	8,4	8,9	8,5	8,4	8,9	8,5	8,1	7,9	9,1	8,4	
	Разме- щение посевов на гря- дах	Четырех- строчный (В1)	0,3	5,8	6,4	6,9	6,6	6,5	6,9	7,2	6,3	6,9	6,6	6,6	6,6	6,6	6,8
			0,4	7,1	6,8	7,3	6,8	6,3	7,4	7,9	6,9	7,9	6,6	6,6	7,0	7,4	7,7
			0,5	6,8	7,1	8,3	8,2	7,6	7,5	7,9	7,4	7,2	6,7	6,8	6,6	7,4	8,3
Ше- стистроч- ный (В2)		0,3	6,5	6,6	7,8	6,8	6,2	7,1	7,2	6,7	7,1	7,2	6,0	6,6	6,6	6,8	8,3
		0,4	6,6	7,5	8,0	7,8	7,5	7,5	7,7	7,7	7,5	7,7	7,1	7,3	7,3	8,3	8,2
		0,5	7,1	8,1	8,4	8,4	7,7	8,4	8,9	7,9	8,4	8,9	7,9	7,9	7,5	8,0	8,9
Восьми- строчный (В3)		0,3	6,8	7,0	7,8	7,9	6,4	8,0	7,9	7,1	7,9	7,9	7,3	6,7	7,1	6,3	
		0,4	8,2	8,0	9,1	8,7	8,4	9,4	8,6	8,8	9,4	8,6	8,4	8,7	9,1	6,5	
		0,5	8,5	8,4	9,5	8,4	7,6	9,6	9,0	8,2	8,8	8,5	8,5	8,8	8,8	7,9	

Результаты дисперсионного анализа данных биохимического состава урожая.
Сумма сахаров.

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	156,48	215			
Способ посева (фактор В)	0,54	1	0,54	1,84	3,89
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	39,72	2	19,86	67,49	3,04
Взаимодействие С×В	52,84	2	26,42	89,78	3,04
Взаимодействие А×С	0,04	2	0,02	0,07	3,04
Взаимодействие В×А	0,04	2	0,02	0,07	3,04
Взаимодействие С×В×А	5,00	4	1,25	4,25	2,42
Остаток (ошибка)	0,04	4	0,01	0,03	2,42

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, %, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	0,07	1,65	0,12
Способ посева (фактор В)	0,09	1,65	0,15
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	0,09	1,65	0,15
Взаимодействие С×В	0,13	1,65	0,21
Взаимодействие А×С	0,13	1,65	0,21
Взаимодействие В×А	0,16	1,65	0,26
Для частных средних	0,22	1,65	0,37

Результаты биохимического анализа урожая. Содержание витамина С, мг%

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняе- мого слоя почвы, м (фактор А)	2014 год				2015 год				2016 год									
			Повторность																	
			I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV						
Без из- менения профи- ля по- верхно- сти почвы	Четырех- строчный (В1)	0,3	7,9	7,9	8,4	8,5	7,9	8,2	8,3	7,9	8,2	8,3	7,9	7,9	7,6	7,9	8,3	8,3	9,6	
		0,4	7,8	8,1	8,6	8,2	7,5	8,9	9,5	8,1	8,2	9,5	8,1	8,2	7,7	8,2	9,2	9,2	10,1	
		0,5	8,7	8,3	8,8	8,6	7,9	8,8	9,4	8,6	8,5	8,8	9,4	8,6	7,9	8,6	9,7	9,7	11,5	
	Ше- стистроч- ный (В2)	0,3	7,3	7,9	9,2	8,2	8,2	8,2	8,5	8,8	7,7	8,8	7,7	8,1	7,9	8,1	8,8	8,8	6,4	
		0,4	8,2	9,2	10,0	8,6	8,7	10,0	10,0	9,0	8,8	9,0	8,8	8,4	7,9	8,4	8,8	8,8	10,4	
		0,5	8,1	9,3	10,7	9,0	8,9	10,4	10,0	8,7	9,3	10,0	8,7	8,4	8,8	8,8	9,7	9,7	9,7	
	Восьми- строчный (В3)	0,3	7,8	8,2	9,0	9,2	8,9	9,7	9,3	8,7	8,7	9,3	8,7	7,6	8,3	8,3	8,9	8,9	9,0	
		0,4	8,7	8,9	10,8	10,1	9,3	9,7	9,6	8,9	9,7	9,6	8,9	8,9	9,0	10,4	10,4	9,8		
		0,5	8,7	9,6	10,7	10,6	9,1	10,8	10,3	9,4	10,8	10,3	9,4	9,1	10,0	10,4	10,4	8,9		
	Разме- щение посевов на гря- дах	Четырех- строчный (В1)	0,3	7,4	8,2	9,1	8,9	8,0	8,8	8,5	8,3	8,5	8,5	8,3	7,9	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
			0,4	8,1	8,3	9,1	8,6	7,6	9,0	9,0	8,4	9,0	9,0	8,4	7,8	8,8	8,8	9,5	8,9	
			0,5	8,6	8,9	9,0	8,8	8,8	9,7	9,4	8,4	8,4	9,4	8,4	7,9	9,0	9,0	9,1	10,4	
Ше- стистроч- ный (В2)		0,3	8,0	7,7	8,3	8,5	8,1	9,1	9,0	8,2	9,1	9,0	8,2	7,2	7,7	8,7	7,9	8,7	7,9	
		0,4	8,6	8,8	10,5	9,2	8,6	9,8	9,3	8,9	9,8	9,3	8,9	8,4	8,6	10,3	9,2	10,3	9,2	
		0,5	9,1	9,5	9,7	10,2	8,3	9,9	9,3	8,9	9,9	9,3	8,9	9,0	9,5	9,3	8,9	9,3	8,9	
Восьми- строчный (В3)		0,3	8,1	8,7	9,8	9,3	7,9	9,4	9,1	8,9	9,4	9,1	8,9	8,8	8,3	9,6	6,7	9,6	6,7	
		0,4	8,8	9,9	10,5	9,6	8,7	10,8	9,7	9,8	10,8	9,7	9,8	8,6	9,9	10,0	11,3	10,0	11,3	
		0,5	9,2	10,0	9,7	9,9	10,0	10,7	10,2	9,3	10,7	10,2	9,3	9,3	9,3	10,7	10,4	10,7	10,4	

Результаты дисперсионного анализа данных биохимического состава урожая.
Содержание витамина С.

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	164,21	215			
Способ посева (фактор В)	0,67	1	0,67	1,38	3,89
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	24,97	2	12,49	25,75	3,04
Взаимодействие С×В	38,61	2	19,31	39,82	3,04
Взаимодействие А×С	0,01	2	0,01	0,01	3,04
Взаимодействие В×А	0,21	2	0,11	0,22	3,04
Взаимодействие С×В×А	3,55	4	0,89	1,83	2,42
Остаток (ошибка)	0,19	4	0,05	0,10	2,42

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, мг%, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	0,09	1,65	0,16
Способ посева (фактор В)	0,12	1,65	0,19
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	0,12	1,65	0,19
Взаимодействие С×В	0,16	1,65	0,27
Взаимодействие А×С	0,16	1,65	0,27
Взаимодействие В×А	0,20	1,65	0,33
Для частных средних	0,28	1,65	0,47

Результаты биохимического анализа урожая. Содержание нитратов, мг/кг

Профиль поверхности почвы (фактор С)	Способ посева (фактор В)	Мощность увлажняе- мого слоя почвы, м (фактор А)	2014 год				2015 год				2016 год				
			Повторность												
			I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Без из- менения профи- ля по- верхно- сти почвы	Четырех- строчный (В1)	0,3	67,6	67,1	81,7	75,9	72,1	74,5	74,1	70,7	70,0	72,8	74,3	63,2	
		0,4	65,4	69,1	67,9	70,3	63,6	66,0	67,4	63,1	65,1	65,3	70,5	70,3	
		0,5	62,5	65,2	69,3	73,3	70,2	72,6	69,5	70,0	61,8	65,5	67,3	70,1	78,1
	Ше- стистроч- ный (В2)	0,3	62,4	64,5	65,0	68,8	60,2	68,5	67,2	65,5	57,5	67,3	69,0	64,0	
		0,4	52,1	49,3	59,9	58,1	51,9	54,2	54,0	49,8	48,0	53,3	53,2	52,1	
		0,5	57,3	60,2	60,5	59,5	57,8	59,2	63,0	59,9	55,7	60,7	61,0	53,2	
	Восьми- строчный (В3)	0,3	57,0	61,8	66,2	61,4	55,5	67,6	66,0	60,1	54,3	59,6	67,7	66,7	
		0,4	45,6	45,7	49,3	47,3	48,5	50,0	47,3	47,6	43,4	47,4	52,1	51,7	
		0,5	48,5	51,9	55,8	52,6	47,9	54,4	54,5	50,5	50,0	51,5	55,7	50,7	
	Разме- щение посевов на гря- дах	Четырех- строчный (В1)	0,3	63,1	68,6	79,0	67,7	64,9	76,7	70,0	66,3	69,0	68,6	69,8	64,2
			0,4	57,4	61,9	65,5	62,7	63,8	66,5	64,3	62,3	61,0	66,7	69,0	78,9
			0,5	65,4	66,8	72,4	70,1	60,8	71,6	68,8	66,0	61,3	68,5	70,9	73,4
Ше- стистроч- ный (В2)		0,3	60,7	60,6	61,7	66,1	56,8	67,2	67,4	60,4	60,2	63,6	66,6	52,6	
		0,4	48,1	46,5	50,5	47,6	45,4	52,7	50,8	49,2	42,8	46,3	53,4	54,7	
		0,5	50,5	53,8	58,8	51,3	52,3	59,3	53,6	52,0	49,6	53,3	54,0	59,4	
Восьми- строчный (В3)		0,3	53,6	55,0	58,8	63,3	58,5	63,5	61,9	57,7	57,7	56,2	62,4	47,4	
		0,4	47,5	45,9	49,1	47,0	45,9	52,0	53,4	49,5	44,7	49,4	49,4	54,2	
		0,5	47,4	47,1	54,7	49,1	50,0	49,8	52,6	48,5	46,6	47,5	49,1	57,6	

Результаты дисперсионного анализа данных биохимического состава урожая.
Содержание нитратов.

Результаты факторного анализа (по критерию Фишера)

Фактор (группирующая переменная)	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат (дисперсия)	Значение критерия Фишера	
				Факт.	Теорет. для $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	16 359,82	215			
Способ посева (фактор В)	352,7	1	352,67	23,20	3,89
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	8 956,0	2	4 478,00	294,58	3,04
Взаимодействие С×В	3 324,0	2	1 662,00	109,33	3,04
Взаимодействие А×С	57,3	2	28,67	1,89	3,04
Взаимодействие В×А	25,3	2	12,67	0,83	3,04
Взаимодействие С×В×А	560,0	4	140,00	9,21	2,42
Остаток (ошибка)	74,7	4	18,67	1,23	2,42

Статистические критерии для сравнения пар данных

Фактор (группирующая переменная)	Ошибка выборочной средней	Критерий Стьюдента	Наименьшая существенная разность, мг/кг, при $p=05$
Профиль поверхности почвы (фактор С)	0,5	1,65	0,9
Способ посева (фактор В)	0,6	1,65	1,1
Мощность увлажняемого слоя почвы (фактор А)	0,6	1,65	1,1
Взаимодействие С×В	0,9	1,65	1,5
Взаимодействие А×С	0,9	1,65	1,5
Взаимодействие В×А	1,1	1,65	1,9
Для частных средних	1,6	1,65	2,6